

Treball final de grau

Estudi: Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica

Títol: Control electrònic universal d'un aire condicionat

Document: 1. Memòria

Alumne: Eudald Arbós Camps

Tutor: Lluís Pacheco Valls

Departament: Arquitectura i Tecnologia dels computadors

Àrea: Arquitectura i Tecnologia dels computadors

Convocatòria (mes/any) Setembre/2019

Índex

1	INTRODUCCIÓ	4
1.1	Antecedents.....	4
1.2	Objecte	4
1.3	Abast	4
2	Aire condicionat	5
2.1	Unitat interior	8
2.1.1	Tipus d'unitats interiors.....	10
2.2	Unitat exterior	12
2.3	Historia dels refrigerants.....	14
3	Placa principal.....	17
3.1	NTC.....	18
3.1.1	Comportament de la NTC.....	20
3.2	Motors pas a pas	28
3.3	Motor de ventilació i compressor	32
3.3.1	Motor brushless	33
3.3.2	Gestió i control dels motors	35
3.4	Entrades analògiques	36
3.4.1	Tacòmetre	37
3.4.2	Transductors de pressió	38
3.5	Entrades digitals	40
3.5.1	Pressòstats.....	41
3.5.2	Clixon del compressor	42
3.5.3	Boia de nivell	42
3.6	Sortida digital.....	43
3.7	Microcontrolador.....	43
3.8	Comunicació.....	45
3.9	Condensadors de desacoblament.....	48

4	Disseny del controlador de la ventilació de la unitat exterior	51
4.1	Identificació del sistema.....	51
4.2	Disseny del controlador.	52
4.2.1	Controlador Skogestad IMC en guany	53
4.2.2	Controlador MIGO	55
4.3	Programació del control discret.....	57
4.4	Resultats del controlador	60
5	Programa del PIC	63
5.1	Rutina principal.....	64
5.2	Subrutina d'adquisició d'entrades analògiques i digitals.....	64
5.2.1	Comandament unitat exterior.....	66
5.2.2	Comandament unitat interior.....	67
5.3	Subrutina de gestió d'avaries i seqüències de parades de seguretat.	67
5.4	Comunicació.....	68
5.4.1	Comunicació entre plaques	69
5.5	Interrupcions síncrones.....	73
5.5.1	Interrupció síncrona dels motors pas a pas.....	73
5.5.2	Interrupció síncrona del control PID.....	75
5.6	Posta en funcionament motors sense escombretes	76
6	Lliurament i posada en funcionament	80
7	Resum del pressupost	81
8	Conclusions	82
9	Relació de documents	83
10	Bibliografia	84
11	Glossari	87
A.	Programa.....	89
B.	Linealització NTC del MatLAB	90
C.	Programa LABVIEW detectar Ke.....	94

D. Scrip ventilador.....	96
E. Scrip compressor.....	96
F. Llistat de paràmetres ventilador	97
G. Llistat de paràmetres compressor	100
H. Aplicació termòstat Bluetooth	103
I. Característiques tècniques	106

1 INTRODUCCIÓ

1.1 Antecedents

Els equips de climatització s'han convertit en un luxe necessari en ambients de treball com oficines i locals d'oci. Normalment quan són més necessaris és quan més pateixen i tenen més probabilitats de tenir una avaria. El primer element en espallar-se són els controls electrònics, independentment del funcionament mecànic. Per aquest motiu la unitat queda sense poder operar fins a obtenir el recanvi.

1.2 Objecte

Es dissenyarà la placa per l'evaporador. Aquesta haurà de ser compatible amb els diferents tipus de unitats interiors i tecnologies de ventilació. També es desenvoluparà una placa pel condensador conciliable amb qualsevol indole de unitat exterior, motor i compressor. La PCB exterior s'ha de poder utilitzar en el cas d'una màquina amb múltiples unitats interiors, fins a quatre. També caldrà l'ús d'un protocol de comunicació half duplex amb referència al neutre. Aquest control ha de ser compatible amb qualsevol fabricant i tipologia de màquina fins a compressors de 15 Ampers.

1.3 Abast

Cada unitat tindrà la placa principal, aquesta serà controlada per un PIC 16F18875 i contindrà els elements de potència per adaptar els diferents voltatges i la comunicació. S'adquiriran els següents sensors: NTC per la temperatura, transductors analògics per la pressió del gas, i entrades booleanes pel nivell de l'aigua de condensats i els pressòstats. Finalment s'actuarà sobre motors pas a pas (flaps en la interior i vàlvules d'expansió a l'exterior) i sortides amb relé per alguns tipus de motors AC monofàsics o bombes d'aigua. En el cas dels motors sense escobretes DC trifàsics es farà la comunicació amb el control mitjançant el bus SPI.

Els motors de ventilació i els compressors inverteixers tindran una altra placa que gestionarà la velocitat d'aquests amb controlador intern o extern.

2 Aire condicionat

Willis Haviland Carrier va ser un enginyer i inventor americà, i és conegut com l'home que va inventar l'aire condicionat. No obstant això, es considera parcialment responsable del cim econòmic del sud-oest d'Amèrica, ja que la seva invenció significava que la població es podia traslladar a les zones prèviament inhabitables a causa de la calor en els mesos d'estiu.

Un equip frigorífic és una màquina tèrmica dissenyada per absorbir l'energia tèrmica d'una àrea específica i evacuar-la en una altra. Per aquesta operació, segons el segon principi de la termodinàmica, cal aplicar un treball extern, de manera que una màquina frigorífica, sigui quin sigui el seu principi d'operació, consumirà energia d'algun tipus.

Per tal de fer circular el fluid refrigerant i optimitzar l'intercanvi de calor, s'utilitza un compressor. El fluid ha de passar per diferents etapes per arribar a climatitzar una sala. El primer pas, el compressor absorbeix el refrigerant com a gas, a baixa pressió i temperatura. El comprimeix fins a l'àrea d'alta pressió, on el refrigerant es troba en dos estats físics, gas i líquid, succeeix per les propietats del a la pressió i temperatura que es troba.

El compressor d'aquests equips són dels pocs elements mecànics amb una màquina elèctrica que no duen sistemes de refredament, fins i tot moltes vegades s'abriguen amb una manta. Això és degut a que el propi gas refreda l'element i amb la manta s'obté un sobre-escalfament del gas, augmentant l'eficiència, sobretot quan s'utilitza com a calefacció. A més aquesta manta esmorteix el soroll de l'equip.

El segon pas és refredar el gas. Això succeeix en el condensador, quan l'aparell es troba en mode refredament trobem el condensador a la màquina exterior. La calor del refrigerant es dissipa en el medi ambient, on es troba la unitat, condensant completament el fluid. Tot i baixar la temperatura la pressió és constant. Per assegurar la condensació total s'hi afegeix un subrefredament.

La tercera etapa és expansionar-lo. El líquid refrigerant passa per una vàlvula d'expansió que separa les zones d'alta pressió i de baixa pressió. Quan la pressió es redueix, la temperatura de saturació del refrigerant cau, permetent que absorbeixi calor de la sala on es troba la unitat interior. Aquesta etapa manté constant l'entalpia del fluid, tot i que un cop surt es troba en estat líquid.

Finalment, en el costat de baixa pressió, el refrigerant arriba a l'evaporador, on absorbeix la calor de l'entorn evaporant tot el gas per poder-lo comprimir. A partir d'aquí, es torna al compressor per tancar el cicle.

És molt important que un compressor no comprimeixi líquid, aquesta màquina està pensada perquè sempre treballi amb gas, per aquesta raó s'hi afegeix una zona de reescalfament a l'evaporador.

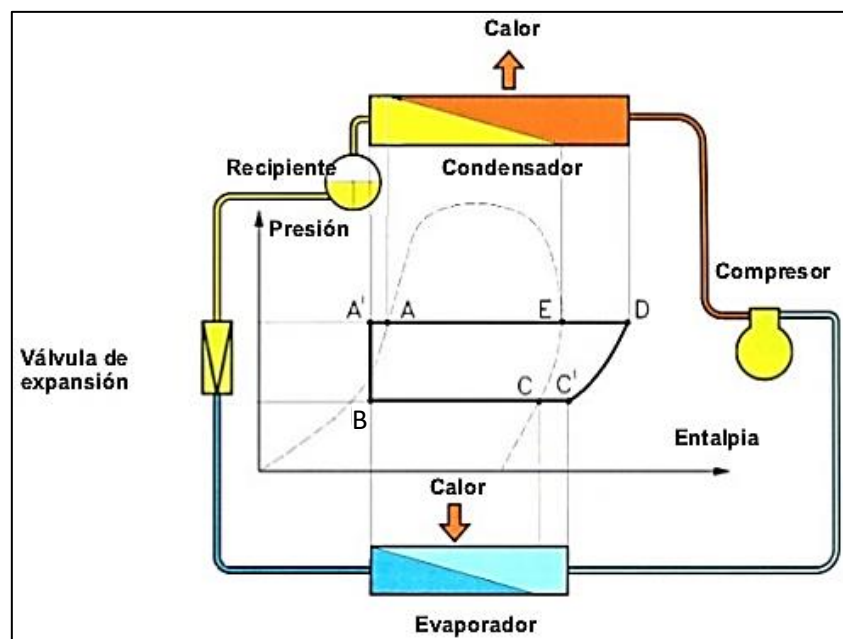


Figura 1. Cicle de refrigeració amb l'esquema entalpia-pressió.

La figura 1 combina un diagrama de Mollier, aquest té sobreposat el cicle de fred i un diagrama dels diferents elements que formen l'aire condicionat. El punt A ens dona el moment que el fluid del condensador es torna completament líquid, l'A' és aquest fluid amb el subrefredament important per assegurar l'estat líquid. El punt B és l'expansió, es troba amb una barreja entre líquid i gas. El C és quan s'obté tot el refrigerant evaporat i el C' hi ha el sobreescalfament, en el cas que el filtre estigui obstruït a l'evaporador li costaria més escalfar el refrigerant. Finalment, el D seria després de la compressió. Entre el C' i el D hi ha un augment de la entalpia, la energia interna del refrigerant, i la pressió perquè el compressor consumeix energia externa, ja sigui en forma elèctrica o cinètica.

Les màquines d'aire condicionat destinades a climatitzar als espais de treball normalment s'utilitzen per refredar i escalfar l'ambient. Aquesta climatització integral ho permet la vàlvula 4 vies. Aquesta vàlvula permet intercanviar l'evaporador amb el condensador i viceversa.

Aquest intercanvi és lent, la unitat necessita un temps per passar de fer fred a fer calor per igualar la pressió abans de fer el canvi. La funció d'aquesta vàlvula és mostra a la figura 2.

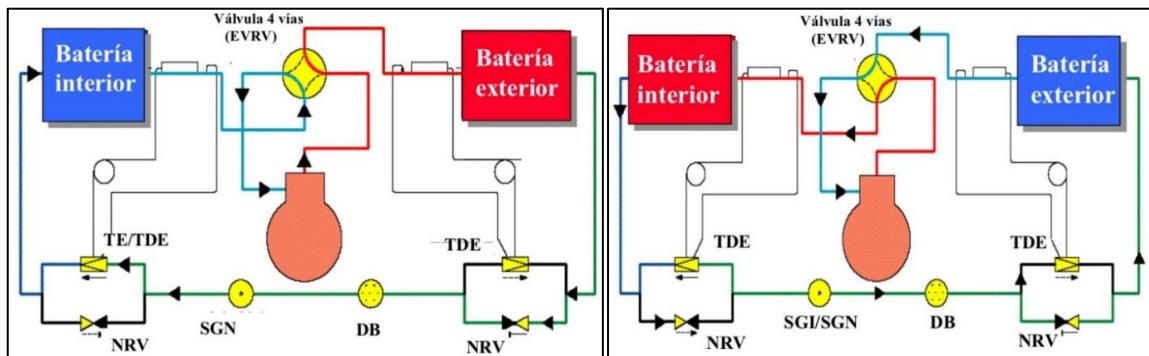


Figura 2. Vàlvula 4 vies en mode hivern a l'esquerra i estiu a la dreta.

Durant el cicle d'hivern s'ha d'evaporar el fluid amb l'ambient exterior, aquest procés d'escalfar el refrigerant entre 5 i 9 graus es complica quan l'ambient és més fred que el gas. És a dir, quan la temperatura exterior és inferior que la del gas es genera gel a l'intercanviador exterior. Aquest gel no permet el pas d'aire i s'ha d'eliminar, en aquest únic cas la vàlvula 4 vies canvia el cicle de treball sense esperar la compensació de la pressió. Una vegada el gas calent provinent del compressor ha desfet tot el gel, es torna a girar el mode de treball completant el desglaç de la unitat.

Els equips d'aire condicionat aprofiten una part de l'energia tèrmica del ambient, per aquesta raó no es parla del rendiment de la unitat sinó del coeficient de operació.

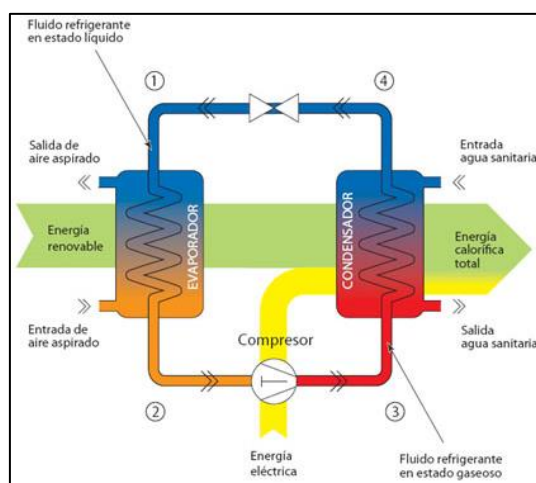


Figura 3. Energies d'un equip d'aire condicionat.

A la figura 3 és veu com l'energia elèctrica que consumeix l'equip és petita, fletxa groga, respecte l'energia total calorífica del condensador. Les unitats modernes tenen COP de 4 o

superiors, d'aquesta manera cada 4 kW d'energia del condensador 3kW els hem absorbit de l'habitació a refredar i només un quilowatt s'ha consumit de la xarxa elèctrica.

Les unitats que tenen un COP superior a 4,5 és consideren que són d'energia renovable i s'obtenen descomptes per la instal·lació d'aquestes. Aquesta tecnologia es comercialitza com aerotèrmia i permet una climatització integral de l'habitatge i a més escalfa dipòsits d'aigua calenta sanitària.

2.1 Unitat interior

En aquesta es troba l'intercanviador tubular entre l'ambient de la sala que s'ha de climatitzar i el refrigerant. Per moure l'aire té un motor-ventilador. Molts tipus de màquines porten làmines que dirigeixen l'aire i en tanquen la sortida. Finalment s'hi troba la interfície entre l'home i la màquina, amb displays i indicadors.

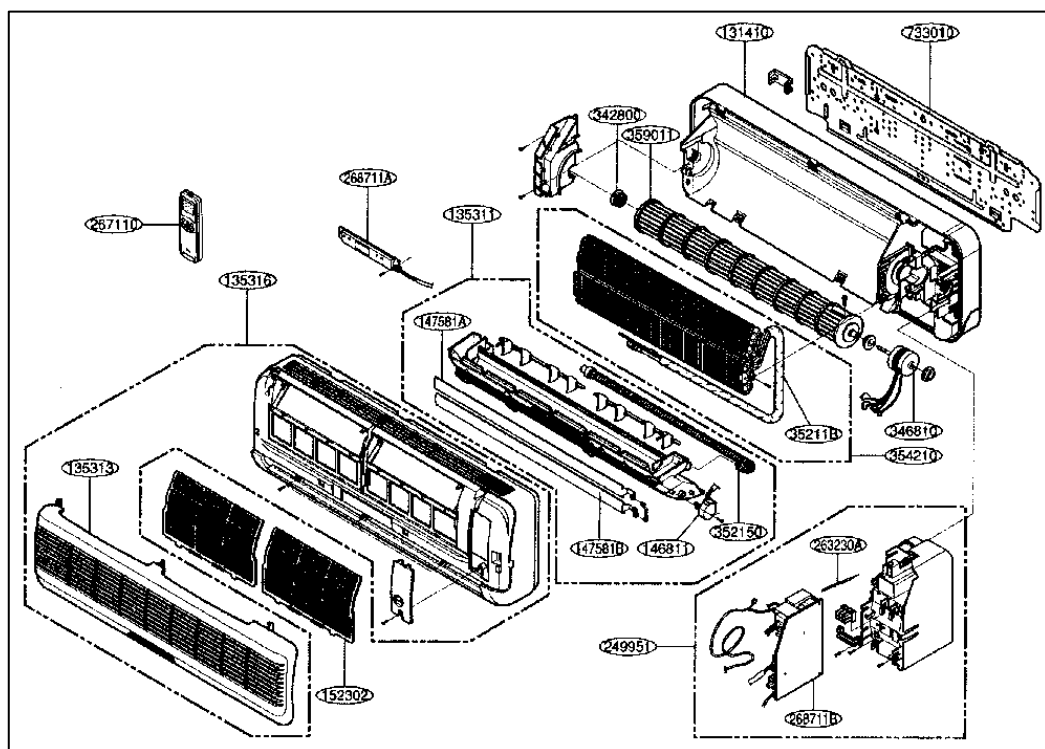


Figura 4. Especejament d'una unitat interior tipus Split.

A la figura 4 es veu l'especejament d'un Split, ens permet veure totes les peses que el componen, l'ordre en que es troben per poder-lo muntar o desmuntar i finalment ens dóna el numero de referencia de cada un dels components. En el cas que s'espatllés el motor pas a pas s'observa que és el component 146811, amb aquest número es pot demanar un recanvi a la fabrica i saber quines parts s'ha de desmuntar per poder-hi accedir.

Al principi, quan les unitats no tenien vàlvula 4 vies, a l'interior sempre s'hi trobava l'evaporador de la màquina, per aquesta raó els frigoristes coneixen la unitat interior com evaporador. L'intercanviador interior està protegit per uns filtres de pols. Durant el cicle d'estiu a l'evaporador es genera condensació de l'ambient. A causa que, els metalls de l'intercanviador es troben a una temperatura inferior del punt de rosada, la condensació, juntament amb la pols, obstrueix els canals de l'intercanviador. Una neteja exhaustiva de la unitat per desembossar l'intercanviador seria agressiva per l'evaporador i embrutaria el mobiliari del voltant de la instal·lació. Amb el filtre i una neteja regular del mateix s'evità.

La unitat interior té varies sondes de temperatura del tipus NTC. Aquestes sondes es fan servir per controlar la temperatura de la sala i per detectar anomalies en el funcionament. El termistor de l'ambient ens dona la temperatura en què es troba la sala.

Totes les unitats porten una NTC al mig de l'evaporador. Aquesta quan funciona a l'estiu ens indica avaries. Per exemple, si es fa gel ens indica una petita manca de gas, en el cas contrari, si tarda massa temps en arribar el gas fred pot ser una falta important de refrigerant. A l'hivern ens ajuda a controlar la velocitat del ventilador per obtenir una calefacció eficient. L'intercanviador s'escalfa abans no es posi en marxa la ventilació, si roman la ventilació apagada, ajuda a augmentar la pressió i la temperatura del gas ràpidament. Un bon control amb aquesta sonda ens permetrà una calefacció ràpida i confortable.

Algunes marques incorporen una tercera sonda a la sortida de l'evaporador. Aquesta permet monitoritzar la temperatura del tub d'aspiració. Aquest tub és el retorn del compressor, i si el filtre està obstruït podria retornar líquid cap el compressor. Aquesta sonda detecta quan s'ha de netejar els filtres per evitar que arribi líquid en el compressor.

La interfície entre l'home i la màquina normalment és un termòstat de paret o comandament a distància. Les unitats interiors duen en el xassís una pantalla on indica el mode de funcionament, la temperatura de consigna o la temperatura de l'habitació i el codi d'avaría en cas que n'hi hagi una.

Tal i com s'ha mencionat amb anterioritat, les unitats tenen un motor per la turbina o ventilador. Aquest motor pot ser de diferents tecnologies. El més comú és un motor monofàsic amb condensador per arrancar amb diverses velocitats. Normalment en té quatre: la ràpida, la

mitjana, la lenta i la silenciosa. En poques unitats hi ha motor sense escombretes amb rotor d'ímants permanents. Per aquests motors es necessita un bus de corrent contínua a 315V i un pont en H trifàsic per generar les tres senyals sinusoïdals d'alimentació del motor.

Últimament amb l'avanç tecnològic, les marques tendeixen a utilitzar-los cada cop més però amb les plaques electròniques de control integrades. Aquests motors necessiten el bus de continua de 315V, una alimentació de 15V en continua i, per últim, una senyal de control PWM.

Els models més cars solen portar un tacòmetre perquè la placa pugui realimentar-se amb la freqüència de gir del motor, sigui quina sigui la tecnologia del motor. Amb aquesta informació es pot predir un mal funcionament de la ventilació.

2.1.1 Tipus d'unitats interiors

Hi ha diferents tipus d'unitats interiors, cada una d'elles té diferents característiques i funcionalitats. No és igual refredar unes oficines, normalment són sales grans i altes; que un menjador particular d'una llar.

Les dues principals diferències entre les unitats interiors són la fletxa d'aire i el xassís exterior. La fletxa determina el volum que pot cobrir la màquina, tot i que també està determinat per la potència del conjunt. És important que la pressió estàtica del flux d'aire sigui suficient per climatitzar tota l'estança on s'ha instal·lat. Els splits són els evaporadors amb menys fletxa mentre que les unitats de conductes porten les turbines que poden desenvolupar més pressió.

El xassís està pensat per dues coses; per una banda protegir d'objectes externs que podrien malmetre alguns elements o infringir danys personals; per una altra a més dóna un punt de suport per penjar la màquina i té un punt estètic i de disseny per la sala a on s'ubica.



Figura 5. Tipus d'unitats interiors i exterior de Coolwell.

A la figura 5 surten les diferents configuracions d'unitats interiors. De dreta a esquerra terra-sostre, conductes, unitat exterior, split i cassette.

Tal i com s'ha descrit anteriorment, aquestes màquines són comandades o bé per un termòstat de paret o bé per un comandament a distància. Les unitats com els Split i els terra-sostres és molt habitual que portin comandaments a distància. Aquests aparells no solen ubicar-se a molta altura i fàcilment es pot accedir a les pantalles per visualitzar les averies o el seu estat de funcionament.

En el cas de l'aparell de conductes, sempre porten termòstat de paret. Aquestes màquines estan amagades dins de sostres falsos. Per últim, els evaporadors tipus cassette el més habitual és que utilitzin termòstats de paret, però va depèn de la marca i el lloc on s'instal·len. La figura 6 mostra un comandament a distància a l'esquerra i un termòstat de paret a la dreta.



Figura 6. Comandament a distància i termòstat de paret Coolwell.

Les unitats interiors, menys les de conductes, porten motors pas a pas. Aquests s'utilitzen per direccionar el caudal d'aire cap a la direcció que l'usuari prefereix, les restes d'unitats almenys en porten un. El principal motor es fa servir per obrir el flap horitzontal, aquest flap és l'encarregat de tancar i obrir el pas d'aire de la unitat. Alguns models interiors també incorporen un flap vertical, d'aquesta manera poden direccionar l'aire en totes direccions.

Últimament amb el creixement de l'internet de les coses, els evaporadors inclouen l'opció d'instal·lar un petit dispositiu WiFi que permet connectar l'aire condicionat en un servidor núvol. Aquesta millora, moltes vegades, ens permet augmentar les funcions de la màquina.

També alguns tipus d'unitats interiors, com els cassette i les màquines de conductes, han de dur bomba de condensats per poder evacuar l'aigua que generen. Aquesta bomba ha de ser una sortida booleana a 230V de corrent alterna. Són petits motors monofàsics que no es regulen. El sistema de desguàs necessita dues entrades booleanes, una que ens indica que s'ha de posar en marxa la bomba i una altra d'emergència, que s'activa quan s'acumula un accés d'aigua perquè no es pot evacuar.

2.2 Unitat exterior

El component més important és el compressor inverter. Perquè un equip es consideri inverter necessita que el compressor sigui sense escombretes i regulable en el règim de treball, habitualment des del 30% fins el 120% de la seva capacitat frigorífica. La resta d'elements poden ser regulables o tot o res. La figura 7 mostra un tall transversal del compressor.



Figura 7. Interior d'un compressor inverter.

A més, en el condensador hi trobem el motor-ventilador, la vàlvula 4 vies, la vàlvula d'expansió i la placa de control exterior. En funció de la potència frigorífica, hi poden haver-hi dos ventiladors de condensació.

Les vàlvules d'expansió electròniques que es troben a les unitats d'aire condicionat, es controlen de la mateixa manera que un motor pas a pas. A l'exterior hi ha la bobina que fa girar l'èmbol de l'interior del circuit refrigerant.

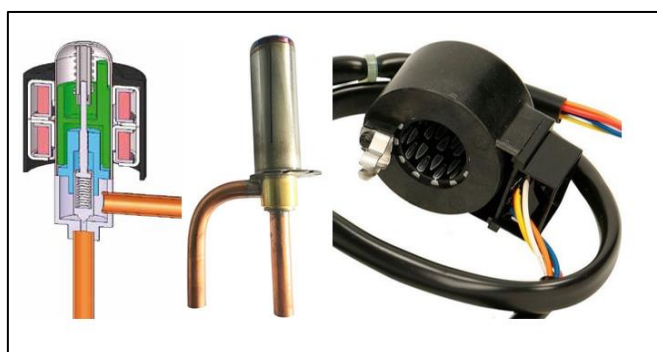


Figura 8. Vàlvula d'expansió electrònica.

A la figura 8 es veu la vàlvula d'expansió. A l'esquerra hi ha un tall transversal de la vàlvula. En el centre és el cos i a la dreta es veu la bobina exterior.

Encara es poden trobar vàlvules d'expansió per tub capil·lar o aquarater. Aquestes dues tipologies no permeten cap control i sempre tenen la mateixa expansió. Finalment, les unitats més grans antigament duien vàlvules d'expansió termostàtiques. Aquestes són regulades automàticament en funció de la temperatura que es troba l'evaporador, modificant el rendiment de la màquina.

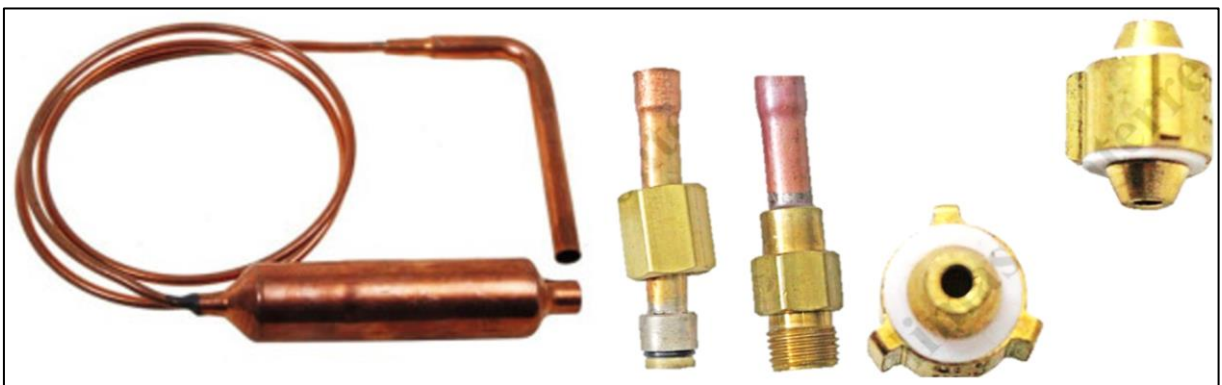


Figura 9. Tub capil·lar i aquarater.

A la figura 9 es veu a l'esquerra un tub d'expansió capil·lar, en el centre el suport d'un orifici d'expansió aquarater i a la dreta l'orifici.

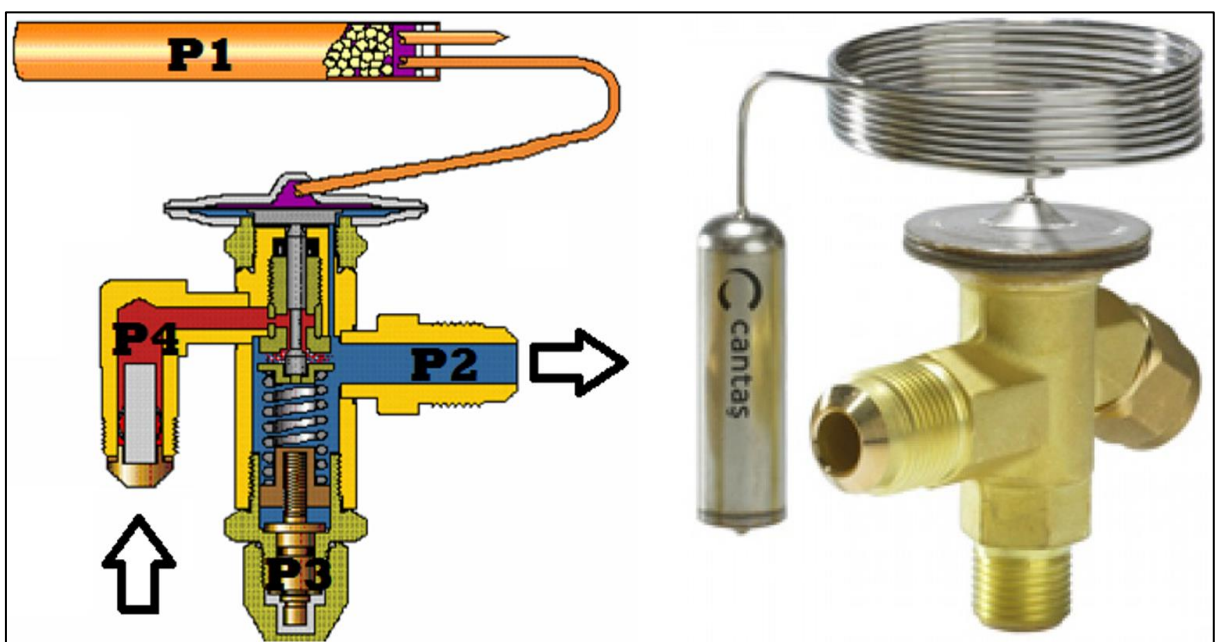


Figura 10. Vàlvula d'expansió termostàtica.

A la figura 10 és mostra un tall transversal de la vàlvula d'expansió termostàtica i tots els seus components interns.

Un altre component de la unitat exterior és la vàlvula reversible. Aquesta vàlvula gira el cicle d'estiu a hivern. El control de la vàlvula 4 vies és booleà i normalment les bobines treballen a 230V alterna.

La unitat exterior té varies sondes de control, totes porten una sonda de temperatura ambient, una de descàrrega del compressor i una al mig de l'intercanviador. Les unitats multi-interior a més porten un termistor a la sortida de cada vàlvula d'expansió.

La sonda ambient permet regular la velocitat del ventilador. La que es troba al mig de l'intercanviador, permet les mateixes operacions que a l'interior i, a més a més, indica si a l'hivern es congela i es necessita realitzar un desglaç. El termistor de descàrrega del compressor monitoritza que no es sobre-escalfi.

Les sondes de les vàlvules d'expansió electrònica supervisen que es distribueixi correctament l'energia del compressor. El coeficient de simultaneïtat pot provocar que en alguns moments no hi hagi suficient potència en el compressor i facilita la gestió.

Per últim, les unitats multi-split es poden trobar tenir el compressor a mínima potència i que les unitats interiors no puguin absorbir-la. Aquest accés de gas circula per la vàlvula de bypass. Aquesta permet transferir una quantitat de caudal màssic de refrigerant de la sortida del condensador a l'aspiració del compressor i assumir l'accés de refrigerant.

Els motors del condensador són iguals que l'evaporador i també tendeixen cap els motors sense escombretes de corrent contínua amb gestió electrònica interna.

2.3 Història dels refrigerants

El 1715 el físic i enginyer polonès Daniel Gabriel Fahrenheit utilitzant una barreja de neu i nitrat amònic establint el zero absolut i va establir el camí cap a la refrigeració moderna. El 1750 el químic i metge escocès William Cullen, va obtenir fred per evaporació d'aigua, pocs anys després, el 1754, en Joseph Priestley, un científic nord americà, va demostrar les propietats termodinàmiques del amoníac i del diòxid de carboni per la refrigeració.

La primera màquina de refrigeració per compressió de vapor va ser dissenyada per l'enginyer mecànic i físic nord americà Jacob Perkins. El 1859, l'enginyer francès Ferdinand Carré, va presentar la màquina d'absorció per amoníac. Aquesta màquina va ser la primera capaç de realitzar 200 kg de gel per hora, aquesta màquina estava basada en un sistema de gas-vapor inventat per l'australià James Harrison.

La refrigeració moderna per absorció d'efecte simple, basat en el mecanisme de F. Carré, refreda els minibars dels hotels. Aquest sistema no necessita cap compressor per funcionar, només un focus calent, per aquesta raó és ideal per estar en una habitació, ja que no fa cap soroll.

Moltes científics d'arreu del món segueixen investigant solucions per refrigerar, tots els disseny miraven de millorar els sistema per absorció o vaporització. Finalment l'any 1930 Thomas Midgley, un enginyer mecànic i químic nord americà, va presentar el primer freon modern, el R12. Aquest primer gas fluorat estableix les bases del futur de la refrigeració per compressió. Aquest nou fluid denominat frigorigen permetia un rendiment molt elevat respecte als altres sistemes inventats fins el moment.

L'enginyer Willis Carrier el 1902 va presentar les bases del aire condicionat modern i el concepte de climatització d'espais públics i privats. El 1922 va presentar la refredadora centrífuga un nou compressor que aprofitava més be la potència mecànica del compressor. Finalment el 1928 amb la combinació del compressor de Carrier i els nous freons es va presentar la refrigeració residencial.

Els gasos usats durant anys eren molt contaminants, el R12 i el R22, provocant un desgast de la capa d'ozó, per aquesta raó s'han substituït per nous refrigerants. El conveni establert a Montreal prohibia l'ús d'alguns refrigerants per contaminants i estableix que els nous gasos haurien de tenir una curta vida a l'atmosfera.

El 2004 començava les restriccions de fabricació dels primers freons. Els nous gasos que s'obtenen busquen dos solucions. Per una banda substituir el R22, com per exemple el gas RS44 o R407C, aquestes treballen amb pressions similars. Per l'altre es comença la implementació de gasos ecològics, com per exemple el R410A, que treballa a més del doble de pressió però amb un rendiment superior.

Els gas ecològic no és res més que una transició cap al futur, per una banda permet que els instal·ladors s'adaptin el R32, aquest és inflamable però molt poc contaminant i el gas d'un futur immediat a partir del 2020. També dona temps a perfeccionar el futur de la refrigeració amb el CO₂.

Tot i que el 1872 Thadeus S.C. Lowe, un científic nord americà presenta la refrigeració per CO₂, aquest sistema presenta reptes molt difícils de solucionar a l'època. Aquest, per obtenir un rendiment adequat, s'ha de comprimir per sobre el punt transcrític del diagrama de Mollier.

La refrigeració per diòxid de carboni és el sistema menys contaminant, encara al 2019 hi ha algun problema per solucionar, però es comencen a proposar sistemes de climatització integral de grans superfícies a països nòrdics. És parla de sistemes integrals perquè d'una sola màquina s'obtenen temperatures de congelació d'aliments, temperatures de conservació d'aliments i climatització de sales i finalment alta temperatura per ACS o calefacció.

El futur de la climatització és el CO₂ però per a una implementació en zones càlides i climatització domèstiques falten alguns anys per obtenir bons resultats.

3 Placa principal.

Aquesta placa serà compatible tant amb la màquina interior com amb l'exterior. Contindrà tots els elements necessaris per generar els diferents voltatges que necessiten els diferents sensors, actuadors i microcontroladors per poder funcionar. A més, tindrà els adaptadors de tensió per la comunicació entre plaques. A través de la instal·lació elèctrica serà referenciada amb el neutre de la instal·lació elèctrica monofàsica de la llar, però amb el microcontrolador serà amb nivells TTL 5V DC. El seu controlador central serà un PIC 16F8877 de 8 bits. La figura 11 és un diagrama de totes les parts de la placa.

La figura 11 és un diagrama amb tots els sensors i actuadors de la placa, com estan relacionats i si aquests són necessaris a la màquina interior, a la exterior o ambdues.

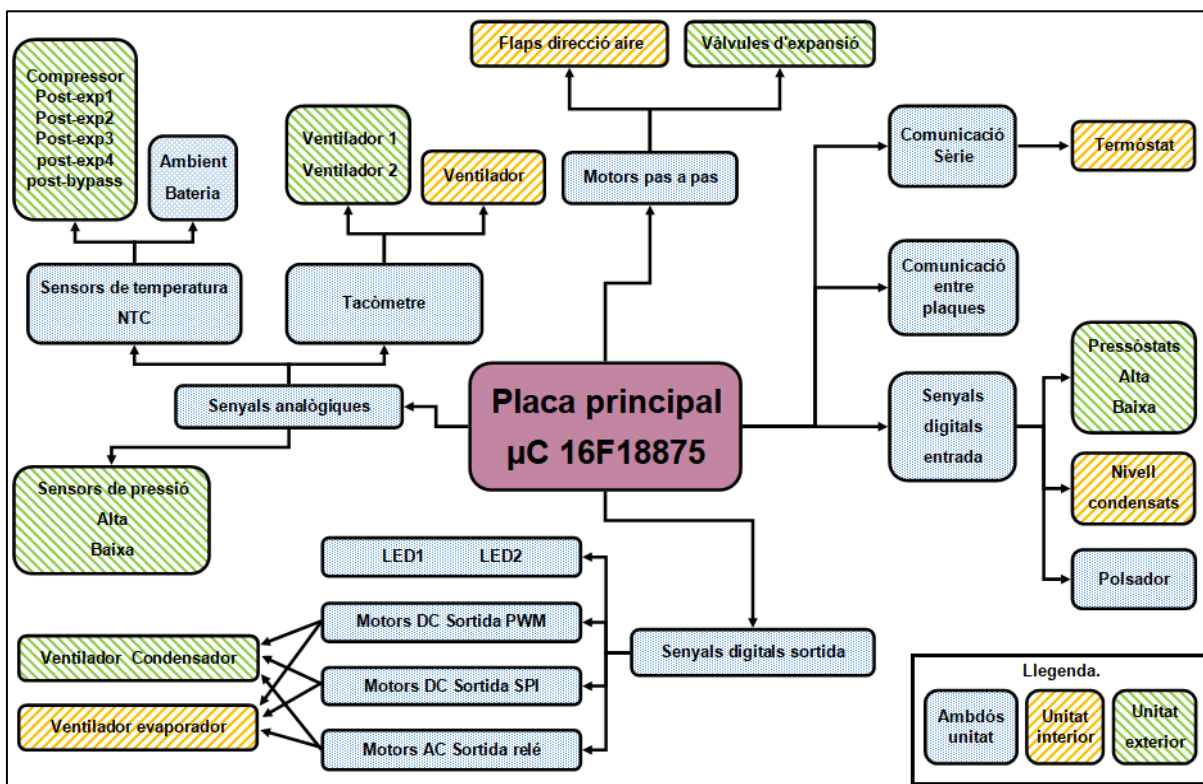


Figura 11. Distribució de la placa.

Aquest circuit imprès contindrà els dispositius necessaris per llegir i controlar els diferents sensors i actuadors que necessita per funcionar un aire condicionat inverter.

La adquisició ha de ser compatible amb els sensors de la màquina interior i l'exterior. Els sensors de temperatura són NTC i s'obtenen temperatures de les dues unitats. Els dos sensors de pressió del gas només són necessaris en algunes unitats exteriors, aquests

mesuren la succió i la impulsió del compressor. Finalment es llegeixen les entrades booleans, en l'evaporador el nivell d'aigua de condensats i en l'exterior pressòstats d'alta, baixa i clixon del compressor.

Per l'altra banda s'ha d'actuar en els motors pas a pas, tant la màquina interior com l'exterior en poden dur. En la interior, controlen els flaps de direcció de l'aire, en canvi, en el condensador es troben aquests motors en les vàlvules d'expansió electròniques.

A més a més hi ha sortides booleans pels diferents motors AC, com per exemple, les bombes de condensats o motors de ventilació amb velocitats. En el cas d'un motor DC trifàsic sense escombretes tindrà el seu propi controlador i ens comunicarem amb ell a través d'un bus SPI.

3.1 NTC

Un termistor NTC (*Negative Temperature Coefficient*) és una resistència variable, el valor de la qual va decreixent a mesura que augmenta la temperatura. Són resistències de coeficient de temperatura negatiu, constituïdes per un cos semiconductor, el coeficient de temperatura del qual és elevat, és a dir, la seva conductivitat creix molt ràpidament amb la temperatura.

El primer termistor NTC va ser descobert el 1833 per en Michael Faraday, qui es va fixar amb el comportament del sulfur de plata. Faraday va notar que la resistència d'aquest semiconductor disminuïa ràpidament a mesura que s'augmentava la temperatura. Aquesta relació entre la resistència i la temperatura no és lineal sinó que és exponencial Tal i com es mostra a la Eq1.

$$R_T = R_0 e^{\left\{ \beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right\}} \quad (\text{Eq.1})$$

On:

R_T és la resistència en funció la temperatura en Kelvin.

R_0 és la resistència de referència a una temperatura T_0 en Kelvin.

β és una constant que defineix el comportament del sensor.

T_0 és la temperatura de referència del sensor en Kelvin (298K).

T és la temperatura a mesurar.

Els valors de NTC que es poden trobar en un equip d'aire condicionat són: 10k Ω , 15k Ω , 20k Ω , 25k Ω , 50k Ω , 100k Ω i 200k Ω ; En funció de la marca, la potència de l'equip i la temperatura que s'hagi de mesurar.

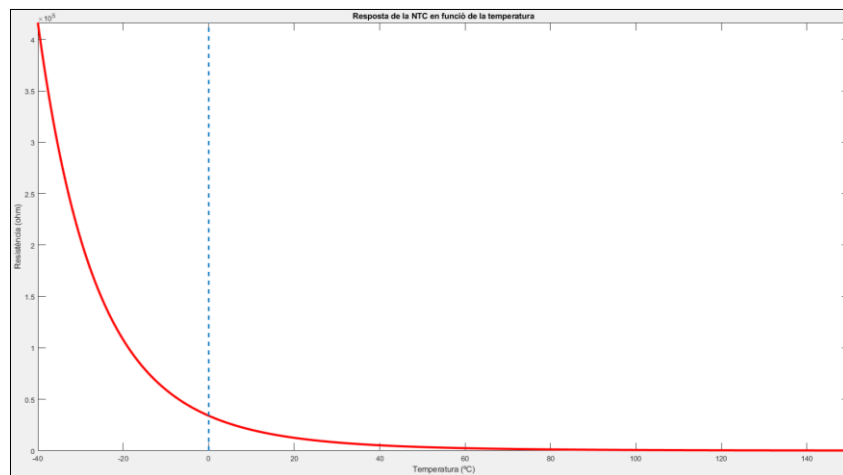


Figura 12. Gràfica del comportament de la NTC.

La figura 12 mostra el comportament exponencial de la NTC, en concret és una sonda de 10kΩ de la marca TDK i model B57800K0103A001.

En un equip d'aire condicionat s'ha de monitoritzar la temperatura ambient interior i exterior, la temperatura de l'intercanviador interior i exterior. Finalment en la unitat exterior s'ha de supervisar la temperatura de descàrrega del compressor i en el cas que hi hagi vàlvules d'expansió electròniques, la temperatura del gas després d'expansionar-se.

Els diferents valors nominals dels termistors són necessaris per detectar diferents rangs de temperatura, les sondes d'ambient han de detectar temperatures de -20 a 45°C, les sondes dels intercanviadors i post-expansió és un rang molt similar, de -10 a 60°C. Les sondes de la descàrrega del compressor detecten un rang de 45 a 120°C com a màxim.

Els diferents rangs de temperatura que s'han de detectar fan que sigui necessari treballar amb diferents valors nominals de la NTC. Els sensors de 10kΩ tenen una bona resolució per detectar temperatures al voltant de l'ambient, però per detectar la temperatura de descàrrega del compressor, tindrà un error important per la intensitat que la travessa.

Aquesta intensitat provoca que augmenti la temperatura del sensor, apareixent el fenomen d'auto-escalfament. És per aquesta raó que és necessari una NTC de resistència més elevada, com la de 100kΩ, per poder mesurar temperatures més altes.

La característica tensió-intensitat (V/I) d'un termistor NTC presenta un caràcter peculiar, ja que, quan els corrents que la travessa són petits, el consum de potència serà massa petit per

registrar uns augments apreciables de temperatura, és a dir, descensos en la seva resistència òhmica. En aquesta part de la característica, la relació tensió-intensitat serà pràcticament lineal i com a conseqüència complirà la llei d'Ohm.

Si es segueix augmentant la tensió aplicada al termistor, s'arribarà a un valor d'intensitat que la potència consumida provocarà augments de temperatura interns, suficientment importants perquè la resistència del termistor NTC disminueixi apreciablement. Aquest és el fenomen d'auto-escalfament.

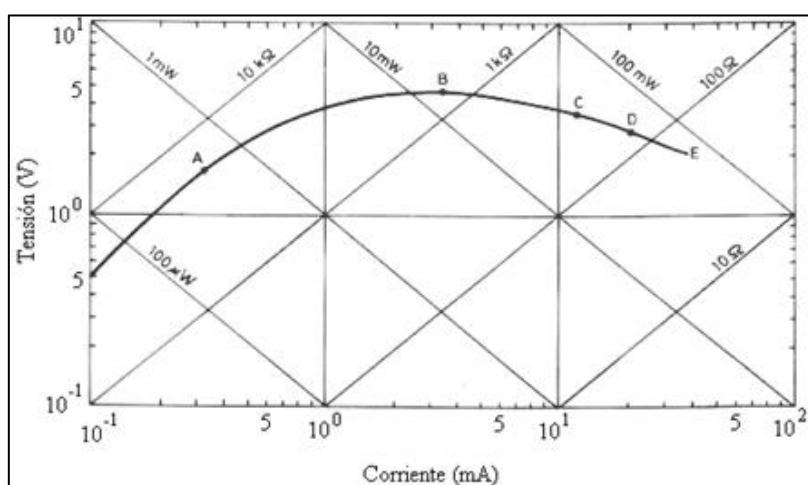


Figura 13. Auto-escalfament NTC.

Tal com es mostra a la figura 13, a partir del punt A comencen els efectes d'auto-escalfament d'un termistor NTC. Aquesta corrent fa escalfar el sensor llegint la temperatura de forma incorrecte. Quan s'arriba al punt B deixa d'augmentar la caiguda de tensió, a conseqüència d'un equilibri entre la tensió i el corrent aplicat al sensor. A partir d'aquest punt el termistor mantindrà l'error.

Els valors més típics de resistència per mesurar la temperatura dels tubs i l'ambient és de 10kΩ. En canvi, per la descàrrega del compressor és de 100kΩ.

3.1.1 Comportament de la NTC

La NTC, tal i com ja s'ha vist a l'equació 1, és exponencial i per evitar haver de realitzar aquests càlculs en el PIC és linealitzarà la senyal dins d'un rang de temperatures.

En aquest apartat és donarà com exemple d'adequar el senyal de un termistor de la marca TDK i model B57800K0103A001. Aquest sensor és de 10kΩ amb una β de 3988 K i un factor

de dissipació de 5mW/K. Les gràfiques són extretes d'un scrip de MATLAB on es simula el comportament d'aquest sensor.

Per detectar els canvis de la resistència provocada per la temperatura en el microcontrolador es farà a través d'un divisor de tensió amb una resistència sèrie. El procés de monitorització de la temperatura necessita fins a 8 entrades analògiques. Amb un multiplexor analògic, extern al microcontrolador, es poden reduir els pins ocupats a 4, una entrada analògica i 3 sortides digitals. Gracies aquest integrat s'han reduït a la meitat els pins utilitzats del microcontrolador. La connexió del multiplexador amb els termistors i la resistència sèrie es mostra a la figura 14.

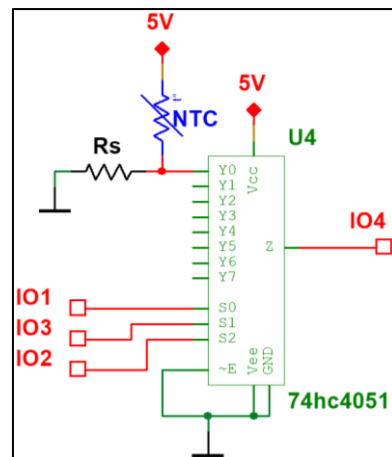


Figura 14. Connexió NTC i multiplexor analògic.

El voltatge del divisor de tensió té la següent resposta:

$$V_o(T) = \frac{R_s}{R_s + R_T} \cdot V_{cc} \quad (\text{Eq.2})$$

On:

$V_o(T)$ és el voltatge a la sortida del divisor en funció la temperatura.

R_s és la resistència sèrie del divisor.

V_{cc} és el voltatge d'alimentació aplicat al divisor de tensió.

R_T és la resistència del sensor en funció de la temperatura.

Per linealitzar-ho s'ha de fer coincidir el punt d'inflexió de la corba que s'obté amb l'equació 2 amb la temperatura mitja que el sensor mesurarà. Per exemple si el rang de temperatures és de -10 a 40°C la temperatura mitja és de 15°C.

Per trobar la resistència sèrie adequada per a cada termistor i la temperatura mitja s'ha de derivar dues vegades l'equació 2 i igualar-la a 0. S'obté la següent equació:

$$R_s = \frac{\beta - 2T_c}{\beta + 2T_c} \cdot R_{TC} \quad (\text{Eq.3})$$

On:

R_s és la resistència sèrie del divisor de tensió.

β és una constant que defineix el comportament del sensor.

T_c és la temperatura del centre on es vol linealitzar el sensor.

R_{TC} és la resistència del sensor de la temperatura del centre on es vol linealitzar el sensor.

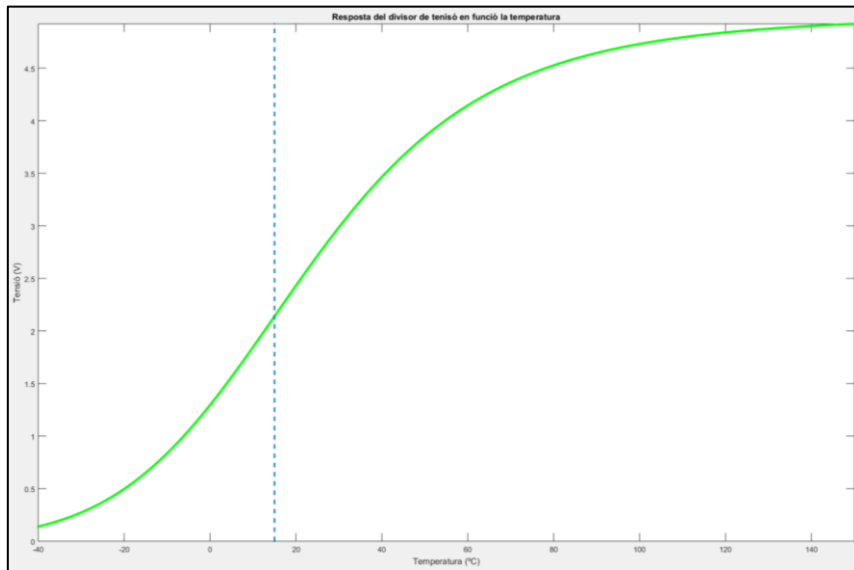


Figura 15. Comportament del la sonda linealitzada.

A la figura 15 es mostra la tensió de la sortida del divisor de tensió en funció de la temperatura que es troba la NTC. La vertical blava a 15°C és la temperatura centre on s'ha linealitzat al sensor amb una R_s de 11.890,35Ω. És pot observar tota una zona lineal al voltant d'aquest valor, aquesta recta es calcula mitjançant paràmetres del sensor NTC.

A la figura 15 també es mostra que hi ha una zona entre -5 i 40°C on la relació entre la temperatura i el voltatge completament lineal i segueix l'equació 4.

$$V_o = S(T - T_c) + V_o(T_c) \quad (\text{Eq.4})$$

On:

S és la sensibilitat de la recta de linealització.

V_o és el voltatge de sortida del sensor.

$V_o(T_c)$ és el voltatge de offset que ofereix el divisor de tensió.

β és una constant que defineix el comportament del sensor.

T_c és la temperatura del centre on es vol linealitzar el sensor.

La sensibilitat de la recta s'obté a partir dels paràmetres de la NTC, la tensió d'alimentació i la temperatura mitja del rang de detecció. Es mostra a la equació 5.

$$S = \frac{V_{CC}}{\beta} \cdot \left(\frac{\beta^2}{4 \cdot T_c^2} - 1 \right) \quad (\text{Eq.5})$$

On:

S és la sensibilitat de la recta de linealització.

V_{CC} és el voltatge d'alimentació aplicat al divisor de tensió.

β és una constant que defineix el comportament del sensor.

T_c és la temperatura del centre on es vol linealitzar el sensor.

El terme independent té més a veure amb el voltatge del divisor de tensió, en concret quan la resistència del sensor és igual a la resistència sèrie. Es mostra a la equació 6.

$$V_0(T_c) = \frac{V_{CC} \cdot R_s}{R_s + R_{TC}} \quad (\text{Eq.6})$$

On:

$V_0(T_c)$ és el terme independent de la recte de linealització.

V_{CC} és el voltatge d'alimentació aplicat al divisor de tensió.

R_s és la resistència sèrie del divisor de tensió.

R_{TC} és la resistència del sensor de la temperatura del centre on es vol linealitzar el sensor.

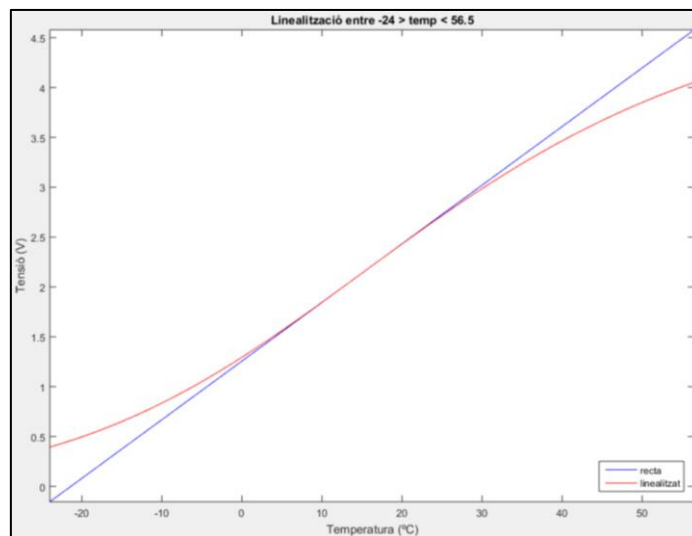


Figura 16. Sortida del divisor de tensió amb la recta de linealització

Amb aquesta linealització de la figura 16 es sotmet la NTC a una intensitat variable, aquest corrent pot provocar un escalfament en el sensor. Aquest provoca un error a la lectura i és considerat si és suficientment significatiu per l'aplicació.

L'auto-escalfament segueix el teorema de la màxima transferència de potència, això significa que en el moment que les dues resistències, la resistència sèrie i el termistor, siguin iguals serà el moment on és dissiparà més potència en el sensor.

$$\Delta T = \frac{\left(\frac{V_{CC}}{R_S + R_T}\right)^2 \cdot R_{TC}}{\delta}$$

(Eq.7)

On:

ΔT és l'increment de temperatura produït per la intensitat del divisor de tensió en Kelvin.

R_S és la resistència sèrie del divisor de tensió.

δ és la constant de dissipació del sensor.

V_{CC} és la tensió que s'alimenta el divisor.

R_T és la resistència del sensor a la temperatura mesurada.

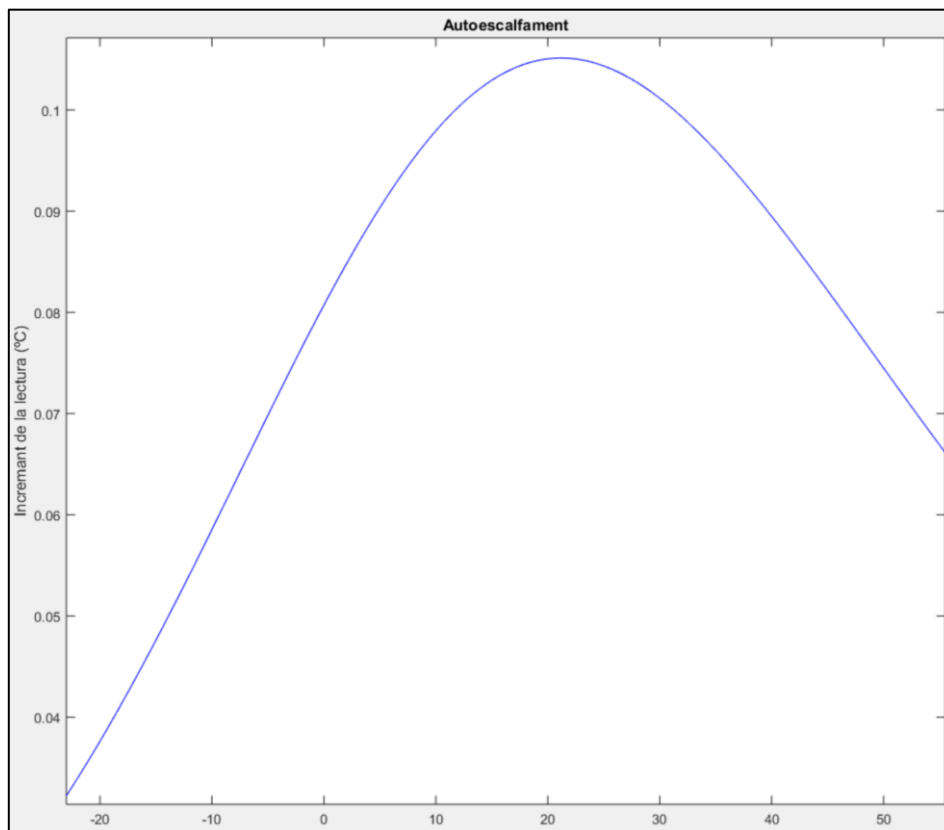


Figura 17. Increment de la temperatura del sensor provocat per l'auto-escalfament

A la figura 17 s'observa que el màxim error per auto-escalfament es produeix el voltant de 20°C i no quan la temperatura és més alta i per tant la intensitat és més elevada.

A la figura 18 es compara el comportament del sensor teòric quan es té present el auto escalfament. Les gràfiques amb vermell són el comportament de la NTC i en blau la recta linealitzada obtinguda a partir dels paràmetres de la NTC. A la gràfica de la dreta és sense tenir amb compte l'auto-escalfament en canvi la de l'esquerra té present els efectes tèrmics provocats pel corrent que passa pel divisor de tensió. S'observa com és modifica el comportament del sensor. Per permetre millor la visualització s'ha modificar el coeficient de dissipació del sensor de 5 a 0.5mW/K.

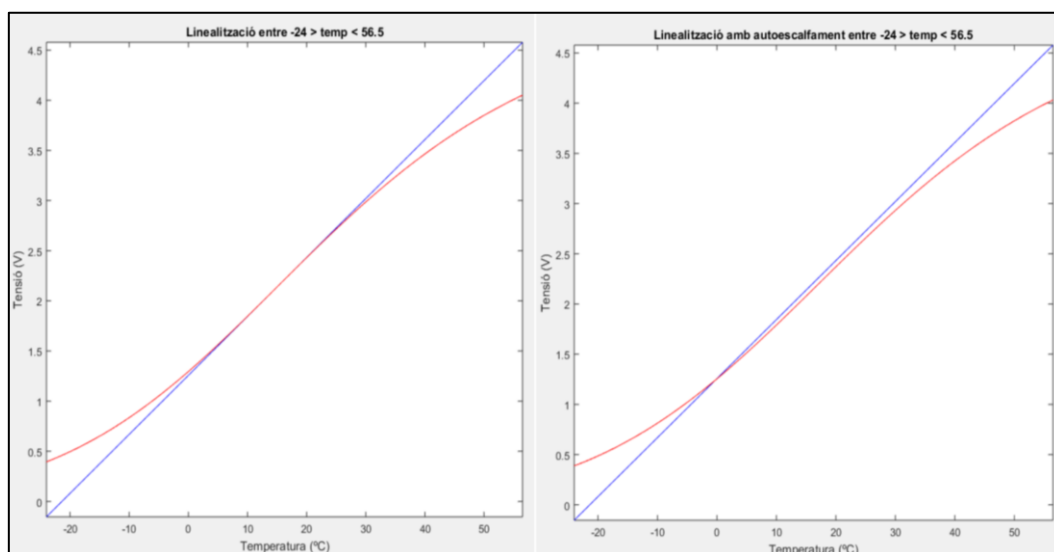


Figura 18. Comparació del comportament teoria i el real amb auto escalfament.

Finalment es fa una regressió lineal del comportament global del sensor per poder augmentar el rang de temperatura i minimitzant l'error. Aquesta regressió té en compte el fenomen de l'auto-escalfament, que el convertidor ADC del PIC és discret i té 10 bits. També s'ha invertit la temperatura i el voltatge de les gràfiques anteriors, d'aquesta manera des del valor que retorna el convertidor analògic a digital es sap directament la temperatura del sensor.

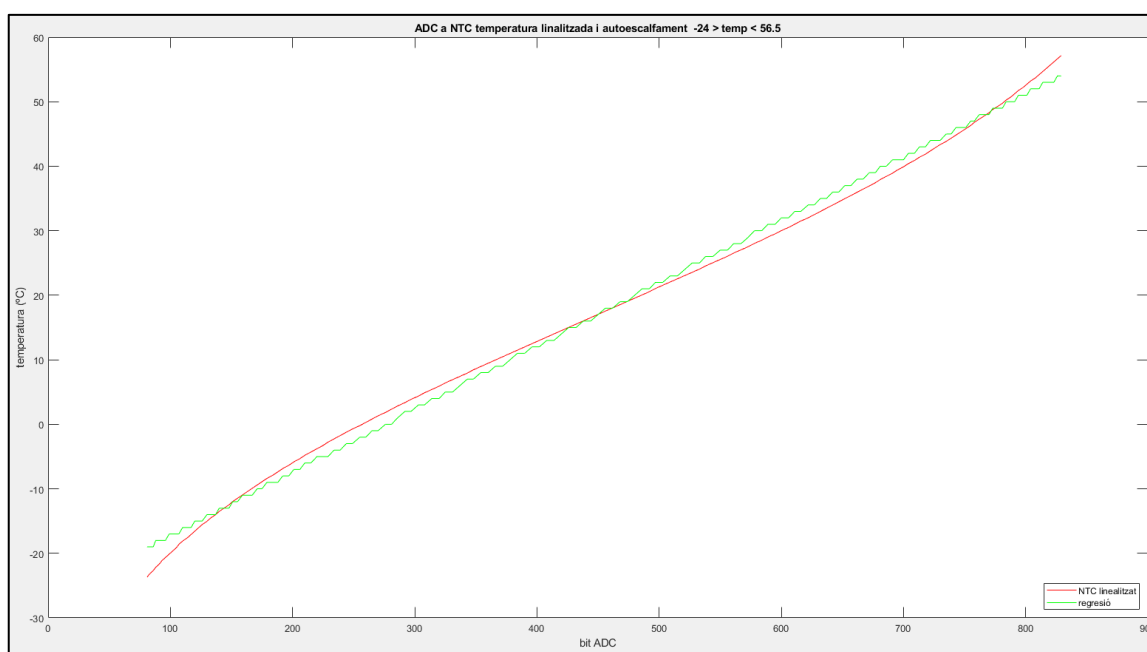


Figura 19. Regressió lineal de la NTC.

La recte resultant de la regressió lineal, a la figura 19, permet convertir directament el valor que retona el convertidor analògic digital a graus centígrads, per cal conèixer el pendent i el terme intendent de la recta resultant amb la forma de la equació 8.

$$T=m \cdot \text{ADC}+b \quad (\text{Eq.8})$$

On:

T és la temperatura que detecta el sensor en °C.

m és el pendent de la recta resultant en °C/LSB.

ADC és el l'enter que retorna el convertidor analògic digital.

b és l'ordenada de la recta resultant en °C.

Per saber la resolució de la lectura, una vegada digitalitzada, es calcula el canvi mínim de temperatura que el convertidor serà capaç de detectar. Per fer-ho cal tenir present que el PIC té 10 bits en el ADC. És mostra a la equació 9.

$$\Delta T = \frac{T_{\max} - T_{\min}}{\frac{\% \text{ADC}}{100} \cdot 2^n} \quad (\text{Eq.9})$$

On:

ΔT és l'increment mínim de temperatura que podem detectar.

T_{\max} és la temperatura màxima del sensor.

T_{\min} és la temperatura mínima del sensor.

%ADC és el percentatge d'ús del convertidor analògic digital.

n són els bits del convertidor.

En el projecte hi ha diferents sensors NTC. Els càlculs de les diferents NTC es realitzen a través d'un script de MATLAB. Per executar-lo, cal abans introduir, en forma d'un array a la capçalera del programa, les característiques tècniques de les sondes: R_0 , β i δ . També la tensió d'alimentació, l'error que es permet produir a la linealització i la temperatura mitja del rang de detecció.

Finalment les característiques del convertidor ADC: els bits de la conversió, el voltatge màxim i el mínim. Amb tota aquesta informació l'script troba la resistència sèrie, els errors per auto-escalfament i la regressió lineal, volca tota aquesta informació en un fitxer, NTC.h, que s'inclou en el projecte del MPLAB. En aquest s'inclouen les funcions i les rectes per utilitzar directament la sonda. Aquest programa està a l'ANNEX B.

Amb anterioritat s'ha parlat que s'ha d'adquirir la temperatura a 8 ubicacions diferents. Cada ubicació té rangs de temperatura diferents, però la temperatura ambient, la del intercanviador i post-expansió permet utilitzar el mateix sensor, el rang de temperatura a detectar és de -20 a 60°C. En canvi per la descàrrega amb temperatures entre 60 i 100°C s'usarà una de diferent. A la taula 1 hi ha les característiques de les diferents sensors emprats.

E.M.	R0(K Ω)	β (K)	δ (mw/K)	Ubicació	Marca	Model
Y0	10,00	3.988,00	5	Ambient	TDK	B57800K0103A001
Y1	10,00	3.988,00	5	Tub intercanviador	TDK	B57800K0103A001
Y2	100,00	4.190,00	23	Descàrrega compressor	VISHAY	NTCALUG01A104F
Y3	10,00	3.988,00	5	Post-expansió 1	TDK	B57800K0103A001
Y4	10,00	3.988,00	5	Post-expansió 2	TDK	B57800K0103A001
Y5	10,00	3.988,00	5	Post-expansió 3	TDK	B57800K0103A001
Y6	10,00	3.988,00	5	Post-expansió 4	TDK	B57800K0103A001
Y7	10,00	3.988,00	5	Post-expansió bypass	TDK	B57800K0103A001

Taula 1. Entrades del multiplexador, característiques de la NTC i ubicacions dels sensors.

A la taula 1 hi ha la ubicació de cada un dels sensors, la entrada que fa servir del multiplexador i les característiques principals com la resistència nominal a 25°C (R0), el paràmetre beta (β) finalment el coeficient de dissipació (δ) que ens indica la capacitat del sensor per evitar l'auto-escalfament. Finalment indica la marca i el model del sensor.

Ubicació	Unitat	Tc0	Tmin	Tmax	e (%)	AE (°C)
Ambient	Interior i exterior	15,00	-16,00	48,00	0,93	0,10
Tub intercanviador	Interior i exterior	28,00	-10,00	69,00	1,49	0,02
Descàrrega compressor	Exterior	70,00	18,00	126,00	2,13	0,08
Post-expansió 1	Exterior	28,00	-10,00	69,00	1,49	0,02
Post-expansió 2	Exterior	28,00	-10,00	69,00	1,49	0,02
Post-expansió 3	Exterior	28,00	-10,00	69,00	1,49	0,02
Post-expansió 4	Exterior	28,00	-10,00	69,00	1,49	0,02
Post-expansió bypass	Exterior	28,00	-10,00	69,00	1,49	0,02

Taula 2. Característiques dels diferents sensors NTC i el rang de linealització.

La taula 2 hi ha la temperatura mitja (Tc0) on es linealitzava cada NTC. La resta de columnes ens les dona el programa de MATLAB: el rang de temperatures que permet adquirir amb l'error (e(%)) i l'increment màxim de temperatura a conseqüència de l'auto-escalfament.

Ubicació	Rs(Ω)	m (°C/LSB)	b (°C)	%ADC (%)	ΔT (°C)
Ambient	11.890,35	0,09	-25,58	64,42	0,10
Tub intercanviador	6.455,63	0,10	-17,09	69,01	0,11
Descàrrega compressor	11.377,95	0,13	13,56	72,34	0,14
Post-expansió 1	6.455,63	0,10	-17,09	69,01	0,11
Post-expansió 2	6.455,63	0,10	-17,09	69,01	0,11
Post-expansió 3	6.455,63	0,10	-17,09	69,01	0,11
Post-expansió 4	6.455,63	0,10	-17,09	69,01	0,11
Post-expansió bypass	6.455,63	0,10	-17,09	69,01	0,11

Taula 3. Us del ADC del μC i sensibilitat del sensor.

A la taula 3 es mostren els paràmetres que ens retorna l'script de MATLAB, la resistència sèrie, la sensibilitat i el terme independent de la regressió lineal, l'ús del ADC i la resolució que es capaç de detectar el programa.

Per monitoritzar les temperatures del aire condicionat és suficient detectar un increment de mig grau, amb la pitjor resolució obtinguda és de $0,14^{\circ}\text{C}$, és més que suficient per l'aplicació d'un aire condicionat i per aquesta raó no necessita cap més adequació per aprofitar millor el convertidor analògic digital del PIC. El programa .h que genera el MATLAB per detectar la temperatura des del ADC només retorna graus centígrads sense decimals.

3.2 Motors pas a pas

Un motor pas a pas és un dispositiu electromecànic que converteix un seguit d'impulsos elèctrics en moviment angular discret, és un motor elèctric síncron sense escobres. Per poder aconseguir una rotació mecànica completa s'ha de realitzar la seqüència correcte de passos elèctrics. La seqüència elèctrica és divideix en 4 passos o bé per 8 semi-passos. Per a cada pas el rotor gira un angle determinat pel tipus de rotor.

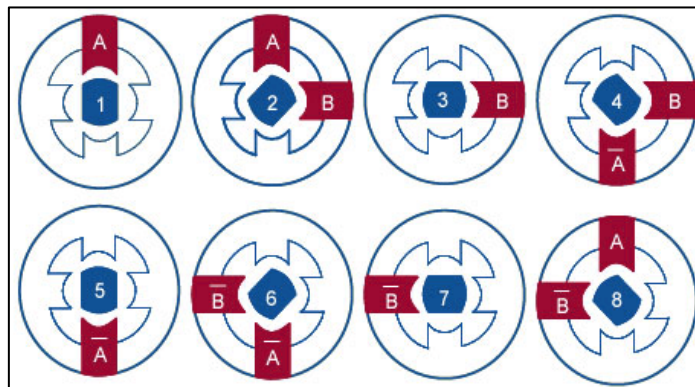


Figura 20. Excitació de les bobines.

La figura 20 mostra la seqüència d'excitació de 8 semi-passos, en aquest cas amb els 8 passos es genera una rotació mecànica completa, aquest és un cas comú amb els rotors d'imants permanents. Aquests motors, porten uns engranatges per reduir el velocitat angular i millorar la precisió al posicionament. Els motors de reluctàncies variable no necessiten aquestes engranatges, ja que solen tenir 200 passos elèctrics per assolir una revolució mecànica.

Existeixen diferents tipus de motors pas a pas. Es poden classificar per el tipus de rotor o l'estator.

En funció del rotor, s'obtenen motors de reluctància variable, aquests tenen un seguit de dents en el rotor i quan s'excita una de les bobines, la dent més pròxima se sent atreta i apareix el moment angular que mou un petit angle el rotor. Aquests motors són els més precisos. Es poden obtenir moviments de $1,8^\circ/\text{pas}$. En segon lloc els rotor d'imants permanents, aquests permeten moviments angulars més grans. El moviment més petit que permet és un angles de $7,5^\circ$ i s'obté amb un rotor de 24 parells de pols magnètics. Aquests motors premen obtenir millor parells, fins i tot quan no hi ha cap bobina excitada té un parell residual.

Finalment un rotor híbrid. Aquest és d'imants permanents dentats s'obté angles de gir fins a $1,8^\circ$, com els de reluctància variable però amb parells més grans com els d'imants.

L'estator d'aquests motors estan construïts per dues bobines, conegudes com a A i B, un extrem és coneix com a A+ i el oposat de la mateixa bobina com a A-. Si només hi ha les dues bobines, són motors bipolars de quatre fils i aquests motors no permet l'ús del semi-pas ja que s'ha d'obtenir la inversió completa del flux magnètic generat pels debanats. Els estators unipolars tenen una connexió en el centre de la bobina, aquests poden ser de 5 o de 6 cables.

La diferència entre els motors de 5 i de 6 fils és que els de 6 fils si es deixen al centre de la bobina en tercer estat, s'obté un motor bipolar i, si aquests s'uneixen i és connecten a la alimentació s'obté un motor unipolar de 5 fils. A la figura 21 hi ha les connexions dels bobinats del motor

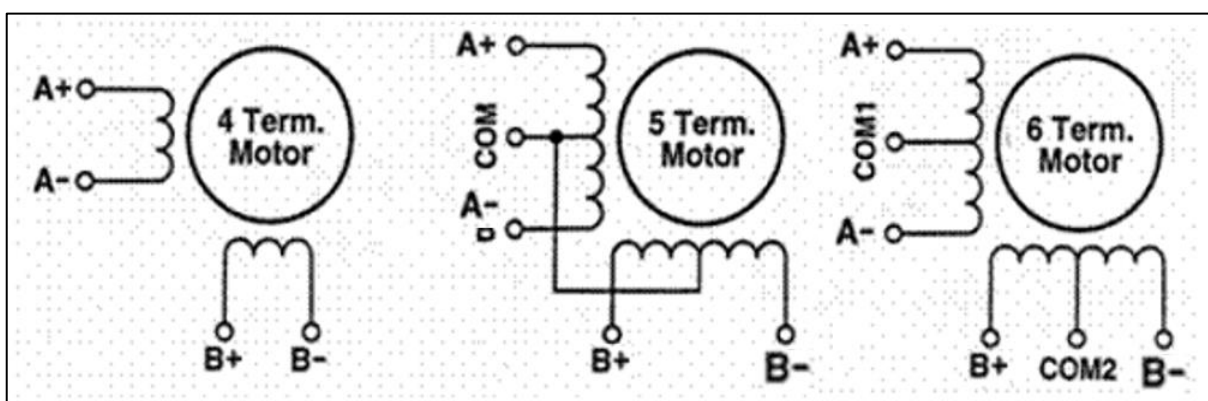


Figura 21. Diferents tipus connexions de les bobines d'un motor pas a pas.

Tal i com ja s'ha esmentat amb anterioritat, és important fer la seqüència d'excitació correcte de les diferents bobines per generar el moment angular correcte per la rotació del rotor. Els motors amb rotor de reluctància variable i estator unipolar tenen una seqüència elèctrica de 4

o bé de 8 passos, la resta de motors només de 4. Si un motor necessita més precisió a la rotació, es pot utilitzar a 8 en comptes de 4 i fer passos mitjos. En funció de si es segueix la taula 4 en ordre creixent o decreixent es farà girar el motor a dretes o a esquerres.

Bobina	Seqüència de 8 passos								Seqüència de 4 passos			
	Pas1	Pas2	Pas3	Pas4	Pas5	Pas6	Pas7	Pas8	Pas1	Pas2	Pas3	Pas4
A+	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0
B+	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1
A-	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1
B-	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0

Taula 4. Seqüència elèctrica dels passos.

A la placa hi ha sis L298N i un integrat que conté 2 ponts en H, que es poden utilitzar com a driver de potència per fer la seqüència dels motor pas a pas. Aquest integrat necessita uns díodes en antiparal·lel per protegir els semiconductors de l'interior quan treballa amb molta potència. A més a més d'uns condensadors recomanats pel fabricant per desacoblar el soroll blanc que genera amb la commutació del integrat. A la figura 22 hi ha l'esquema de l'integrat.

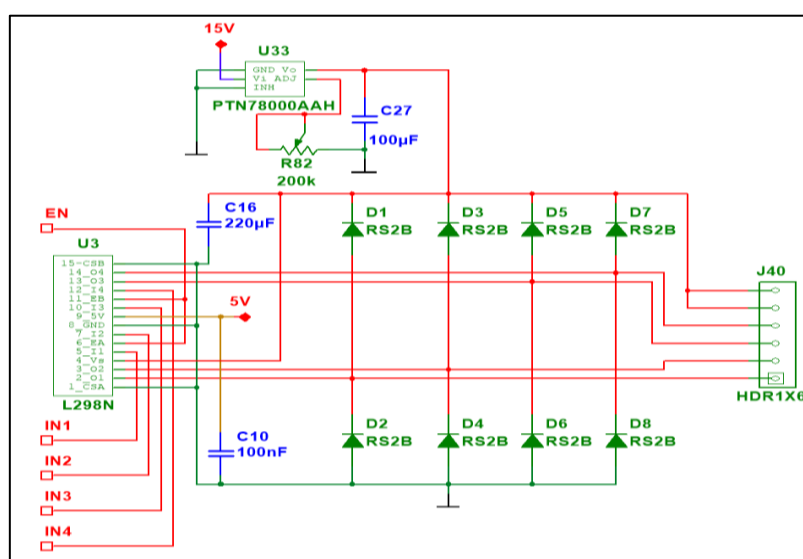


Figura 22. Esquema L298N.

Aquest circuit tant ha de controlar els motors pas a pas de la unitat interior com les vàlvules d'expansió de la unitat exterior. Aquests dos elements, tot i que tenen el mateix principi de funcionament necessiten una potència i alimentació de tensió diferents.

Els motors que mouen els flaps en les unitats interiors són similars al 28BYJ, aquests motors tenen un parell petit. Aquest són amb rotor d'imants permanents amb un sistema de reducció per engranatges.

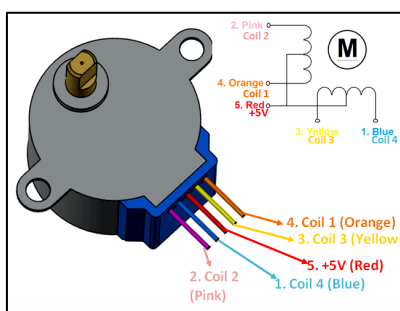


Figura 23. Motor pas a pas 28BYJ.

La figura 23 mostra que aquest motor és de 5 fils, té els centres de les bobines connectades en el mateix fil, per tant és un estator unipolar. L'alimentació d'aquest motor és de 5Vdc. Aquests motors són controlats per seqüències de 4 passos.

En canvi a la unitat exterior, els estators pas a pas mouen els èmbols de la vàlvula d'expansió. Per aquesta tasca és necessita una potència elevada. Les vàlvules tenen 6 fils, els dos centres de les bobines els unirem a la alimentació per fer-la servir com a estator unipolar. La tensió de la bobina canvia en funció de la marca i la potència del compressor. Es troben bobines de 6Vdc, 9Vdc i de 12Vdc.

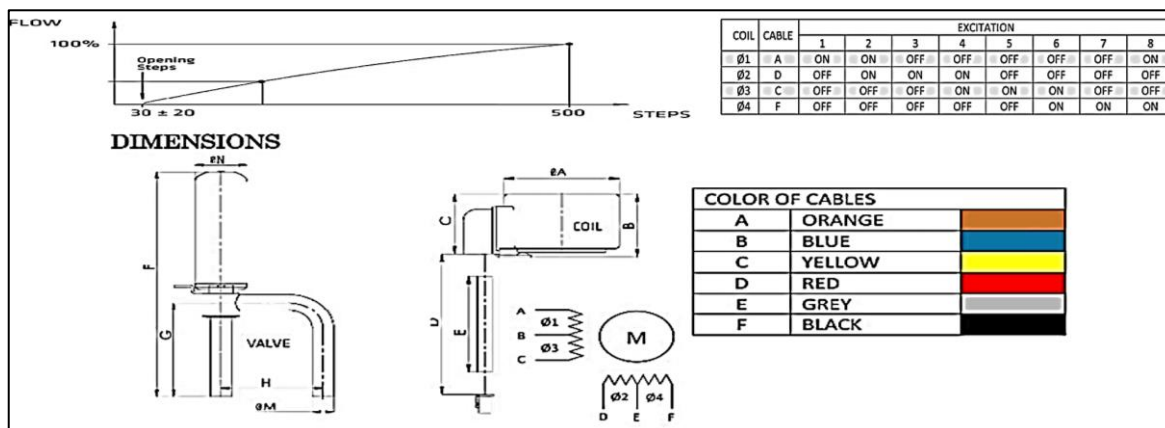


Figura 24. característiques de les vàlvules d'expansió electròniques.

Les vàlvules d'expansió electròniques estan formades per un cos hermètic i una bobina exterior tal i com es mostra a la figura 24. Aquestes vàlvules tenen una zona cega que es troba entre els 10 i 50 primers passos, després s'obté la obertura màxima amb 500 passos. Aquestes bobines és gestionen elèctricament amb 8 passos.

Per poder regular el voltatge i adaptar-lo a cada tipus de bobina s'ha incorporat un convertidor buck de corrent contínua PTN7800AAH. Aquest convertidor està alimentat des de la línia de 15V, té una potència de 22W. A través del R82 permet regular la tensió de sortida. El full de

característiques d'aquest convertidor proposa un condensador de $100\mu\text{F}$ a la sortida per atenuar el soroll de l'alimentació. L'esquema que d'aquest regulador es mostra la figura 25.

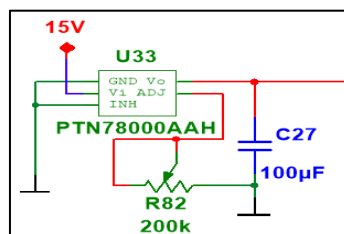


Figura 25. Regulador buck.

El programa del microcontrolador té definida la seqüència de passos, per aquesta raó cal ordenar correctament els colors dels fils, els motors pas a pas i les vàlvules duen un codi de colors diferents, a la taula 5 es mostra l'ordre dels fils en el connector. S'ha fet l'exemple del connector J40, el del motor 1.

PIN J40	Color motor pas a pas	Bobina motor pas a pas	Colo vàlvula d'expansió	Bobina vàlvula d'expansió
1	Taronja	A+	Taronja	A+
2	Groc	B+	Vermell	B+
3	Rosa	A-	Groga	A-
4	Blau	B-	Negre	B-
5			Blau	Centre A
6	Vermell	Centre	Gris	Centre B

Taula 5. Relació color de fils i la bobina.

3.3 Motor de ventilació i compressor

Els motors dels ventiladors poden ser en AC amb velocitats o bé DC sense escombretes. A més, per potències elevades en poden portar dos en la unitat exterior. Això fa que la placa hagi de ser compatible amb moltes configuracions diferents.

En motors AC amb velocitats només cal que se'ls hi col·loqui diversos relés per alimentar les diferents bobines de velocitat. Aquests motors d'inducció de fase partida solen portar 3 velocitats, per tant es necessiten 3 relés per seleccionar les velocitats d'aquests ventiladors.

A la figura 26 s'observa el connexionat d'un motor AC amb tres velocitats. S1 és la velocitat més lenta mentre que la S3 és la més ràpida. Per escollir la velocitat es necessita un selector de tres posicions que només n'alimenti una. La bobina L4 amb el condensador en paral·lel formen el debanat d'excitació per l'arrencada del motor. Té una alimentació de 230V alterns a 50Hz i normalment va controlat amb tres relés que activen les diferents velocitats.

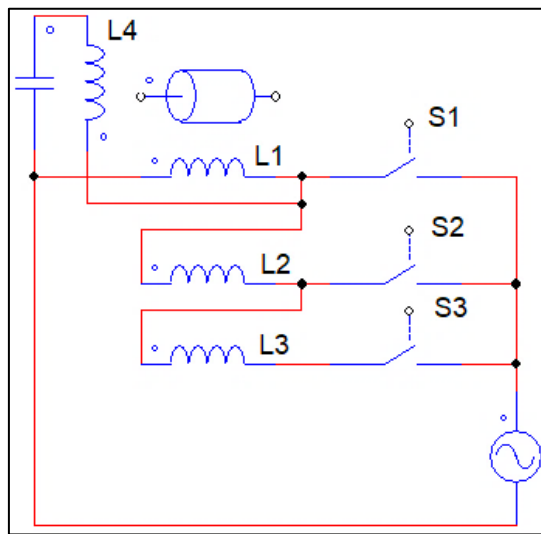


Figura 26. Connexió motor monofàsic amb 3 velocitats.

3.3.1 Motor brushless

Tal i com ja s'ha introduït anteriorment, les unitats més modernes porten motors sense escobretes. Aquests motors són molt similars als trifàsics síncrons, també tenen tres fases desfasades 120° però el rotor de la màquina elèctrica és d'imants permanents. Aquests motors tenen una senyal d'excitació trapezoidal i segueix uns passos similars al motor pas a pas. Per alimentar-los es necessita una senyal contínua de 315V i un pont en H trifàsic de IGBT que transforma les senyals de control en potència. La figura 27 és l'esquema de connexió del motor amb els IGBT i com és creen les senyals trapezoidals a l'esquerra.

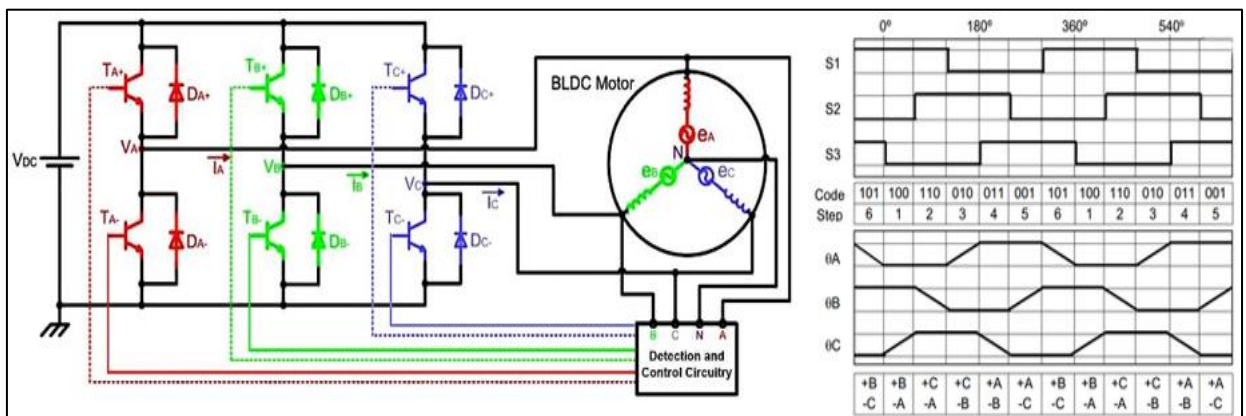


Figura 27. Connexió i seqüència per realitzar una revolució mecànica.

Aquests motors necessiten un control de llaç tancat per funcionar correctament. En el cas dels motors que es troben a l'aire condicionat, son sense sensors hall, aquests sensors detecten el camp magnètic del rotor i indiquen la posició del rotor. Per poder tancar el llaç d'aquets motors s'adquireix la tensió induïda a la bobina que no està excitada obtenint la posició del rotor.

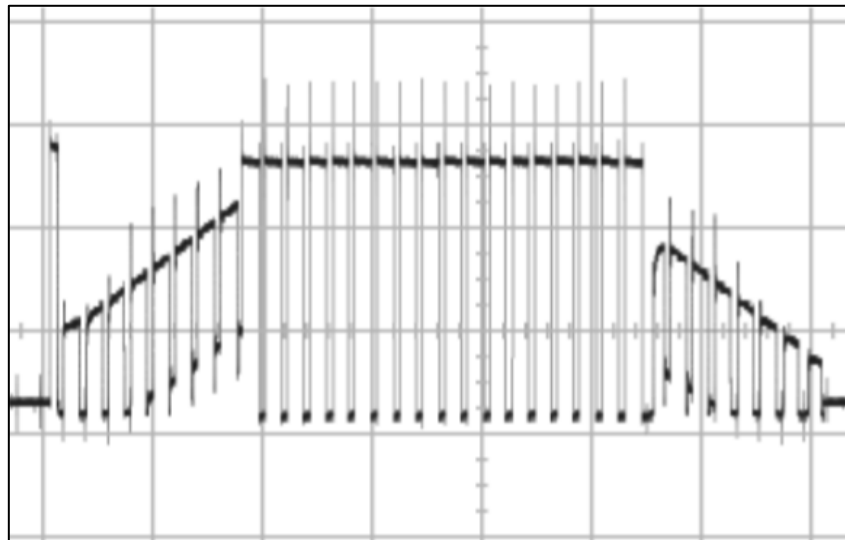


Figura 28. Tensió induïda a la bobina en tercer estat.

Tal i com s'observa a la figura 28, també s'indueix com a paràsit la freqüència del PWM de les altres dues bobines. Una vegada la senyal és filtrada i processada indica la posició del rotor.

Per realitzar el control d'aquests motors es farà amb unes plaques de desenvolupament dissenyada per la companyia Infineon. El kit utilitzat té dues parts, la placa de control amb el software és la EVAL-M1-101T i la placa de potència amb tot el hardware necessari per rectificar la tensió alterna és la EVAL-M1-05-65D. Aquestes plaques, que controlen el ventilador, s'han de programar amb els paràmetres adequats del motor i amb l'script de comunicació amb el PIC.

Com que el compressor necessita més potència s'ha utilitzat una placa de control EVAL-M3-102T, aquesta també necessita un script i els paràmetres del compressor, a més una placa de potència adequada, la EVAL-M3-CM615PN.

Un dels paràmetres que demana és el K_e , aquest ens dona la relació entre la tensió generada de la màquina elèctrica i les revolucions a les quals es fa girar. Per fer aquest estudi s'ha desenvolupat un programa en el LabVIEW. A través d'una tarja d'adquisició, de National Instruments, es fa girar l'eix del motor sense escobretes amb un motor pas a pas i es realitza un estudi de la tensió induïda a una bobina. Aquest programa es troba a l'ANNEX C.

Apart del K_e ens demana el nombre de pols del motor, la intensitat màxima, la resistència del debanat i els valors de la bobina. En el apartat 5.6 es parla més profundament de com s'obtenen o es mesuren aquests paràmetres.

3.3.2 Gestió i control dels motors

La figura 29 conté l'esquema de les sortides de potència, només és possible emprar un dels 3 sistemes alhora. A l'entrada de la senyal de control, Cs, hi ha un selector manual on es transmet la senyal cap a un dels tres circuits de potència.

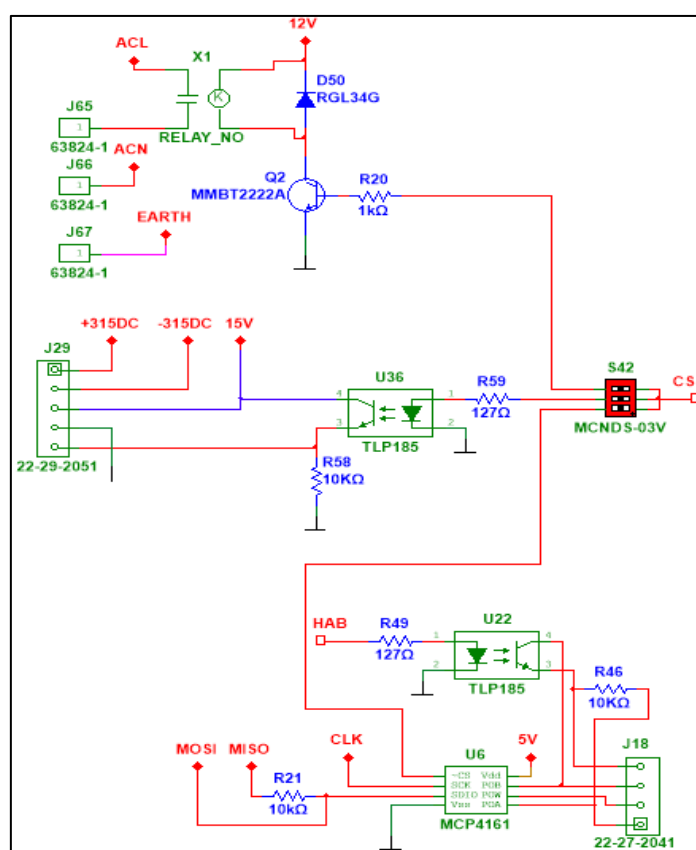


Figura 29. Esquema potència motor.

El relé alimenta els perifèrics a 230Vac amb una sortida de faston mascle de 5mm. Aquestes sortides permeten controlar diferents dispositius segons, si es troba a la unitat interior o exterior. En el exterior hi ha diversos dispositius tot o res comandats a 230Vac, com per exemple la ventilació del condensador i la vàlvula 4 vies. A la interior, per seleccionar la velocitat del ventilador o encendre i apagar la bomba de condensats.

Els ventiladors amb l'electrònica integrada necessiten una alimentació de 315Vdc per la potència, 15Vdc pel control i una senyal PWM que es fa servir per establir la velocitat de gir del motor.

Els ventiladors amb l'electrònica externa o el compressor es comuniquen per un bucle de voltatge. Per aquesta raó hi ha integrat un MCP4161, que és un potenciòmetre digital per SPI.

Aquest ens serveix per tenir un aïllament elèctric entre la placa de potència del motor i la placa de control dissenyada en aquest projecte i per establir la velocitat angular del motor.

El potenciòmetre digital és de 255 posicions. Amb aquests 8 bits es genera un divisor de tensió entre 0 i 5V, amb un increment de 19mV per salt del convertidor. Els aires condicionats inverters que es troben el marcat ofereixen entre 20 i 30 freqüències predeterminades. Cada freqüència és una velocitat de rotació.

Les 255 posicions del potenciòmetres s'han de reduir a les 30 que rebrà el compressor. Aquesta conversió està especificada a l'script introduït a la placa EVAL-M3-102T, en el annex E es troba script del compressor

El convertidor incorporat per Infineon detecta 4096 nivells de voltatge. El que es realitza a l'script és dividir en 128 i d'aquesta manera s'obtenen els 5 bits més significatius de la conversió. En el microcontrolador 16F18877 s'haurà de programar que el potenciòmetre SPI col·loqui el voltatge en el centre d'aquestes conversions. La velocitat del compressor s'escollirà a partir del diferencial tèrmic que hi hagi entre la temperatura de confort per l'usuari i la temperatura que es troba a la sala que s'ha de climatitzar.

En el cas del ventilador podem obtenir més velocitats, ja que permet 64 posicions. En aquest cas només es divideix per 8 l'entrada del ADC. La consigna d'aquest motor anirà controlada en funció de la temperatura de condensació. Aquest script es troba en el annex D

3.4 Entrades analògiques

Hi ha quatre entrades analògiques, dues són del tacòmetre i dues són dels transductors de pressió. Com que només queden 3 pins lliures és multiplexaran dos a dos i es pot escollir si es vol llegir els tacòmetres o la pressió.

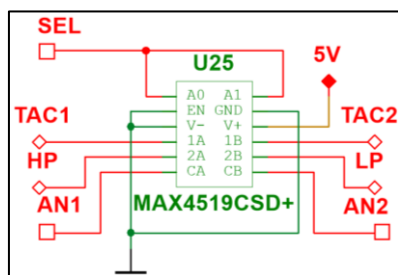


Figura 30. Multiplexador entrades analògiques.

La figura 30 mostra la connexió del multiplexador analògic doble, en el circuit 1 hi ha els dos tacòmetres i en el circuit 2 hi ha els sensors de pressió. Per poder canviar de llegir els tacòmetres als sensors de pressió han de treballar els dos circuits a l'hora, per aquesta raó els selectors individuals de cada circuit estan units en el mateix pin del microcontrolador.

A la unitat exterior no només hi ha ventiladors amb tacòmetres sinó també el compressor, amb la alta i baixa pressió. En aquest cas és quan ens interessa poder adquirir la velocitat dels motors exteriors o bé la pressió.

3.4.1 Tacòmetre

Algunes unitats incorporen un tacòmetre amb el motor, d'aquesta manera s'obté informació de la velocitat de gir del motor. Amb els motors AC de velocitats, quan els filtres s'obstrueixen, augmenta la resistència del flux d'aire i frena el motor. El tacòmetre és un convertidor de freqüència a voltatge de la casa National Semiconductor LM2917.

Els motors d'aire condicionat que duen aquest sensor ens donen un impuls quadrat per cada volta mecànica de l'eix. Aquest sensor permet anticipar una avaria del motor. Quan aquest té un desgast mecànic perd velocitat angular o també ho pot produir els filtres obstruïts. Si s'augmenta la resistència del pas de l'aire a través dels filtres provoca una reducció de la velocitat. Detectar prematurament una anomalia a la velocitat de rotació, el que provoca una reducció de la evaporació, permet desconnectar la màquina i evitar que arribés fluid refrigerant, en estat líquid, en el compressor i evitar avaries cares o la substitució del aparell.

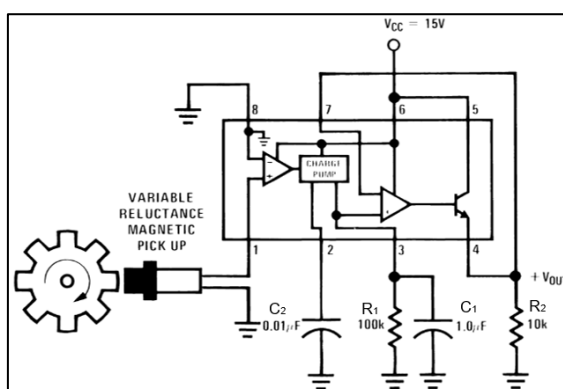


Figura 31. Esquema tacòmetre.

La figura 31 és l'esquema proposat pel full de característiques del fabricant per fer un convertidor de freqüència a voltatge. L'equació 10 és la recta que relaciona la freqüència d'entrada amb la tensió de sortida.

$$V_{out}=f_{in}\cdot V_{cc}\cdot R_1\cdot C_1 \quad (\text{Eq.10})$$

On:

V_{out} és el voltatge de sortida.

f_{in} és la freqüència d'entrada.

V_{cc} és la tensió d'alimentació.

R_1 és la resistència de descàrrega del condensador.

C_1 és el condensador de càrrega.

En el cas del present treball R_1 és de 100k Ω i C_1 és de 1 μ F. La equació resultant és la 11.

$$V_{out}=0.5\frac{V}{\text{HZ}}\cdot f_{in} \quad (\text{Eq.11})$$

On:

V_{out} és el voltatge de sortida.

f_{in} és la freqüència d'entrada.

3.4.2 Transductors de pressió

Els sensors de pressió treballen per bucle d'intensitat de 4 a 20 mA, aquets han de ser alimentats a 15Vdc i la senyal analògica comparteix fil amb el GND. El xassís del sensor ha d'estar connectat a terra. Aquest sistema s'ha de convertir el bucle d'intensitat en tensió, per fer-ho s'ha de col·locar una resistència sèrie en el GND.

Aquests transductors són de la marca JOHNSON CONTROLS, especialitzats en refrigeració. El model de baixa pressió és el P499ACH-402C, el qual té una precisió de 250 pascals i un rang de detecció de -1 a 15 bar. El sensor d'alta pressió és el P499ACH-405C amb una precisió de 750 pascals i amb un rang de detecció de 0 a 50 bars. Els dos sensors tenen compensació de temperatura, 0.25% d'error de no linealitat i un 1% d'error de fons d'escala. El full de característiques limita la resistència de càrrega pel convertidor intensitat a voltatge a 200 Ω , s'augmentés aquesta resistència es saturarà el sistema i la linealitat del sensor, això és degut que la senyal d'intensitat comparteix fil amb el GND d'alimentació.

Amb la resistència sèrie de 200 Ω s'obté un voltatge a l'entrada del controlador de 0.8V a 4V. Aquest rang és petit per obtenir una bona precisió de la conversió i aprofitar millor el ADC del PIC, per això cal amplificar i adequar el senyal. Aquesta transformació està composta per dues etapes, la primera és un seguidor de tensió amb un amplificador diferencial, que permet reduir l'offset dels 4 mA. Es resta 785mV a la senyal original, després de la operació s'obté el següent rang de tensió de 0,015V a 3,215V.

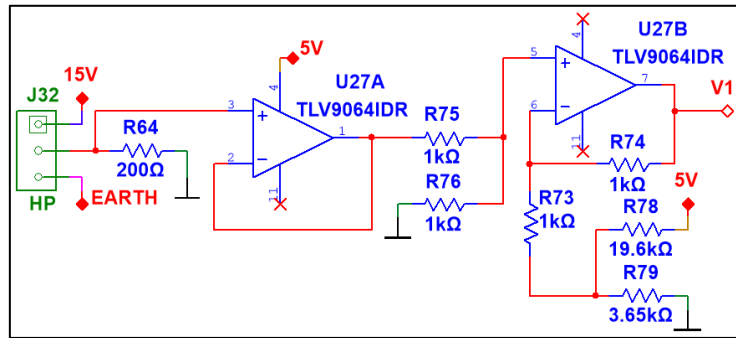


Figura 32. Amplificador diferencial del sensor de pressió.

L'esquema del circuit diferencial és la figura 32, aquest segueix l'equació 12.

$$V1 = V_{R64} \cdot \frac{R_{76}}{R_{76} + R_{75}} \cdot \left(1 + \frac{R_{74}}{R_{73}} \right) - \frac{R_{79} \cdot 5V}{R_{79} + R_{78}} \cdot \frac{R_{74}}{R_{73}} \tag{Eq.12}$$

On:

V1 és el voltatge de sortida.

V_{R64} és el voltatge de la resistència sèrie del convertidor de intensitat a tensió.

Amb les resistències calculades de la figura 32 i aplicats a l'equació 12. S'obté l'equació 13.

$$V1 = V_{R64} - 0.785V \tag{Eq.13}$$

On:

V_{out} és el voltatge de sortida.

f_{in} és la freqüència d'entrada.

Una vegada s'ha restat l'offset del sensor es realitza una amplificació no inversora, el guany de l'amplificador ha de convertir els 3.215 a 5V. Aquesta segona etapa també té un seguidor de tensió per separar l'etapa diferencial de la d'amplificació.

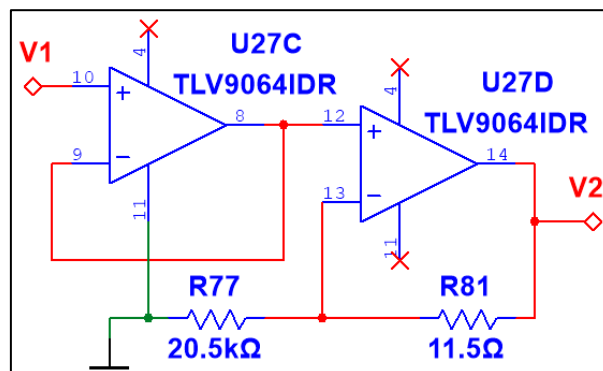


Figura 33. Amplificador no inversor.

L'esquema del circuit no inversor és la figura 33 i segueix la equació 14.

$$V2=V1 \cdot \left(1 + \frac{R_{81}}{R_{77}}\right) \quad (\text{Eq.14})$$

On:

V2 és el voltatge de sortida.

V1 és el voltatge d'entrada.

Amb les resistències calculades de la figura 32 a l'equació 14 queda reduïda a l'equació 15.

$$V2=V1 \cdot 1.561 \quad (\text{Eq.15})$$

On:

V2 és el voltatge de sortida.

V1 és el voltatge d'entrada.

Amb aquesta segona etapa s'obté un rang de voltatge a l'entrada del convertidor de 0.023 a 5V. Aquesta instrumentació analògica permet una precisió més alta en els sensors.

Sensor	P _{min} (bar)	P _{max} (bar)	V1 _{min} (V)	V1 _{max} (V)	ΔP1 (mbar/LSB)	V2 _{min} (V)	V2 _{max} (V)	ΔP2 (mbar/LSB)
Alta	0,00	50,00	0,80	4,00	76,34	0,023	5,000	49,07
Baixa	-1,00	15,00	0,80	4,00	24,43	0,023	5,000	15,70

Taula 6. Sensors de pressió.

A la taula 6 es comparen els dos sensors de pressió, la pressió mínima i màxima en bar i el voltatge en volts que s'indueix a causa del bucle d'intensitat a la resistència i l'increment que es podria detectar en el ADC del PIC en mbar/ADC, es té present que té 10 bits. Abans del circuit hi ha una resolució d'alta pressió que passa 76mbar a 49, això permet tenir una millor precisió amb la lectura del sensor. Aquesta mateixa millora també es nota en el sensor de baixa pressió comparant la columna ΔP1 i ΔP2 de la taula 5.

El sensor treballar de 4 a 20mA per poder detectar quan aquest es desconnecta, ja que el corrent adquirit seria de 0mA. Amb l'adequació del senyal s'ha aconseguit mantenir aquest fenomen, ja que la lectura mínima és de 23mV i si el sensor es desconnectés seria de 0mV.

3.5 Entrades digitals

La placa necessita diferents entrades digitals que han de ser compatibles tant per la unitat interior com per l'exterior. A la unitat interior són necessàries per detectar el nivell de l'aigua, en canvi per l'exterior s'ha de detectar els pressòstats d'alta, de baixa el clixon del compressor i un polsador.

El polsador permet fer alguna funció a la placa, com per exemple, veure si hi ha més d'una avaria. A la unitat interior es fa servir per posar en marxa i apagar la unitat sense comandament. El circuit del polsador esta format per una resistència pull-up i ell mateix.

Els detectors booleans, com els pressòstats, tenen internament contactes d'un microrruptor SPDT. Aquestes connexions suporten 230Vac, però a la placa del present treball s'aprofitarà l'alimentació de 15Vdc per fer el contacte.

L'entrada de 15V passa per un optoacoblador per aïllar la línia d'alimentació d'aquests sensors amb l'alimentació de 5V del microcontrolador. La figura 34 és l'esquema de les entrades digitals.

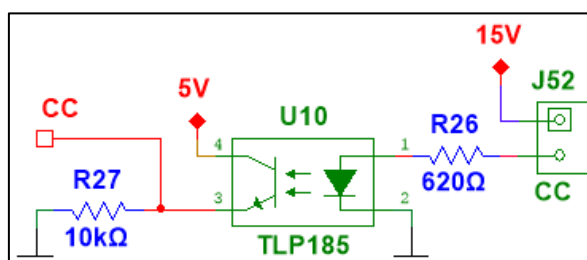


Figura 34. Circuit entrada digital.

3.5.1 Pressòstats

Els pressòstats, les unitats equipades amb aquest sistema de detecció booleana de la pressió de gas. Aquest sistema ens assegura una detecció molt ràpida d'una avaria causa per la manca de gas, pressòstat de baixa pressió o per contra, el d'alta pressió ens indica un problema en la condensació, ja sigui per brutícia en el condensador o una avaria en el ventilador. La figura 35 hi ha la imatge de dos pressòstats, el del fil blau és de baixa i el negre és d'alta.



Figura 35. Pressòstat de baixa i alta pressió.

La figura 36 mostra un tall transversal del pressòstat, permet veure l'interruptor mecànic del interior.



Figura 36. Tall transversal d'un pressòstat

3.5.2 Clixon del compressor

Aquests elements són uns detectors de temperatura bimetal·lics que protegeixen el compressor d'un excés de temperatura. Aquest excedent pot venir provocat per diversos motius, falta de gas refrigerant, intercanviadors obstruïts, etc. Aquest element és comú en gairebé totes les unitats, és un element econòmic i ofereix una alta protecció. La figura 37 és la imatge d'un clixon per el compressor.



Figura 37. Clixon de seguretat del compressor,

3.5.3 Boia de nivell

Les unitats interiors, tipus cassette i conductes, tenen bomba de condensats. Aquestes necessiten dues boies, una indica que la bomba s'ha de posar en marxa per evacuar l'aigua acumulada dels condensats i la segona ens indica que hi ha un problema en el desguàs, està obstruït o la bomba no funciona i s'ha d'aturar la unitat per no seguir produint més aigua. La figura 38 mostra les parts que té la bomba, un petit flotador de color negre i el cos blanc.



Figura 38. Boia nivell d'aigua.

3.6 Sortida digital

La placa conté dos LEDs vermells, aquests permeten una comunicació molt senzilla home màquina, modificant la freqüència d'una intermitència o fent un seguit de seqüències que li permet comunicar diverses averies o estats.

3.7 Microcontrolador

Escollir correctament el microcontrolador limitarà més o menys les funcions de la placa. S'ha escollit el PIC16F18877, aquest té mòduls PWM, I²C, SPI, UART i temporitzadors suficients per complir amb l'abast del projecte. A més aquest microcontrolador té un mòdul que permet escollir el pin per on entrarà o sortirà la funció d'un mòdul, aquesta propietat ens deixa fer circuits impresos més senzills al poder intercanviar les funcions dels pins.

Aquest dispositiu és de molt baix consum, s'alimenta entre 2,8 i 5,5 Volts, consumeix una potència de 230 μ W.

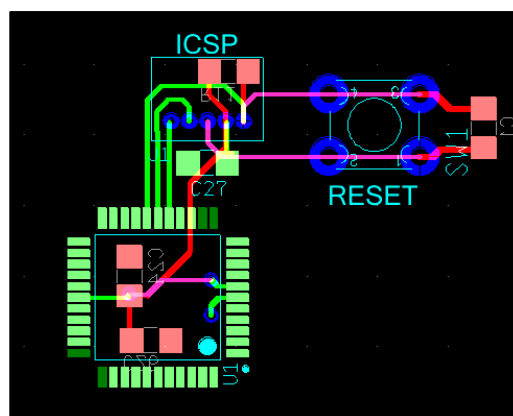


Figura 39. Elements externs del PIC.

La figura 39 mostra que el PIC no necessita masses components externs. El rellotge de la CPU el té intern, amb una freqüència de 4MHz i només necessita un connector ICSP per

poder-lo programar amb una resistència, R11, entre el pin 1 i el 2 del connector. Finalment dos condensador de 10nF, C24 i C26, per filtrar les commutacions de consum el més prop possible de la alimentació, en aquest cas s'han posat a sota del controlador.

A més a més la placa incorpora un polsador de reset. Aquest polsador permet reiniciar el microcontrolador en el cas que quedi bloquejat. El polsador s'ha de connectar entre els pins 1 i 3 del connector ICSP i el que fa es connectar el pin de programació del pic a GND.

Pin	Interior	Exterior	Configuració del pin	Nom pin
RA0	Comunicació	Comunicació	Sortida digital	COM
RA1	CS Ventilació 2 (Relé mig)	CS Ventilació 2	Sortida digital PWM5	SCF2
RA2	Hab. Ventilació	Hab. Ventilació	Sortida digital	HFAN
RA3	CS Ventilació 1 (Relé baixa)	CS Ventilació 1	Sortida digital PWM7	SCF1
RA4	Entrada Sonda NTC	Entrada Sonda NTC	Entrada analògica	NTC
RA5		Hab. Compressor	Sortida digital	HCO
RA6	Hab Bomba	Hab. 4 vies	Sortida digital	H4V
RA7	Ventilació Relé Alt	CS Compressor	Sortida digital PWM6	SCO
RB0	Serial TX	Serial TX	Comunicació UART	
RB1	Serial RX	Serial RX	Comunicació UART	
RB2		Selector tacòmetre pressió	Sortida digital	ANSEL
RB3	Nivell condensat baix	Pressòstat baixa	Entrada digital	LP
RB4	Nivell condensat alt	Pressòstat alta	Entrada digital	HP
RB5		Clàxon compressor	Entrada digital	CC
RB6	ICSPCLK / entrada comunicació	ICSPCLK / entrada comunicació	Programació / entrada digital	WIRE1
RB7	ICSPDAT	ICSPDAT	Programació	
RC0	CS Sortida bomba	CS vàlvula 4 vies	Sortida digital PWM1	C4V
RC1	SPI CLK	SPI CLK	SPI rellotge	
RC2	SPI MOSI	SPI MOSI	SPI sortida	
RC3	SPI MISO	SPI MISO	SPI entrada	
RC4		C	Sortida digital	SC
RC5	FLAP V	B	Sortida digital	SB
RC6	FLAP H	A	Sortida digital	SA
RC7	Boto1	Boto1	Entrada digital	SW
RD0	Stepper A+	Stepper A+	Sortida digital	S1
RD1	Stepper A-	Stepper A-	Sortida digital	S2
RD2	Stepper B+	Stepper B+	Sortida digital	S3
RD3	Stepper B-	Stepper B-	Entrada analògica	S4

Taula 7. Distribució dels pins.

Pin	Interior	Exterior	Configuració del pin	Nom pin
RD4	LED1	LED1	Sortida digital	LED1
RD5	LED2	LED2	Sortida digital	LED2
RD6		Pressió BT / Tacòmetre 2	Entrada analògica	LPT2
RD7	Tacòmetre	Pressió HT / Tacòmetre 1	Entrada analògica	HPT1
RE0	MUX A2	MUX A2	Sortida digital	MUXNTC2
RE1	MUX A1	MUX A1	Sortida digital	MUXNTC1
RE2	MUX A0	MUX A0	Sortida digital	MUXNTC0
RE3	Vpp Reset	Vpp Reset	Programació	

Taula 8. Distribució dels pins.

La taula 7 i 8 resumeix la tasca que fa cada pin del microcontrolador en funció de si treballa a la unitat interior o exterior. A l'última columna hi ha el nom assignat a cada un dels pins.

3.8 Comunicació

És vital la comunicació entre les plaques, aquesta comunicació ha de ser fiable i robusta a paràsits de la instal·lació. Les unitats comercials fan servir un únic fil pel bus de comunicació. Aquest bus està en una menys elèctrica amb els fils de potència que van de la unitat interior a la exterior, a més a més aquesta línia en pot creuar d'altres. Les línies de potència indueixen paràsits sobre el bus de comunicació. La comunicació és d'un sol fil, per tant és necessari utilitzar com a referència el neutre de la línia monofàsica de la instal·lació elèctrica del edifici. La comunicació és realitza en corrent continu, la figura 40 hi ha la rectificació de la senyal.

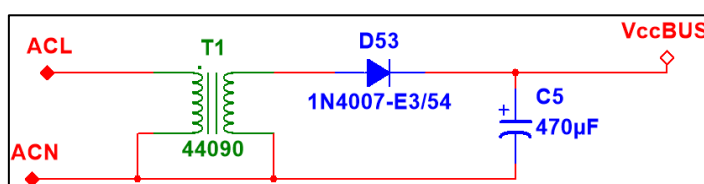


Figura 40. Transformació i rectificació alimentació bus.

La rectificació de la alimentació de bus és de mitja ona, la intensitat que és necessita per la comunicació és de 5mA i amb aquesta rectificació és suficient per mantenir la tensió de 45Vdc sobre C5. El transformador, T1, és de 230Vac a 24Vac.

La comunicació pel bus és bidireccional i per tant hi ha dos etapes connectades el bus, una per escriure i una per llegir. Aquestes dues etapes han de protegir el microcontrolador de sobretensions que es puguin induir, per això aquestes etapes estan protegides per optoacobladors.

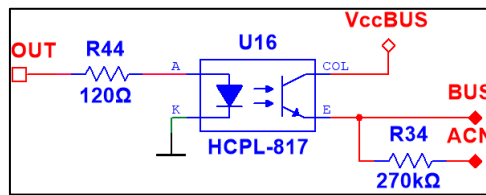


Figura 41. Sortida digital cap al bus.

La figura 41 conte l'esquema de la sortida digital cap al bus està format per un optoacoblador. El transistor d'aquest element ha de ser capaç de suportar la tensió del bus, el HCPL-817 suporta una tensió de 70V aplicada entre el col·lector i l'emissor, suficient pel voltatge del bus.

L'entrada digital del bus és més complexa, està formada per dos etapes. La primera és un trigger Schmitt que controlar els nivell de tensió. La segona etapa és un optoacoblador per aïllar el bus del microcontrolador. És veu l'esquema a la figura 42.

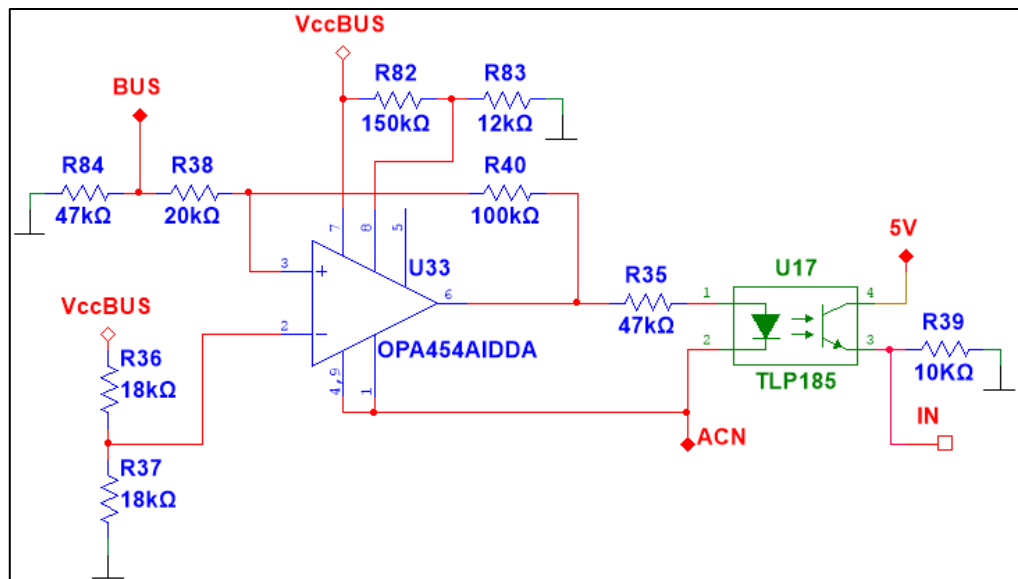


Figura 42. Entrada digital del bus.

El Trigger Schmitt, és un comparador amb histèresis, permet eliminar el soroll del bus de comunicació. El soroll fa que els valors digitals puguin assolir un rang dispers de valors, això converteix la comunicació discreta en continua. Així es mostra a la Figura 43.

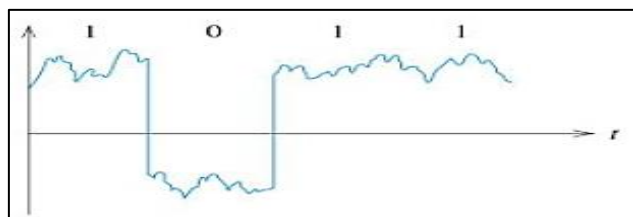


Figura 43. Senyal de comunicació binaria amb soroll.

El comparador estableix dos nivells de voltatge, un alt i un baix. Quan el voltatge d'entrada supera el nivell de comparació alt la sortida del amplificador operacional és el voltatge d'alimentació del chip. Per tornar la sortida al 0 lògic l'entrada ha de ser més baixa que el nivell de voltatge baix. Aquest tipus de comparadors ens dona una robustesa a canvis de de la sortida innecessaris causats pel soroll. La figura 44 mostra el comportament de la sortida en funció la entrada.

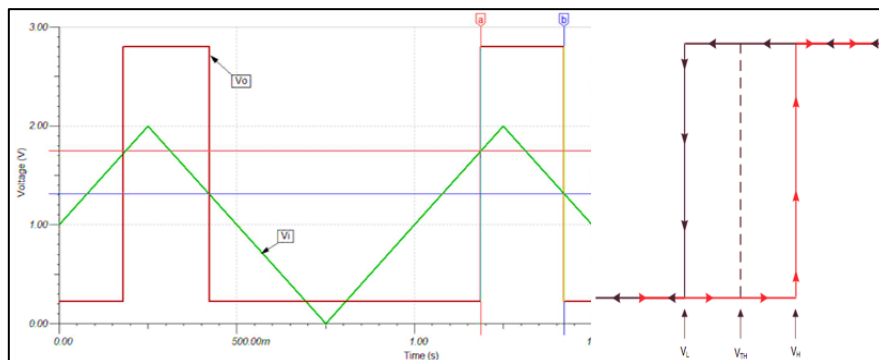


Figura 44. Resposta del comparador Trigger Schmitt.

La figura 44 és la resposta dinàmica del circuit, en verd és l'entrada de voltatge formada per una senyal triangular. En granat és la senyal quadrada de la sortida del comparador en funció del voltatge d'entrada. En el gràfic les dos ratlles horitzontals en vermella el límit superior i blau el límit inferior. A continuació és desenvolupen les equacions del comparador.

$$V_{TH} = \frac{R_{37}}{R_{37} + R_{36}} \cdot V_{cc,BUS} \quad (\text{Eq.16})$$

On:

V_{TH} és el voltatge de referència del comparador.

$V_{cc,BUS}$ és el voltatge d'alimentació del bus de comunicació.

$$V_H = R_{38} \cdot \frac{V_{TH}}{R_{40}} + V_{TH} \quad (\text{Eq.17})$$

On:

V_H és el voltatge límit superior.

V_{TH} és el voltatge de referència del comparador.

$$V_L = \frac{V_{TH} \cdot (R_{38} + R_{40}) - V_{cc,BUS} \cdot R_{38}}{R_{40}} \quad (\text{Eq.18})$$

On:

V_L és el voltatge límit inferior.

V_{TH} és el voltatge de referència del comparador.

$V_{cc,BUS}$ és el voltatge d'alimentació del bus de comunicació.

$$V_{HYS}=V_H-V_L=V_{cc,BUS}\cdot\frac{R_{38}}{R_{40}} \quad (\text{Eq.19})$$

On:

V_{TH} és el rang de voltatge d'histèresis.

V_H és el voltatge límit superior.

V_L és el voltatge límit inferior.

$V_{cc,BUS}$ és el voltatge d'alimentació del bus de comunicació.

Si apliquem els valors del circuit de la figura 42 i amb una tensió d'alimentació del bus de 50Vdc i convingent amb la equació 17 s'obté el límit superior a 35V. Amb la combinació de la equació 18 s'obté el límit inferior a 25V i finalment amb la equació 19 el rang d'histèresis és de 10V.

3.9 Condensadors de desacoblament

Aquests condensadors són necessaris per eliminar les components alternes de la alimentació continua de la placa. El soroll de consum alliberat pels diferents elements de la placa poden alterar el bon funcionament d'altres circuits o, fins i tot, poden afectar-se a si mateixos.

Tots els integrats de la placa tenen un consum commutat, aquest fenomen s'incrementa sobretot en els circuits integrats que duen rellotge de sincronisme. Alguns elements, com les fonts commutades o els ponts en H, el fabricant, en el full de característiques, ja recomana la instal·lació d'aquests condensadors. En aquest darrer cas la marca ja recomana el valor i el tipus de condensador.

La ubicació d'aquests elements és molt important, ja que determinarà l'àrea d'influència d'aquests soroll i l'afectació que tindrà. Com a regla general s'ha de situar al més a prop possible de les alimentacions de l'integrat.

La tipologia dels condensadors és importan, per ajudar a desacoblar la font. Els que ofereixen un millor resposta freqüencial són els de pel·lícula de polièster. Per contra quan aquests elements han de estar propers a la alimentació dels integrats és millor utilitzar els de multicapa ceràmica.

La capacitat d'aquests condensadors, històricament ha estat de 100nF. S'ha comprovat que aquest valor ofereix una cobertura general per la majoria dels casos.

En el plànol 4 hi ha tot un seguit de condensadors de 100nF que es repartiran estratègicament per la placa a prop de punts crítics com poden ser, senyals analògiques, integrats que treballen amb rellotge i les fonts d'alimentació.

Amb aquesta estratègia s'ha obtingut un resultat molt bo a les línies d'alimentació contínua principals de la placa. La figura 45 mostra la pertorbació de l'alimentació de 5V.



Figura 45. Soroll a la línia de 5V.

La pertorbació d'alta freqüència apareix aleatòriament en un rang de 15 a 30 μ s i té un voltatge de pic a pic de 46mV. Amb aquest soroll a la tensió no ha d'afectar a cap dels integrats de la placa. S'ha obtingut una interferència molt baixa que no afectarà en el funcionament de la placa.

A la línia de 15V és diferent, apareix a la figura 46.

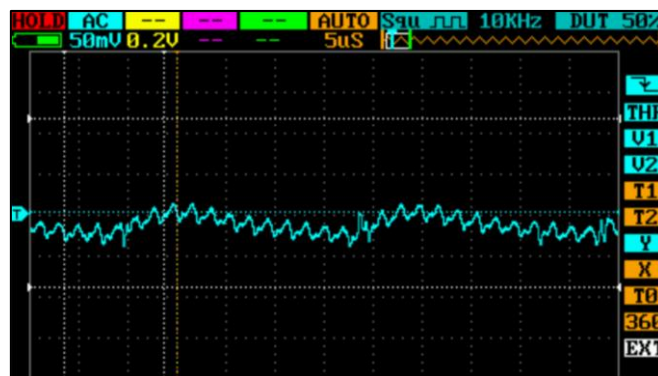


Figura 46. Soroll a la línia de 15V.

En aquest cas hi ha la resposta més esperada, una senyal sinusoidal no simètrica de 40kHz que fa de portadora a una de 120kHz. La suma de les dues senyals té un voltatge d'interferència entre pic i pic de 50mV, aquesta tensió no generarà cap problema als integrats alimentats amb aquesta línia.

Els fulls de característiques de la font indica que la font principal de, 15V, treballa amb una commutació de 40kHz. En canvi el convertidor buck va a 120kHz. En aquest cas s'ha identificat l'origen de la interferència.

Aquest soroll és assimilable pels elements alimentats amb aquestes tensions, és per aquesta raó que no es farà un estudi amb més profunditat d'aquest fenomen.

4 Disseny del controlador de la ventilació de la unitat exterior

En aquest capítol és descriuran les tècniques utilitzades per desenvolupar el controlador PID que controla la temperatura de condensació exterior. Hi ha dos casos, a l'estiu, el sistema refrigera el gas, per optimitzar el procés de refrigeració s'ha de mantenir el condensador a 44°C.

A l'hivern es complica, a l'exterior hi ha l'evaporador i l'ambient ha d'escalfar el gas fluorat. És difícil quan hi ha menys de 5°C a l'ambient, a més genera gel i, aquest, tapa l'evaporador. S'ha de realitzar el cicle de desglaç per evitar el problema.

En primer lloc és necessari identificar el sistema. En aquest document s'ha identificat per unes condicions concretes, es podria estendre aquest procediment per a diferents configuracions. Desenvolupar un model matemàtic del procés per poder estudiar la planta i desenvolupar una llei de control que el permeti controlar.

Es provaran els diferents controladors dissenyats i es comprovarà el seus resultats, el PID amb millor resposta serà implementat en el microcontrolador.

4.1 Identificació del sistema

El primer pas per identificar el procés és mantenir-lo estable. Per fer-ho s'ha engegat el compressor al 80% amb la ventilació exterior al 12% i amb la ventilació interior a màxima velocitat. En aquestes condicions s'estabilitza la descàrrega del compressor a 68°C i la temperatura del condensador a 59°C.

Amb el sistema estabilitzat, és el moment d'aplicar-li un graó a la ventilació exterior, del 12% al 47%. Aquest canvi provoca que el sistema s'estabilitzi en un nou valor. Estudiar el comportament transitori del sistema indica l'ordre de la funció de transferència i les seves principals característiques. El més important de la resposta temporal és l'ordre, al tractar-se d'un sistema tèrmic és d'esperar que es tracti de 1r ordre. En segon lloc és el guany que té el sistema quan se li aplica un canvi i finalment la constant de temps.

A través del port UART s'han enviat les dades de temperatura de l'intercanviador i el valor del ventilador de condensació cap al PC per poder-los adquirir. La placa transmet una dada cada 300ms.

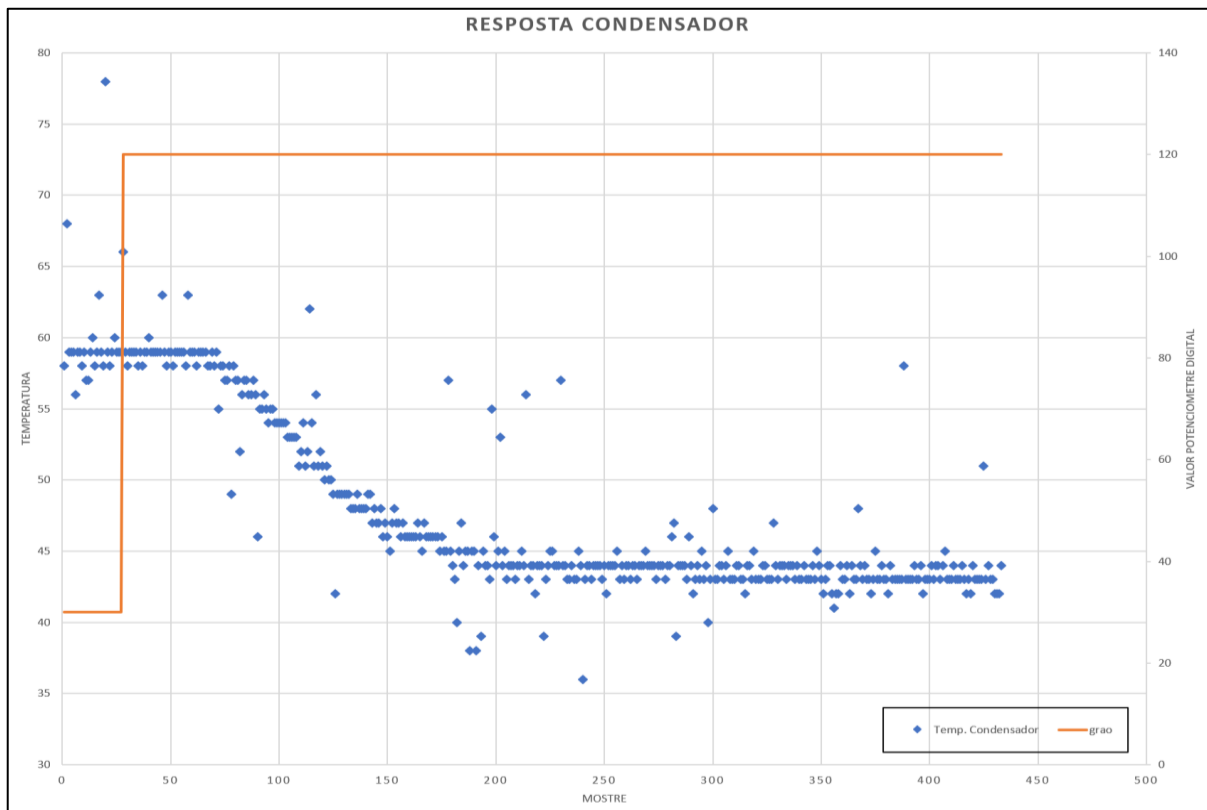


Figura 47. Resposta de la temperatura del condensador al aplicar-li un graó.

La figura 47 mostra la resposta temporal de l'intercanviador al aplicar-li un graó. Es confirma la hipòtesi d'un sistema de primer ordre però amb un temps de retard molt important. També mostra molt de soroll amb l'adquisició de la temperatura. Això descarta poder utilitzar la part derivativa del control, aquest haurà de ser un PI.

Per detectar la llei que segueix s'ha d'utilitzar la toolbox IDENT del MatLab. Aquesta reafirma que és un sistema de 1r orde amb un guany de 0,34349, $\tau=15,071$ i amb un retard de 2,0238 segons el que ens dona la funció de transferència de l'equació 20.

$$G(s) = \frac{K_p \cdot e^{-T_s \cdot s}}{1 + \tau \cdot s} = \frac{0.34349 \cdot e^{-2.0238 \cdot s}}{1 + 15.071 \cdot s} \quad (\text{Eq.20})$$

On:

K_p Guany del sistema.

T_s Retard del sistema.

τ Temps de la resposta.

4.2 Disseny del controlador.

Una vegada s'ha identificat la resposta, s'ha de desenvolupar el controlador. Amb la toolbox SISOTOOL, primer s'ha d'introduir la funció de transferència al MATLAB amb l'equació 21.

$$\gg G = \text{tf}([0.34349],[15.071 \ 1],\text{'ioDelay'},2.0238) \quad (\text{Eq.21})$$

El primer pas és escollir l'arquitectura del sistema de control. Al tractar-se de controlar la temperatura, que no té masses pertorbacions necessita un sistema amb una única etapa per controlador, tal i com es mostra a la figura 48.

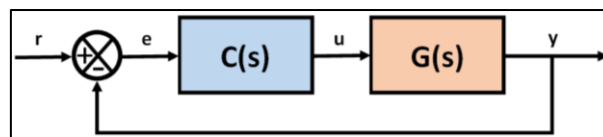


Figura 48. Arquitectura de control.

L'arquitectura de control només té present la funció de transferència del sistema, $G(s)$, i el controlador PI, $C(s)$. Com que la placa s'ha identificat des del valor byte que estableix la velocitat de gir del ventilador fins el canvi de temperatura que això provoca en el condensador, no es necessita cap més funció de transferència. Això significa que el controlador haurà de convertir aquesta temperatura de realimentació en el byte que modifica la velocitat del ventilador.

Les inèrcies del sistema no permeten obtenir respostes gaire ràpides. La funció de transferència indica que el temps d'establiment és superior a un minut. Amb el controlador s'intentarà reduir aquest temps, encara que això provoqui un sobre pic de temperatura.

El controlador PI està format per una part proporcional i una de integradora. La primera part és el producte entre l'error de consigna i la constant proporcional. La part integradora permet obtenir un error d'establiment igual a zero. Aquesta provoca un desfasament de 90° , a més a més no només és un producte entre l'error i la constant integradora, sinó que també l'adició de l'acció integradora anterior.

Una vegada s'ha entrat la funció de transferència en el workspace del MATLAB s'executa el SISOTOOL. Amb aquesta eina s'han de desenvolupar les lleis de control. En el present treball es desenvoluparan dos controls, un amb el mètode de Skogestad i un amb les lleis de MIGO.

4.2.1 Controlador Skogestad IMC en guany

El model de Skogestad es basa en les idees clàssiques de Ziegler i Nichols combinat amb la síntesis directe de Smith i Corripio. Les lleis de Ziegler i Nichols donaven un controlador robust

a les pertorbacions del sistema però amb unes configuracions bastant agressives que donen problemes amb els sobre-pic i el retard de resposta del sistema. Skogestad aconseguix una resposta robusta pels processos de primer i segon ordre amb zones mortes a la resposta i canvis sobtats a la consigna de sistema. El mètode SIMC permet la configuració dels controladors, PI i PID sobretot, amb processos basats amb l'integrador o de retard de temps pur i pertorbacions a la càrrega.

El sistema d'estudi encaixa molt bé amb aquest procediment. A causa del soroll de la lectura del sensor de temperatura no és recomanable utilitzar la part derivativa del PID, per tant s'ha de dissenyar un controlador PI. A més a més es tracte d'un sistema amb retard.

El controlador que proposa el SISOTOOL es mostra a la equació 22.

$$C_{(s)} = 0.71998 \frac{1+16s}{s} \quad (\text{Eq.22})$$

On:

$C_{(s)}$ la funció de transferència del controlador PI.

La figura 49 mostra el lloc de les arrels del controlador.

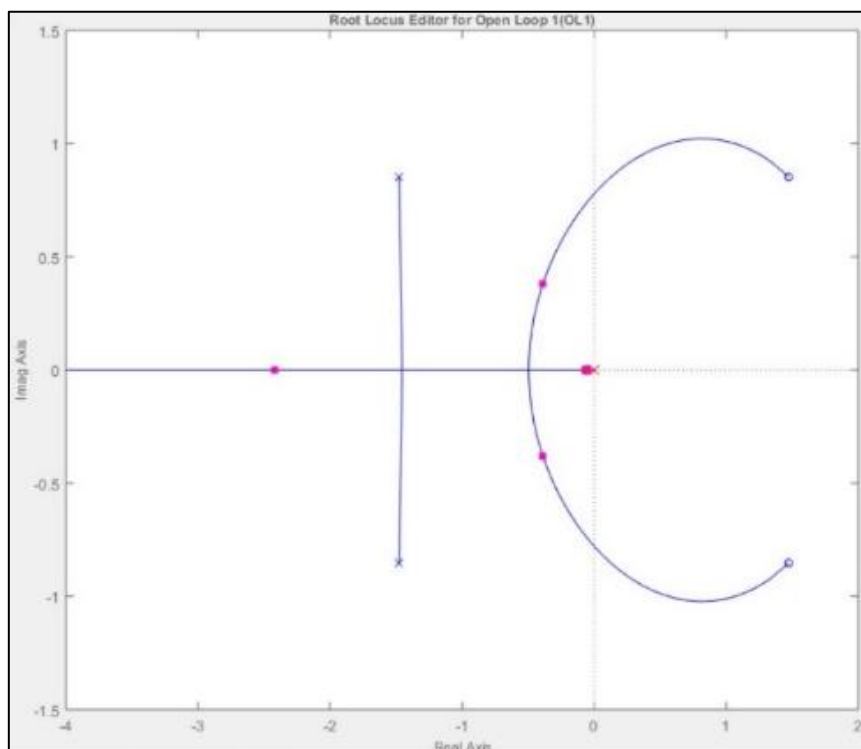


Figura 49. Lloc de les arrels del controlador SIMC.

Finalment es tanca el loop i es simula el sistema en un graó unitari, la figura 50 és el diagrama de bode de la resposta.

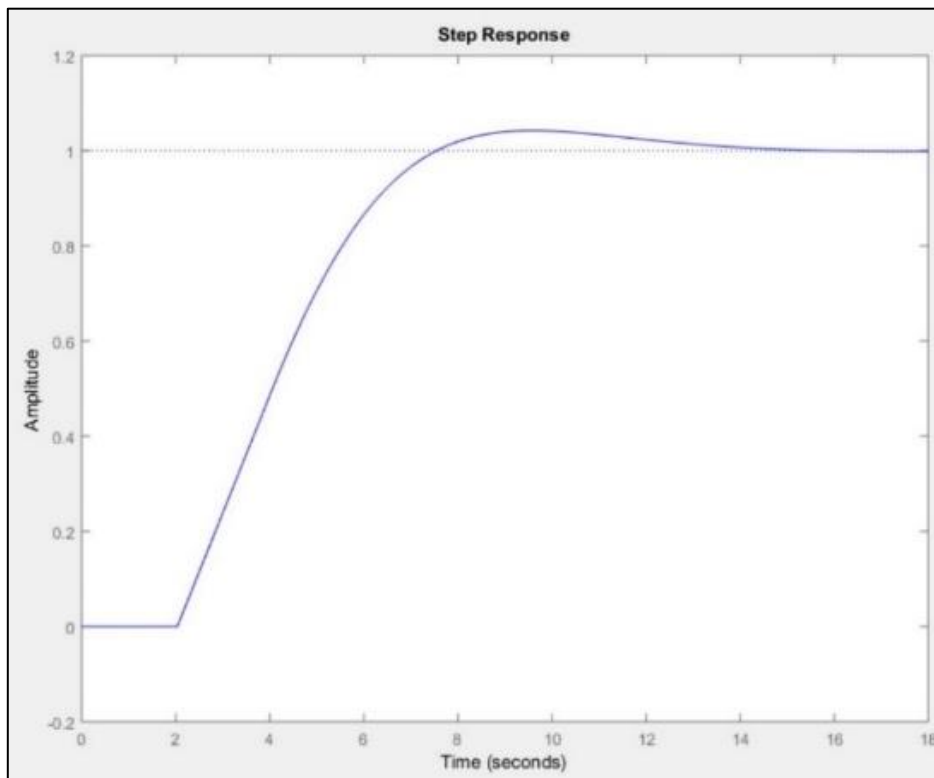


Figura 50. Graó unitari en el sistema.

El sistema resultant té un sobre pic de 4% i un temps d'establiment de 12 segons davant un graó unitari.

4.2.2 Controlador MIGO

Aquest mètode està basat en el de Ziegler i Nichols, però fent-lo més robust als canvis de consigna. Aquest procés optimitza el guany a l'integrador, sobretot està pensat per desenvolupar sistemes PI. Moltes vegades aquests controladors necessiten sistemes per evitar la saturació del terme integrador. L'aproximació MIGO es basa en el mètode de l'avanç de fase i permet una resposta precisa en sistemes lents i amb retard a la seva resposta.

Aquest controlador també encaixa correctament amb el sistema estudiat en aquest projecte.

$$C_{(s)} = 0.57172 \frac{1+13s}{s} \quad (\text{Eq.23})$$

On:
 $C_{(s)}$ la funció de transferència del controlador PI.

La figura 51 és el lloc de les arrels del controlador MIGO

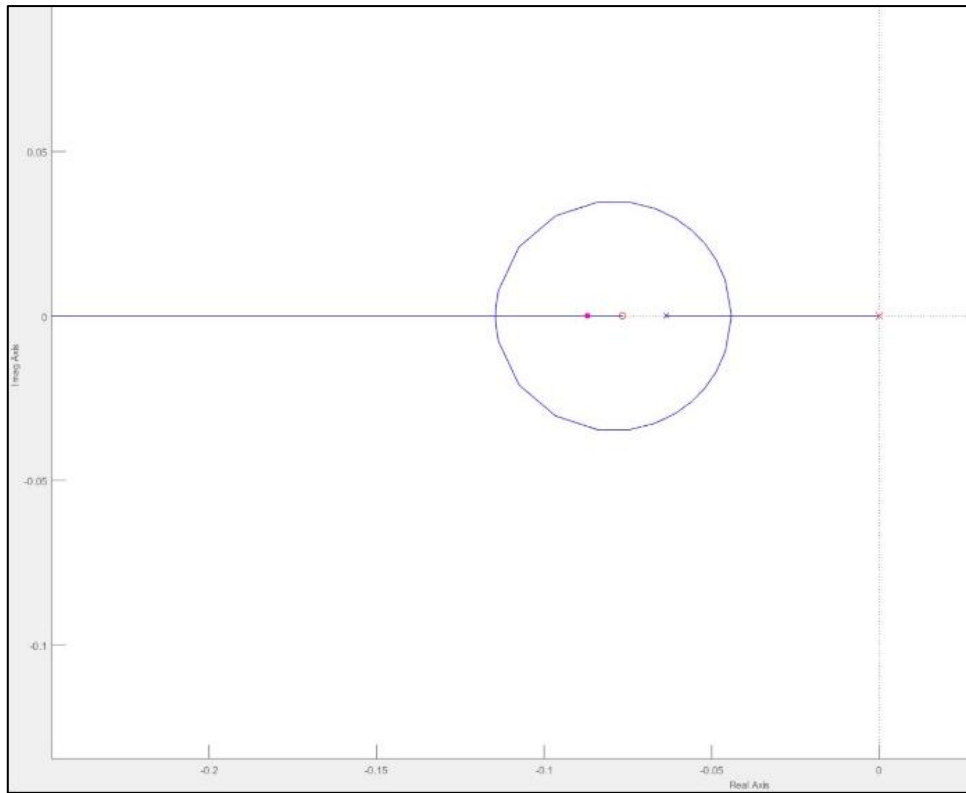


Figura 51. Lloc de les arrels controlador MIGO.

És tanca el loop i es simula el sistema en un graó unitari, la figura 52 és el diagrama de bode de la resposta.

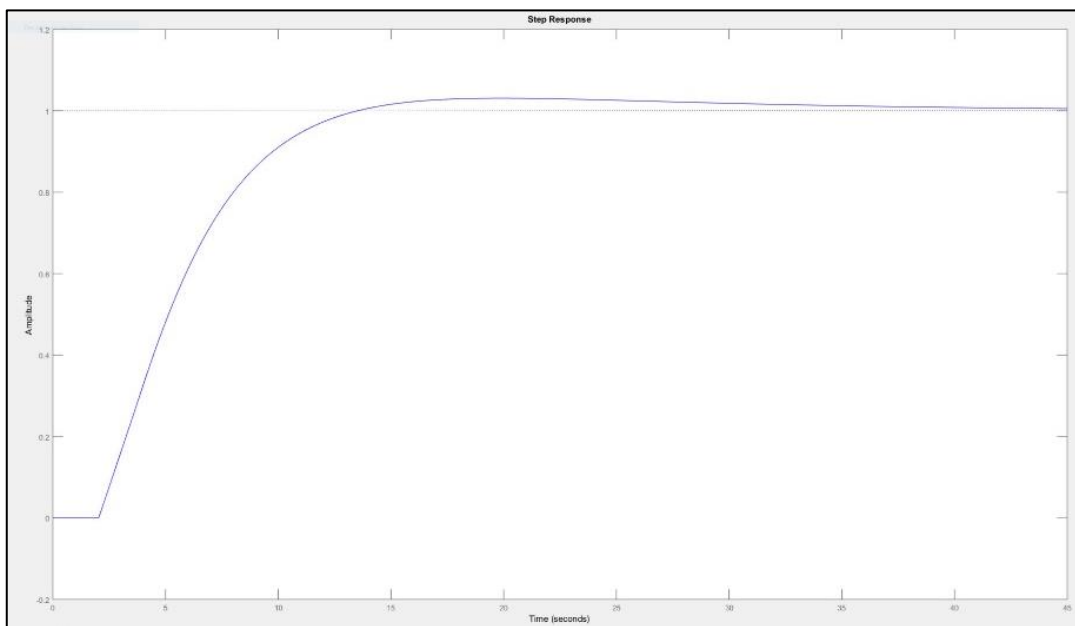


Figura 52. Step MIGO.

4.3 Programació del control discret

S'han desenvolupat dues lleis de control. Aquestes han de ser processades pel PIC 16F18877. Aquest pel simple fet de tractar-se d'un microcontrolador, treballa en un espai discret, conegut com a pla Z. En canvi les lleis de control trobades estan en un espai continu, conegut com a pla S.

Per poder utilitzar els controladors en el pla Z s'ha d'adquirir la temperatura en format digital, trobar l'error entre la consigna i la temperatura del sistema i utilitzar-lo per trobar la nova sortida del sistema. Un cop s'obté la nova consigna de ventilació, aquesta s'ha de transferir el ventilador a través d'una senyal analògica.

Quan s'introdueix el càlcul d'un processador s'ha d'executar de forma discreta. A la figura 48 s'ha introduït com s'ha de mostrejar la temperatura del sistema amb un ADC. A continuació aquesta temperatura es compara amb la consigna. Una vegada s'ha obtingut l'error de la senyal s'introdueix en el controlador PI. Aquest ha d'executar les operacions necessàries, en el pla Z, per poder actualitzar la consigna de velocitat del ventilador. Aquesta nova velocitat es transmet en un convertidor digital a analògic. El procés discret complet és mostra a la figura 48. Es pot comparar amb la figura 53 que era amb un controlador continu.

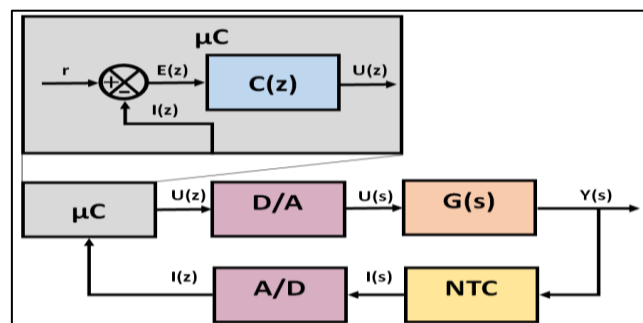


Figura 53. Controlador discret.

Primer es presenta l'algorisme bàsic del PID en el pla temporal, a l'equació 24:

$$u_{(t)} = k_p \left(e_{(t)} + \frac{1}{T_i} \int_0^t e_{(t)} dt + T_d \frac{de_{(t)}}{dt} \right) \quad (\text{Eq.24})$$

On:

K_p Guany del sistema.

T_i Temps de l'integrador.

T_d Temps del derivador.

$u_{(t)}$ Resposta del controlador.

$e_{(t)}$ Senyal d'error.

Per simplificar la manipulació de l'equació 24, amb les integrals i derivades s'aplica la transformada de Laplace i s'obté, d'aquesta manera, l'equació 25. Aquesta equació és contínua.

$$U_{(s)} = k_p \left(1 + \frac{1}{S \cdot T_i} + S \cdot T_d \right) E_{(s)} \quad (\text{Eq.25})$$

On:

K_p Guany del sistema.

T_i Temps de l'integrador.

T_d Temps del derivador.

$U_{(s)}$ Resposta del controlador.

$E_{(s)}$ Senyal d'error.

Aquest controlador s'haurà d'implementar en un sistema continu. Per exemple, amb electrònica passiva i activa (condensadors, bobines, resistències, transistors, etc) però com ja s'ha introduït, aquest controlador, serà executat dins d'un PIC, a continuació es transformarà a pla Z.

Per transformar la funció de transferència del pla S al pla Z hi ha diferents mètodes. En aquest cas es fa servir l'aproximació per Euler. Per fer aquesta transformació de pla només cal substituir les S de la equació 25 per la equació 26, proposada per Euler.

$$S = \frac{1-Z^{-1}}{T} \quad (\text{Eq.26})$$

On:

S Variable pla S.

T Període.

Z Variable pla Z.

Quan es substitueix s'obté l'equació 27:

$$U_{(z)} = k_p \left(1 + \frac{1}{T_i} \frac{T}{1-Z^{-1}} + \frac{1-Z^{-1}}{T} \cdot T_d \right) E_{(z)} \quad (\text{Eq.27})$$

On:

K_p Guany del sistema.

T_i Temps de l'integrador.

T_d Temps del derivador.

$U_{(z)}$ Resposta del controlador.

$E_{(z)}$ Senyal d'error.

Ara s'ha de desenvolupar l'equació per obtenir l'algorisme absolut, aquest permet calcular separatament cada una de les accions del PID a l'equació 28.

$$U_{(k)} = U_p + U_i + U_d \quad (\text{Eq.28})$$

On:

$U_{(k)}$ Acció del controlador.

U_p Acció proporcional.

U_i Acció integradora.

T_d Acció derivadora.

Cada una d'aquestes accions es desenvolupa en les pròximes equacions, l'equació 29 és l'acció proporcional.

L'acció proporcional actua sobre l'error entre la temperatura del condensador i la temperatura de consigna.

$$U_p = K_p \cdot E_{(k)} \quad (\text{Eq.29})$$

On:

U_p Acció proporcional.

K_p Constant proporcional.

$E_{(k)}$ Senyal d'error.

La segona acció és la integradora i està desenvolupada a l'equació 30. Aquesta acció apart de ser un producte entre una constant i l'error, recorda l'acció integradora anterior i la torna aplicar.

$$U_i = U_{i(k-1)} + \frac{K_p \cdot t_s}{T_i} \cdot E_{(k)} \quad (\text{Eq.30})$$

On:

U_i Acció integradora.

$U_{i(k-1)}$ Acció integradora del cicle anterior.

t_s Temps de mostreig.

T_i Temps integrador.

K_p Constant proporcional.

$E_{(k)}$ Senyal d'error.

Per últim l'acció derivadora es desenvolupa a l'equació 31. Aquesta acció té en compte la diferència entre l'error actual i l'anterior.

$$U_d = \frac{K_p \cdot T_d}{t_s} \cdot (E_{(k)} - E_{(k-1)}) \quad (\text{Eq.31})$$

On:

U_d Acció derivadora.

t_s Temps de mostreig.

T_d Temps derivatiu.

K_p Constant proporcional.

$E_{(k)}$ Senyal d'error.

$E_{(k-1)}$ Error del cicle anterior.

És important poder tenir cada acció independent, d'aquesta manera es poden filtrar cada una de les accions en el cas que una es satura, per exemple en el terme integrador. A l'equació 30 es mostra com l'acció integradora recorda el valor anterior, aquesta memòria permet treure l'error d'establiment, a l'hora que també pot perjudicar a la resposta.

Si durant el funcionament normal del controlador s'allarga molts de cicles un error entre la consigna i el sistema, l'acció integradora va augmentant i es satura provocant un sobre pic. Per evitar aquesta la saturació és necessari un sistema anti-windup. Aquest sistema provoca un reset a l'acció integradora de forma dinàmica per evitar que assoleixi valors molts elevats. L'equació 32 és mostra els canvis per aplicar el anti-windup a l'equació 30.

$$U_i = U_{i(k-1)} + \frac{K_p \cdot t_s}{T_i} \cdot E_{(k)} + \frac{1}{T_t} (U_{(k-1)} - E_{(k-1)}) \quad (\text{Eq.32})$$

On:

U_i Acció integradora.

$U_{i(k-1)}$ Acció integradora del cicle anterior.

t_s Temps de mostreig.

T_i Temps integrador.

K_p Constant proporcional.

$E_{(k)}$ Senyal d'error.

$E_{(k-1)}$ Error del cicle anterior

$U_{(k-1)}$ Acció del controlador del cicle anterior.

4.4 Resultats del controlador

El temps de mostreig del controlador és de 800ms. Cada cop que s'actualitza el controlador, transmet la temperatura del condensador i la descàrrega, l'error i l'acció de control, pel port sèrie per poder ser adquirits. Les proves es faran durant 10 minuts i es comprovarà la resposta dels dos controladors, són un total de 750 mostres. El primer controlador provat ha estat el Skogestad IMC.

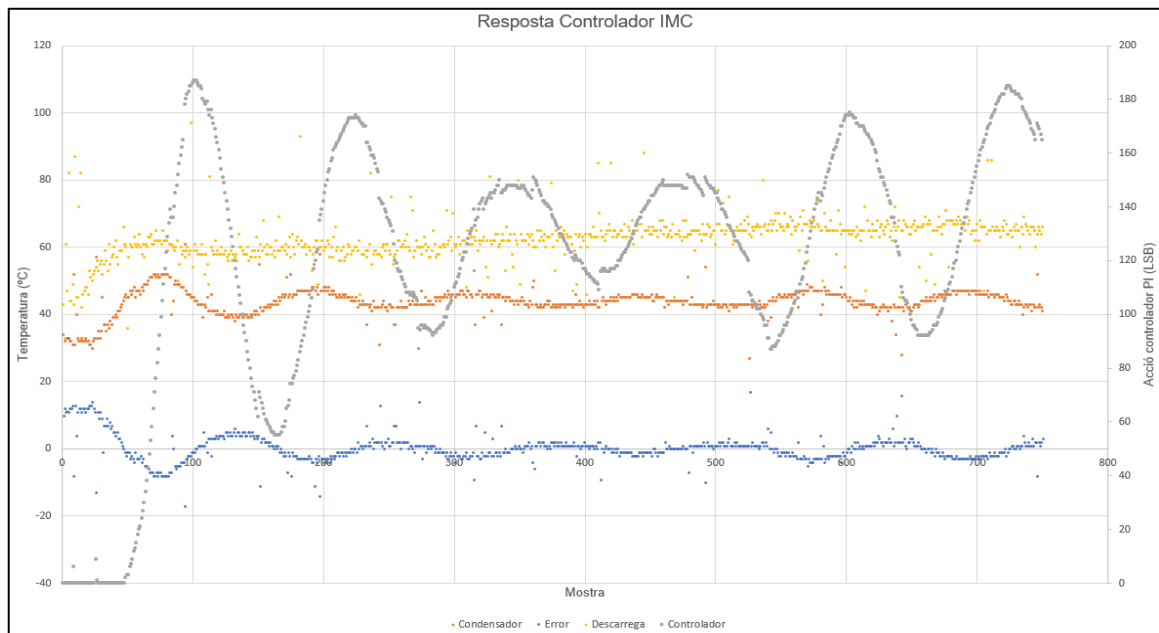


Figura 54. Resposta del controlador IMC.

La figura 54 mostra diferents gràfiques. El de color taronja és l'evolució de la temperatura del condensador. La gràfica blava és l'error entre la temperatura del condensador i la consigna. L'acció del controlador és en color gris i finalment la temperatura de la descàrrega del condensador és en groc.

El segon controlador és el MIGO, es mostra la seva resposta a la figura 55.

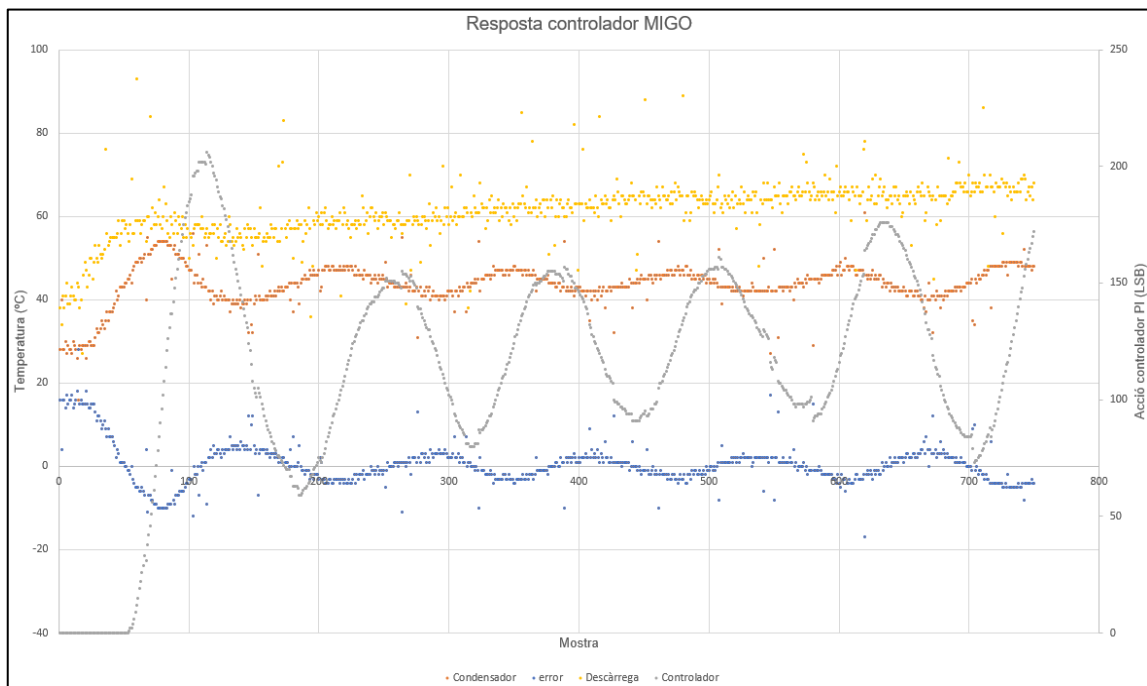


Figura 55. Resposta del controlador MIGO.

La figura 55 té la mateixa distribució de colors que la figura 54.

En els dos casos hi ha hagut una oscil·lació mantinguda del sistema causat per la relació entre la pressió i la temperatura. La descarrega del compressor en aquests 10 minuts no s'arriba a establir i pot produir aquesta oscil·lació.

La temperatura del condensador i l'acció del controlador va relacionada amb aquesta la descàrrega. Per la relació entre la temperatura i pressió sumat a la lentitud del sistema fa que aquest li costi molt establir-se.

L'especificació més important que ha de complir el controlador és anular l'error d'establiment al més aviat possible i minimitzar l'error. La figura 56 compara els dos errors.

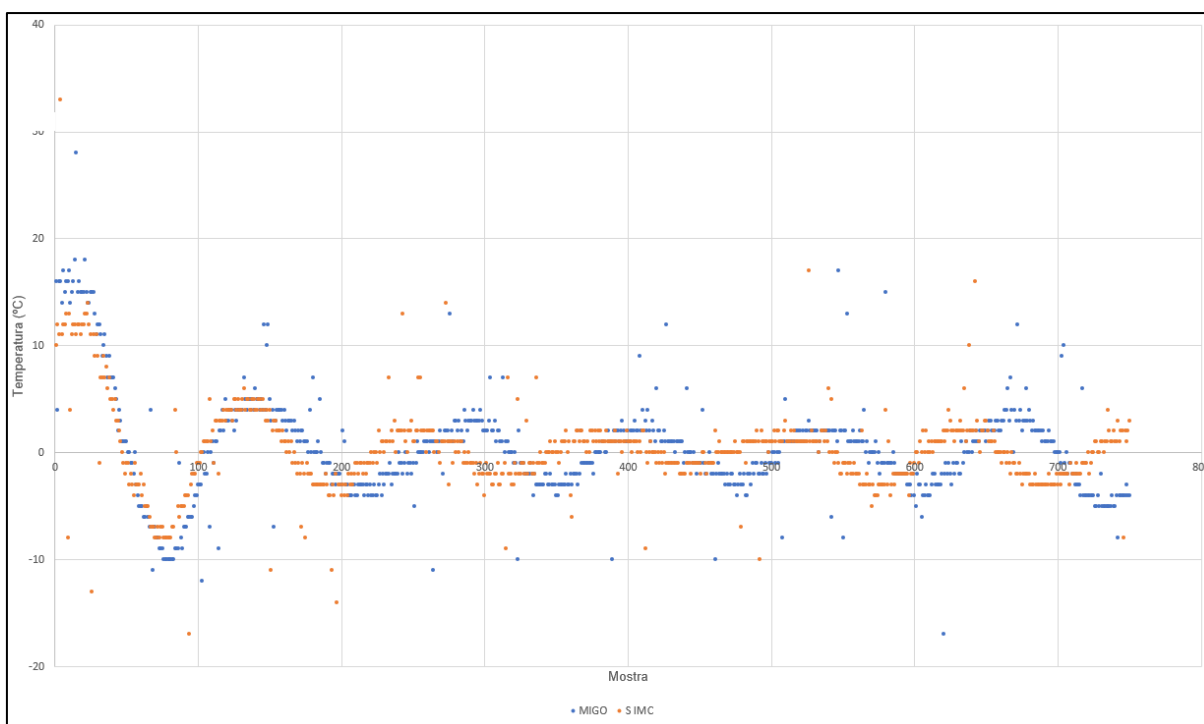


Figura 56. Comparació entre els errors dels controladors.

El color blau és l'error del controlador MIGO i el taronja l'error del controlador IMC. Es pot observar clarament com la gràfica taronja no només té un error inferior sinó que, a més a més té una resposta més ràpida. Per aquesta raó s'ha decidit aplicar el controlador Skogestad IMC.

5 Programa del PIC

El programa de la placa ha estat desenvolupat amb el MPLAB i el compilador XC8 de la marca Microchip. S'ha utilitzat en moltes ocasions elements de hardware intern del microcontrolador per evitar esperes entre els diferents processos que s'ha d'executar.

El programa conté totes les rutines i funcions necessàries per adquirir els sensors i comandar els actuadors de la placa per fer funcionar un aire condicionat. La figura 57 hi ha el diagrama amb les diferents parts del software.

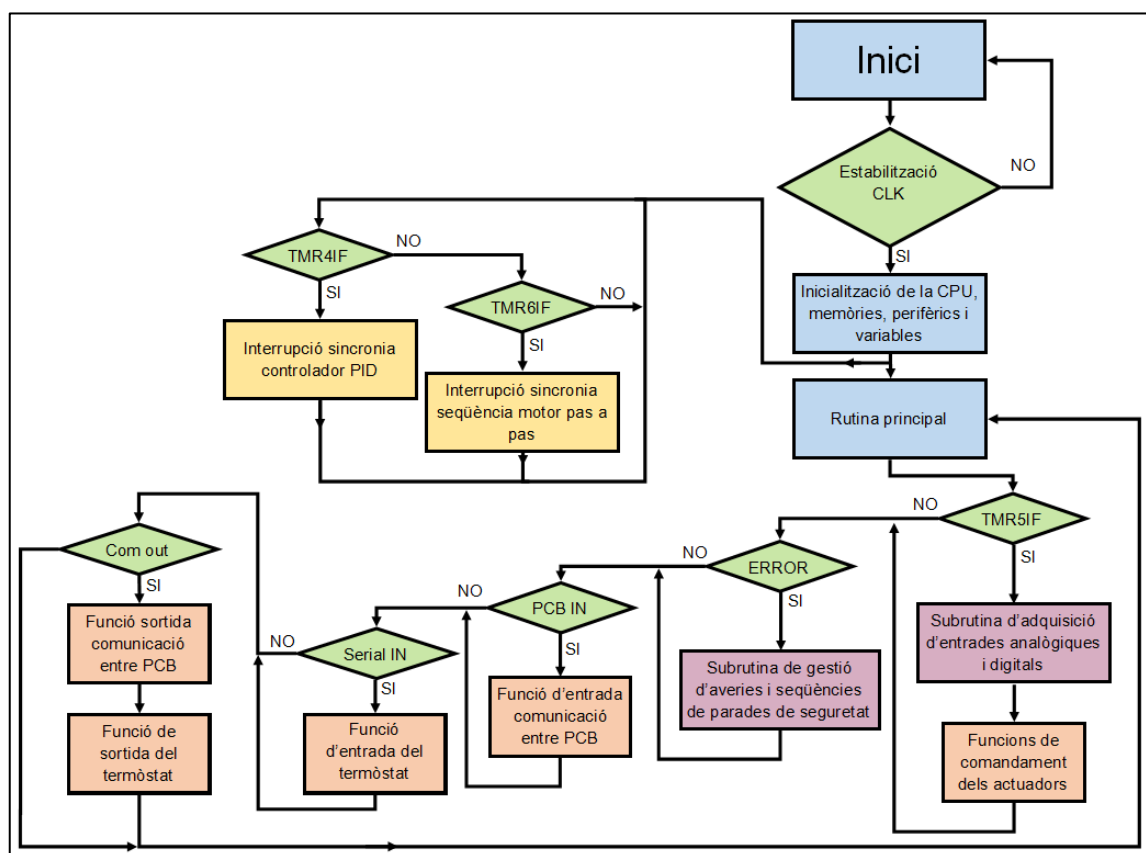


Figura 57. Diagrama de funcions del programa.

El programa comença a treballar quan el microcontrolador rep corrent, aquest es queda en la etapa de inici fins que la freqüència del rellotge principal de la CPU no s'estabilitza. Quan el rellotge és estable inicia tot el microcontrolador, el primer punt són les paraules de configuració, preparar les diferents memòries i iniciar tots els perifèrics que es necessitaran del PIC. Finalment, abans d'iniciar el programa, s'inicialitzen totes les variables.

Els perifèrics necessaris per l'execució del programa són: els mòduls d'entrada i sortida digital, el convertidor analògic a digital, els temporitzadors, el mòdul de comunicació sèrie, el PWM i

el SPI. Una vegada iniciats i programats adequadament amb les freqüències, poden començar a executar-se les diferents rutines del programa.

5.1 Rutina principal

La rutina principal del microcontrolador gestiona i controla totes les subrutines i funcions asíncrones del programa. Hi ha unes interrupcions síncrones que s'executen en el moment necessari, sense importar on es troba la rutina principal.

El primer és comprovar si la interrupció per pulling del temporitzador 5, aquest té un període de 500ms. Aquesta permet accedir a la adquisició dels diferents sensors analògics i booleans. Una vegada comprovat aquest flag es comprova si hi ha hagut un mal funcionament de la unitat.

A continuació es comproven les rutines de comunicació, primer es comprova si s'ha de rebre alguna comunicació, ja sigui entre les diferents plaques o mitjançant el Bluetooth. Si no s'ha de rebre cap missatge es comprova si hi ha quelcom per transmetre.

5.2 Subrutina d'adquisició d'entrades analògiques i digitals

La subrutina s'encarrega de llegir els diferents sensors. Cada entrada del sensor té associat un flag definit en el moment de compilar-lo, per si s'ha d'adquirir o no. Per a cada tipus de sensor hi ha diferents funcions i llibreries per fer les diferents tasques.

Per poder utilitzar qualsevol magnitud llegida en qualsevol rutina del programa, aquestes s'han de declarar com a globals en tot el projecte, així es poden utilitzar a totes les rutines i subrutines del programa. Aquestes declaracions són inusuals en C++ perquè poden generar conflictes amb les variables.

Un microcontrolador PIC de 8 bits té la memòria RAM estàtica per així evitar aquest conflicte, ja que amb assembleador una variable s'assigna a una posició immòbil de la RAM a través de la funció equ. Declarar aquesta variable amb assembleador mitjançant equ o amb C++ com a extern volatile variable té el mateix efecte.

El primer que s'adquireix són les temperatures. La llibreria NTC.h la genera automàticament a l'script de MATLAB, aquesta s'ha d'incloure directament el projecte de MPLAB.

La llibreria NTC.h conté uns encapçalats amb tota la informació de les NTC, tant propietats físiques del sensor com els càlculs de la linealització. La llibreria només té una funció, R_NTC(posmux), aquesta retorna en graus centígrads la posició que se li ha demanat, de la 0 a la 7. La taula 9 relaciona la posició del multiplexador amb la ubicació del sensor.

E. MUX	posmux	Ubicació
Y0	0	Ambient
Y1	1	Tub intercanviador
Y2	2	Descàrrega compressor
Y3	3	Post-expansió 1
Y4	4	Post-expansió 2
Y5	5	Post-expansió 3
Y6	6	Post-expansió 4
Y7	7	Post-expansió bypass

Taula 9. Entrades del multiplexador, posició en el multiplexador i ubicacions dels sensors.

El valor retornat és un enter de 8 bits amb signe, per tant pot donar una temperatura de -126°C fins a 127°C . La temperatura més calenta d'un equip d'aire condicionat és la descàrrega del compressor; amb R32, el gas fluorat amb la descàrrega més calenta, aquesta no ha de superar els 90°C en funcionament per això, si està a 120°C indica una averia greu i s'ha d'aturar la unitat.

Per una altra banda, la temperatura més freda és troba a l'evaporador, en funcionament normal ha de ser de 5-4 graus centígrads i en el cas d'una avaria pot arribar a -10 . Per aquesta raó un enter de 8 bits amb signe és suficient pel rang de temperatures que s'han de mesurar en un equip d'aire condicionat.

Per temes de resolució els equips poden treballar de grau en grau o bé de mig en mig. Al tractar-se d'una placa de transició a l'espera d'arribar la PCB de recanvi de la marca, és suficient treballar amb enters sense decimals.

En segon lloc s'adquireixen els tacòmetres i els sensors de pressió. Aquests sensors tenen les entrades compartides mitjançant un multiplexador de dos circuits. Un bit definit per saber si globalment s'han d'adquirir.

Els primers sensors que es llegeixen són els dos tacòmetres, cal transformar l'entrada del ADC en revolucions per minut amb una recta de calibratge. L'equació 33 mostra aquesta recta.

$$\omega = 0,59 \cdot \text{ADC} \quad (\text{Eq.33})$$

On:

ω és les velocitat angular en revolucions per minut.
ADC el valor que retorna el convertidor ADC.

Si és necessari adquirir els sensors de pressió s'ha de posicionar el selector del multiplexador a 1, en aquest cas, els sensors d'alta pressió i de baixa pressió. L'equació 34 mostra l'equació del sensor d'alta pressió.

$$P_{\text{Alta}} = 49,07 \cdot \text{ADC} - 196,27 \quad (\text{Eq.34})$$

On:

P_{Alta} és les pressió d'alta en mil·libars.
ADC el valor que retorna el convertidor ADC.

El sensor de baixa pressió segueix l'equació 35.

$$P_{\text{Baixa}} = 15,70 \cdot \text{ADC} - 1062,81 \quad (\text{Eq.35})$$

On:

P_{Baixa} és les pressió de baixa en mil·libars.
ADC el valor que retorna el convertidor ADC.

Els últims sensors que cal adquirir són els sensors booleans, aquests només llegeixen el registre dedicat a la memòria RAM del microcontrolador.

Amb totes les variables actualitzades es comproven totes les accions de comandament. En aquest cas es destitueixen les accions que s'han de realitzar a la unitat interior i a l'exterior.

5.2.1 Comandament unitat exterior

En aquesta unitat el primer que es comprova són els sensors booleans. En el cas que alguns dels pressòstats o el clixon sigui 0, significarà que la unitat està en risc i s'ha de desconnectar immediatament el compressor. Perquè aquest error arribi a les diferents unitats connectades s'enviarà un telegrama pel bus de comunicació de l'avaria.

En segon lloc s'estudia les diferents temperatures, un excés tèrmic a la descàrrega del compressor o en el condensador també indica una avaria. Les sondes de temperatura de post-expansió ajuden a ajustar les vàlvules d'expansió.

Els sensors de pressió i tacòmetres són els últims sensors que s'analitzen, en el cas que el ventilador giri més lent del normal o si la pressió no sigui la prevista s'haurà de comprovar en la rutina de gestió d'avaries.

5.2.2 Comandament unitat interior

En aquesta unitat el primer es processar les temperatures, comprovar que s'hagi arribat a la temperatura de consigna o si s'ha de modificar la potència del compressor. També amb la sonda de la bateria a l'hivern es regula les revolucions del motor de ventilació interior per obtenir una calefacció confortable.

En segon lloc es comprovaran les entrades booleanes. El primer flotador de nivell indicaria que és necessari encendre la bomba de desguàs, a les unitats que la necessitin. Si el segon flotador també està actiu, indica un problema en el desguàs i s'ha de gestionar aquesta anomalia.

A les unitats amb tacòmetre és comprovarà la velocitat del motor i si fos necessari s'activaria el bit per la gestió d'errors.

5.3 Subrutina de gestió d'avaries i seqüències de parades de seguretat.

Aquesta seqüència s'hi accedeix a través d'una bit, aquest indica globalment si hi ha un error. Cada tipus d'error a gestionar tindrà una altra bandera. Hi ha diferents prioritats, és més important gestionar una sobre-temperatura de la descàrrega del compressor que una desviació amb la velocitat d'un ventilador.

Aquesta rutina és molt més important a la unitat exterior que a la interior, això és degut que a l'exterior s'ha de procurar pel compressor. Aquest component és un recanvi costós i delicat.

Quan arriba una avaria es torna a comprovar, per exemple, si hi ha el condensador a una temperatura de més de 50°C a les funcions de comandament s'encendrà el flag de l'error i de

l'accés de temperatura. A la gestió s'ha de comprovar la temperatura ambient, si aquesta és molt alta és normal que sigui difícil condensar.

Amb la comprovació de les diferents pressions i temperatures es podrà decidir si l'anomalia que s'ha detectat és una avaria o causada per condicions ambientals extremes. En el primer cas només es pot actuar d'una manera, enviar a les unitats interiors el codi d'avaría detectat i apagar les unitats per no causar una avaría major. En el segon cas, cal ajustar els diferents funcionaments de la màquina per tornar a un règim de funcionament segur. Hi ha diferents accions possibles, reduir la velocitat del compressor permetrà baixar la temperatura del condensador, però també reduirà el fred generat per la màquina.

Tot i haver adoptat una solució perquè la màquina treballi dins d'un rang segur de funcionament pot persistir diverses adquisicions fora de rang. Si la lectura d'un o més sensors està fora de rang més de 15 minuts també es considerarà una avaría i desconnectarà la unitat.

5.4 Comunicació

És important la comunicació entre els diferents aparells destinats a climatitzar la mateixa estança. La unitat exterior necessita rebre informació de la unitat interior, com per exemple, el salt tèrmic que hi ha entre la temperatura de consigna de l'usuari i la de l'habitació per poder assignar una velocitat al compressor.

També és important poder enviar i rebre informació al termòstat. Aquest és una aplicació desenvolupada amb APP inventor per a un dispositiu Android. El termòstat permet posar en marxa i apagar la unitat, el mode de funcionament, la velocitat de ventilació i la temperatura de consigna.

La Figura 58 mostra la pantalla principal del termòstat. El primer que s'ha de fer és vincular el telèfon mòbil amb el Bluetooth de la placa. En segon lloc es prem el botó connectar, el de color groc de la app, per establir el vincle amb la placa. Cada un dels botons té assignada una lletra majúscula que s'envia a la placa. Si es prem el botó Temperatura, el de color verd de la app, s'obra un desplegable amb les diferents temperatures de consigna. Cada temperatura té assignada una lletra minúscula que es transmet via Bluetooth a la unitat interior. Els blocs de la aplicació es troba en annex H.

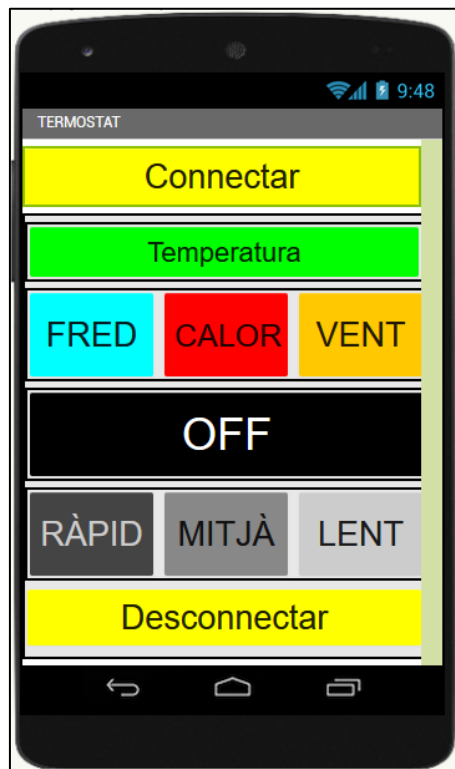


Figura 58. Pantalla principal del termòstat.

Per la recepció d'averies, el termòstat té una finestra dedicada a rebre els missatges des de la placa. En aquesta es mostra el numero d'avaria i una breu descripció.

El primer pas per comunicar-se és comprovar si els dos canals de comunicació estan lliures per evitar col·lisions. Si un dels dos ja estigués ocupat, primer s'hauria d'atendre la recepció per alliberar el bus i comprovar que no sigui un missatge d'emergència.

Un cop lliures les vies de comunicació, la placa es comunicarà si ho necessita. Amb el termòstat ja hem vist que és mitjançant el Bluetooth a través del port UART del microcontrolador, però amb les altres plaques és una comunicació asíncrona half-duplex.

5.4.1 Comunicació entre plaques

Aquesta comunicació tenia diverses limitacions explicades a l'apartat 3.8 d'aquest document, algunes es traslladen en el moment de desenvolupar el codi de comunicació. La gran limitació és utilitzar un mateix fil per enviar i rebre missatges sense rellotge.

El disseny d'aquesta comunicació ha estat inspirada en tres comunicacions existents. Per una banda, el sistema de transmissió sèrie del RS232; per una altra, el sistema d'adreçament i

comunicació del I²C i, finalment, amb la inicialització i transmissió de bits del infraroig. Aquesta comunicació, tot i que lenta, és robusta.

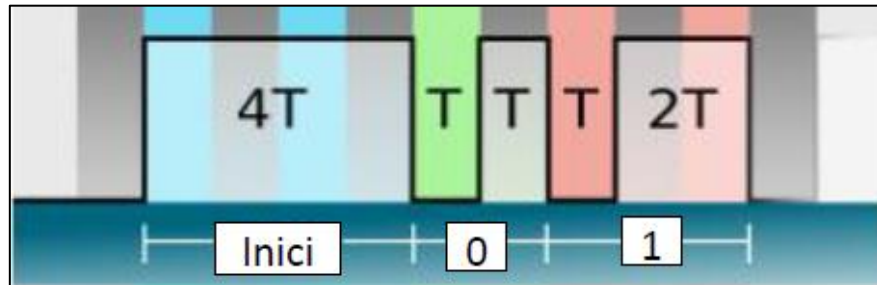


Figura 59 Temps d'inicialització i enviament dels bits de protocol.

La figura 59 és un diagrama dels temps de transmissió a través del bus. El període del protocol és un mil·lisegon. Per inicialitzar el protocol s'envia un 1 lògic 4 períodes. Per transmetre un 0 lògic a través del bus s'envia un període a 0 i un a 1. Finalment per transmetre un 1 a través del bus s'envia un període a 0 i dos a 1. Aquest sistema està inspirat amb l'infraroig.

	font	Destí	Funció	R e g i s t r e	D a d a
Inicialització	bit 1				
	bit 2				
	bit 3				
	bit 4				
	bit 5				
	bit 6				
	bit 7				
	bit 8				
	bit 9				
	bit 10				
	bit 11				
	bit 12				
	bit 13				
	bit 14				
	bit 15				
	bit 16				
	bit 17				
	bit 18				
	bit 19				
	bit 20				
	bit 21				
	bit 22				
	bit 23				
	bit 24				
	b y t e 1	b y t e 2	b y t e 3		

Figura 60. Telegrama de comunicació.

La figura 60 mostra els 3 bytes que formen el telegrama de comunicació. Aquesta distribució està inspirada amb el I²C, ja que el primer byte està format per l'adreça de 3 bits del dispositiu que transmet el missatge; els següents 3 bits són l'adreça del dispositiu que es vol comunicar; i finalment dos bits que indiquen la funció que es vol realitzar. El segon byte és el registre que es vol escriure o llegir i l'últim byte és la dada d'aquest registre.

Amb tres bits d'adreces el protocol és capaç de comunicar-se fins a 8 dispositius encara que, per l'actual treball, només és necessari adreçar-se a una unitat exterior i a 4 interiors. La taula 10 els ordena.

Adreça	Ubicació Placa
0	Exterior
1	Interior 1
2	Interior 2
3	Interior 3
4	Interior 4
5	Termòstat central
6	
7	

Taula 10. Adreces de comunicació.

Una ampliació del treball actual podria ser dissenyar un termòstat central, amb l'adreça número 5, per controlar les unitats des d'un lloc central.

Per les funcions hi ha 2 bits, això dona 4 funcions: escriure un registre, llegir un registre, contestar un registre i la parada d'emergència. La taula 11 els mostra.

Bit 7	Bit 8	Funció
0	0	Escriure un registre
0	1	Llegir un registre
1	0	Contestar un registre
1	1	Parada d'emergència

Taula 11. Adreces de comunicació.

Per escriure un registre només és necessari un telegrama, l'emissor envia quin registre s'ha de modificar i quin és la nou valor del registre. Per llegir un registre són necessaris dos telegrames, l'emissor envia quin registre vol llegir i el byte de dades són tots 0, el receptor del primer telegrama contesta amb el segon telegrama amb el registre que ha demanat el primer i la dada del registre.

Finalment, en el cas d'una parada d'emergència, només és important el 1r byte. Hi ha la font que genera l'aturada, com a destí sempre hi haurà la màquina exterior i tant el registre com la dada seran 0. És així perquè és més ràpid transmetre un 0 que un 1 a través del bus.

A més a més, en el cas d'una parada d'emergència, totes les unitats ho llegiran i s'han d'apagar, no hi ha un destí concret, sinó que totes les plaques connectades al bus ho han de

llegir i executar la parada d'emergència. Una vegada realitzada l'aturada, les unitats es comunicaran per transmetre l'avaria fins els termòstats.

Registre	Funció
0	Averia
1	Temperatura ambient interior
2	Temperatura ambient exterior
3	Temperatura intercanviador interior
4	Temperatura intercanviador exterior
5	Temperatura post-expansió 1
6	Temperatura post-expansió 2
7	Temperatura post-expansió 3
8	Temperatura post-expansió 4
9	Temperatura post-expansió bypass
10	Pressió alta
11	Pressió baixa
12	Pressòstat alta
13	Pressòstat baixa
14	Clixon compressor
15	Flotador condensats 1
16	Flotador condensats 2
17	Velocitat ventilació unitat interior
18	Velocitat ventilació unitat exterior 1
19	Velocitat ventilació unitat exterior 2
20	Accionament de la bomba de condensats
21	Accionament vàlvula 4 vies
22	Mode unitat
23	Expansió 1
24	Expansió 2
25	Expansió 3
26	Expansió 4
27	Expansió Bypass
28	Velocitat compressor
29	Temperatura consigna

Taula 12. Registres d'ocupats.

La taula 12 mostra la dada que hi ha a cada un dels registres. Només s'ocupen 30 dels 256 registres. Aquest sistema permetrà ampliar el protocol, si fos necessari.

La figura 61 mostra diagrama que transforma els bytes de paral·lel a sèrie per poder transmetre el telegrama. Es carrega els 3 bytes en el shift register i aquest transmet ja l'1 o el 0 a través del bus.

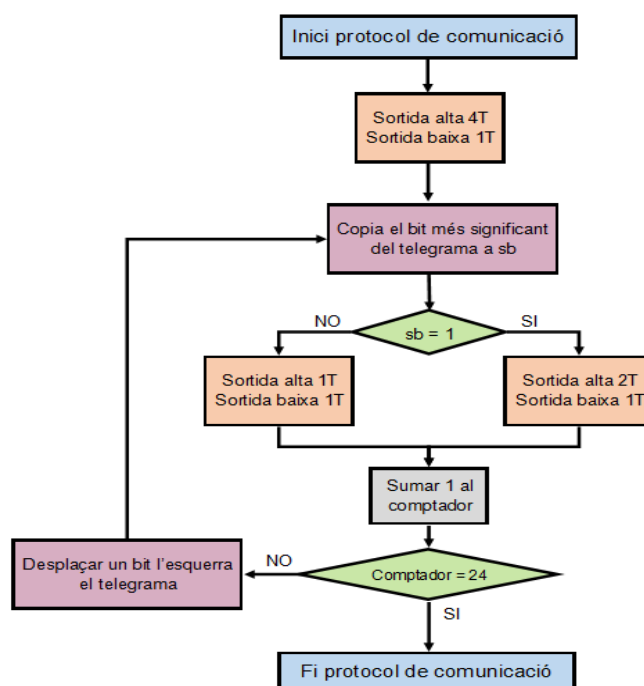


Figura 61. Diagrama del Shift register.

A la recepció hi ha el procés contrari, per tornar a construir el telegrama i poder realitzar les accions necessàries.

Per assegurar que no molesta res a la comunicació, aquesta desactiva les interrupcions síncrones del controlador. És important mantenir les conversacions entre plaques al mínim, un protocol molt sorollós afectaria considerablement al bon funcionament de les interrupcions síncrones.

5.5 Interrupcions síncrones

El programa té dues interrupcions, els temporitzadors 4 i 6. Aquests són requerits per l'optimització del temps necessari per realitzar els passos en els motors pas a pas i assegurar el període del controlador discret desenvolupat a l'apartat 4 del present projecte.

Aquestes interrupcions tenen un període definit i en qualsevol moment es poden executar sense importar què estigui fent el microcontrolador. És important que aquestes siguin molt ràpides.

5.5.1 Interrupció síncrona dels motors pas a pas

Els motors pas a pas tenen un temps d'espera entre que s'aplica la senyal de control en el motor i aquest a realitzat el pas. Aquest temps s'ha predeterminat de 5ms. Això vol dir que en

cas d'una vàlvula d'expansió, que té 500 passos, per obrir-la completament es necessitarien dos segons i mig.

Quan es posa en marxa la màquina, després d'una falta d'alimentació elèctrica, s'ha de retornar a la posició inicial. La única manera per aconseguir-ho, és la d'obrir els 500 passos i tornar-los a tancar; això vol dir que en el cas que hi hagi 5 vàlvules es tarda 25 segons en completar aquesta tasca. Durant el temps que es mouen les vàlvules, si es fes servir la funció delay, el microcontrolador no podria realitzar res més.

La unitat interior pot tenir la opció de ventall, aquesta funció mou la direcció dels flaps contínuament. aquesta acció ocuparia una gran quantitat de temps de la CPU realitzant les esperes entre els passos. A través de la interrupció síncrona s'evita aquest problema.

Per evitar aquest problema, s'ha configurat el temporitzador intern numero 6 perquè faci aquesta tasca per interrupció del flux de programa, és la interrupció de menys prioritat. Quan es produeix la interrupció s'implementa el pas.

Com que la interrupció ha de ser al més ràpida possible, el càlcul del pas i el registre de la posició del pas s'executen en el flux principal del programa i a la interrupció només es carreguen les sortides booleanes per a cada un dels motors. Per poder seguir el programa s'han declarat totes les variables globals, d'aquesta manera hi ha transversalitat a totes les parts del codi.

Hi ha diferents variables per controlar els motors pas a pas:

Actstep, és una variable booleana que gestiona tot el procés. Quan és falsa permet a la interrupció actualitzar les sortides del pic, quan això es realitza el procés la torna a certa. Quan és certa vol dir que el flux principal del programa ha de re-calcular el següent pas.

Pasx, en aquesta variable entera de 16 bits amb signe té el registre del pas en que es troba en tot moment. N'hi ha una per cada una de les sortides del motor pas a pas

Noupasx, aquesta variable entera de 16 bits amb signe, indica la posició que es vol assolir. N'hi ha una per a cada sortida de motor pas a pas.

Sumax, és una variable booleana que controla si el motor ha de sumar un pas a la següent iteració, si aquesta és certa o restar si és falsa. N'hi ha una per a cada motor.

Conxy, és una variable entera sense signe de 8 bits. Aquesta variable està dividida en dos per una millor gestió de la memòria RAM de 8 bits que conté el PIC. Cada motor té 4 fils, per tant quatre bits a cada sortida. Al combinar dos motors per cada una de les variables. permet utilitzar millor les memòries. D'aquesta només hi ha 3 variables.

Per gestionar totes les variables hi ha diverses funcions que es troben en el fitxer stepper.h. La funció principal és updatemotor(); Aquesta funció actualitza totes les variables, comprova quins motors s'han de moure i és l'encarregada de posar en marxa el temporitzador i parar-lo quan ja no és necessari.

Una altre funció important és la de calcularpas(), aquesta té com entrades el motor que es vol canviar la seva posició i els passos que es vol incrementar o decrementar.

La resta de funcions gestionen les sortides físiques del pic i el multiplexador.

5.5.2 Interrupció síncrona del control PID

El rellotge 4 controla la interrupció del PID i l'executa cada 0,8 segons. Aquesta interrupció aplica les equacions desenvolupades en el apartat 4.3 amb els resultats obtinguts del controlador. A la capçalera del fitxer hi ha definits els diferents termes del controlador, aquests valors es troben a la taula 13.

Constant	Valor	Descripció
Kp	-0,57	Constant proporcional
Ti	14,00	Constant integradora
Ts	0,80	Període del controlador
Tt	4,00	Temps anti wind-up integrador
PIMAX	254	Valor màxim de l'acció del controlador
PIMIN	0	Valor mínim de l'acció del controlador

Taula 13. Registres d'ocupats.

La figura 62 és el diagrama que calcula el controlador. El primer pas és actualitzar el valors utilitzats en el cicle anterior del controlador. El segon pas és calcular la diferència entre la temperatura del condensador i la de la consigna. El tercer pas és calcular l'acció integradora

del controlador. Aquesta part tot i aplicar el sistema anti wind-up se li ha aplicat una segona seguretat per evitar la saturació de la sortida. El ventilador té un rang d'actuació concret, de 0 a 254, i ens assegurem que no en pugui sortir. En tercer lloc es calcula l'acció proporcional i afegeix l'acció del integrador per obtenir la sortida global del PI. Es torna a comprovar que estigui dins del rang d'actuació del motor exterior. La figura 62 és el diagrama de funcionament del PID.

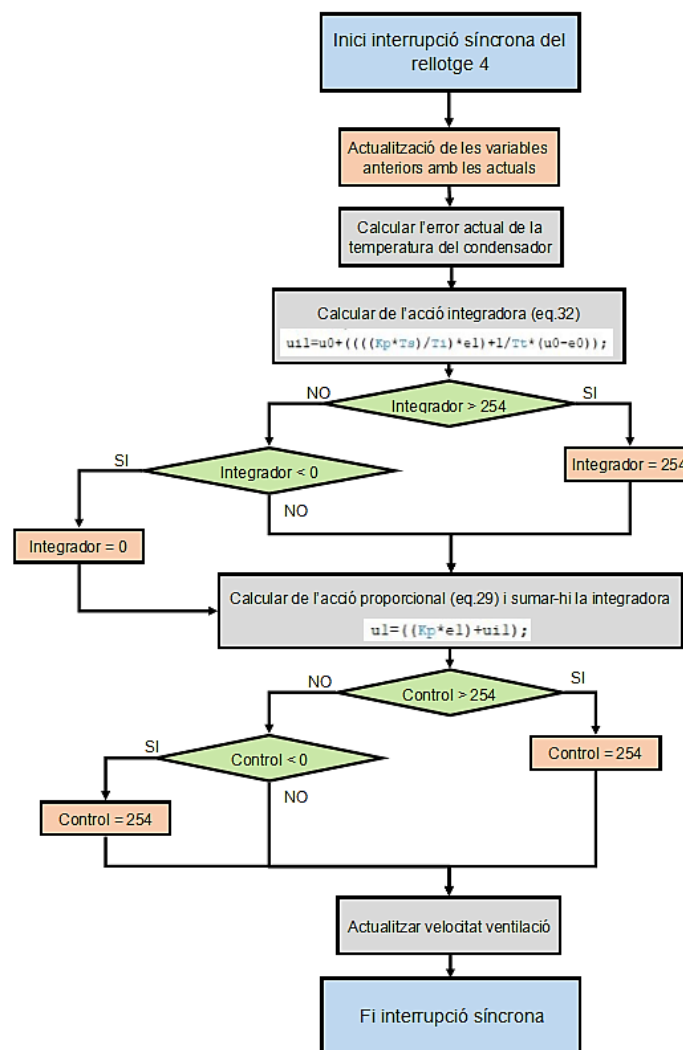


Figura 62. Diagrama de control.

5.6 Posta en funcionament motors sense escombretes

Els motors i el compressor sense escombretes es troben a la màquina, per aquesta raó és necessari programar les plaques d'Infineon per a cada cas i màquina. Aquesta marca ens facilita dos programes el MCE Wizard que permet entrar tots els diferents valors del motor elèctric i la programació de l'script del motor. El segon programa MCE Designer permet pujar els valors prèviament comprovats en el MCE Wizard i monitoritzar el funcionament del motor.

A l'apartat 3.3 del present document es parla dels conjunts necessaris per poder operar els motors sense escombretes. Els motors de ventilació necessiten la placa EVAL-M1-101T on hi ha el microcontrolador i la placa EVAL-M1-05-65D on hi ha la gestió de potència. Els compressors necessiten una potència més elevada, a més a més de necessitar un mòdul de correcció del factor de potència (PFC). La placa de control és la EVAL-M3-102T i la de potència la EVAL-M3-CM615PN.

Les plaques de control necessiten paràmetres físics i constructius del motor que han de controlar, a més a més la placa amb el mòdul PFC necessitarà paràmetres extres per obtenir el millor factor de potència. Tots aquests paràmetres els demana ordenadament el MCE Wizard.

El primer valor que demana és la intensitat del motor. Aquest valor es troben a la placa de característiques del motor, de la mateixa manera que s'obté els numero de pols del motor.

Una vegada s'han entrat les dades de la placa de característiques, demana valors els que s'han de quantificar directament en els bobinats del motor. La primera mesura és la resistència òhmica per fase. En segon lloc, la inductància per fase del motor, aquesta pot variar si el motor és de pols llisos o bé de pols sortits. S'ha de fer girar el motor poc a poc mentre es mesura, la lectura bona serà la màxima. La figura 63 mostra com canvia la inductància d'una de les bobines al llarg d'una revolució mecànica.

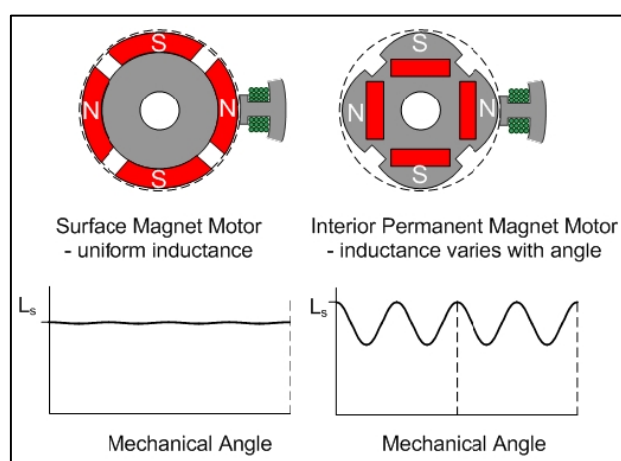


Figura 63. Inductància del motor en funció del tipus de rotor.

La pròxima mesura és la inducció mínima, la majoria de motors estan construïts amb pols sortints, per tant mentre L_s és la inducció màxima la L_q és la mínima.

Un dels paràmetre que demana és el K_e . Aquest és la tensió induïda quan l'eix gira a 1000rpm. Aquest paràmetre és molt important per aconseguir un control acorat del motor. Per trobar-lo s'ha desenvolupat un programa de LabVIEW que, a través d'una targeta d'adquisició de dades, s'obté la senyal induïda del motor al fer-lo girar a una velocitat constant. Aquest programa es pot veure l'annex C.

Quan s'inicia el programa, el motor pas a pas comença a girar. Com que el motor té una inèrcia, tarda uns segons en agafar una velocitat constant. El programa considera que hi ha arribat quan una mostra supera els 4V. Tot seguit entra en un bucle que adquireix 1000 dades a 500S/s. Al cap de 2 segons s'ha acabat l'adquisició i comença el processat de les dades. El primer pas és trobat el voltatge de pic a pic i la freqüència de rotació del motor. Amb aquests valors s'aplica l'equació 36, proposada per Infineon, per obtenir la força contra electromotriu.

$$K_{e_{1kRPM}} = \frac{V_{pp}}{2 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{3}} \cdot \frac{16,67 \cdot N_{pp}}{f_m} \quad (\text{Eq.36})$$

On:

$K_{e_{1kRPM}}$ Força contra electró motriu eficaç a 1000rpm.

V_{pp} Voltatge de pic a poc.

N_{pp} Numero de parell de pols.

f_m Freqüència de gir mesurada.

L'equació 33 està introduïda en el programa de LabVIEW i aquest ja dona el valor. Es va realitzar 3 vegades l'experiment i es va fer la mitjana per obtenir el K_e introduït en el microcontrolador d'Infineon.

Els següents paràmetres que demana el MCE Wizard són mecànics i poden variar en funció de l'aplicació que el motor hagi de realitzar: com els RPM màxims i mínims del motor, la rampa d'acceleració del motor, el parell màxim d'arrencada i el temps per aparcar el rotor després del funcionament.

Un cop hi ha el motor programat, cal programar la placa. Aquest demana si es vol fer servir algun dels GPIO digitals o entrada analògica. En aquest cas, es necessita una entrada digital i una d'analògica. Amb la digital s'habilitarà el motor i amb l'analògica s'assignarà la velocitat de gir. S'introdueix l'script, es mostra en el annex D, en el cas del ventilador. Finalment es verifica que tots els paràmetres siguin correctes i dona un fitxer TXT que s'haurà d'importar el

MCE Designer per instal·lar els paràmetres en el microcontrolador. S'adjunta el resultat a l'annex F.

La placa amb correcció del factor de potència necessitarà als paràmetres anteriors per controlar el motor, a més a més dels paràmetres dels PFC. En aquest cas hi ha un problema amb el compressor, aquest és hermètic i no es pot accedir a l'eix del motor per fer la prova del Ke. En aquest cas és necessari buscar la fitxa de característica completa del compressor.

La placa té una tipologia boost del PFC. És necessari introduir la intensitat màxima que passarà pels rectificadors. La alimentació del compressor utilitza un mode que compensa la força contra electromotriu a través d'un convertidor boost. També necessita els paràmetres del PID per mantenir estable el PFC i intentar reduir el màxim el factor de potència.

Aquest control s'ha trobat amb unes regles proposades per Infineon i ajustades empíricament. Per últim, necessita conèixer entre quines tensions d'entrada pot operar la placa de potència. Igual que en la placa del ventilador s'escull l'entrada digital i la analògica i s'introdueix l'script. Igual que amb l'altre placa, s'ha de verificar els valors entrats i retorna el fitxer .txt amb tots els paràmetres. El resultat s'adjunta en el annex G.

6 Lliurament i posada en funcionament

El lliurament de la placa interior es realitzarà amb el programa adaptat per a una aplicació en concret. S'haurà d'especificar quin tipus de motor té: si és un motor de fase partida, sense escombretes amb control integrat o amb el control extern. A més a més, s'ha d'especificar el tipus d'interior, per si fos necessari el control del desguàs a través de les boies de nivell. La placa inclourà les dues sondes de la unitat interior, la d'ambient i la de l'intercanviador.

El lliurament de la placa exterior també és necessari especificar el tipus de motor de ventilació i quants en dur. Si la unitat incorpora pressòstats i/o sensors de pressió per incorporar-los a la lectura dels sensors. A més a més, és important notificar la quantitat de vàlvules d'expansió electròniques, per incloure les sondes.

Amb tota la informació subministrada pel client, es programaran les plaques per substituir, temporalment,, les plaques electròniques de la marca fins que aquesta aprovisioni les originals de la unitat.

En funció de l'aparell serà necessari desenvolupar una llei de control específica pel bon funcionament del condensador. En aquest cas el lliurament vindrà amb una posada en funcionament de les plaques. Aquesta serà realitzada per un tècnic especialista i format per realitzar aquesta tasca.

7 Resum del pressupost

S'ha dissenyat una placa universal per mantenir els equips d'aire condicionat en marxa mentre s'espera el recanvi del fabricant. Aquesta placa tot i no aprofitar el 100% del rendiment del equip, permetrà seguir climatitzant l'estança en el cas que hi hagi una avaria en els controladors electrònics d'un aparell d'aire condicionat.

El client haurà d'especificar quina màquina es comandarà amb aquest disseny per adaptar-lo a la màquina i a les seves necessitats.

El pressupost total del present projecte, el qual inclou el disseny de la placa, el circuit imprès, el muntatge del circuit, la programació del microcontrolador, tots els sensors, les plaques de potència i la posada a punt, està valorat en tres mil cent dinou euros amb vint-i-sis cèntims, sense IVA.

8 Conclusions

L'objectiu del present projecte ha estat el disseny d'una placa universal d'aire condicionat, que pugui comandar els actuadors i llegir els sensors, tant de la unitat interior com de l'exterior. A més a més aquesta placa havia de ser compatible en diversos tipus d'unitats interior i exterior.

Inicialment la placa principal s'ha desenvolupat amb el pic 16F18875, però s'ha canviat el PIC pel 16F18877 que té més memòria per poder assumir totes les funcions de la placa.

La placa conté les fonts d'alimentació necessàries per alimentar els diferents actuadors que es troben en un aire condicionat. S'ha desenvolupat un sistema de comunicació per poder aprofitar les connexions elèctriques existents a la instal·lació.

Per maximitzar el rendiment de la màquina s'ha desenvolupat un controlador PI del sistema format pel condensador i la seva ventilació. Aquest control permet mantenir la temperatura del condensador constant.

Respecte el termòstat i comandament de la màquina, s'ha desenvolupat una aplicació per Android. Aquesta realitza la funció d'interfície gràfica entre la màquina i l'usuari. La connexió entre la placa i l'aplicació es sense fils mitjançant Bluetooth.

S'han assolit els objectius plantejats inicialment. S'han realitzats prototips per comprovar el funcionament de diferents aspectes del projecte. Tot i així, es plantegen altres aspectes a tenir en compte en futurs projectes del mateix àmbit. Les possibles millores d'aquest projecte podrien ser: desenvolupar més lleis de control per a diferents casos ambientals, aprofitar energia renovable per alimentar el bus de 315Vdc de potència o connectar la placa al Wi-Fi per ampliar les funcions del termòstat.

Eudald Arbós Camps

Graduat en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica.

Santa Coloma de Farners, 27 d'agost del 2019.

9 Relació de documents

El control universal d'un aire condicionat consta de cinc documents independents, aquests són la memòria, els plànols, el plec de condicions, l'estat d'amidaments i el pressupost.

10 Bibliografia

BIANCA MARIELA INNOCENTI BADANO. Tema 3 condicionament de senyal. Instrumentació electrònica. P17-19, P41-66. 2015.

DOCOTECHNOLOGIES, S.L.U. CoolWell inverter 2017. Madrid. 2017.

INFINEON Eval-m3-102t. (<https://www.infineon.com/cms/en/product/evaluation-boards/eval-m3-102t/>, 3 de febrer del 2019).

INFINEON Eval-m3-cm615pn. (<https://www.infineon.com/cms/en/product/evaluation-boards/eval-m3-cm615pn/>, 3 de febrer del 2019).

INFINEON. Eval-m1-05-65d. (<https://www.infineon.com/cms/en/product/evaluation-boards/eval-m1-05-65d/>, 3 de febrer del 2019).

INFINEON. Eval-m1-101t. (<https://www.infineon.com/cms/en/product/evaluation-boards/eval-m1-101t/>, 3 de febrer del 2019):

JOHNSON CONTROL. The European Products Catalogue 2016. refrigeration components Transducers and Sensors P499. EUA. 2016.

JOSEP ANTONI RAMON GUASCH. Practica 3 disseny i realització d'un PID discret. Tècniques de control P4-15. 2016.

K.J. ASTRÖM i T. HÄGGLUND. Revisiting the Ziegler–Nichols step response method for PID control. Journal of Process Control 14. P635-650. 2004.

LEARN EMC. PCB Layout. (<https://learnemc.com/pcb-layout>, 10 d'abril de 2019)

MICROCHIP TECHNOLOGY INC. MCP4161 digital potentiometers with EEPROM, SPI (<https://www.microchip.com/wwwproducts/en/PIC16F18877>, 26 de novembre de 2018).

MICROCHIP TECHNOLOGY INC. MPLAB Code Configurator. (<https://www.microchip.com/mplab/mplab-code-configurator>, 26 de novembre de 2018).

MICROCHIP TECHNOLOGY INC. MPLAB X IDE. (<https://www.microchip.com/mplab/mplab-x-ide>, 26 de novembre de 2018).

MICROCHIP TECHNOLOGY INC. MPLAB XC Compilers. (<https://www.microchip.com/mplab/compilers>, 26 de novembre de 2018).

MICROCHIP TECHNOLOGY INC. PIC16F18877 8bits PIC. (<https://www.microchip.com/wwwproducts/en/PIC16F18877>, 26 de novembre de 2018).

NAYLAMPMECHATRONICS. Configuracion AT Bluetooth HC-05. (https://naylampmechatronics.com/blog/24_configuracion-del-modulo-bluetooth-hc-05-usa.html, 20 de març del 2019).

NEPCB. PCB Stack-up design. (<https://www.nexpcb.com/blog/pcb-stack-up-design>, 10 d'abril de 2019).

PARKER HANNIFIN CORPORATIONSPORLAN DIVISION. Sporlan ElectricExpansion Valves. Washington. Bulletin 100-20, September 2008.

SIGURD SKOGESTAD I CHRIS GRIMHOLT. The SIMC method for smooth PID controller tuning. PID control in the third millennium P147-175. 2012.

STMICROELECTRONICS. L298. (<https://www.st.com/en/motor-drivers/l298.html>, 25 de març de 2019).

TEXAS INSTRUMENTS. Analog Engineer's Circuit: Non-inverting comparator with hysteresis circuit. SBOA313 Juny 2018.

TEXAS INSTRUMENTS. LM2917-N. (<http://www.ti.com/product/LM2917-N#>, 25 de març de 2019).

TEXAS INSTRUMENTS. TLV9064 Operational Amplifier with rail-to-rail Low-Noise (<http://www.ti.com/product/TLV9064>, 25 de març de 2019).

THE ENGINEERING MINDSET. How electronic expansion valves work (<https://theengineeringmindset.com/how-electronic-expansion-valves-work/>, 28 de març de 2019).

WIKIPEDIA. Equipos Refrigeración. (https://es.wikipedia.org/wiki/Equipos_de_refrigeración, 25 de febrer de 2019).

WIKIPEDIA. Motor paso a paso. (https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_paso_a_paso, 24 de maig de 2019).

WIKIPEDIA. Refrigerante. (<https://es.wikipedia.org/wiki/Refrigerante>, 18 d'agost de 2019).

WIKIPEDIA. Termistor NTC. (<https://ca.wikipedia.org/wiki/Termistor>, 19 de febrer del 2019).

WIKIPEDIA. Willis Haviland Carrier. (https://es.wikipedia.org/wiki/Willis_Haviland_Carrier, 25 de febrer de 2019).

11 Glossari

AC: Altern Corrent.

ADC: Analog-to-digital converter.

BEMF: Back Electromotive Force

BT: Bluetooth.

CO₂: Diòxid de Carboni.

COP: Coefficient Of Performance.

CPU: central processing unit.

DC: Direct Corrent.

GND: ground.

I²C: Inter-Integrated Circuit.

ICSP: In Circuit Serial Programming.

MUX: Multiplexer.

NTC: Negative Temperature Coefficient.

PFC: Power Factor Correction

PI: Controlador proporcional integrador.

PIC: Peripheral Interface Controller.

PID: Controlador proporcional integrador i derivador.

PWM: pulse-width modulation.

RAM: Random access memory

SPDT: Single pole, double throw.

SPI: Serial Peripheral Interface.

SPST: Single pole, single throw.

SR: Shift register

TTL: transistor-transistor logic.

UART: Universal Asynchronous Receiver-Transmitter.

A. Programa

El programes i les seves lliberies estan incloses en el CD del projecte. Per obrir el projecte es necessita el MPLAB X IDE i en el cas que és volgués compilar es necessita el MPLAB XC8.

B. Linealització NTC del MatLAB

```

close All; %es tenquen totes les figures obertes anteriorment
clear; %es neteja l'espai de treball
clc;
%simulació instrumentació NTC. Rs a la part inferior del divisor i dona Vo
%NTC entre Vcc i Vo. Rs entre Vo i GND
%paràmetres
%rang de temperatura de l'estudi
TC = -40:0.01:150; % Temperatura d'estudi en °C
%parametres NTC
R0 = [10000 10000 100000]; % resistència nominal a 25°C
B0 = [3988 3988 4190]; % Beta nominal a 25°C
%temperatura on es vol centrar la linealització
Tc0 = [15 28 70]; %temperatura en °C on es vol centrar la sonda
error=[15 20 25]; %marge de l'error de la recta en %
%tensió d'alimentació de la NTC en Volts
Vcc=[5 5 5];
%factor de dissipació de la NTC en mW/K
sig=[5 5 23];
%increment màxim de la temperatura
ATT=0.02; %incrament màxim en K que pot petir la NTC
viss = false; %visualitzar valor de voltatge maxm per complir increment
%conversió del ADC
bits=10;
VpuC=5; %voltatge alimentació positiu del ADC del controlador
VnuC=0; %voltatge alimentació negatiu del ADC del controlador

%visualitzar gràfiques
visual = false; %gràfiques intermitges
linali = false; %grafica linealitzada
lirang = false; %grafica linealitzada dins l'error
escalf = false; %gràfica linealitzada amb l'autoescalfament
adctem = false; %gràfica linelatizada amb ADC i temperatura
final = true; %gràfica final linealitzada ADC i amb la regressió

%s'inicia la llibreria del PIC
lib = fopen('NTC.h','w');
fprintf(lib, '// NTC linearization Functions Developed by
Madeco Pronic\r\n\r\n');
fprintf(lib, '// S''ha de delcarar les sortides del MUX NTC en MCC com:\r\n');
fprintf(lib, '// A0-> MUXNTC0\r\n');
fprintf(lib, '// A1-> MUXNTC1\r\n');
fprintf(lib, '// A2-> MUXNTC2\r\n\r\n');
fprintf(lib, '// S''ha de delcarar l''antrada del ADC de la NTC en MCC
com:\r\n');
fprintf(lib, '// RB0-> NTC\r\n\r\n');
fprintf(lib, '// S''ha de incloure dins d''una carpeta a la arrel del projecte
(TFG_EXT.X/llibreries/NTC.h):\r\n\r\n\r\n');

%comença el codi
T = TC + 273.15;% Rang de temperatura en K
T0 = 298.15; % Temperatura nominal a 25°C en Kelvin
ite=size(R0);
iteracions=ite(2);
for I=1:iteracions
%es troba la resistència de la NTC i es fa el plot
R = R0(I).*exp(B0(I).*((1./T)-(1/T0)));

%es linalitza la NTC per divisió de tensió
%calcular la Rs
Tc = Tc0(I) + 273.15;
%es busca la resistència de la temperatura centre de la linealització
Re=(R0(I).*exp(B0(I).*((1./Tc)-(1/T0)))); %resistència d'estudi
Rs(I)=((B0(I)-2*Tc)/(B0(I)+2*Tc))*Re; %resistencia serie
%sortida divisor

```

```

Vt=(Vcc(I)*Rs(I))./(Rs(I))+R);
%voltatge en el punt de la temperatura centre de la linealització
Ve=(Vcc(I)*(Rs(I)))/(Rs(I))+Re);
%sensibilitat de la recta
S=((Vcc(I)/B0(I))*(B0(I)*B0(I))/(4*Tc*Tc)-1));
%construcció de la recta
V0=(Vcc(I)*(Rs(I)))/(Rs(I))+R0(I).*exp(B0(I).*(1./Tc)-(1/T0)));
Recte=V0+S*(T-Tc);

%buscar en que la recta té un error inferior a er%
er=error(I)/100;
A=size(Vt);
%es recorre tota la recta buscant els nivells de linealització
for x=1:1:A(2)
%en el punt de la temperatura del centre de la linealització el valor del
%voltatge en la recte i en la linealització és el mateix i el faim servir
%per aplicar l'error
p0=(Recte(x)+Ve*er);
p1=(Recte(x)-Ve*er);
if(p0<Vt(x))
tmin(I)=TC(x);
xmin=x; %es guarda la posició de la X
end
if(p1<Vt(x))
tmax(I)=TC(x);
xmax=x; %es guarda la posició de la X
end
end
%càlcul de l'increment de la temperatura en funció de la potencia dissipada
%només s'estudia la zona d'interés
sig1=sig(I)/1000; %els càlculs ens dona W i sigme son mW
TC2=TC;
for x=xmin:1:xmax
Rd=R(x)+(Rs(I));%es busca la intestat que té la el divisor
Id=Vcc(I)/Rd;
Pd=Id*Id*R(x);
AT=Pd/sig1;
TC2(x)=TC(x)+AT;
end
ATmax(I)=AT;%increment màxim de temperatura
%càlcul del voltatge màxim aplicable si vull un increment màxim controlat
if (viss)
Vccmax=2*sqrt(ATT*sig1*(Rs(I)))
end
%es canvia el voltatge per retorn ADC
Vadc=VpuC-VnuC;
bi=2^bits-1;
bii=bi/Vadc;%per cada volt quin bit retorna el ADC
ADC1=Vt*bii;
ADC=int32(ADC1);
%linealitzar la corba obtinguda
%tallar les dades necessaries
Y=1;
for x=xmin:1:xmax
fitX(Y)=ADC(x);
fitY(Y)=TC2(x);
Y=Y+1;
end
fitX1=double(transpose(fitX));
fitY1=double(transpose(fitY));
f=fit(fitX1,fitY1,'poly1');
cv = coeffvalues(f);
reg=cv(1)*fitX+cv(2);
%valors de la recte al array Ax X +- Bi
Ax(I)=cv(1);

```

```

Bi(I)=cv(2);

if(final)
    figure
    plot(fitX,fitY,'r',fitX,reg,'g');
    title(['ADC a NTC temperatura linalitzada i autoescalfament
',num2str((tmin(I))),' > temp < ',num2str((tmax(I)))]);
    xlabel('bit ADC');
    ylabel('temperatura en °C');
    legend('NTC linealitzat', 'regressió','Location','southeast');
end
%es busca l'error obtingut el final de la regressió
yy=size(fitY);
%es passa les temperatures a Kelvin dona molts de problemes el voltant de
0
fitY2=fitY + 273.15;
reg2=double(reg) + 273.15;
for x=1:1:yy(2)
    cor(x)=abs((fitY2(x)-abs(reg2(x)))/fitY2(x));
end
cormax(I)=max(cor)*100;
%quin percentatge fas servir del ADC
adcmin=min(fitX);
adcmax=max(fitX);
adcrang=adcmax-adcmin;
adcus=(double(adcrang)/bi)*100;
P0(['La NTC',num2str(I),' de R0= ',num2str(R0(I)),' ohms i una coeficient
beta = ',num2str(B0(I))]);
P1(['La resistència serie és de ',num2str(Rs(I)),' ohms. i un increment
màxim per autoescalfament de ', num2str((ATmax(I))),' °C.']);
P2(['El rang de temperatures és de ',num2str((tmin(I))),' fins ',
num2str((tmax(I))),' amb temperatura centre a ',num2str(Tc0(I)),' °C i un error
inferior al ',num2str((cormax(I))),'%']);
if(Bi(I)<0)
    P3(['La recte de regressió és f(x)',num2str(Ax(I)),'X
',num2str(Bi(I)),' amb un ús del ADC del ',num2str(adcus),'%.']);
else
    P3(['La recte de regressió és f(x)',num2str(Ax(I)),'X
+',num2str(Bi(I)),' amb un ús del ADC del ',num2str(adcus),'%.']);
end
%disp(P0)
disp(P1)
disp(P2)
disp(P3)

%carecteristiques llibreria PIC
fprintf(lib, '//%s \r\n', P0);
fprintf(lib, '//%s \r\n', P1);
fprintf(lib, '//%s \r\n', P2);
fprintf(lib, '//%s \r\n\r\n', P3);
end

%codi llibreria PIC
fprintf(lib, '#include"../mcc_generated_files/mcc.h"\r\n\r\n');
fprintf(lib, 'int8_t R_NTC(uint8_t POSMUX){\r\n');
fprintf(lib, '    //primer col·locar el MUX\r\n');
fprintf(lib, '    MUXNTC0_LAT=POSMUX&0x01;\r\n');
fprintf(lib, '    MUXNTC1_LAT=POSMUX&0x02;\r\n');
fprintf(lib, '    MUXNTC2_LAT=POSMUX&0x04;\r\n');
fprintf(lib, '    __delay_ms(10); //donar temps que el MUX és posicioni
correctament\r\n');
fprintf(lib, '    uint16_t a = 0;\r\n');
fprintf(lib, '    a=ADCC_GetSingleConversion(NTC);\r\n');
fprintf(lib, '    // conversió del ADC a la temperatura\r\n');
fprintf(lib, '    int8_t temp = 0;\r\n');

```

```
fprintf(lib, '    float b = 0;\r\n\r\n');
fprintf(lib, '    if(POSMUX>%u) temp = -126; //cap valor de la untiat serà
igual o inferior a -50°C, farem servir-los per donar codis
d'"error\r\n', (iteracions-1));
fprintf(lib, '    else{\r\n');
for MPLAB=0:1:(iteracions-1)
    fprintf(lib, '        if(POSMUX==%u)', MPLAB);
    con=MPLAB+1;
    if(Bi(con)<0)
        fprintf(lib, '    b=%f*a%f;\r\n', Ax(con), Bi(con));
    else
        fprintf(lib, '    b=%f*a+%f;\r\n', Ax(con), Bi(con));
    end
end
fprintf(lib, '        temp=(int8_t)b;\r\n');
fprintf(lib, '    }\r\n\r\n');
fprintf(lib, '    return temp;\r\n');
fprintf(lib, '}\r\n');
fclose(lib);
```

C. Programa LABVIEW detectar Ke

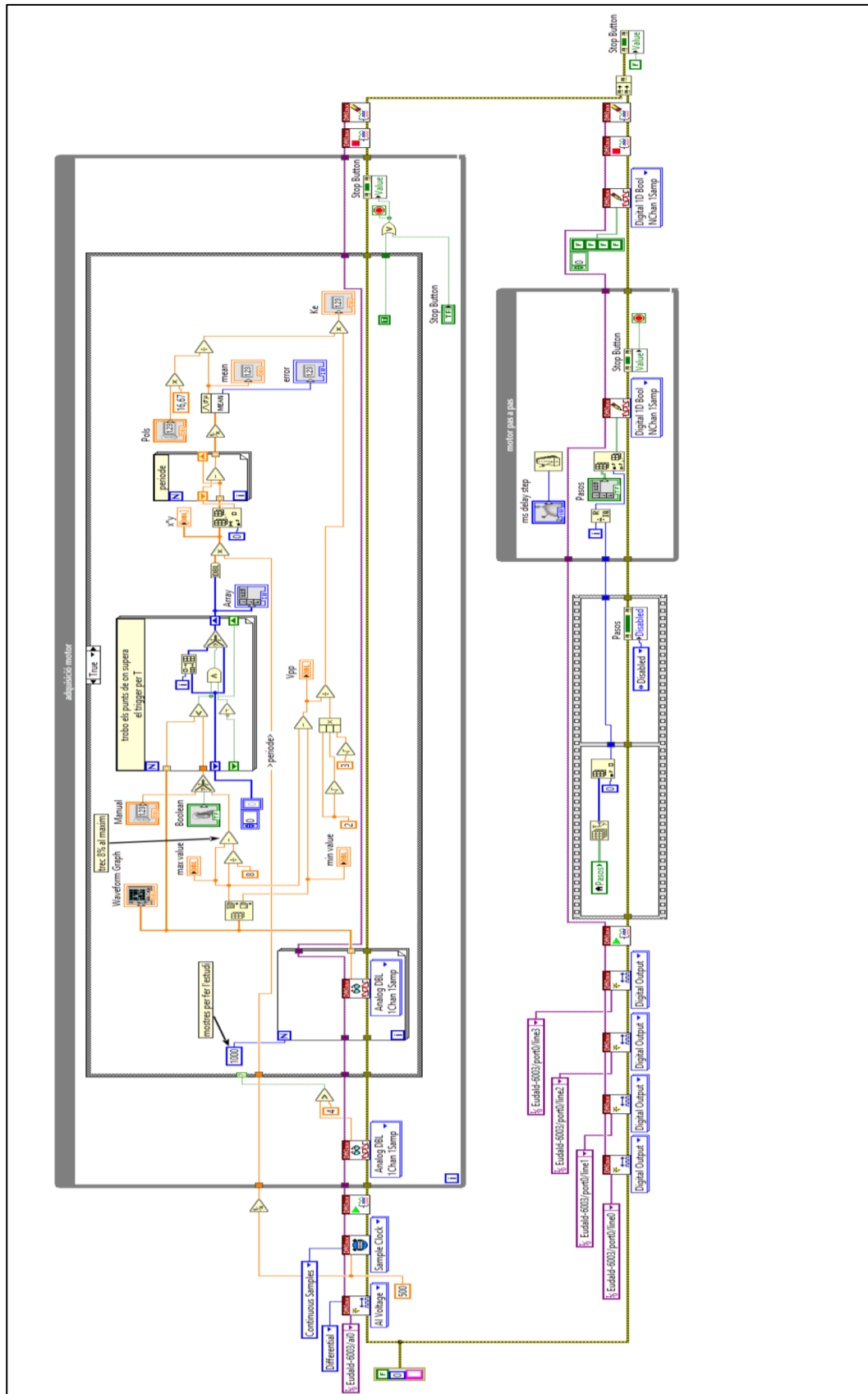


Figura 64. Diagrama de blocs programa LabVIEW

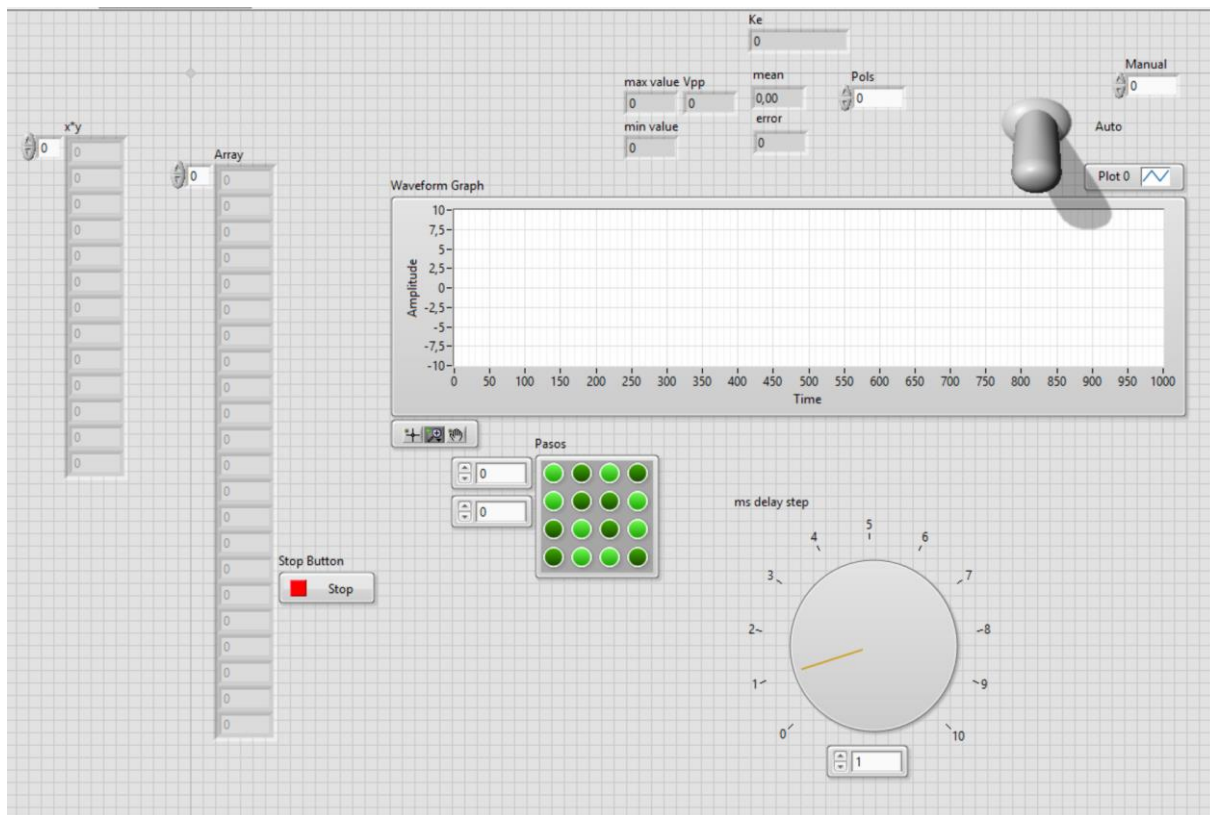


Figura 65. Panel fornal programa LabVIEW

D. Scrip ventilador

```
/*script tasca 1*/
#SET SCRIPT_USER_VERSION (1.00)
#SET SCRIPT_TASK1_EXECUTION_PERIOD (5)
#SET SCRIPT_TASK1_EXECUTION_STEP (10)
Script_Task1_init()
{
    //Variables
}
Script_Task1()
{
    if(GPIO2_IN==1)
    {
        Command = 1; //engegar ventilador
    }
    else
    {
        Command = 0; //apagar ventilador
    }
    TargetSpeed = ((ADC_Result4/8)*32); //assignar velocitat}
}
```

E. Scrip compressor

```
/*script tasca 1*/
#SET SCRIPT_USER_VERSION (1.00)
#SET SCRIPT_TASK1_EXECUTION_PERIOD (5)
#SET SCRIPT_TASK1_EXECUTION_STEP (10)
Script_Task1_init()
{
    //Variables
}
Script_Task1()
{
    if(GPIO2_IN==1)
    {
        Command = 1;
    }
    else
    {
        Command = 0;
    }
    TargetSpeed = ((ADC_Result1/128)*512);
}
}
```

F. Llistat de paràmetres ventilador

```
##MOTOR1_PARAMS
Custom_Design_Name Eval-M1-101T + Eval-M1-05-65D Evaluation Board
Mtr_Max_Speed 1000
Mtr_Rate_Amps 0.30
Mtr_Num_Poles 8
Mtr_Ke 111.00
##MOTOR1_REGS 0
#STRING RDN-310-40-8-1
#VERSION 1.0
HwConfig 257
SysConfig 5
AngleSelect 2
CtrlModeSelect 2
PwmFreq 150
PwmDeadtimeR 48
PwmDeadtimeF 48
SHDelay 48
TMinPhaseShift 0
TCntMin 0
PwmGuardBand 288
FaultEnable 207
VdcOvLevel 2952
VdcUvLevel 984
CriticalOvLevel 3116
RotorLockTime 1000
FluxFaultTime 0
GatekillFilterTime 96
CompRef 1199
BtsChargeTime 150
TCatchSpin 0
DirectStartThr 1000
ParkTime 1000
ParkAngle 0
OpenloopRamp 11
IS_Pulses 0
IS_Duty 4096
IS_IqInit 100
KpSreg 63
KxSreg 12
MotorLim 4096
RegenLim 205
RegenSpdThr 1638
LowSpeedLim 1638
LowSpeedGain 1024
SpdRampRate 224
MinSpd 1638
Rs 935
L0 5205
LSlncy 250
VoltScl 590
PllKp 200
PllKi 16
PllFreqLim 76
AngMTPA 16384
FlxTau 1165
AtanTau 1414
SpeedScalePsc 8
SpeedScale 14400
SpeedScaleRcp 9321
SpdFiltBW 5461
PGDeltaAngle 171
IfbkScl 7740
KpIreg 2669
KpIregD 2546
```

```
KxIreg 468
FwkLevel 3040
FwkKx 32
FwkCurRatio 0
VdqLim 4974
AngDel 165
AngLim 621
IdqFiltBW 4096
Pwm2PhThr 8192
TDerating 1241
TShutdown 1241
CmdStop 0
CmdStart 0
CmdGain 0
AppConfig 8
NodeAddress 1
PrimaryControlLoop 2
PhaseLossLevel 33
TrqCompGain 120
TrqCompAngOfst 29000
TrqCompLim 2048
TrqCompOnSpeed 5000
TrqCompOffSpeed 6000
PolePair 4
FaultRetryPeriod 868
##SYSTEM_PARAMS
#STRING_RDN-310-40-8-1
#VERSION 1.0
ParPageConf 2048
ADCCConf 1
InterfaceConf0 23
InterfaceConf1 0
UART0_Baudrate 0
UART0_IdleCount 10000
UART0_LinkBreakCount 10000
UART1_Baudrate 13587
UART1_IdleCount 10000
UART1_LinkBreakCount 10000
GKConf 4900
SW_Version 7
DACout[0] 1489
DACout[1] 0
DACout[2] 0
DACout[3] 1000
DACFiltBW 1000
SafetyEnable 0
FeatureID_selectL 65535
FeatureID_selectH 256
SysTaskTime 1
SysTaskConfig 59
AIN[0] 5
AIN[1] 6
AIN[2] 7
AIN[3] 21
AIN[4] 32790
AIN[5] 23
AIN[6] 0
AIN[7] 17
AIN[8] 1
AIN[9] 2
AIN[10] 3
AIN[11] 19
GPIOs[0] 53376
GPIOs[1] 53380
GPIOs[2] 33797
```

GPIOs[3] 1030
GPIOs[4] 1031
GPIOs[5] 1032
GPIOs[6] 1033
GPIOs[7] 1034
GPIOs[8] 1035
GPIOs[9] 1037
GPIOs[10] 1024
GPIOs[11] 1024
GPIOs[12] 1024
GPIOs[13] 1024
GPIOs[14] 1024
GPIOs[15] 1024
GPIOs[16] 1024
GPIOs[17] 1024
GPIOs[18] 1024
GPIOs[19] 1024
GPIOs[20] 1024
GPIOs[21] 1024
GPIOs[22] 1024
GPIOs[23] 1024
GPIOs[24] 1024
GPIOs[25] 1024
GPIOs[26] 1024
GPIOs[27] 1024
GPIOs[28] 1024
GPIOs[29] 1024

G. Llistat de paràmetres compressor

```

##MOTOR1_PARAMS
Custom_Design_Name Eval-M3-102T + Eval-M3-CM615PN Evaluation Board
Mtr_Max_Speed      7200
Mtr_Rate_Amps      7.00
Mtr_Num_Poles      4
Mtr_Ke             19.86
##MOTOR1_REGS0
#STRING            DA198X1C-20FZ3
#VERSION           1
HwConfig           280
SysConfig           9
AngleSelect        2
CtrlModeSelect     2
PwmFreq            150
PwmDeadtimeR       48
PwmDeadtimeF       48
SHDelay            48
TMinPhaseShift    192
TCntMin            96
PwmGuardBand       0
FaultEnable        207
VdcOvLevel         2952
VdcUvLevel         984
CriticalOvLevel    3116
RotorLockTime      1000
FluxFaultTime      0
GatekillFilterTime 96
CompRef            869
BtsChargeTime      150
TCatchSpin         0
DirectStartThr     1000
ParkTime           500
ParkAngle          0
OpenloopRamp       1
IS_Pulses          0
IS_Duty            4096
IS_IqInit          100
KpSreg             63
KxSreg             12
MotorLim           4096
RegenLim           0
RegenSpdThr        1820
LowSpeedLim        1638
LowSpeedGain       32767
SpdRampRate        12
MinSpd             1820
Rs                 2611
L0                 4692
LSlncy             1232
VoltScl            3295
PllKp              200
PllKi              32
PllFreqLim         551
AngMTPA            16384
FlxTau             2330
AtanTau            707
SpeedScalePsc      11
SpeedScale         16000
SpeedScaleRcp      8389
SpdFiltBW          10923
PGDeltaAngle       85
IfbkScl            2764
KpIreg            2663
KpIregD           2049

```

```

KxIreg          1311
FwkLevel        3040
FwkKx           64
FwkCurRatio     0
VdqLim          4974
AngDel          2134
AngLim          2590
IdqFiltBW       8192
Pwm2PhThr       1138
TDerating       1241
TShutdown       1861
CmdStop         0
CmdStart        0
CmdGain         0
AppConfig       8
NodeAddress     1
PrimaryControlLoop 2
PhaseLossLevel  92
TrqCompGain     120
TrqCompAngOfst 29000
TrqCompLim      2048
TrqCompOnSpeed  5000
TrqCompOffSpeed 6000
PolePair        2
FaultRetryPeriod 868
##SYSTEM_PARAMS
#STRING         DA198X1C-20FZ3
#VERSION        1
ParPageConf     2048
ADCConf         1
InterfaceConf0  23
InterfaceConf1  0
UART0_Baudrate  0
UART0_IdleCount 10000
UART0_LinkBreakCount 10000
UART1_Baudrate  13587
UART1_IdleCount 10000
UART1_LinkBreakCount 10000
GKConf          6948
SW_Version      7
DACout[0]       1489
DACout[1]       0
DACout[2]       0
DACout[3]       1000
DACFiltBW       1000
SafetyEnable    0
FeatureID_selectL 65279
FeatureID_selectH 257
SysTaskTime     1
SysTaskConfig   59
AIN[0]          5
AIN[1]          6
AIN[2]          32775
AIN[3]          21
AIN[4]          22
AIN[5]          23
AIN[6]          0
AIN[7]          17
AIN[8]          1
AIN[9]          2
AIN[10]         3
AIN[11]         19
GPIOs[0]        53376
GPIOs[1]        53377
GPIOs[2]        1094

```

```

GPIOs[3]          1095
GPIOs[4]          1096
GPIOs[5]          1097
GPIOs[6]          1033
GPIOs[7]          1098
GPIOs[8]          1099
GPIOs[9]          1048
GPIOs[10]         1047
GPIOs[11]         1046
GPIOs[12]         1073
GPIOs[13]         1074
GPIOs[14]         1075
GPIOs[15]         1076
GPIOs[16]         1024
GPIOs[17]         1024
GPIOs[18]         1028
GPIOs[19]         1029
GPIOs[20]         1030
GPIOs[21]         1031
GPIOs[22]         1032
GPIOs[23]         1034
GPIOs[24]         1035
GPIOs[25]         1037
GPIOs[26]         1088
GPIOs[27]         1089
GPIOs[28]         1090
GPIOs[29]         1091
##PFC_REGS       1
#STRING          DA198X1C-20FZ3
#VERSION         1
PFC_HwConfig     1408
PFC_SysConfig    17
PFC_PwmFreq      5000
PFC_TMinOff      24
PFC_Deadtime     0
PFC_SHDelay      64
PFC_IRectLim     2475
PFC_IGenLim      206
PFC_VdcRampRate  10747
PFC_KpVreg       40
PFC_KxVreg       150
PFC_KpIreg       120
PFC_KxIreg       1400
PFC_TrackingDoff 16182
PFC_TrackingCycle 100
PFC_TrackingGain 120
PFC_HalfCycleMin 455
PFC_HalfCycleMax 556
PFC_VacZCThr     64
PFC_VacOvLevel   1155
PFC_VacUvLevel   831
PFC_VdcOvLevel   2952
PFC_VdcUvLevel   984
PFC_AcDcScale    1545
PFC_LFactor      780
PFC_FaultEnable  63
PFC_GateKillTime 48
PFC_TargetVoltInit 3198

```

H. Aplicació termòstat Bluetooth

```

when Connectar . BeforePicking
do set Connectar . Elements to BluetoothClient1 . AddressesAndNames

when Connectar . AfterPicking
do if call BluetoothClient1 . Connect
    address Connectar . Selection
then set Connectar . Visible to false
    set VerticalArrangement1 . Visible to true
else call Notifier1 . ShowAlert
    notice "No es pot connectar"

when DisconnectButton . Click
do call BluetoothClient1 . Disconnect
set Connectar . Visible to true
set VerticalArrangement1 . Visible to false

when CALOR . TouchDown
do if BluetoothClient1 . IsConnected
then call BluetoothClient1 . SendText
    text "C"

when CALOR . TouchUp
do if BluetoothClient1 . IsConnected
then call BluetoothClient1 . SendText
    text "A"

when MITJA . TouchDown
do if BluetoothClient1 . IsConnected
then call BluetoothClient1 . SendText
    text "M"

when MITJA . TouchUp
do if BluetoothClient1 . IsConnected
then call BluetoothClient1 . SendText
    text "A"

when Clock1 . Timer
do if BluetoothClient1 . IsConnected and call BluetoothClient1 . BytesAvailableToReceive > 0
then set Missatge_rebut . Text to call BluetoothClient1 . ReceiveText
    numberOfBytes call BluetoothClient1 . BytesAvailableToReceive

when VENT . TouchDown
do if BluetoothClient1 . IsConnected
then call BluetoothClient1 . SendText
    text "V"

when VENT . TouchUp
do if BluetoothClient1 . IsConnected
then call BluetoothClient1 . SendText
    text "A"

when FRED . TouchDown
do if BluetoothClient1 . IsConnected
then call BluetoothClient1 . SendText
    text "F"

when FRED . TouchUp
do if BluetoothClient1 . IsConnected
then call BluetoothClient1 . SendText
    text "A"

```

Figura 66. 1r part codi app inventor de l'aplicació mòbil.


```

when LENT TouchDown
do
  if BluetoothClient1 .IsConnected
  then
    call BluetoothClient1 .SendText
    text " L "

when RAPID TouchDown
do
  if BluetoothClient1 .IsConnected
  then
    call BluetoothClient1 .SendText
    text " R "

when OFF TouchDown
do
  if BluetoothClient1 .IsConnected
  then
    call BluetoothClient1 .SendText
    text " O "

when LENT TouchUp
do
  if BluetoothClient1 .IsConnected
  then
    call BluetoothClient1 .SendText
    text " A "

when RAPID TouchUp
do
  if BluetoothClient1 .IsConnected
  then
    call BluetoothClient1 .SendText
    text " A "

when OFF TouchUp
do
  if BluetoothClient1 .IsConnected
  then
    call BluetoothClient1 .SendText
    text " A "

when Moviments .AfterPicking
do
  if " 15 " = Moviments . Selection
  then
    if BluetoothClient1 .IsConnected
    then
      call BluetoothClient1 .SendText
      text " a "
  else if " 16 " = Moviments . Selection
  then
    if BluetoothClient1 .IsConnected
    then
      call BluetoothClient1 .SendText
      text " b "
  else if " 17 " = Moviments . Selection
  then
    if BluetoothClient1 .IsConnected
    then
      call BluetoothClient1 .SendText
      text " c "
  else if " 18 " = Moviments . Selection
  then
    if BluetoothClient1 .IsConnected
    then
      call BluetoothClient1 .SendText
      text " d "
  else if " 19 " = Moviments . Selection
  then
    if BluetoothClient1 .IsConnected
    then
      call BluetoothClient1 .SendText
      text " e "
  else if " 20 " = Moviments . Selection
  then
    if BluetoothClient1 .IsConnected
    then
      call BluetoothClient1 .SendText
      text " f "
  else if " 21 " = Moviments . Selection
  then
    if BluetoothClient1 .IsConnected
    then
      call BluetoothClient1 .SendText
      text " g "

when Moviments .BeforePicking
do
  set Moviments . Elements to
  make a list
  " 15 "
  " 16 "
  " 17 "
  " 18 "
  " 19 "
  " 20 "
  " 21 "
  " 22 "
  " 23 "
  " 24 "
  " 25 "
  " 26 "
  " 27 "
  " 28 "
  " 29 "
  " 30 "
    
```

Figura 67. 2na part codi app inventor de l'aplicació mòbil.

```

else if "22" = Moviments . Selection
then if BluetoothClient1 . IsConnected
then call BluetoothClient1 . SendText
text "h"
else if "23" = Moviments . Selection
then if BluetoothClient1 . IsConnected
then call BluetoothClient1 . SendText
text "i"
else if "24" = Moviments . Selection
then if BluetoothClient1 . IsConnected
then call BluetoothClient1 . SendText
text "j"
else if "25" = Moviments . Selection
then if BluetoothClient1 . IsConnected
then call BluetoothClient1 . SendText
text "k"
else if "28" = Moviments . Selection
then if BluetoothClient1 . IsConnected
then call BluetoothClient1 . SendText
text "l"
else if "27" = Moviments . Selection
then if BluetoothClient1 . IsConnected
then call BluetoothClient1 . SendText
text "m"
else if "28" = Moviments . Selection
then if BluetoothClient1 . IsConnected
then call BluetoothClient1 . SendText
text "n"
else if "29" = Moviments . Selection
then if BluetoothClient1 . IsConnected
then call BluetoothClient1 . SendText
text "o"
else if "30" = Moviments . Selection
then if BluetoothClient1 . IsConnected
then call BluetoothClient1 . SendText
text "p"
    
```

Figura 69. 3ra part codi app inventor de l'aplicació mòbil.

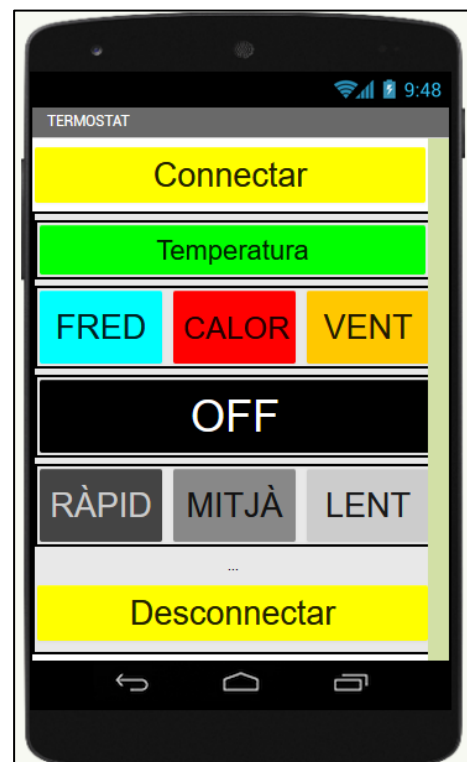


Figura 68. Aplicació del mòbil.

I. Característiques tècniques

Alimentació	230Vac 50Hz
Fusible protecció	6A Fast
Motors pas a pas	6
Entrades per NTC	8
Tacòmetres	2 / 600rpm
Sensors de pressió	Baixa -1 a 15bars / Alta 0 a 50bars
Sortides de potència	4
Programació i depuració	ICSP PICkit4 / ICD4