



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

TREBALL DE FI DE GRAU

Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica

**SISTEMA DE GESTIÓ DOMÒTICA D'UN HABITATGE PER A
PERSONES QUE PRESENTEN ALGUN TIPUS DE
DISCAPACITAT**



VOLUM I

Memòria Tècnica

Autor: Sergi Aranda Forns
Director: Manuel Andrés Manzanares Brotons
Convocatòria: Octubre 2019

Resum

Aquest projecte es basa en el disseny, el desenvolupament i la implementació d'un sistema domòtic per a un habitatge amb una possible accessibilitat per a qualsevol persona, incloent aquelles que presentin alguna discapacitat.

El sistema desenvolupat permet una interacció mitjançant un control manual o pot funcionar de manera totalment autònoma presentant una configuració personalitzada al gust del client, o bé a través de la pantalla LCD del propi sistema o bé d'una forma remota des d'un dispositiu mòbil.

Finalment, senyalar que el principal requisit d'aquest sistema és que sigui fàcilment adaptable a qualsevol tipus d'habitatge i amb un baix cost econòmic. Destinat a un mercat ampli a l'abast de tothom, amb la possibilitat de permetre futures incorporacions o millores en el seu funcionament.

Resumen

Este proyecto se basa en el diseño, desarrollo e implementación de un sistema domótico para una vivienda con un posible acceso para cualquier persona, incluyendo esas que presenten alguna discapacidad.

El sistema desarrollado permite una interacción mediante un control manual o puede funcionar de manera totalmente autónoma presentando una configuración personalizada al gusto del cliente, o bien mediante la propia pantalla LCD del sistema o bien de manera remota desde su dispositivo móvil.

Finalmente, remarcar que el principal requisito del propio sistema es que debe ser fácilmente adaptable a cualquier tipo de vivienda y con un bajo coste económico. Destinado a un ancho mercado al abasto de cualquier persona, con la posibilidad de permitir futuras incorporaciones o mejoras en su funcionamiento.

Abstract

This Project is based on the design, development and implementation of a home automation system for a house with possible access for anyone, including those people with disabilities.

The developed system allows an interaction by means of a manual control or it can work in a totally autonomous way presenting a customized configuration to the client's taste, either through the system's own LCD screen or remotely from its mobile device.

Finally, note that the main requirement of the system is that it must be easily adaptable to any type of house and with a lower economic cost. Aimed at a wide market to supply any person, with the possibility of allowing future incorporations or improvements in its operation.

Agraïments

Voldria agrair, principalment, al meu tutor Manuel Manzanares per la seva ajuda i el suport tècnic durant la realització d'aquest projecte. També a la meva família pels ànims i motivació en aquesta etapa.

Índex

RESUM	2
RESUMEN	3
ABSTRACT	4
AGRAÏMENTS	6
1. CAPÍTOL 1. INTRODUCCIÓ	11
1.1. Objecte del treball	12
1.2. Motivació i justificació.....	13
2. CAPÍTOL 2. ESPECIFICACIONS BÀSIQUES.	15
2.1. Descripció del problema.	15
2.2. Especificacions tècniques.....	15
3. CAPÍTOL 3. POSSIBLES SOLUCIONS.	16
3.1. Control centralitzat.....	16
3.2. Control mitjançant una placa de desenvolupament.	16
3.3. Control mitjançant un dispositiu mòbil.	16
4. CAPÍTOL 4. SOLUCIÓ ESCOLLIDA.	17
4.1. Idea final.	17
4.2. Descripció de la placa mare.	17
4.3. Descripció de la placa d'entrades i sortides del prototip de proves.	19
5. CAPÍTOL 5. FUNCIONS DEL SISTEMA DOMÒTIC.	20
5.1. Funcions bàsiques del sistema.....	20
5.1.1. Llum.	20
5.1.2. Temperatura.....	20
5.1.3. Persianes.....	20
5.1.4. Sistema de reg.	20
5.1.5. Alarmes.....	21
5.2. Funcions específiques.	21
5.2.1. Funcions d'ajuda a discapacitats.	21
5.2.2. Funcions segons la ubicació.	22
6. CAPÍTOL 6. HARDWARE.	24

6.1.	Diagrama de blocs del sistema.....	24
6.2.	Placa mare.	25
6.2.1.	Microcontrolador PIC18F4550.	25
6.2.2.	Cristall de Quars.....	26
6.2.3.	Relotge de temps real (RTC).....	27
6.2.4.	Pickit 3.....	29
6.2.5.	Mòdul Bluetooth.	30
6.2.6.	Pantalla LCD.....	32
6.2.7.	Pulsadors de selecció.....	33
6.2.8.	Font d'alimentació.....	34
6.3.	Placa d'entrades i sortides del prototip.....	39
6.3.1.	Entrades.....	39
6.3.2.	Sortides.....	45
6.4.	Placa d'entrades i sortides per al prototip de proves.....	51
6.4.1.	Entrades.....	51
6.4.2.	Sortides.....	52
7.	CAPÍTOL 7. COMUNICACIONS. _____	56
7.1.	Bus de dades I ² C.	56
8.	CAPÍTOL 8. SOFTWARE. _____	57
8.1.	Programació del microcontrolador.....	57
8.1.1.	Estructura del menú de comandament.....	57
8.1.2.	Desplaçament pel menú de comandament.....	59
8.1.3.	Control de temperatura.....	62
8.1.4.	Alarmes.....	62
9.	CAPÍTOL 9. SIMULACIONS. _____	64
9.1.	Sensors i actuadors.....	64
9.1.1.	Entrades analògiques.....	64
9.1.2.	Sensor de temperatura.....	66
9.1.3.	Sortides.....	68
9.2.	Alarmes.....	69
10.	NORMATIVA. _____	72
	CONCLUSIONS I POSSIBLES MILLORES. _____	73
	BIBLIOGRAFIA _____	75

1. Capítol 1. Introducció

Una de les branques tecnològiques més importants que té com a principal objectiu millorar la nostra vida dins casa nostre és la domòtica. Concebuda per integrar objectes quotidians amb la tecnologia, des de fa anys es perfila com una pràctica ajuda per a les tasques domèstiques millorant el nostre dia a dia.

Un sistema domòtic es basa en la recol·lecció de dades mitjançant sensors, per poder ser processades i emetre ordres als actuadors. D'aquesta manera aconseguir una automatització intel·ligent de la llar aplicant una gestió eficient de consum d'energia, seguretat i confort.

No obstant, aquest nou invent dona la impressió que encara està en un procés inicial de desenvolupament del que encara no ha sigut capaç de sortir per acostar-se al gran consumidor. Fa uns anys, quan semblava que la domòtica començava a fer el salt definitiu a les nostres vivendes, un dels principals impediments era la baixa capacitat de processament dels seus elements tècnics i la dependència d'aquests mitjançant interconnexions cablejades.

Aquesta situació ha estat, actualment, superada ja que amb la seva evolució ofereix una oferta més consolidada amb una àmplia gama de solucions a tot tipus d'habitatge. La rapidesa amb la que s'ha consagrat aquesta tecnologia ha ampliat el mercat amb una sèrie de dispositius electrònics; tant en entorns de treball com a casa. Empreses dedicades al sector ofereixen cada cop més solucions per a millorar el benestar i la seguretat, tenint la possibilitat de controlar diversos aspectes de casa teva que abans semblaven impossibles.

Per tant, es pot dir que els sistemes domòtics integren automatització, informàtica i noves tecnologies d'informació donant lloc al nou concepte d' *Smart Home*, és a dir, cases intel·ligents i autònomes.

Actualment, encara hi ha un percentatge vaig de nombre de cases intel·ligents ja que on s'ha començat a introduir més és als Estats Units i al Japó. A Europa s'està consolidant aquest mercat però a Espanya no es preveu gaire trajectòria fins d'aquí a unes dècades degut a l'alt cost elevat d'una casa domòtica.

1.1. Objecte del treball

El principal objectiu d'aquest projecte és el disseny i implementació d'un sistema de control domòtic d'un habitatge destinat a l'ús de qualsevol persona, ja siguin discapacitades o sense cap disfunció. D'aquesta manera, crear un producte estàndard i obert a tothom dins d'un ampli mercat.

Amb l'avenç de la tecnologia en les últimes dècades ha sorgit una gran varietat d'invents pensats per a facilitar la vida de les persones, sobretot per a la les persones que pateixen algun tipus de discapacitat ja que així puguin actuar de manera autònoma. Així doncs, dins dels diferents objectius que es pretenen assolir amb aquest projecte es té en compte les mancances o dificultats que produir les principals discapacitats, com poden ser: mudesa, sordesa o mobilitat reduïda.

Un altre objectiu d'aquest projecte és la de millorar el benestar i la vida quotidiana del client de tal manera que no s'hagi de preocupar o perdre temps amb algunes feines de la llar. Amb l'ajuda del sistema dissenyat es permet tenir el control i gestió de diverses funcions de l'habitatge amb la finalitat d'optimitzar el temps lliure que destinem a les tasques de la llar.

Actualment, ja existeixen i es comercialitzen altres sistemes domòtics. Per tant, tenint en compte la competència dins d'aquest mercat, es pretén que el disseny del prototip sigui estàndard per a implementar-se a qualsevol tipus d'habitatge tenint en compte les seves especificacions i característiques. Aquest producte ha de ser flexible, còmode, barat i fàcil d'utilitzar. Per aconseguir-ho, es volen implementar diferents elements o dispositius per tal de facilitar-ne la interacció amb el sistema, tenint en compte les principals discapacitats. Aquests són els següents:

- Display LCD i LEDs: per informar visualment en tot moment.
- Polsadors: per accedir de manera tàtil.
- Altaveu: per informar audifonament.

Per últim, amb la realització d'aquest projecte es volen posar en pràctica els coneixements, tant pràctics com teòrics, assolits en el grau d'Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica. Aquests contempen des del disseny de la part hardware del sistema fins a la programació del software de control.

1.2. Motivació i justificació

La motivació de la realització d'aquest projecte sorgeix, principalment, de la necessitat de dissenyar un producte que tingues una gran utilitat i es pogués aplicar a la vida real. No obstant, prèviament es van estudiar diverses propostes d'entre els temes publicats per els professors dels departament d'Electrònica de la universitat fins que em vaig decidir per aquest tema centrat en la domòtica.

Al parlar amb el docent i tutor d'aquest projecte, vam arribar a la conclusió d'innovar aquest tipus de projecte ja que ja hi havia altres alumnes que partien d'aquest treball. Així doncs, va sorgir la idea d'adaptar-lo per a persones discapacitades amb l'objectiu de crear-ne noves aplicacions i finalitats, tenint en compte l'ús global del producte per a tot tipus de persones.

A partir d'aquí, em vaig interessar per la domòtica i vaig fer una recerca d'informació per endinsar-me en aquest món tant ampli on vaig poder veure la gran necessitat que manca a les persones discapacitades per a realitzar tasques o funcions dins de la vida quotidiana. Aquesta necessitat va ser el que va despertar el meu gran interès per a realitzar aquest projecte ja que crec que té una gran finalitat i utilitat en la vida real.

Analitzant informació relacionada a la domòtica, també vaig comprovar que els actuals sistemes domòtics del mercat que proporcionen grans funcions són, majoritàriament, d'un cost elevat. És per això que una de les finalitats és aconseguir ampliar el mercat amb una nova varietat de clients de diferents poders adquisitius, trencant amb el concepte de *"luxe"* i adquirint el d' *"utilitat"*.

Per tant, podríem concloure en que la principal motivació d'aquest projecte té a veure tant en el desenvolupament de l'àmbit social com el tecnològic.

2. Capítol 2. Especificacions bàsiques.

Com a qualsevol projecte, primerament cal saber els problemes o mancances davant els quals ens enfrontem per tal de poder organitzar-ne el seu desenvolupament juntament amb els requisits mínims que es volen aconseguir.

2.1. Descripció del problema.

Actualment, la societat ha progressat fins a estar adaptada a les necessitats de les persones que pateixen algun tipus de discapacitat, ja sigui amb les adaptacions en llocs públics o privats. Tanmateix, pel que fa a les adaptacions tecnològiques encara no s'ha pogut avançar adequadament degut al seu alt cost per a l'ús personal ja que poques persones discapacitades poden gaudir-ne en la seva vida quotidiana.

A partir d'aquí, sorgeix la idea d'aquest projecte amb la adaptació d'un sistema domòtic per a persones que pateixen o no alguna discapacitat com la sordera, ceguesa, mudesa... amb un baix cost econòmic i a l'abast de tothom.

2.2. Especificacions tècniques.

Un cop plantejat el principal problema, es poden plantejar els requisits mínims que ha de tenir el nostre projecte amb l'objectiu de solucionar-lo.

El principal requisit ha de ser el cost econòmic, accessible per a tothom, ja sigui per a persones que pateixin alguna discapacitat o no. D'aquesta manera s'aconsegueix que el nostre producte entri en un mercat molt ampli dins de l'interès de qualsevol persona i no concretament per a un sector de la societat.

Segonament, el producte ha d'estar destinat a accions de la pròpia vida quotidiana dins de la llar, per tant, ha de ser pràctic, intuïtiu i fàcil d'interactuar. El menú de comandament ha de ser senzill, no gaire extens i fàcil d'entendre per a qualsevol persona.

El sistema ha de tenir una fàcil instal·lació i ha de ser adaptable a qualsevol tipus de llar. Un producte estàndard i flexible pensat amb la possibilitat de poder afegir nous sensors i actuadors en un futur, a decisió de l'usuari. En conclusió, ha de ser un sistema domòtic econòmic, pràctic, intuïtiu i flexible.

Com a requisits tècnics, per a poder assolir els objectius de funcionament domòtic, el sistema ha de tenir cinc entrades destinades a l'ús dels sensors i un mínim de setze actuadors. No obstant, aquest sistema pot ser escalable ja que es poden incloure o suprimir el nombre d'entrades i sortides a utilitzar en el microcontrolador.

3. Capítol 3. Possibles solucions.

Tenint en compte els requisits anteriors, s'han plantejat diverses alternatives per al control del sistema i resoldre els requisits anteriors.

3.1. Control centralitzat.

La principal opció, comunament més utilitzada, consisteix en tenir un únic punt de control per al comandament de tot el sistema. Aquesta és la més senzilla ja que es basa en la pròpia placa mare que conté el microcontrolador sense la necessitat d'incorporar cap altre dispositiu complementari, mitjançant els pulsadors per recórrer el menú visualitzat en la pantalla LCD.

El principal inconvenient del control centralitzat és la seva ubicació en un punt fix de la llar, poc pràctic per a persones que presenten dificultats a l'hora de desplaçar-se.

3.2. Control mitjançant una placa de desenvolupament.

Com a segona alternativa, partint de la anterior, podria ser mitjançant la comunicació de la placa mare amb una nova placa de desenvolupament com podria ser, per exemple, una placa *Arduino* degut a les seves especificacions i fàcil nivell de programació. Mitjançant comunicació via *Bluetooth* o *WiFi* es podria realitzar la transmissió i recepció de dades entre la placa mare i aquesta.

Es podria incorporar diferents plaques de desenvolupament per tenir diferents punts de control però només podrien funcionar amb comunicació *Master-Slave* on només la placa mare podria transmetre dades i aquestes només rebre-les. Tanmateix, hi hauria molta més complexitat tant a nivell hardware com en software.

3.3. Control mitjançant un dispositiu mòbil.

Com a darrera opció, també partint del control descentralitzat, s'ha estudiat la possibilitat de control remot des d'un dispositiu mòbil. Aquesta simplifica els problemes de la anterior opció referents al sistema hardware. La comunicació es pot establir mitjançant *Bluetooth* o *WiFi* permetent transmetre i rebre dades a distància entre la placa mare i el dispositiu mòbil. Això permet que més d'un dispositiu mòbil es pugui connectar al sistema mitjançant la aplicació per a *Android* que crearem per al sistema.

L'únic inconvenient és que tothom que vulgui utilitzar aquest tipus de control ha de disposar d'un smartphone o tableta *Android* i tenir els coneixements bàsics per al seu ús.

4. Capítol 4. Solució escollida.

4.1. Idea final.

Principalment, el disseny hardware es basarà en una placa mare composta per el microcontrolador com a cervell de tot el sistema. En aquesta es podrà efectuar el control centralitzat mitjançant el menú de comandament a partir de la navegació amb els polsadors de selecció i la seva visualització en el LCD.

S'ha descartat la alternativa del control mitjançant una placa de desenvolupament degut a que són plaques amb el hardware ja implementat i en aquest projecte es busca un disseny hardware realitzat a mida per aquesta aplicació en concret.

Seguidament, per a la simulació dels sensors i actuadors es dissenyarà i s'implementarà una placa de proves per a les entrades i sortides del sistema. No obstant, també es realitzarà l'hipotètic disseny d'una placa per adaptar-la als sensors i actuadors reals i que, per tant, serà el prototip de venta.

4.2. Descripció de la placa mare.

Com s'ha comentat anteriorment, la placa mare conté els elements principals per al correcte funcionament i governament del sistema. Aquesta està formada pels següents elements:

- Microcontrolador *PIC 18F4550*.
- Relotge de temps real *DS1307*, juntament amb el seu cristall de quars i pila de líti de 3V.
- Polsador de *Reset*.
- Pantalla LCD 16x2.
- Mòdul de comunicació *Bluetooth HC-06*.
- 3 polsadors de navegació pel menú de comandament.
- Cristall de quars de 4 MHz.
- Programador de microcontroladors *Pickit3*.
- Connectors d'entrades i sortides.

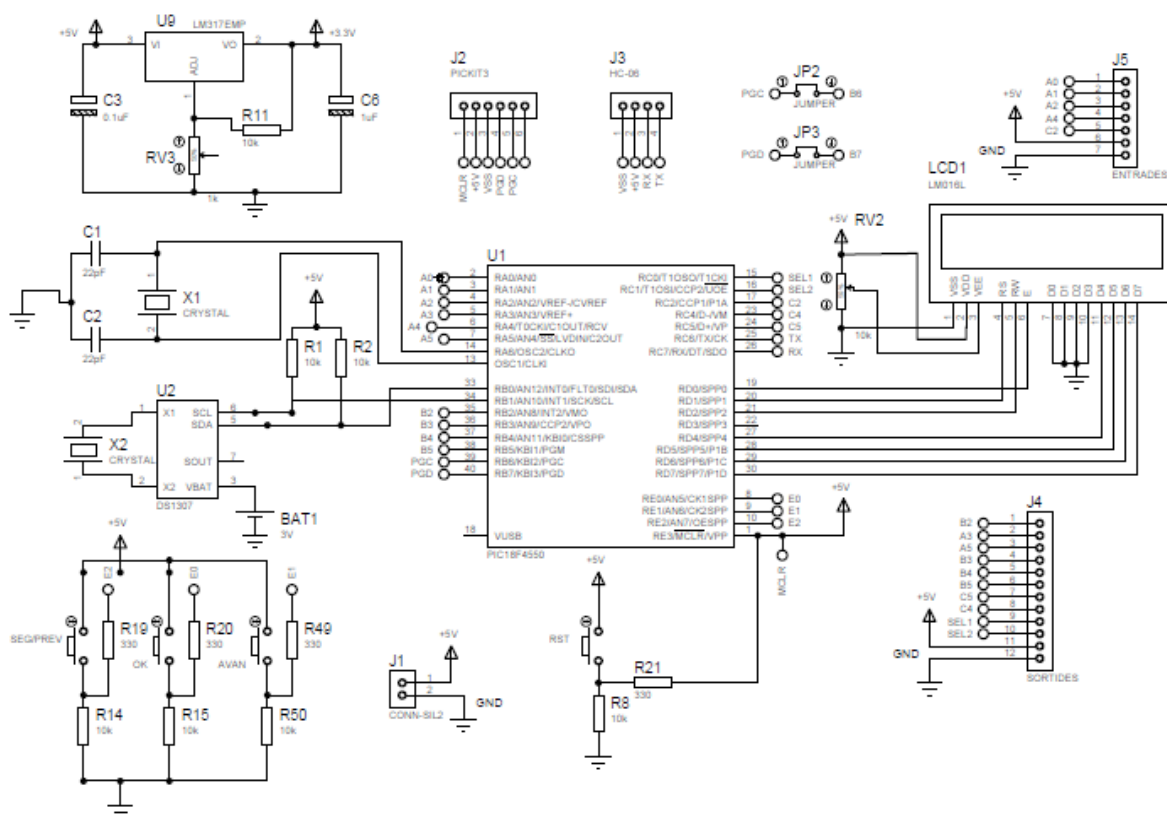


Figura 4.1. Esquema de la placa mare (Font: Proteus).

Aquesta placa base ens permet establir les connexions amb els sensors i actuadors, juntament amb la comunicació via Bluetooth per al control remot. També executa diferents funcions gràcies als elements externs connectats als seus ports d'entrada i sortida.

L'element més important, depenent de la funcionalitat del sistema, és el microcontrolador que depèn de diferents paràmetres que condicionaran tant el nostre disseny hardware com el software. A continuació es mostra una breu comparativa de les dues famílies principals dels microcontroladors PIC, freqüentment utilitzats per a projectes de domòtica.

Finalment, un cop estudiades les diferents famílies i comparatives dels microcontroladors PIC, s'ha escollit el microcontrolador PIC18F4520 del fabricant MICROCHIP ja que es caracteritza per un alt rendiment i és el més complet en quant a prestacions degut a una gran capacitat de memòria tant de dades com de programa. Aquest compleix tots els requisits que es volen dur a terme en aquest treball.

4.3. Descripció de la placa d'entrades i sortides del prototip de proves.

La placa de proves d'entrades i sortides conté tots els elements que actuen com a sensors i actuadors per al prototip, connectades amb la placa mare. Aquesta serveix per a realitzar les proves del sistema i mostrar-ne el seu correcte funcionament. La placa de proves conté:

- Potenciòmetres per a simular les entrades analògiques dels sensors de fum/gas i nivell d'aigua.
- Polsadors per a simular les entrades digitals del sensor de presència i el timbre.
- Sensor de temperatura.
- LEDs per a simular les sortides digitals.
- Un relé de prova.
- Un *buzzer* o brunzidor per a simular els senyals d'alarma.
- Circuits integrats *Latch* per a la selecció de les sortides.
- Connectors d'entrades i sortides.

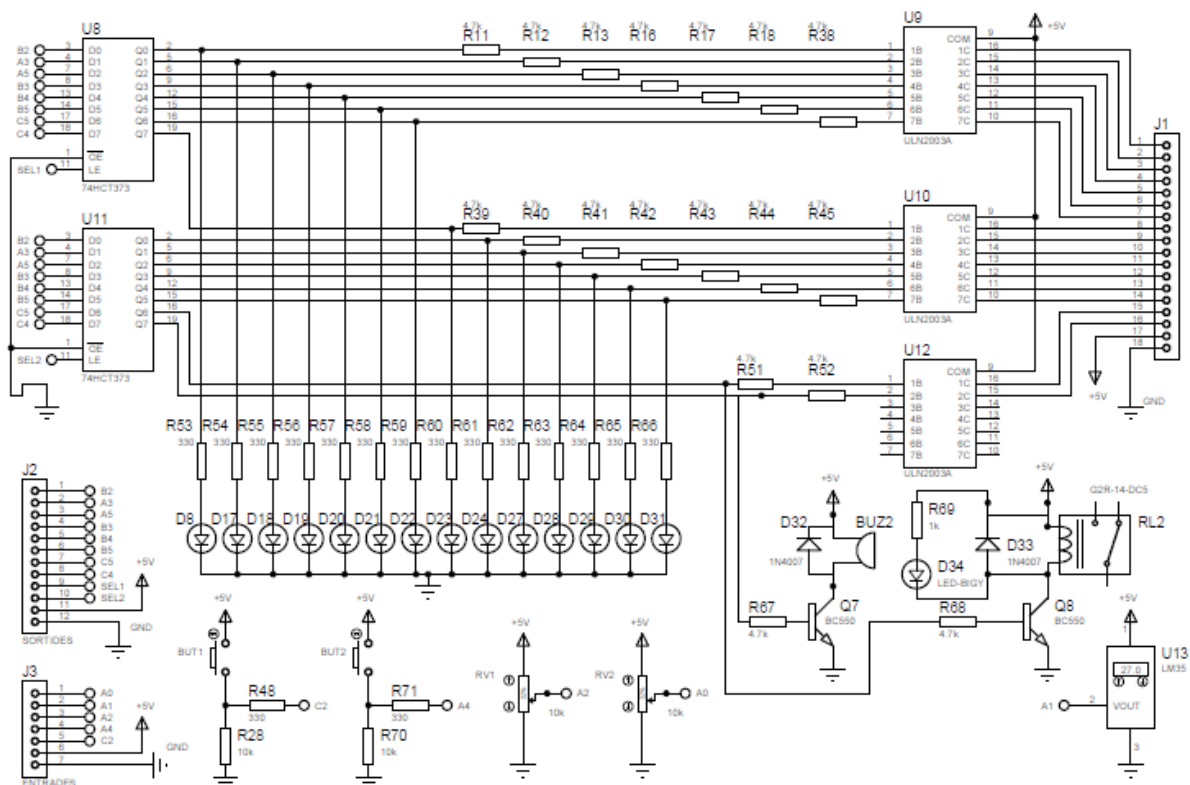


Figura 4.2. Esquema de la placa d'entrades i sortides de prova (Font: Proteus).

5. Capítol 5. Funcions del sistema domòtic.

5.1. Funcions bàsiques del sistema.

En aquest apartat es comentaran les funcions principals que es volen controlar amb el sistema domòtic dissenyat, tenint en compte les necessitats quotidianes d'una llar tant per a persones que pateixen algun tipus de discapacitat com les que no.

5.1.1. Llum.

Control d'encesa i apagada de la llum de totes les parts de la casa amb la opció del, útil per a regular el consum d'energia.

Encesa de llums d'emergència automàticament en cas d'incendi o detecció de fum per a persones sordes. També encesa automàtica del respectiu llum en cas d'alarma d'intrusió i trucada al timbre principal.

5.1.2. Temperatura.

Actuant com a termòstat de la llar, el display mostrarà la temperatura actual de la casa i permetrà adequar-la a un valor desitjat. Aquest control es podrà realitzar mitjançant la introducció d'una consigna amb la possibilitat d'augmentar i disminuir-la en variacions d' 1 grau centígrad.

5.1.3. Persianes.

Permet pujar i baixar les persianes amb un motor de doble sentit i controlar-ne gradualment el percentatge d'obertura d'aquestes (50% o 100%).

Com a mesura de seguretat, s'obriran automàticament totes les persianes de l'habitatge en cas d'alarma d'incendi, per facilitar la sortida a persones amb mobilitat reduïda. Tanmateix, es tancaran completament en detectar-ne senyal d'intrusió.

5.1.4. Sistema de reg.

Es realitzarà el control d'encesa i apagada del sistema de reg del jardí. Gràcies al sensor de nivell es podrà controlar el nivell d'aigua consumida en tot moment, permet l'apagada del sistema quan s'hagi arribat a un valor desitjat d'aigua consumida i avisar amb un senyal d'alarma com a mesura d'estalvi d'aigua.

5.1.5. Alarmes.

En aquesta opció del menú, hi haurà un historial d'alarmes on es podrà visualitzar els senyals d'alerta que hagin sorgit juntament amb la respectiva hora. Només amb la seva validació es podrà netejar aquest historial.

5.1.5.1. Alarma d'intrusió.

Si el detector de presència s'activa, automàticament es tanquen totes les persianes juntament amb la activació del brunzidor, la obertura de la il·luminació d'alarma, el bloqueig de la porta principal i tancament de les llums de la casa com a mesura de seguretat.

Aquesta es pot activar o desactivar-ne el funcionament mitjançant el corresponent submenú de comandament, ja que està pensada per a ser utilitzada en cas de que l'usuari marxi de la llar.

5.1.5.2. Alarma d'incendis.

En cas d'incendi s'activarà l'avís sonor i lluminós d'emergència juntament amb la obertura de tots els llums de la casa, pujada de totes les persianes i desbloqueig de la porta principal com a elements de protecció.

5.1.5.3. Alarma d'inundació.

Aquesta s'activarà quan el respectiu sensor de nivell detecti l'excés d'una mínima quantitat de litres d'aigua en la zona de la casa on estigui ubicat. Automàticament, s'encendran els avisos d'emergència juntament amb la obertura de les persianes i el desbloqueig de la porta principal.

5.1.5.4. Altres.

Hi ha altres senyals d'alarma com l'avís d'aigua consumida en el sistema de reg o el timbre de la porta principal, que també s'emmagatzemaran a l'historial i es podran esborrar mitjançant la seva validació.

5.2. Funcions específiques.

5.2.1. Funcions d'ajuda a discapacitats.

Tot i que les funcions del sistema han de servir d'ajuda a qualsevol persona que visqui a l'habitatge, s'ha introduït una sèrie de funcions depenent del tipus de discapacitat de l'usuari. Aquestes són:

- Ceguesa: en cas d'alarma o emergència s'activarà el bronzidor emetent un so d'alerta. Aquest so serà diferent depenent segons el senyal d'alarma detectat per tal que la persona cega pugui saber de quin tipus d'avis es tracta (incendi, intrusió o inundació). Un altre senyal sonor s'utilitzarà per avisar que estan trucant al timbre.
- Sordesa: en cas d'alarma o emergència s'activarà el llum d'emergència corresponent al tipus d'avis. També es mostrarà en el display LCD un missatge indicant-ne de quin senyal es tracta. També s'activarà un senyal lluminós corresponent al timbre.
- Mobilitat reduïda: si es detecta perill d'incendi o inundació, automàticament s'obriran les persianes i es desbloquejarà la porta principal per poder facilitar-ne el seu desallotjament. En cas que truquin al timbre, l'usuari pot obrir-ne la porta des del seu comandament.

5.2.2. Funcions segons la ubicació.

Una part del control del sistema domòtic s'ha distribuït segons les parts bàsiques d'un habitatge estàndard, aquestes són: vestíbul, menjador, cuina, lavabo i jardí. A cada part se li ha assignat unes funcions específiques per poder millorar-ne el seu confort.

5.2.2.1. Vestíbul.

En aquesta part de la llar es podrà realitzar el control de la il·luminació i el respectiu bloqueig o desbloqueig de la porta principal, útil per a la seva obertura en cas d'avis del timbre.

El panell de comandament centralitzat del sistema està pensat per estar ubicat al vestíbul.

5.2.2.2. Menjador.

Al menjador, on hi haurà un sensor de presència, es podrà controlar els motors de les persianes i la il·luminació d'aquesta part.

5.2.2.3. Cuina.

Aquesta part de la casa, amb més probabilitat d'incendis, s'ubicarà un dels sensors de fum i gas. S'hi podrà realitzar el control de llum i la encesa del rentaplats.

5.2.2.4. Lavabo.

Al lavabo s'hi podrà realitzar el control de llum i de la encesa de la estufa.

5.2.2.5. Jardí.

Tot jardí té un sistema de reg i és per aquest motiu que s'ha pensat en controlar-ne la seva programació d'encesa i apagada amb l'objectiu d'estalviar aigua. Es pretén mostrar el nivell o percentatge d'aigua consumida durant el reg i poder establir-ne una consigna per no sobrepassar aquest valor, amb un avís d'alarma quan s'estigui a punt d'arribar-hi.

Com en la resta de parts de la casa, també es realitzarà el control d'il·luminació.

6. Capítol 6. Hardware.

En aquest capítol es mostrarà el disseny de tots els components físics que formen el sistema domòtic implementat, juntament amb els respectius càlculs i connexions. A més del disseny realitzat per a la simulació dels sensors i actuadors (prototip de proves), també es mostra un estudi de mercat amb els components a utilitzar en el cas de realitzar una instal·lació real en un habitatge (prototip real).

6.1. Diagrama de blocs del sistema.

A continuació, es representa el diagrama de blocs general amb elements necessaris que formen tot el sistema domòtic a implementar.

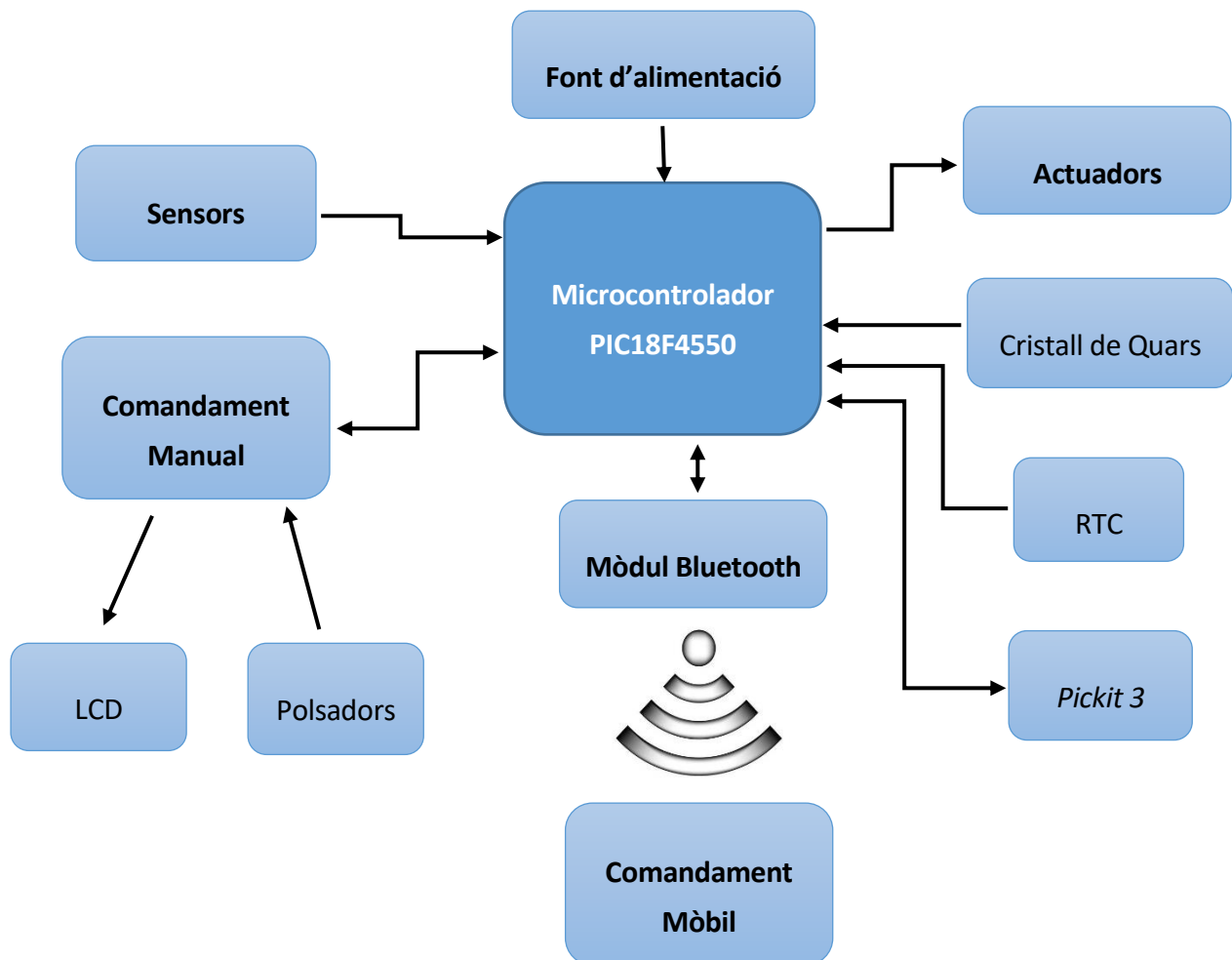


Figura 6.1. Diagrama de blocs del sistema domòtic (Font: Elaboració pròpia).

6.2. Placa mare.

La placa mare, com el seu nom indica, és el cervell del sistema domòtic que incorpora tots els elements necessaris per rebre, processar i encomanar dades als seus sensors i actuadors.

6.2.1. Microcontrolador PIC18F4550.

Tal i com s'ha comentat en capítols anteriors, el microcontrolador escollit per al sistema és el model PIC18F4550 del fabricant *MICROCHIP*. Aquest pertany a la família 18F catalogada dins la gamma alta degut a les seves prestacions. Tot i que existeixen models superiors, aquest és suficientment efectiu per a les prestacions i funcions que requereix el nostre sistema.

Aquest es basa en la arquitectura *RISC* formada per 16 bits de bus de programa i 8 bits de bus de dades, permetent treballar amb una freqüència màxima de 40 MHz amb una memòria de dades i de programa de fins a 4 kbytes i 32 kbytes, respectivament.

Taula 6.1. Característiques de la família PIC18FXXXX.

Característiques:	PIC18F4550
Freqüència de treball màxima	48 MHz
Memòria de programa FLASH (bytes)	32k
Memòria de dades SRAM (bytes)	1536
Memòria de dades EEPROM (bytes)	2k
Interrupcions	20
Ports I/O	A, B, C, D, E
Temporitzadors	4
Comparadors	2
Mòduls A/D de 10 bits	13 canals
Comunicacions en sèrie	MSSP, EUSART
Comunicacions en paral·lel	PSP

S'ha escollit l'encapsulat 40-DIP del microcontrolador, on la distribució dels 40 pins d'entrades i sortides és el següent:

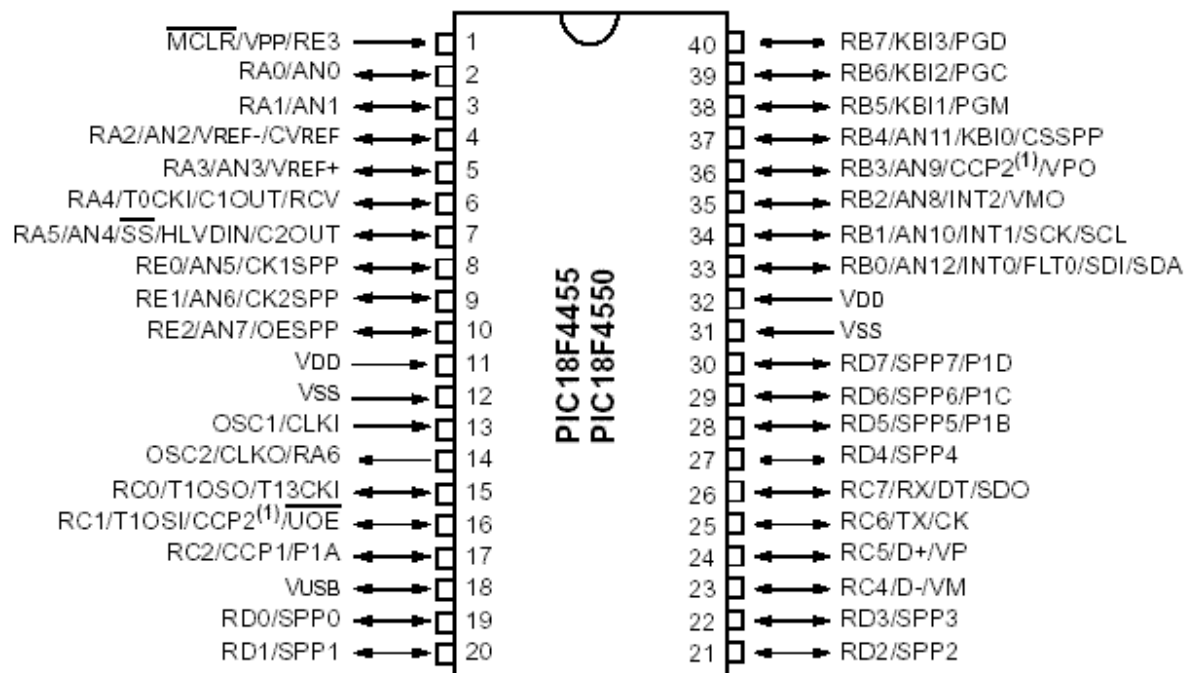


Figura 6.2. Encapsulat 40-DIP del microcontrolador PIC18F4550 (Font: MICROCHIP).

Per tal d'optimitzar el nombre de terminals del microcontrolador, s'ha optat per a l'ús de dos *jumper* en els pins RB6 i RB7. Aquests pertanyen als terminals PGC i PGD respectivament, que són utilitzats per a la càrrega del software. Això ens permet desconectar les sortides o entrades que s'hi connectin quan vulguem introduir el programa en el microcontrolador, evitant d'aquesta manera les sobrecàrregues de tensió en la placa.

6.2.2. Cristall de Quars.

El cristall de quars actua com a oscil·lador del microcontrolador. En el nostre cas fem servir un cristall de 4 MHz de freqüència, concretament el model *HC-49S* que és bastant genèric i comercialitzat per diferents fabricants.

La connexió, segons les especificacions donades per al fabricant, requereix dos condensadors ceràmics de 22 pF en cadascun dels seus dos terminals. Aquest es connecta entre els pins OSC1 i OSC2, que pertanyen al registre OSCOON del PIC.

En el software de funcionament caldrà configurar els paràmetres del registre OSCOON ja que utilitzem un oscil·lador extern per generar un senyal de rellotge i estabilitzar-ne la freqüència. Aquest registre està

format per 8 bits que permeten establir les següents funcions d'oscil·lació en el sistema: selecció de la freqüència de treball (IRCF2-IRCF0), estat de la freqüència (IOFS) i control de l'oscil·lador a utilitzar (SCS1, SCS0).

REGISTER 2-2: OSCCON: OSCILLATOR CONTROL REGISTER

R/W-0	R/W-1	R/W-0	R/W-0	R ⁽¹⁾	R-0	R/W-0	R/W-0
IDLEN	IRCF2	IRCF1	IRCF0	OSTS	IOFS	SCS1	SCS0
bit 7							bit 0

Legend:			
R = Readable bit	W = Writable bit	U = Unimplemented bit, read as '0'	
-n = Value at POR	'1' = Bit is set	'0' = Bit is cleared	x = Bit is unknown

- bit 7 **IDLEN:** Idle Enable bit
 1 = Device enters idle mode on SLEEP instruction
 0 = Device enters Sleep mode on SLEEP instruction
- bit 6-4 **IRCF2:IRCF0:** Internal Oscillator Frequency Select bits
 111 = 8 MHz (INTOSC drives clock directly)
 110 = 4 MHz
 101 = 2 MHz
 100 = 1 MHz⁽³⁾
 011 = 500 kHz
 010 = 250 kHz
 001 = 125 kHz
 000 = 31 kHz (from either INTOSC/256 or INTRC directly)⁽²⁾
- bit 3 **OSTS:** Oscillator Start-up Time-out Status bit⁽¹⁾
 1 = Oscillator Start-up Timer time-out has expired; primary oscillator is running
 0 = Oscillator Start-up Timer time-out is running; primary oscillator is not ready
- bit 2 **IOFS:** INTOSC Frequency Stable bit
 1 = INTOSC frequency is stable
 0 = INTOSC frequency is not stable
- bit 1-0 **SCS1:SCS0:** System Clock Select bits
 1x = Internal oscillator
 01 = Timer1 oscillator
 00 = Primary oscillator

Figura 6.3.-Bits del registre OSCCON del PIC18F4550 (Font: MICROCHIP).

En referència a la figura anterior, per tal d'obtenir una freqüència d'oscil·lació de 4 MHz haurem de configurar els bits IRCF2, IRCF1 i IRCF0 amb el valor binari 110 i els bits SCS1 i SCS0 amb 00 ja que utilitzem un oscil·lador extern.

6.2.3. Relotge de temps real (RTC).

El RTC és un rellotge i calendari decimal que permet realitzar múltiples operacions relacionades amb la hora i data actuals, com per exemple enregistrar històrics de dades a temps real o programar esdeveniments en els actuadors del sistema. És a dir, actua com a comptador o temporitzador a temps real.

El DS1307 és el model utilitzat en aquest projecte ja que és un component estàndard i molt comercialitzat per a sistemes domòtics. Aquest es codifica en BCD i utilitza un protocol de comunicació sèrie mitjançant el bus de dades I2C.

Taula 6.2. *Terminals del rellotge de temps real DS1307.*

Pin:	Funció:
X1	Connexió per al cristall de quars
X2	Connexió per al cristall de quars
SCL	Entrada de rellotge del bus I2C
SDA	Entrada/sortida de transmissió de dades del bus I2C
SOUT	Sortida de senyals de polsos
VBAT	Entrada d'alimentació de reserva de 2.5 V a 3.5 V

Es connecta entre els pins SCL i SDA utilitzats per a la transmissió de dades direccionalment amb el rellotge. Necessita la incorporació de resistències de *pull-up* i un cristall de quars de 32768 kHz de freqüència. Per al seu funcionament, només cal configurar la hora i data inicialment ja que necessita una bateria externa de 3 V per mantenir funcionant el comptador a temps real sense necessitar el funcionament de la placa. En aquest projecte, s'ha escollit una bateria de liti recarregable de 3 V CR2032 amb una gran vida útil de càrrega.



Figura 6.4. *Pila de liti de 3 V CR2032.*

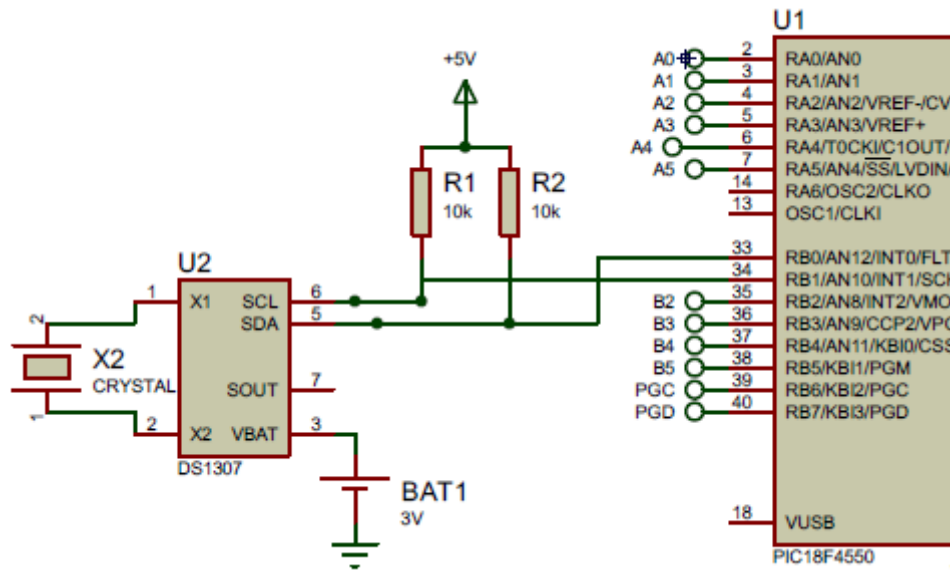


Figura 6.5. Connexions del RTC DS1307 (Font: Proteus).

6.2.4. Pickit 3.

El *Pickit 3* és un component que permet la programació i depuració del software, especialment per a microcontroladors PIC ja que és fabricat per la mateixa firma *MICROCHIP*. Aquest permet comunicar el microcontrolador amb el nostre ordinador, mitjançant la connexió USB, per tal de realitzar operacions del programari CCS o MPLAB i evitar-ne la seva deterioració. Un dels principals avantatges és que permet la modificació de la memòria FLASH del microcontrolador “*In circuit*”, és a dir, a temps real.



Figura 6.6. Component Pickit 3 (Font: MICROCHIP).

Les principals característiques del mòdul són les següents:

- Monitor de sobrevoltatge i sobrecorrent incorporat.
- Voltatge màxim suportat de 2 V a 6 V.
- Actualització de firmware.
- Lectura i escriptura de memòries de programa i dades.
- Depuració d'espai de memòria de programa amb verificació.
- Congelació de perifèrics amb *breakpoints*.
- Programació de fins a 512 kbytes de memòria FLASH.
- Compatibilitat fins a les famílies PIC32.

Taula 6.3. Descripció dels pins del *Pickit 3*.

Pin:	Funció:
Vpp/MCLR	Tensió de programació microcontrolador
VDD	Tensió d'alimentació positiva(+5 V)
VSS	Massa (GND)
ICSPDAT/PGD	Línia de dades bidireccional de programació
ICSPCLK/PGC	Línia de rellotge unidireccional de programació
LVP	No s'utilitza

Aquest mòdul utilitza els terminals PGD i PGC del microcontrolador per a transmetre les dades de programació. També cal dir que es connecta amb el pin MCLR del microcontrolador per tal d'utilitzar una tensió de programació quan es vol utilitzar el *Pickit 3* i com a element de seguretat per no sobrecarregar els dispositius s'inclou una resistència de 10 k Ω entre el terminal MCLR i VDD del microcontrolador per limitar-ne el corrent, juntament amb els elements *Jumper* utilitzats.

6.2.5. Mòdul Bluetooth.

Per a poder comunicar el microcontrolador PIC amb un dispositiu mòbil, com a possible extensió del projecte, s'ha utilitzat el model *HC-06*. Aquest component permet la transmissió i recepció de dades

mitjançant un protocol de comunicació Bluetooth sense fils per a curtes distàncies amb bandes de radiofreqüència de fins a 2,4 GHz amb modulació GFSK.

Es configura mitjançant comandes AT i només permet la possibilitat de funcionar en mode esclau amb la recepció de dades amb altres dispositius, ja que només rebrà ordres del dispositiu mòbil.



Figura 6.7. Mòdul Bluetooth HC-06.

El HC-06 està format per un encapsulat de 4 pins de connexió i és alimentat a 5 V.

Taula 6.4. Descripció dels pins del HC-06.

Pin:	Funció:
VCC	Tensió d'alimentació positiva (+5 V)
GND	Massa (GND)
TXD	Sortida de transmissió de dades
RXD	Entrada de recepció de dades

Els seus pins TXD i RXD es connecten intercalant-se amb els respectius pins TX i RX en el port C del microcontrolador per establir-ne la comunicació entre els dos punts.

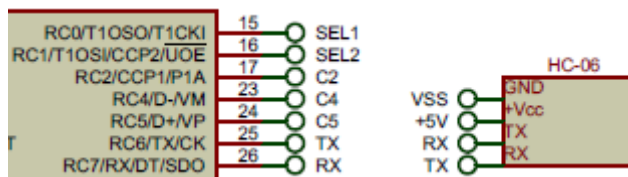


Figura 6.8. Connexió del mòdul Bluetooth HC-06.

6.2.6. Pantalla LCD.

Com a visualitzador s'ha escollit el model *LM1602*, una pantalla LCD 16 caràcters i 2 files que permet l'auto ajust del seu contrast per a una clara visibilitat mitjançant un potenciòmetre en el pin *VEE*. Aquest és alimentat a una tensió d'alimentació de 5 V.



Figura 6.9. Pantalla LCD LM1602.

El LCD treballa amb adreces de memòria DDRAM per a seleccionar-ne la visualització segons la seva pròpia taula de caràcters, tenint en compte que els 4 bits de menys pes són per a les files i els restants per a les columnes.

Taula 6.5. Descripció dels pins del LM1602.

Pin:	Funció:
VSS	Massa (GND)
VDD	Tensió positiva d'alimentació (+5 V)
VEE	Ajustament del contrast
RS	Selecció d'instrucció/dada
RW	Lectura/escriptura de dades
E	Habilitació/des habilitació (<i>Enable</i>)
D0 – D7	Entrades del bus de dades (8 bits)

Tot i estar format per un bus de dades de 8 bits, permet treballar només amb una interfície de 4 bits (*nibble* superior) per simplificar-ne el seu ús i connexionat ja que podem fer-ho mitjançant un únic port del microcontrolador.

6.2.7. Pulsadors de selecció.

Per a recórrer el menú de comandament del nostre sistema centralitzat fem ús de 3 pulsadors: AVAN, SEG/PREV i OK. Aquests permeten navegar per les diferents opcions del menú realitzant les accions d'avanç, retrocés i selecció, respectivament.

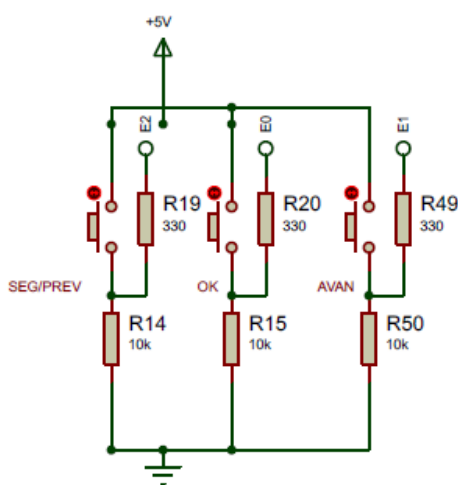


Figura 6.10. Connexions dels pulsadors de selecció (Font: Proteus).

Al estar connectats mitjançant el port A del PIC, cal utilitzar resistències de *pull-down* externes per limitar-ne el corrent.

La resistència de *pull-down* fa que l'estat de la lògica TTL sigui zero o en estat baix mentre el contacte o pulsador està en repòs. Aquesta es connecta a terra i d'aquesta manera quan el pulsador roman obert, el corrent és absorbit per la resistència deixant amb un valor de 0 V el pin del microcontrolador.

Al estar alimentats a +5 V, la resistència de *pull-down* ha de ser d'alta impedància ja que ha d'absorbir el corrent mentre el pulsador està obert. En aquest cas, s'ha escollit una resistència de 10 k Ω .

Quan es prem el pulsador, el corrent passa per aquest proporcionant un valor de +5 V (estat alt) a la entrada del microcontrolador, al qual se li afegeix una resistència de baixa impedància (330 Ω) per limitar aquest corrent.

6.2.8. Font d'alimentació.

La font d'alimentació implementada en aquest projecte ha estat dissenyada per elaboració pròpia. Aquesta proporciona a la seva sortida dos terminals de tensió (+5 V i GND) estables en continua a partir de la corrent alterna adquirida des de la mateixa xarxa elèctrica. És un dels blocs més importants ja que sense aquest no podria funcionar correctament la resta de components.

La font d'estructura típica està formada per un transformador en alterna de 230 V a 12 V i d'1 A, seguit de 2 fusibles del mateix amperatge com a elements de protecció i un *Pont de Graetz* rectificador d'ona completa. A continuació, amb l'objectiu d'obtenir tensions estables, un filtre format per un condensador electrolític juntament amb un regulador per limitar la tensió desitjada a 5 V en continua.

No obstant, també es contempla la possibilitat d'aconseguir 3,3 V de tensió per a futures aplicacions que requereixin components alimentats amb aquest voltatge.

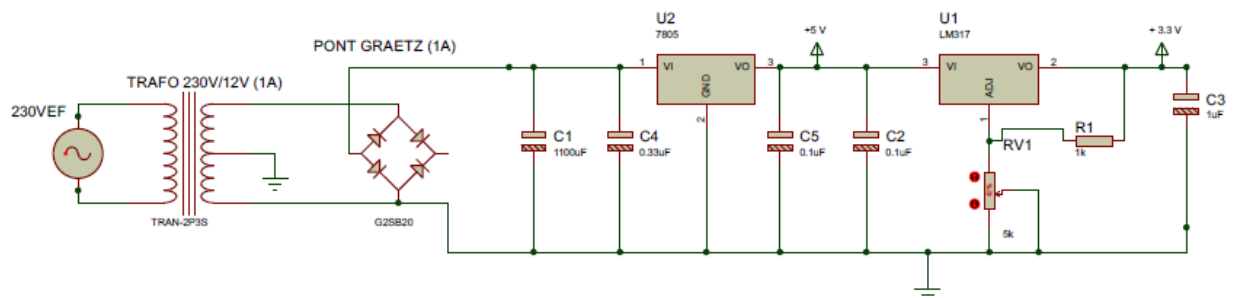


Figura 6.11. Disseny de la font d'alimentació (Font: Proteus).

6.2.8.1. Càlcul de components.

A continuació, es mostraran els càlculs necessaris per a la elecció dels components utilitzats en la font d'alimentació:

- **Transformador i Pont rectificador.**

A partir dels requeriments necessaris per a la tensió d'alimentació desitjada per al sistema, s'ha escollit un transformador de 230/12 V i 1 A en alterna per tal de transformar la senyal sinusoidal a 50 Hz provinent de la xarxa elèctrica fins a una de 12 V. D'aquesta manera, podem rebaixar el voltatge fins a 5 V amb el regulador comercial que exigeix un mínim d' aproximadament 2 V de caiguda de tensió. Com que treballem amb un corrent màxim $I_{out,màx}$ d'1 A, tant el transformador com el *Pont de Graetz* rectificador d'ona completa hauran de ser d'aquest amperatge juntament amb 2 fusibles per no sobrepasar-lo.

- **Filtre.**

Com a totes les fonts d'alimentació, cal afegir un filtre format per un condensador electrolític per tal de limitar l'arribada del senyal rectificat, on és necessari calcular el valor d'aquest a partir de les especificacions. Com que el valor de la tensió eficaç en el secundari del transformador $V_{trafo_{RMS}}$ és de 12 V i suposant que dels díodes del pont rectificador només n'hi ha 2 en conducció amb una tensió constant V_d de 0.7 V, la tensió màxima a la sortida del rectificador i del condensador $V_{C_{màx}}$ és igual a:

$$V_{C_{màx}} = \sqrt{2} \cdot V_{trafo_{RMS}} - 2 \cdot 0.7 = \sqrt{2} \cdot 12 - 2 \cdot 0.7 = 15.57 \text{ V} \quad (\text{Eq. 6.1})$$

La tensió mitja a la sortida del conjunt rectificador-filtre $V_{C_{mitja}}$ i la màxima $V_{C_{màx}}$, han de complir:

$$V_{C_{mitja}} = V_{C_{màx}} - \frac{\Delta V_C}{2} \quad (\text{Eq. 6.2})$$

Substituint valors a la Eq. 6.1 i sabent que la arribada del condensador ha de ser el 10% del valor mig de la tensió rectificada $V_{C_{mitja}}$:

$$V_{C_{màx}} = V_{C_{mitja}} + \frac{0.1 \cdot V_{C_{mitja}}}{2} \quad (\text{Eq. 6.3})$$

Obtenim una tensió mitja $V_{C_{mitja}}=14.83$ V i, per tant, una arribada $\Delta V_C=1.48$ V en el filtre i el regulador. Ara ja podem calcular la capacitat del filtre C_1 aplicant la següent expressió, tenint en compte el cas més desfavorable quan hi circula la corrent màxima per la càrrega $I_{out_{màx}}$. Aquesta corrent correspon a la màxima entregada per el microcontrolador PIC (aproximadament 500 mA):

$$C_1 = \frac{I_{out_{màx}}}{2\pi \cdot f \cdot \Delta V_C} = \frac{0.5}{2\pi \cdot 50 \cdot 1.48} = 1.075 \text{ mF} = 1075.37 \mu\text{F} \quad (\text{Eq. 6.4})$$

Escollim un condensador electrolític del valor estàndard de $C_1=1100$ μF segons la sèrie de valors comercials E-12.

- **Regulador de tensió +5 V.**

Per a obtenir els 5 V de tensió s'ha escollit el regulador comercial encapsulat 7805 per obtenir tensions estables en continua. Aquests permeten obtenir la tensió desitjada sempre i quan es compleixi una caiguda de tensió mínima de 2 V entre els seus terminals d'entrada i sortida ja que aquests xips només permeten disminuir la tensió. Aquest permet regular des de 25 V a la seva entrada fins a 5 V al seu terminal de sortida.

Symbol	Parameter	Conditions	7805AJ/AE			Units
			Min	Typ	Max	
V _O	Output Voltage	T _J =25°C, I _{OUT} =500mA	4.85	5	5.15	V
		5mA ≤ I _{OUT} ≤ 1A	4.85	5	5.15	
		7V ≤ V _{IN} ≤ 25V, P _{OUT} ≤ 15W				
ΔV _O	Line Regulation	T _J =25°C, 7V ≤ V _{IN} ≤ 25V	-	3	50	mV
		T _J =25°C, 8V ≤ V _{IN} ≤ 12V	-	1	25	
ΔV _O	Load Regulation	T _J =25°C, 5mA ≤ I _{OUT} ≤ 1A	-	15	100	mV
		T _J =25°C, 250mA ≤ I _{OUT} ≤ 750mA	-	5	50	
I _B	Quiescent Current	I _{OUT} =5mA, T _J =25°C	-	3.9	8	mA
ΔI _B	Quiescent Current Change	I _{OUT} =500mA, 7V ≤ V _{IN} ≤ 25V, T _J =25°C	-	-	1.3	mA
		5mA ≤ I _{OUT} ≤ 1A, V _{IN} =10V, T _J =25°C	-	-	0.5	
e _N	Output Noise Voltage	B=10Hz~100KHz, I _{OUT} =50mA, T _J =25°C	-	50	-	μV/V _O
RR	Ripple Rejection	10V ≤ V _{IN} ≤ 18V, f=120Hz, I _{OUT} =50mA, T _J =25°C	57	73	-	dB
V _D	Dropout Voltage	T _J =25°C, I _{OUT} =1A	-	2	2.5	V
R _O	Output Resistance	f=1KHz	-	17	-	mΩ
I _{SC}	Short Circuit Current	T _J =25°C	-	2.3	2.8	A
ΔV _O /ΔT	Output Voltage Drift	0°C ≤ T _J ≤ 125°C	-	-	0.6	mV/°C

Figura 6.12. Característiques elèctriques del component 7805 (Font: Texas Instruments).

Segons el *datasheet* del fabricant, aquest component s'ha de connectar juntament amb un condensador electrolític de 0.33 μF a un terminal del component i un de 0.1 μF a l'altre.

Cal calcular si es necessita dissipador per aquest component. Si calculem la potència dissipada del regulador amb la següent equació:

$$Pot\ diss = (V_{cmi\ ja} - V_{out}) \cdot I_{out} = (14.83 - 5) \cdot 1 = 9.83\ W \quad (\text{Eq. 6.5})$$

Observant les característiques tèrmiques del component, extraiem les següents dades i apliquem la Eq. 6.6 per saber si serà necessària la incorporació d'un dissipador ($T_{amb} = 25\ ^\circ\text{C}$, $T_J = 150\ ^\circ\text{C}$, $R_{J-C} = 12.5\ ^\circ\text{C/W}$, $R_{J-a} = 47\ ^\circ\text{C/W}$).

$$T_J = T_{amb} + PD \cdot R_{Ja} = 25 + 9.83 \cdot 47 = 480\ ^\circ\text{C} \quad (\text{Eq. 6.6})$$

Com que la temperatura de les condicions de treball en que treballarà el regulador és superior a la temperatura màxima d'operació d'aquest ($480 > 150$) caldrà incorporar un dissipador de calor.

Suposant una resistència tèrmica entre l'encapsulat i el dissipador de $0.5\ ^\circ\text{C/W}$ calculem la resistència tèrmica màxima que ha de tenir el nostre radiador.

$$R_r - a = \frac{T_J - T_{amb}}{Pot\ diss} - R_{Jc} - R_{cr} = \frac{150 - 25}{9.83} - 12.5 - 0.5 = 2.12\ ^\circ\text{C/W} \quad (\text{Eq. 6.7})$$

Per tant, haurem d'utilitzar un dissipador de calor amb una resistència tèrmica del ventilador superior a $2.12\ ^\circ\text{C/W}$. Una possible opció seria utilitzar l'encapsulat *TO-220*, ja que s'adapta perfectament a les nostres especificacions de treball.

- **Regulador de tensió +3.3 V.**

Per a obtenir els 3.3 V de tensió opcionals s'ha escollit el regulador comercial encapsulat per obtenir tensions estables en continua. Aquests permeten ajustar el valor de tensió desitjada a partir d'un potenciòmetre, sempre i quan es compleixi una caiguda de tensió mínima entre els seus terminals d'entrada i sortida ja que aquests xips només permeten disminuir la tensió. S'ha escollit el regulador LM317. Aquest permet regular des de 37 V a la seva entrada fins a 1.2 V al seu terminal de sortida, amb una caiguda de tensió mínima d' 1.25 V.

Characteristic	Symbol	Test condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
Line Regulation	ΔV_o	$T_A=0 \sim 125^\circ\text{C}$		0.01	0.04	%/V
		$3\text{V} \leq V_i - V_o \leq 40\text{V}$		0.02	0.07	%/V
Load Regulation	ΔV_o	$T_A=25^\circ\text{C}, 10\text{mA} \leq I_o \leq I_{\text{MAX}}$		18	25	mV
		$V_o \leq 6\text{V}$		0.4	0.5	%/V _o
		$V_o \geq 5\text{V}$		40	70	mV
		$10\text{mA} \leq I_o \leq I_{\text{MAX}}$		0.8	1.5	%/V _o
Adjustable Pin Current	I_{ADJ}		46	100	μA	
Adjustable Pin Current Change	ΔI_{ADJ}	$3\text{V} \leq V_i - V_o \leq 40\text{V}$ $10\text{mA} \leq I_o \leq I_{\text{MAX}}$ $P \leq P_{\text{MAX}}$		2.0	5	μA
Reference Voltage	V_{REF}	$3\text{V} \leq V_i - V_o \leq 40\text{V}$ $10\text{mA} \leq I_o \leq I_{\text{MAX}}$ $P_D \leq P_{\text{MAX}}$	1.20	1.25	1.30	V

Figura 6.13. Característiques elèctriques del component LM317 (Font: Texas Instruments).

En el *datasheet* del component el fabricant proporciona el muntatge d'aplicació necessari que s'ha utilitzat en el disseny. On aquest incorpora un potenciòmetre per a l'ajust de tensió que es vol obtenir a la seva sortida juntament amb condensadors de 0.1 μF i 1 μF a cada terminal. També es dona la respectiva equació per al càlcul del potenciòmetre (Eq. 6.8).

Escollint un valor estàndard per a la resistència $R_1=1 \text{ k}\Omega$, podem obtenir el valor òptim d'ajust del potenciòmetre R_2 per a la tensió desitjada de $V_o=+3.3 \text{ V}$:

$$3.3 \text{ V} = 1.25 \cdot \left(1 + \frac{R_2}{1 \text{ k}\Omega}\right) \quad \text{(Eq. 6.8)}$$

Caldrà ajustar el potenciòmetre a un valor de $R_2=2.1 \text{ k}\Omega$, utilitzant un potenciòmetre de 5 $\text{k}\Omega$ o superior.

No obstant, cal calcular si es necessita dissipador per aquest component. Si calculem la potència dissipada del regulador amb la següent equació:

$$Pot \text{ diss} = (V_{C_{mitja}} - V_{out}) \cdot I_{out} = (5.40 - 3.3) \cdot 1 = 2.10 \text{ W} \quad \text{(Eq. 6.9)}$$

Observant les característiques tèrmiques del component, extraiem les següents dades i apliquem la Eq. 6.10 per saber si serà necessària la incorporació d'un dissipador ($T_{amb} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_J = 125 \text{ }^\circ\text{C}$, $R_{J-C} = 5^\circ\text{C/W}$, $R_{J-a} = 50 \text{ }^\circ\text{C/W}$).

$$T_J = T_{amb} + PD \cdot R_{Ja} = 25 + 50 \cdot 2.10 = 130 \text{ }^\circ\text{C} \quad (\text{Eq. 6.10})$$

Com que la temperatura de les condicions de treball en que treballarà el regulador és superior a la temperatura màxima d'operació d'aquest ($130 > 125$) caldrà incorporar un dissipador de calor.

Suposant una resistència tèrmica entre l'encapsulat i el dissipador de $0.5 \text{ }^\circ\text{C/W}$ calculem la resistència tèrmica màxima que ha de tenir el nostre radiador.

$$R_r - a = \frac{T_J - T_{amb}}{Pot \text{ diss}} - R_{Jc} - R_{cr} = \frac{125 - 25}{2.10} - 5 - 0.5 = 42.12 \text{ }^\circ\text{C/W} \quad (\text{Eq. 6.11})$$

Per tant, haurem d'utilitzar un dissipador de calor amb una resistència tèrmica del ventilador superior a $42.12 \text{ }^\circ\text{C/W}$. Una possible opció seria utilitzar l'encapsulat *TO-220*, ja que s'adapta perfectament a les nostres especificacions de treball.

6.2.8.2. Solució escollida.

Com a simplificació de components en la placa mare, s'ha optat per l'ús d'un adaptador comercial de 230 V a 5 V i d' 1 A per tal de substituir els elements transformador, rectificador, filtre i regulador del disseny anterior. Aquest element, semblant a un carregador estàndard per a telèfons mòbils, proporciona els 5 V estabilitzats en continua a partir de la seva connexió a la xarxa elèctrica.



Figura 6.14. Adaptador de tensió 230 V/5 V (Font: Amazon).

No obstant, la resta del disseny format per el regulador es mantindria en cas de voler aconseguir els 3.3 V a la sortida de la font d'alimentació.

6.3. Placa d'entrades i sortides del prototip.

En aquest apartat es mostrarà un estudi de mercat real per als components escollits en cas de que s'implementi el sistema domòtic dissenyat en un habitatge real.

Cal comentar que s'han tingut en compte les característiques i requisits estàndards d'una llar.

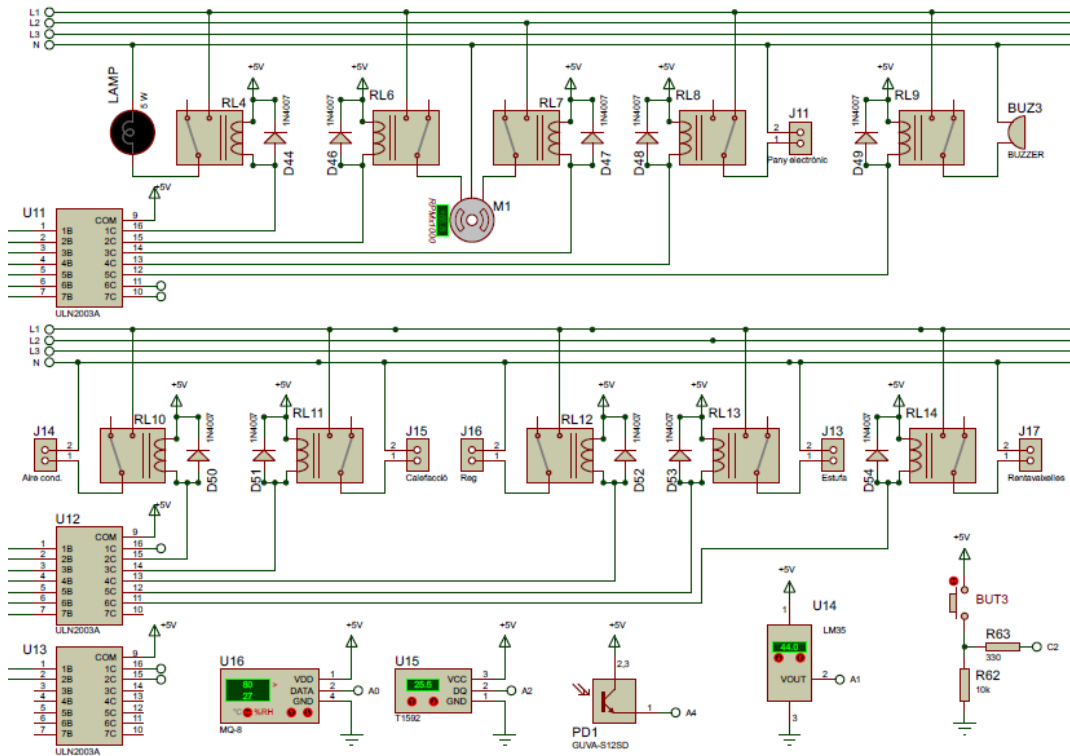


Figura 6.15. Esquema de la placa prototip d'entrades i sortides (Font: Proteus).

6.3.1. Entrades.

6.3.1.1. Sensor de temperatura.

Per a mesurar la temperatura ambient de l'habitatge per al nostre sistema domòtic s'ha escollit el sensor LM35, el més utilitzat en aplicacions per a placa impresa. És caracteritzat per el seu baix cost i consum.

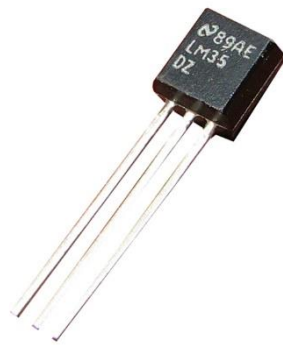


Figura 6.16. Encapsulat del sensor LM35 (Font: Texas Instruments).

Aquest sensor de temperatura té una precisió calibrada d'1 °C. El seu rang de treball és d'aproximadament 100 °C amb una sensibilitat de 10 mV que proporciona una sortida lineal de voltatge proporcional a la seva temperatura en graus Celsius. No requereix de circuits addicionals per a la seva conversió o adquisició de dades, a diferència d'altres sensors comercials.

Taula 6.6. Característiques del sensor LM35.

Característica:	Valor:
Alimentació	4 V – 30 V
Sensibilitat	10 mV/°C
Rang de mesura	De -55 °C a 150 °C
Exactitud	0.5 °C a +25 °C
Consum	60 μ A
Impedància de sortida	0.1 Ω per a cada 1 mA
Auto-escafant	0.08 °C

No obstant, també es contempla la utilització del sensor *DHT-11* com a alternativa de més alt cost econòmic. Aquest detector molt comercialitzat per a *Arduino* o *Raspberry Pi* permet mesurar fins a 50°C de temperatura i un rang d'humitat relativa d'entre 20 i 80%. El seu principal inconvenient és que només actualitza dades cada 2 segons.

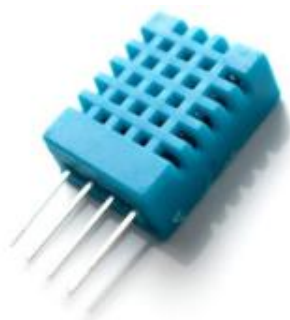


Figura 6.17. Encapsulat del sensor DHT-11 (Font: RS Components).

6.3.1.2. Sensor de presència.

Dins de les funcions de seguretat que contempla el sistema domòtic cal introduir el sensor de presència per a la detecció de moviment dins l'habitatge. El detector de moviment o *PIR* escollit és el model *HC-SR501*, del tipus piroelèctric ja que treballa amb senyals infrarojos (IR). Degut al seu preu econòmic és un dels més utilitzats en sistemes domòtics.



Figura 6.18. Encapsulat del sensor HC-SR501 (Font: Robotlinking).

Aquest sensor passiu funciona a partir de la radiació de calor amb un rang de detecció de 3 fins a 7 metres de distància. Incorpora dos potenciómetres per poder regular la sensibilitat i el temps de detecció, que pot variar de 5 a 200 segons.

Taula 6.7. Característiques del sensor HC-SR501.

Característica:	Valor:
Alimentació	4.5 V – 20 V DC

Nivell de sortida	3.3 V (alt) / 0 V (baix)
Temperatura de funcionament	De -15 °C a +70 °C
Consum	< 50 µA
Rang de treball	De 3 m a 7 m
Temps de retard	5 s – 200 s (ajustable)
Temps de bloqueig	2.5 s

La seva connexió és molt senzilla, ja que només té 3 terminals (+Vcc, GND i Vout). Per el terminal Vout entrega un nivell de tensió a la seva sortida, és a dir, alt o baix.

Com a alternativa, no tant econòmica, es pot utilitzar el sensor *GUVA-S12SD* que consisteix en un microxip amb les mateixes funcions que l'anterior. No obstant, aquest permet un rang de treball de fins a 10 metres.

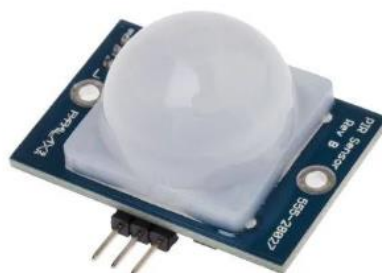


Figura 6.19. Encapsulat del sensor *GUVA-S12SD* (Font: Digi-Key).

6.3.1.3. Sensor de fum i gas.

El sensor *MQ-8* escollit és un detector de fums i gasos inflamables. Aquest permet detectar concentracions des de 300 fins a 10000 ppm de gas en l'aire. És vital per a poder detectar incendis o altres emergències relacionades en el sistema domòtic.

Quan el sensor està present en el mateix entorn que un gas combustible, la seva conductivitat augmenta en referència a la concentració de gas que hi ha en l'aire. És sensible a LGP, butà, propà, metà, alcohol, hidrogen i fum.



Figura 6.20. Encapsulat del sensor MQ-8 (Font: Mechatronics).

El mòdul conté una sortida analògica que prové del divisor de voltatge que forma el sensor i una resistència de carga. També té una sortida digital que es calibra mitjançant un potenciòmetre, juntament amb un LED indicador.

El funcionament d'aquest component es basa en la seva resistència de carrega, ja que varia en funció de la concentració de gas en l'aire.

Taula 6.8. Característiques del sensor MQ-8.

Característica:	Valor:
Alimentació	5 V DC
Resistència de sensat	1 k Ω cada 50 ppm
Temperatura de funcionament	De -20 °C a +55 °C
Consum	< 150 mA
Rang de treball	De 300 ppm a 10000 ppm
Temps de resposta	\leq 10 s
Temps de recuperació	\leq 30 s

6.3.1.4. Sensor de nivell d'aigua.

Per al sistema de reg del jardí, s'ha incorporat un detector del nivell per saber en tot moment la quantitat d'aigua de la que es disposa en el respectiu dipòsit. Aquesta funció també es pot utilitzar en qualsevol altra aplicació que treballi amb líquids. El model comercial seleccionat és el *T1592*, un sensor resistiu de gran precisió.



Figura 6.21. Encapsulat del sensor T1592 (Font: Mechatronics).

Conté una resistència d' 1 M Ω que varia de valor en funció del contacte del líquid amb les seves bandes conductores. Com més augmenti l'aigua, major serà el seu valor. Aquest dispositiu genera valors d'entre 0 i 630 (màxim valor detectable) a la seva sortida funcionant com un potenciòmetre, motiu pel qual no necessita l'ús de cap conversor analògic-digital.

Taula 6.9. Característiques del sensor T1592.

Característica:	Valor:
Alimentació	5 V DC
Resistència de sensat	1 M Ω
Temperatura de funcionament	De +10 °C a +30 °C
Consum	< 20 mA
Àrea de detecció	40mm x 16mm
Dimensions	62mm x 20mm x 8mm

Depenent de la posició del sensor en el nostre dipòsit i la capacitat màxima d'aquest, podrem saber la quantitat exacte mesurada mitjançant la respectiva cal·libració.

6.3.1.5. Polsador de timbre.

El polsador per a detectar el senyal de timbre, com a qualsevol casa, consisteix en un muntatge bàsic format per un polsador amb resistència *pull-down*. En apartats anteriors s'ha comentat el funcionament i càlculs d'aquesta estructura.

6.3.2. Sortides.

6.3.2.1. Control dels actuadors per relés.

Per a l'activació i desactivació de les sortides o actuadors per a qualsevol circuit elèctric que treballa en corrent alterna és necessària l'ús de relés. Un relé és un interruptor electromagnètic que permet controlar el pas de corrent elèctric, actuant també com a element de protecció galvànica i que funciona amb contactes NO (normalment obert) i NC (normalment tancat) a la seva sortida.

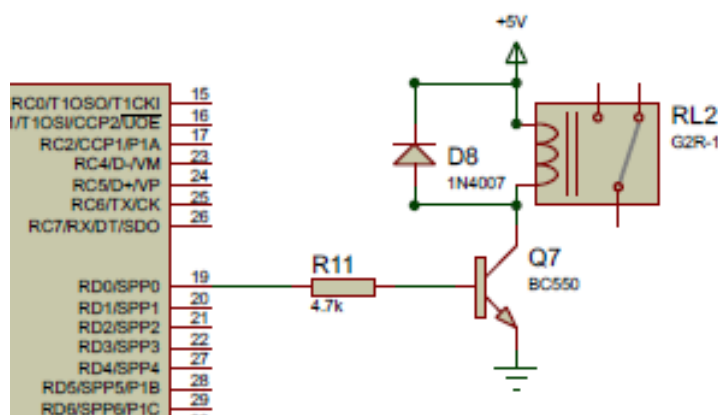


Figura 6.22. Connexió d'un relé (Font: Proteus).

En aquest cas, s'ha escollit el relé comercial per a plaques impreses G2R-1 del fabricant OMRON ja que permet un pas de corrent de càrrega de fins a 10 A i alimentar-se a 5 V en continua, entregats per la nostra font d'alimentació.

Taula 6.10. Característiques del relé G2R-1.

Característica:	Valor:
Voltatge de bobina	5 V DC
Corrent de contacte	10 A

Resistència de bobina	47 Ω
Corrent de bobina	100 mA
Temperatura de treball	De -40 °C a +70 °C

El mode més simple per activar un relé és mitjançant un transistor, del tipus NPN. Aquests depenen de la corrent d'excitació de la bobina incorporada en el relé utilitzat, que en aquest cas és de 100 mA. Per tant, un transistor BC550 o BC549 podrien ser una bona opció ja que suporten aquest corrent.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V _{CBO}	collector-base voltage	open emitter			
	BC549		–	30	V
	BC550		–	50	V
V _{CEO}	collector-emitter voltage	open base			
	BC549		–	30	V
	BC550		–	45	V
V _{EBO}	emitter-base voltage	open collector	–	5	V
I _C	collector current (DC)		–	100	mA
I _{CM}	peak collector current		–	200	mA
I _{BM}	peak base current		–	200	mA
P _{tot}	total power dissipation	T _{amb} ≤ 25 °C; note 1	–	500	mW
T _{stg}	storage temperature		–65	+150	°C
T _j	junction temperature		–	150	°C
T _{amb}	ambient temperature		–65	+150	°C

Figura 6.23. Característiques elèctriques del transistor BC550 (Font: Philips).

Amb aquestes dades podem calcular la resistència necessària a la base del transistor per al seu funcionament. Sabent que per al cas més desfavorable el guany de corrent del BC550 és de h_{fe} = 110, podem aplicar la següent equació:

$$R_{base} = \frac{(V_{CC} - V_{be}) \cdot h_{fe}}{I_{bobina}} = \frac{(5 - 0.7) \cdot 110}{0.10} = 4730 \Omega \quad (\text{Eq. 6.12})$$

Obtenim un valor comercial de 4.7 k Ω (sèrie E-96) per a la resistència de base.

També s'incorpora un díode rectificador *1N4007*, que permet un amperatge d'1 A suficientment gran, en paral·lel i inversament polaritzat amb el relé com a element de seguretat galvànica quan es desconnecta la bobina.

No obstant, per a la simplificació del nombre de transistors de control en el nostre circuit real, s'ha optat per a la implementació del circuit integrat *ULN2003A* que incorpora 7 transistors *Darlington* amb un corrent màxim de 500 mA, juntament amb els seus díodes de protecció. En aquest cas, el propi encapsulat conté una resistència de 2.7 k Ω a la base de cada transistor per al seu control.

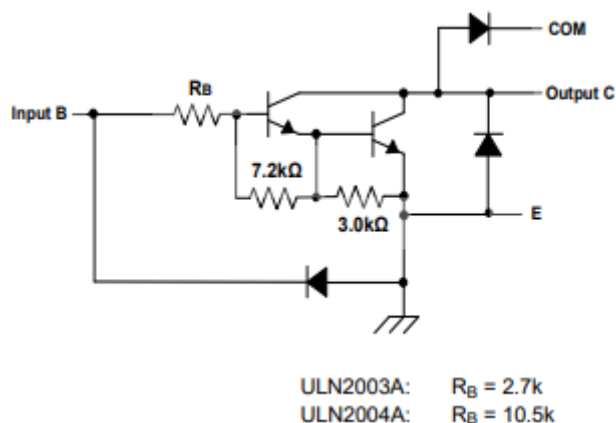


Figura 6.24. Diagrama funcional intern del CI *ULN2003A* (Font: Motorola).

Amb aquest circuit dissenyat podem controlar l'estat de tots els actuadors que intervenen en el sistema i que, per altra banda, són alimentats amb corrent alterna a partir de la xarxa elèctrica de qualsevol habitatge (230 V/ 50 Hz). Aquests poden ser: control de llum, motors, estufes, etc.

6.3.2.2. Motor per a les persianes.

Per al control de moviment per a les persianes caldrà incorporar un motor tubular electromecànic. Aquesta funció també es pot aplicar a toldos mecànics o portes correderes, per exemple, que es desitgin automatitzar.



Figura 6.25. Motor tubular JM35-100 (Font: JAROLIFT).

El model escollit és el JM35-100 de la firma JAROLIFT, freqüentment comercialitzat per al control de persianes. Aquest motor de baix consum incorpora sensors de finals de cursa propis i permet l'ajust de la seva velocitat de treball en els dos sentits de gir. El propi fabricant comercialitza el producte en diverses mides de longitud i diàmetre per al motor, depenent del tipus de persiana a utilitzar.

Taula 6.11. Característiques del motor JM35-100.

Característica:	Valor:
Alimentació	230 V AC
Capacitat de càrrega màxima	25 – 30 kg
Consum	0.53 A
Potència del motor	121 W
Par de gir	10 Nm/ 25 kg
Velocitat màxima	17 rpm
Diàmetre del tub	35 mm – 45 mm
Longitud del tub	473 mm – 535 mm

La seva connexió es realitza mitjançant un parell de relés per al control dels sentits de gir respectivament des del microcontrolador. S'alimenta des de la xarxa elèctrica trifàsica a 230 V/ 50 Hz, juntament amb la seva connexió a terra.

6.3.2.3. Pany electrònic.

En el sistema de seguretat del sistema hi ha la opció del bloqueig de la porta principal de l'habitatge, ja sigui com a prova de seguretat amb la clau per accedir-hi o per al control d'obertura a distància des del propi comandament.

Després d'estudiar diverses alternatives, s'ha optat per l'ús del pany elèctric *EDL-SL-YS131* que permet ser controlat mitjançant estats lògics.



Figura 6.26. Pany elèctric *EDL-SL-YS131* (Font: Amazon).

Una de les principals característiques per les quals s'ha escollit aquest model és per la seva fàcil instal·lació i les seves propietats físiques, ja que està fabricat d'acer inoxidable i permet instal·lar-se en una gran varietat de portes (de fusta, metall, PVC, ...).

Taula 6.12. Característiques del pany elèctric *EDL-SL-YS131*.

Característica:	Valor:
Alimentació	230 V AC
Capacitat de càrrega màxima	500 kg
Consum	200 mA
Temperatura de treball	De -10 °C a +55 °C
Dimensions	160 x 25 x 31 mm

El pany elèctric funciona com un contacte normalment tancat o NC ja que actua com a element de seguretat. Aquest s'alimenta a 230 V monofàsicament.

6.3.2.4. Brunzidor d'alarma o *buzzer*.

Per al sistema d'alarma cal la incorporació d'un element sonor, com a senyal d'avís per a persones amb discapacitat visual. En aquest sistema s'ha escollit el brunzidor passiu AD22-22MK-230 del fabricant Adajusa.



Figura 6.27. Brunzidor passiu AD22-22MK-230 (Font: Adajusa).

El brunzidor elèctric o *buzzer* proporciona una indicació acústica quan reb tensió, és a dir, quan el relé de control s'activa. S'alimenta des de la xarxa elèctrica monofàsica a 230 V en alterna.

Taula 6.13. Característiques del pany elèctric EDL-SL-YS131.

Característica:	Valor:
Alimentació	220 - 230 V AC
Nivell acústic	85 dB
Consum	70 mA
Frequència	2000 Hz
Diàmetre	22 mm

6.4. Placa d'entrades i sortides per al prototip de proves.

En aquest apartat es mostra el disseny implementat de la placa de proves per a la realització de les simulacions del sistema en una placa impresa. Aquesta conté les entrades i sortides controlades mitjançant la placa mare. No obstant, els actuadors reals són substituïts per sortides LED.

6.4.1. Entrades.

A continuació, es pot observar l'esquemàtic per a les connexions dels senyals d'entrada del sistema:

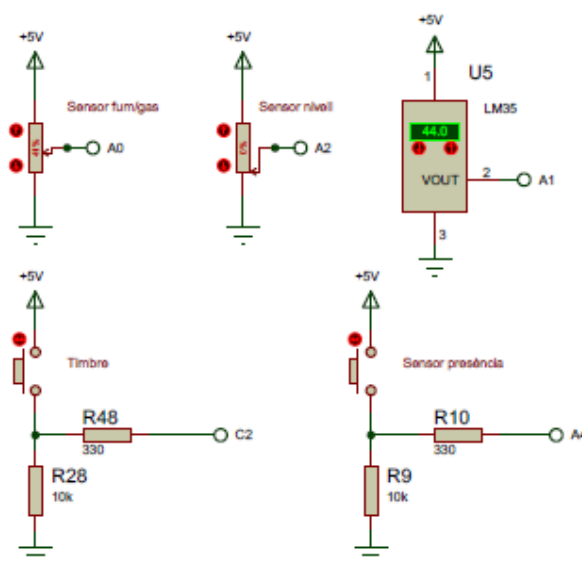


Figura 6.28. Entrades de la placa prototip (Font: Proteus).

Aquest disseny conté els següents components:

- Sensor de temperatura real LM35.
- Potenciòmetres de 10 kΩ.
- Polsadors amb resistència de *pull-down*.

El sensor de temperatura s'utilitza el mateix model LM35 com a sensor real per a la detecció de temperatura. Amb els cursors dels potenciòmetres podem simular el valor de concentració de gasos detectat per el sensor de fum i el percentatge de nivell d'aigua per al sistema de reg, ja que obtindrem valors analògics utilitzant els pins del port A. El sensor de presència es simula mitjançant un polsador que envia senyals digitals (alt o baix) al microcontrolador com a detecció de presència o no, tanmateix amb el timbre de la porta principal.

6.4.2. Sortides.

A continuació, es pot observar l'esquemàtic per a les connexions dels senyals de sortida del sistema:

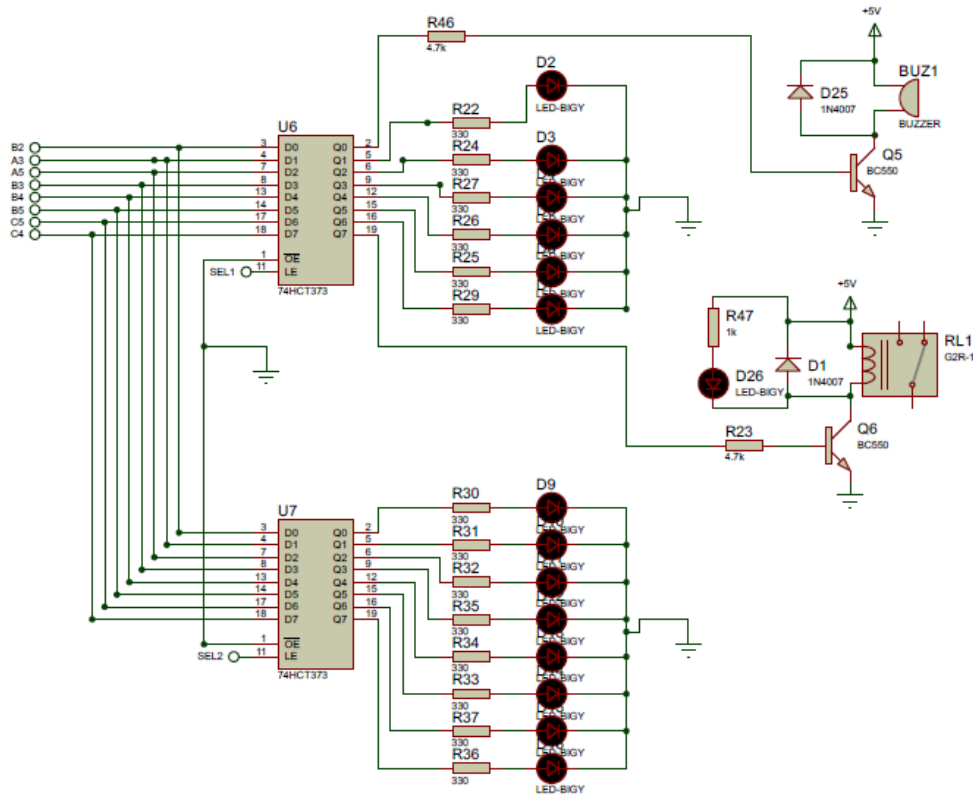


Figura 6.29. Actuadors de la placa prototip (Font: Proteus).

Per al disseny de proves d'actuadors del sistema domòtic, s'ha utilitzat els següents components:

- Circuits integrats *Latch* SN74HC373N.
- Resistències de 330 Ω.
- Resistències de 4,7 kΩ.
- LEDs de 10 mA.
- Brunzidor passiu o *buzzer* (amb transistor 2N2222 i díode 1N4007).
- Relé de 5 V DC (amb transistor 2N2222, díode 1N4007, resistència d'1 kΩ i LED).

Degut a la manca del nombre de pins del microcontrolador PIC per a les sortides s'ha incorporat l'ús de circuits integrats lògics *Latch* per a demultiplexar-les, concretament el model comercial SN74HC373N.

Per a la simulació i verificació del correcte funcionament de cada actuator incorporat en l'habitatge real s'han utilitzat díodes LED de mínim amperatge, juntament amb les resistències de funcionament calculades. No obstant, s'ha implementat un relé per a verificar-ne el seu funcionament amb un LED indicador.

6.4.2.1. Latch SN74HC373N.

La funció del circuit *Latch* consisteix en demultiplexar les sortides del microcontrolador. Això permet reduir el nombre de pins a utilitzar ja que només en necessitem 8 terminals comuns per a les seves entrades i un de selecció per a tants dispositius hi hagi. El microcontrolador PIC és l'encarregat de seleccionar i deshabilitar les sortides, tot i que el model SN74HC373N manté l'estat d'aquestes gràcies a la seva memòria interna.

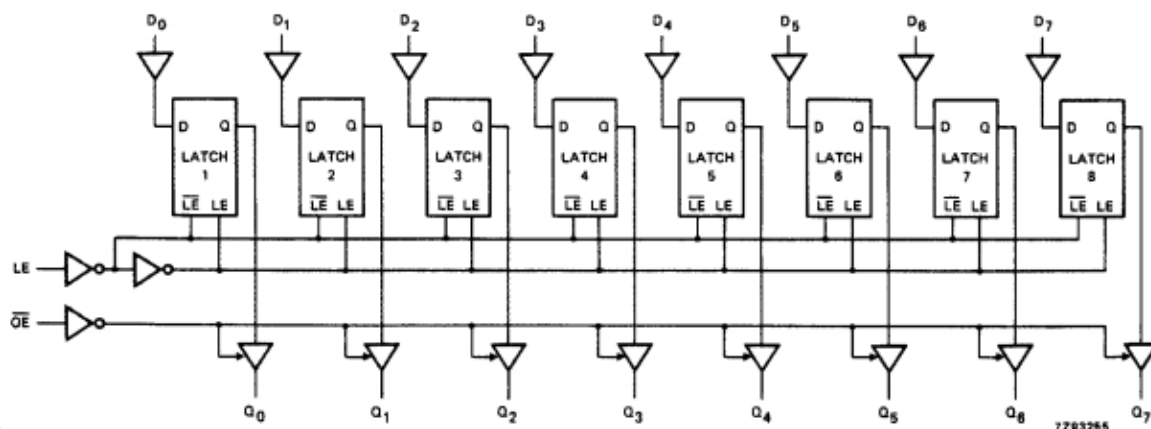


Figura 6.30. Diagrama de blocs funcional del SN74HC373N (Font: ON Semiconductor).

Consisteix en un registre de 8 bits format a partir de 8 biestables tipus D en paral·lel que s'encarreguen de copiar el valor de la seva entrada a la sortida, a partir del seu estat de selecció (pin *LE*). Aquest pot treballar en tres modes operatius: mode transparent, mode de lectura i en mode de sortides deshabilitades.

OPERATING MODES	INPUTS			INTERNAL LATCHES	OUTPUTS Q ₀ to Q ₇
	\overline{OE}	LE	D _n		
enable and read register (transparent mode)	L	H	L	L	L
	L	H	H	H	H
latch and read register	L	L	l	L	L
	L	L	h	H	H
latch register and disable outputs	H	X	X	X	Z
	H	X	X	X	Z

Figura 6.31. Taula de la veritat del SN74HC373N (Font: ON Semiconductor).

Aquest model també s'alimenta a +5 V en continua i té un consum màxim de 400 µA.

6.4.2.2. Càlcul valor resistències.

Per a l'ús de qualsevol sortida del microcontrolador cal utilitzar resistències per al seu consum de corrent limitat, ja sigui per als LED com als transistors incorporats.

En aquest cas, suposem que el màxim corrent que circularà per els LED és de 15 mA i una caiguda de tensió estàndard d'aproximadament 1.5 V, com a cas més desfavorable possible. Aleshores podem calcular-ne la resistència necessària tenint en compte la tensió col·lector-emissor del transistor:

$$R = \frac{V_{CC} - V_{LED} - V_{CE_{TRT}}}{I_{LED}} = \frac{5V - 1.5V - 0.2V}{15mA} = 220 \Omega \quad (\text{Eq. 6.13})$$

No obstant, com a protecció, escollim un valor normalitzat més gran de 330 Ω segons la sèrie E-96.

Per al càlcul de les resistències de base del transistor, primerament s'ha de complir la següent expressió en referència a la intensitat d'un transistor NPN:

$$h_{fe} \cdot I_B \geq I_C \quad (\text{Eq. 6.14})$$

Desenvolupant la equació 6.14 tenint en compte la llei d'Ohm i que la intensitat de base correspon a la diferència entre la tensió d'alimentació i la de base-emissor obtenim la següent igualtat:

$$h_{fe} \cdot \frac{(V_{CC} - V_{BE})}{R_B} \geq I_C \quad (\text{Eq. 6.15})$$

Sabent que el transistor BC550 utilitzat té un guany de corrent mínim de 110 podem calcular-ne la resistència de base ja que la caiguda de tensió base-emissor d'un transistor és d'aproximadament 0.7 V i el corrent que circularà pel col·lector correspon als 15 mA del LED. Substituint els valors a la expressió anterior:

$$R_{base} \leq h_{fe} \cdot \frac{(V_{CC} - V_{BE})}{I_C} \leq 110 \cdot \frac{(5 - 0.7)}{0.015} \leq 31.533 \text{ k}\Omega \quad \text{(Eq. 6.16)}$$

Escollim un valor normalitzat de 27 k Ω per a la sèrie E-96 ja que ha de ser inferior al valor obtingut.

Per a les sortides d'actuadors reals no caldria utilitzar resistències ja que el circuit integrat ULN2003 ja incorpora resistències de base de valor 2.7 k Ω per als seus propis transistors.

7. Capítol 7. Comunicacions.

A continuació s'explica breument el protocol de comunicació que s'ha utilitzat en aquest projecte. Concretament el bus de dades I²C per comunicar el rellotge de temps real i el microcontrolador.

7.1. Bus de dades I²C.

El protocol de comunicació I²C (*Inter-Integrated Circuit*) és un bus de dades de comunicació sèrie utilitzat per enllaçar dispositius amb el tipus de comunicació *Master-Slave*. Aquest treballa com els protocols SPI i UART ja que només utilitza dues vies de comunicació: SDA per enviar informació i SCL per la senyal del rellotge. Per tant és un bus de dades sèrie i síncron, ja que treballa amb els polsos del rellotge.

Les dades s'envien en missatges dividits en trams formats per bits amb la informació necessària. Cada missatge conté la direcció binària de l'esclau a qui va dirigit, les condicions d'inici, aturada, lectura i escriptura de bits i la informació del missatge, dividit en seccions.



Figura 7.1. Exemple de missatge enviat a través del protocol I²C.

8. Capítol 8. Software.

En aquest capítol es comenta el disseny software per a la programació del microcontrolador en llenguatge C. Amb el programa *CCS Compiler* es realitza tot el programari referent al control manual del sistema domòtic des de la mateixa placa de comandament.

8.1. Programació del microcontrolador.

La programació del microcontrolador PIC18F4550 mitjançant llenguatge C permet a l'usuari interaccionar amb el sistema de manera manual amb la placa impresa de comandament, és a dir, de manera centralitzada amb els pulsadors de desplaçament i selecció per al menú.

8.1.1. Estructura del menú de comandament.

Amb l'objectiu de simplificar el seu ús, s'ha estructurat el menú de comandament mitjançant nivells per tal de representar els seus respectius menús i submenús representats amb números. En aquest cas s'ha considerat 6 subnivells diferents.

La estructura del menú, tal i com es mostrarà en la navegació per el propi display LCD, és la següent:

GENERAL

1. Llums
 - 1.1. ON
 - 1.2. OFF
2. Temperatura
 - 2.1. Actual
 - 2.2. Control
 - 2.2.1. Increment +1°C
 - 2.2.2. Decrement -1°C
3. Persianes
 - 3.1. Pujar
 - 3.1.1. 100%
 - 3.1.2. 50%
 - 3.2. Baixar
 - 3.2.1. 100%
 - 3.2.2. 50%
4. Alarmes
 - 4.1. Intrusió
 - 4.1.1. Validar
 - 4.1.2. Activar
 - 4.1.3. Desactivar

- 4.2. Fum/gas
 - 4.2.1. Validar
- 4.3. Timbre
 - 4.3.1. Validar
- 4.4. Reg
 - 4.4.1. Validar
- 4.5. Inundació
 - 4.5.1. Validar

ZONES

- 1. Vestíbul
 - 1.1. Llum
 - 1.1.1. ON
 - 1.1.2. OFF
 - 1.2. Porta
 - 1.2.1. Bloqueig
 - 1.2.2. Desbloqueig
- 2. Menjador
 - 2.1. Llum
 - 2.1.1. ON
 - 2.1.2. OFF
 - 2.2. Persianes
 - 2.2.1. Pujar
 - 2.2.1.1. 100%
 - 2.2.1.2. 50%
 - 2.2.2. Baixar
 - 2.2.2.1. 100%
 - 2.2.2.2. 50%
- 3. Cuina
 - 3.1. Llum
 - 3.1.1. ON
 - 3.1.2. OFF
 - 3.2. Rentaplats
 - 3.2.1.1. ON
 - 3.2.1.1.1. Temps
 - 3.2.1.2. OFF
- 4. Lavabo
 - 4.1. Llum
 - 4.1.1. ON
 - 4.1.2. OFF
 - 4.2. Estufa
 - 4.2.1. ON
 - 4.2.2. OFF

5. Jardí

5.1. Llum

5.1.1. ON

5.1.2. OFF

5.2. Reg

5.2.1. ON

5.2.2. OFF

5.2.3. Nivell H2O

5.2.3.1. Actual

5.2.3.2. Control

5.2.3.2.1. Increment +1 L

5.2.3.2.2. Decrement -1 L

8.1.2. Desplaçament pel menú de comandament.

Per a utilitzar el control en mode manual des de la placa de comandament s'interactua mitjançant tres pulsadors per a desplaçar-se per al menú, visualitzant-ho en el display LCD en tot moment. Aquests pulsadors són els següents:

- **AVAN:** avança de nivells a subnivells. (Ex: 1. Llums → 1.1. ON).
- **SEG/PREV:** recorre les diferents opcions de comandament d'un mateix nivell o subnivell. (Ex: 2.1. Temp actual → 2.2. Control Temp). També permet retrocedir de subnivells a nivells quan arriba a la darrera opció. (Ex: 1.2. OFF → 1. Llums).
- **OK:** selecciona una opció del menú. (Ex: 3. Persianes → 3.1. Pujar). Aquest només funciona quan ja no hi ha més opcions dins d'un mateix nivell o subnivell.

Amb el pulsador SEG s'avança sempre per ordre numèric segons la estructura del menú que s'ha establert en l'apartat anterior. Per altra banda, quan s'arriba al límit vertical d'un subnivell, es retrocedeix al nivell anterior.

Per tal d'entendre amb més facilitat el funcionament del menú, a continuació es mostra un clar exemple per a la selecció corresponent a la pujada de persianes (opció 3.1. Pujar del mode *ESPECÍFIC*) mitjançant el següent diagrama de flux:

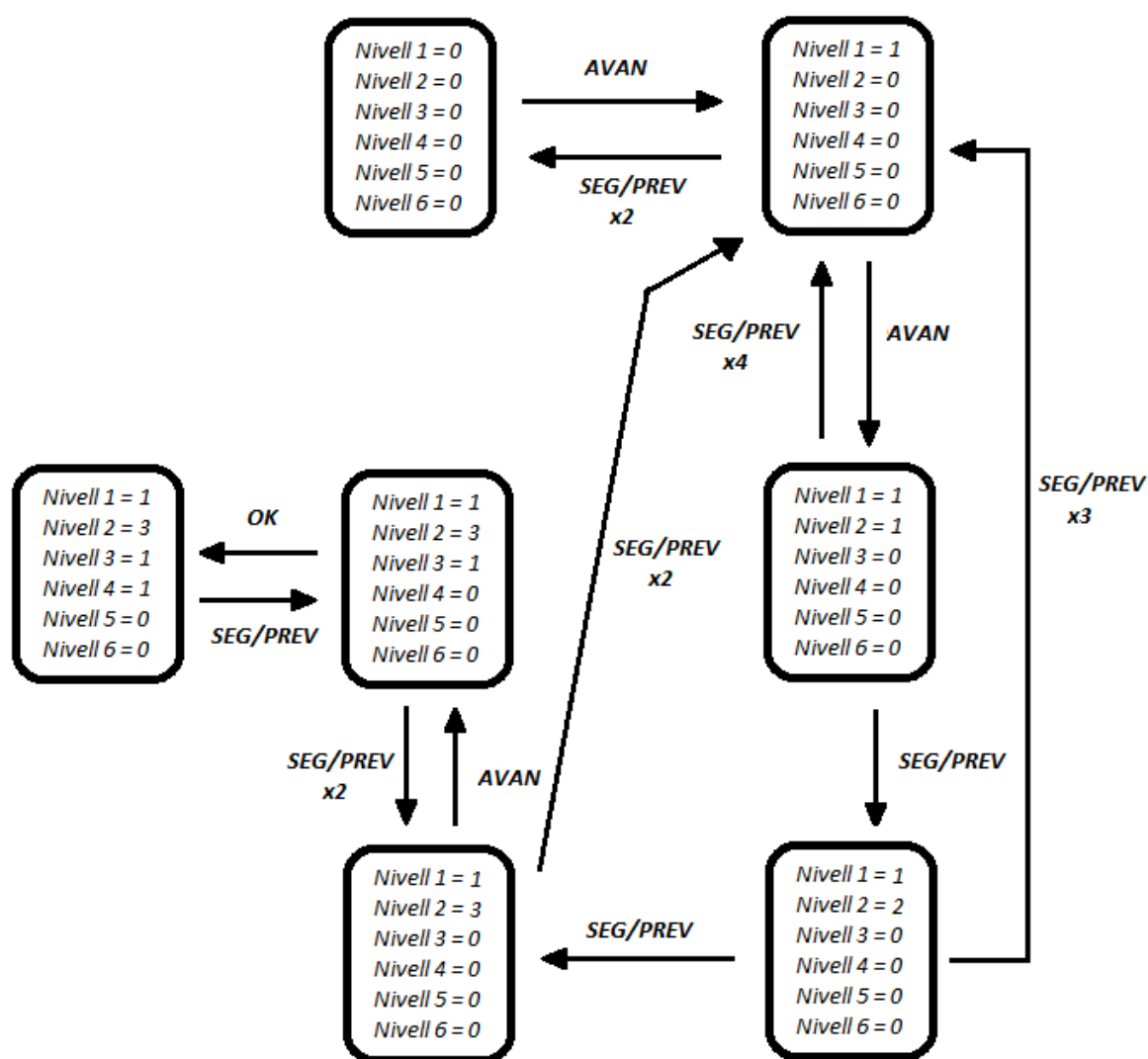


Figura 8.1. Ordinograma de funcionament per al menú de comandament (Font: elaboració pròpia).

En l'exemple el límit de nivells és 6, tanmateix el nombre de variables de selecció utilitzades, corresponent al seu nombre màxim de subnivells o opcions a recórrer dins la estructura del menú.

En referència al ordinograma anterior, s'ha realitzat un nou diagrama de flux on es pot visualitzar la pantalla LCD per a cada pas realitzat en l'exemple:

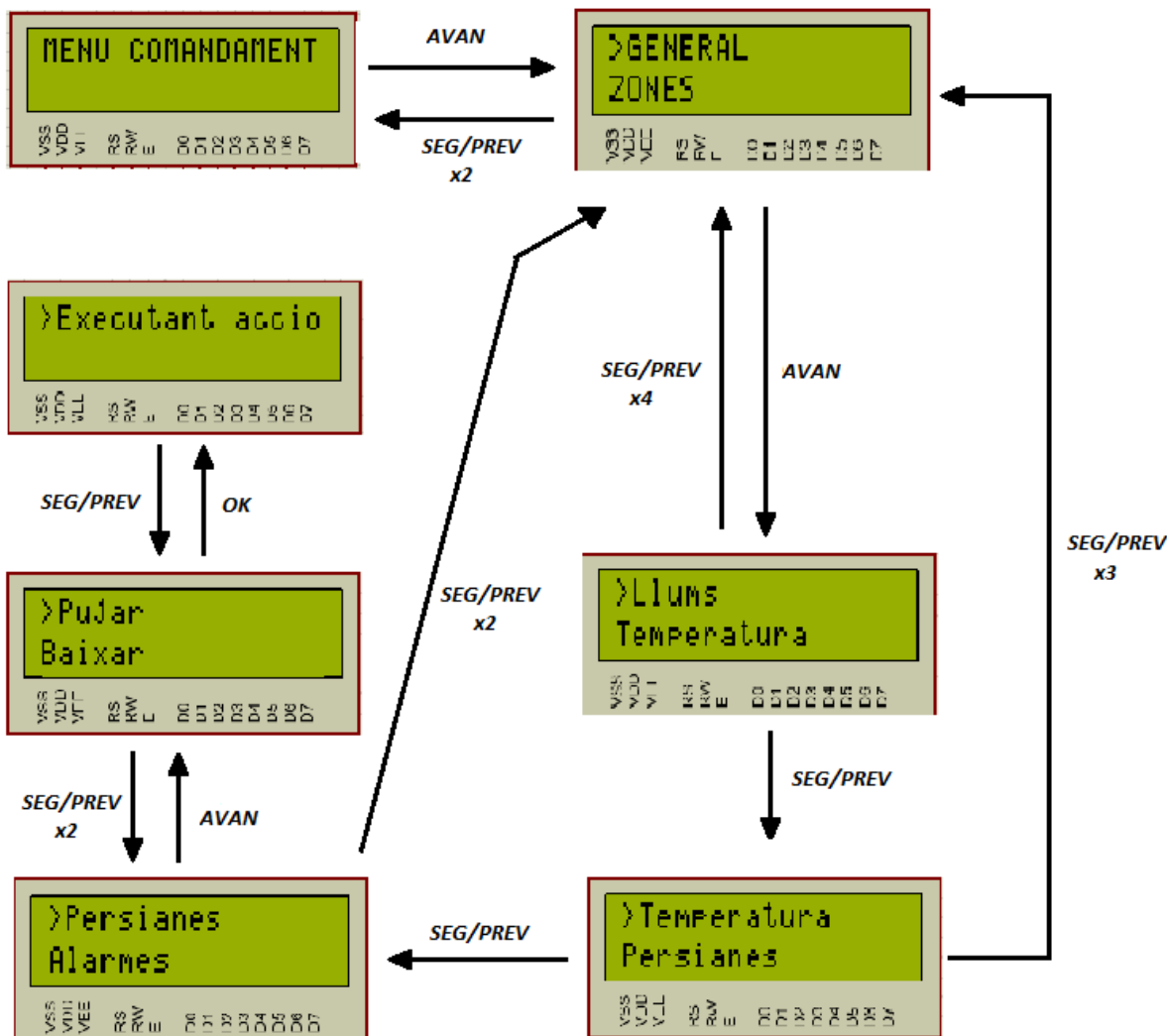


Figura 8.2. Ordinograma de funcionament mitjançant pantalles LCD per al menú de comandament (Font: elaboració pròpia).

Cal fixar-se en el funcionament del polsador SEG/PREV ja que per retrocedir de pantalla o nivell cal recórrer tota la seqüència d'opcions verticalment dins d'un mateix subnivell.

Un cop s'hagi finalitzat la acció executada per el microcontrolador, si no s'ha polsat cap polsador de navegació, la pantalla LCD tornarà al submenú anterior.

8.1.3. Control de temperatura.

Una d'entre les múltiples opcions que permet el menú de comandament és la climatització de la llar. Dins del submenú "Temperatura" es pot visualitzar en tot moment la temperatura ambient en graus centígrads gràcies al sensor de temperatura LM35 que converteix automàticament els senyals de tensió obtinguts a valors numèrics. A partir d'aquí, es pot configurar el valor de temperatura desitjat a climatitzar amb els cursors per augmentar-la o disminuir-la amb petites variacions, és a dir, amb histèresis de $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Depenent de la temperatura desitjada, el microcontrolador activarà les sortides referents a la calefacció o a l'aire condicionat per tal d'estabilitzar-la.

Aquest algoritme de funcionament es pot entendre d'una manera més clara amb el següent diagrama de flux:

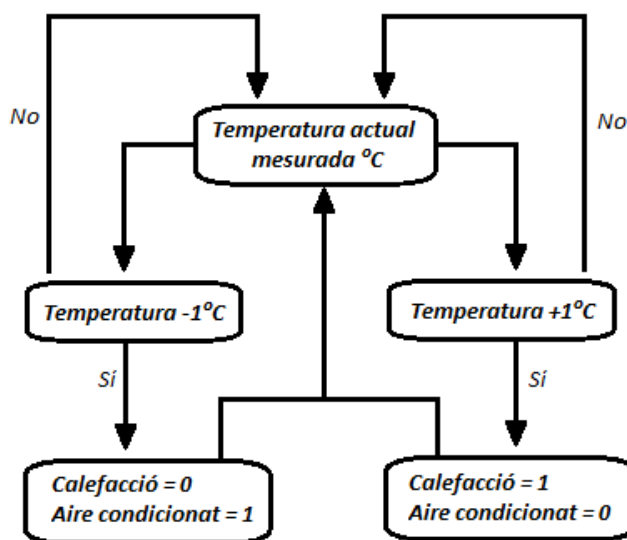


Figura 8.3. Ordinograma de funcionament per al control de temperatura (Font: elaboració pròpia).

8.1.4. Alarmes.

El sistema domòtic dissenyat permet gestionar diferents tipus senyals d'alarma: avís d'intrusió, d'incendi, timbre, sistema de reg i inundació. Cadascun d'aquests avisos és enregistrat per tal de poder visualitzar-ne les hores en que han succeït i que s'han de validar per tal de buidar el mateix historial.

La alarma contra incendis, la d'inundació, l'avís del timbre de la porta principal i la del sistema de reg sempre estan actives pendents de la seva detecció. En canvi, l'alarma d'intrusió cal activar o des habilitar des del mateix menú.

Cada vegada que es detecta un senyal d'alarma s'interromp el display LCD mostrant a l'instant un missatge d'avís durant 3 segons, diferent per a cada tipus d'alarma, per informar a l'usuari. Després la pantalla retorna a la part del menú de comandament on estava. Tanmateix, aquest avís immediatament és enregistrat en l'historial d'alarma juntament amb la data i hora en que s'ha detectat, pendent de la seva validació per netejar-lo.

El mètode de funcionament que s'ha seguit en el software és el següent:

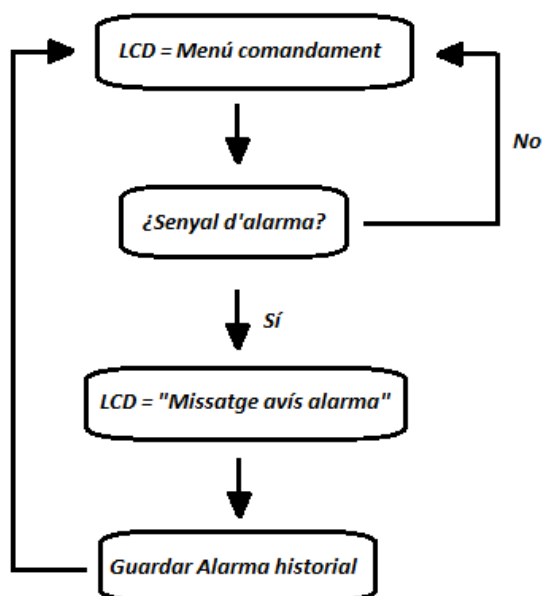


Figura 8.4. Ordinograma de funcionament per a l'activació d'un senyal d'alarma (Font: elaboració pròpia).

9. Capítol 9. Simulacions.

En aquest apartat es mostren algunes simulacions que s'han dut a terme per comprovar el correcte funcionament d'alguns elements del sistema domòtic.

Les simulacions digitals s'han realitzat amb el programari *Proteus* que permet carregar el programa del microcontrolador en llenguatge C, una vegada compilat amb el software *CCS Compiler*.

9.1. Sensors i actuadors.

9.1.1. Entrades analògiques.

Per a l'adquisició de senyal del sensor de fum i gas o del sensor de nivell d'aigua, al ser entrades de potenciòmetres, cal convertir aquests valors analògics a digitals per al seu tractament de dades. El microcontrolador PIC18F4550 té assignats uns certs pins per a entrades i sortides analògiques ja que té incorporat un convertidor analògic-digital i, per tant, és capaç de convertir valors analògics de tensió en valors digitals.

Al ser un ADC de 10 bits els valors que obtindrà el microcontrolador seran de 0 a 1024, ja que equivalen a 2^N (N = nombre de bits ADC), i treballant amb un potenciòmetre alimentat a 5 V en contínua voldrà dir que la seva resolució és de 4,8 mV segons els càlculs següents:

$$Resolució = \frac{V_{in}}{2^N - 1} = \frac{5}{2^{10} - 1} = 4,8 \text{ mV} \quad (\text{Eq. 9.1})$$

En el cas del sensor de fum, ai volem treballar amb un rang de percentatge de gasos d'entre 0 i 100%, amb l'algoritme corresponent aconseguim que a cada valor de tensió obtingut pel potenciòmetre equivalgui a un percentatge. És a dir, amb el potenciòmetre al màxim (5 V) obtindrem el 100%, amb el cursor a la meitat (2,5 V) el 50% i al mínim (0 V) el 0%.

A continuació, es pot observar la prova i simulació del sensor de fum i gas, on es mostren els valors obtinguts per l'ADC i el percentatge equivalent de fum en el display LCD:

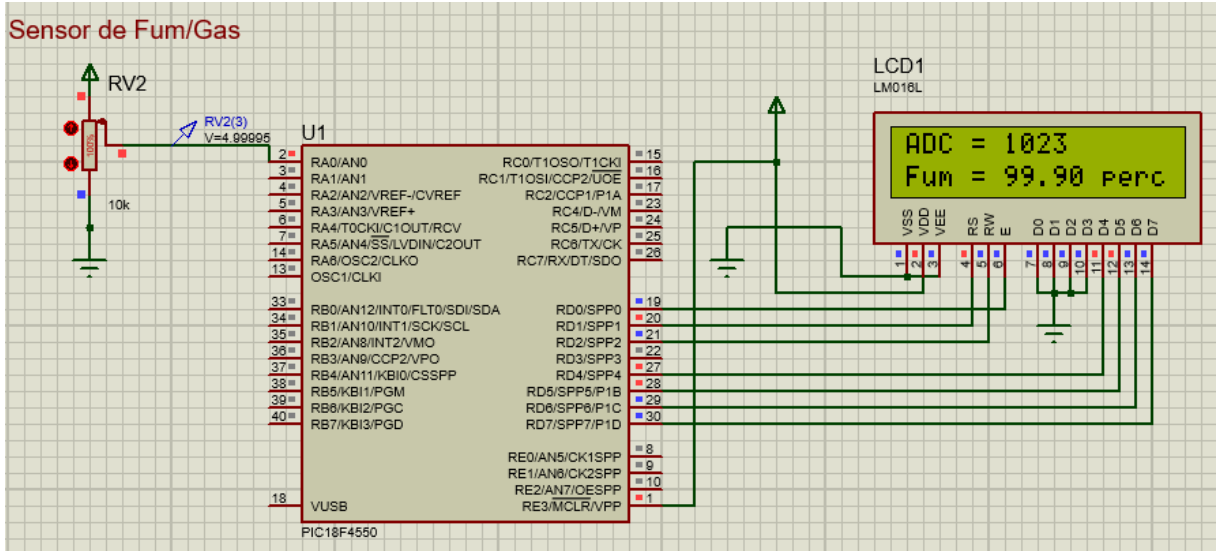


Figura 9.1. Simulació del sensor de presència amb el potenciòmetre a 5 V (Font: Proteus).

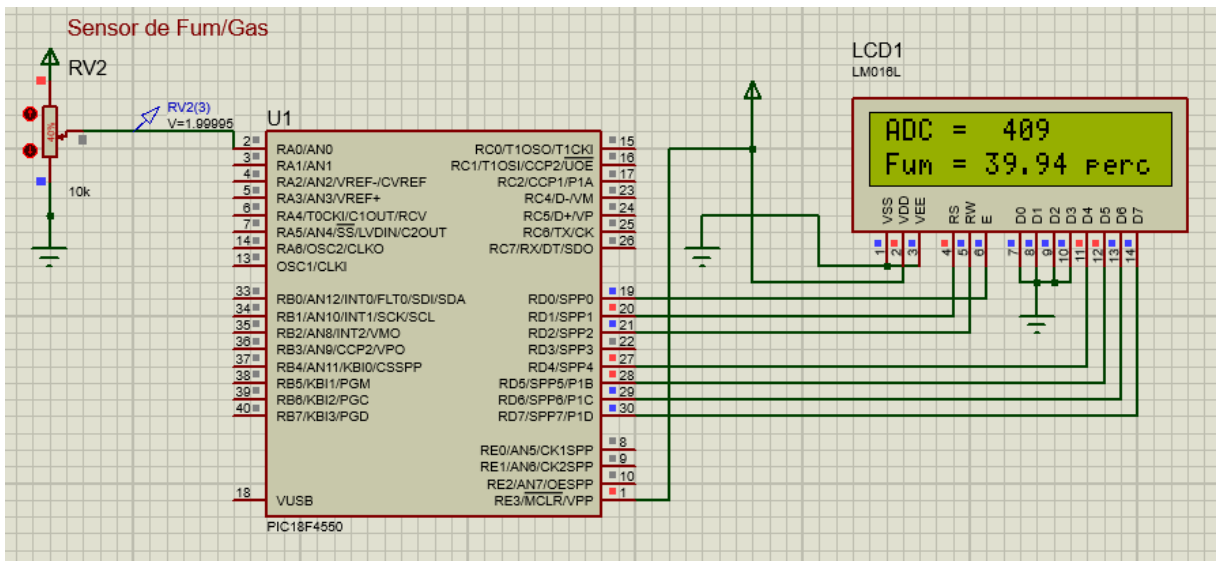


Figura 9.2. Simulació del sensor de presència amb el potenciòmetre a 2 V (Font: Proteus).

Per al sensor de nivell d'aigua, per a la seva simulació en la placa prototip, s'ha utilitzat el mateix algoritme de funcionament però en comptes de percentatge es mostra en litres (de 0 a 100 L).

9.1.2. Sensor de temperatura.

Per a la obtenció de temperatura, també en la placa prototip per a la realització de proves, s’ha utilitzat un sensor real de temperatura *LM35*. Com en les entrades analògiques, aquest també utilitza l’ADC integrat del microcontrolador PIC ja que cal realitzar-ne la lectura dels valors obtinguts i convertir-los per al seu tractament. Primerament, per a la verificació del seu correcte funcionament, s’ha simulat la seva adquisició i conversió de dades per visualitzar-ho en el display LCD.

El dispositiu *LM35* té una sensibilitat de $10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ i l’ADC de 10 bits té una resolució de $4,8 \text{ mV}$ (Eq. 9.1), per tant, per a cada bit obtingut equivaldrà a $0,48 \text{ }^{\circ}\text{C}$ segons els següents càlculs:

$$1 \text{ bit} = 4,8 \text{ mV} \cdot \frac{1^{\circ}\text{C}}{10 \text{ mV}} = 0,48 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (\text{Eq. 9.2})$$

Seguint aquesta relació, si en el nostre algoritme de programació multipliquem el valor en bits obtingut en l’ADC per $0,48$ obtindrem el valor de temperatura mesurat en graus centígrads. A continuació es mostra la simulació:

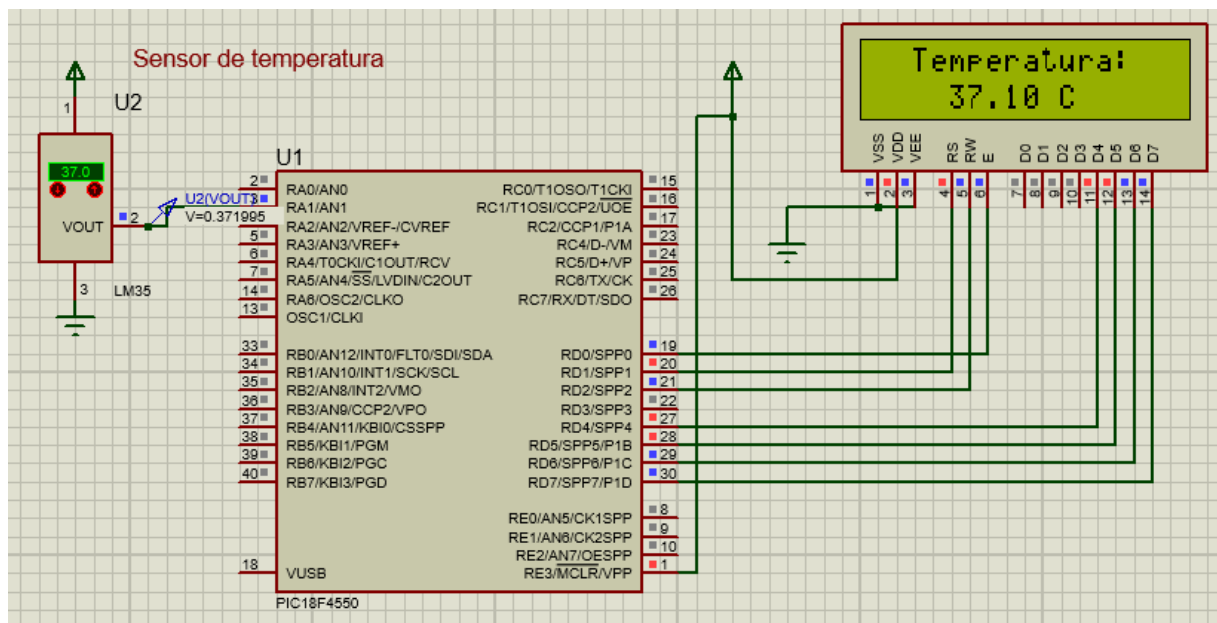


Figura 9.3. Simulació del sensor LM35 a $37 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (Font: Proteus).

Per altra banda, per al control de climatització de la llar hi ha la opció de regular la temperatura desitjada mitjançant un valor de consigna en el display tal i com s’ha comentat en el capítol referent al software. Es pot accedir a aquesta opció de control mitjançant el menú “Control” del comandament. Dins d’aquest, trobem les opcions “Increment $+1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ” i “Decrement $-1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ” que permeten augmentar o disminuir el valor de temperatura desitjat, a partir d’aquí el nostre algoritme de programació encendrà o apagarà les

No obstant, s'ha limitat els valors de consigna amb un rang d'entre 5 i 30 graus per treballar amb valors reals de climatització d'una llar.

Si el valor de consigna és inferior al de temperatura ambient, automàticament s'activarà l'aire condicionat. Per altra banda, si és superior, s'apagarà aquest i s'encendrà la calefacció.

9.1.3. Sortides.

Per simular l'estat dels actuadors s'ha utilitzat els components *LogicProbe* del programari *Proteus* que permeten visualitzar amb més claredat els estats lògics de les sortides, és a dir, quan s'activen i quan no.

Aquests han servit de gran ajuda per a comprovar el correcte funcionament dels circuits *Latch* utilitzats per demultiplexar les sortides corresponents. Tal i com es va comentar al capítol referent als components hardware, aquests es seleccionen habilitant i des habilitant el terminal de selecció ja que són capaços de recordar el darrer estat de les sortides fins que no hi hagi cap canvi.

Per a comprovar-ho amb un exemple d'aplicació s'ha seleccionat, mitjançant el menú de comandament, la opció d'encesa de tots els llums de la llar (*GENERAL* → *1. Llums* → *1.1. ON*).

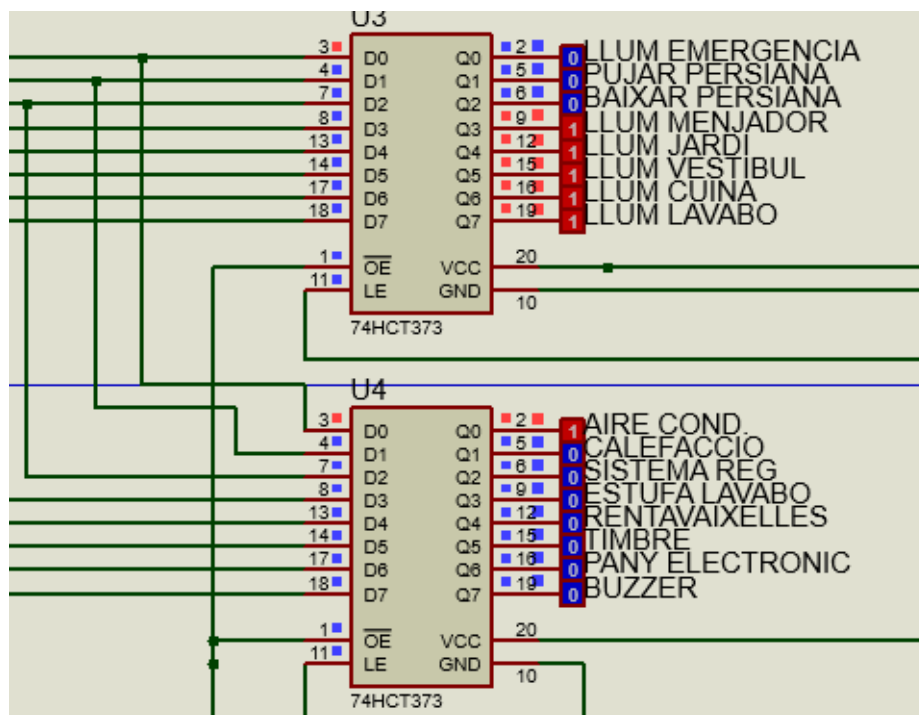


Figura 9.6. Selecció de l'encesa dels llums (Font: Proteus).

Com es pot observar, inicialment l'aire condicionat està activat ja que en la simulació la temperatura actual del sensor és superior a la consigna, que a la inicialització del programa és de valor '0'.

I a continuació, es pot observar la seva apagada (*GENERAL* → 1. *Llums* → 1.2. *OFF*).

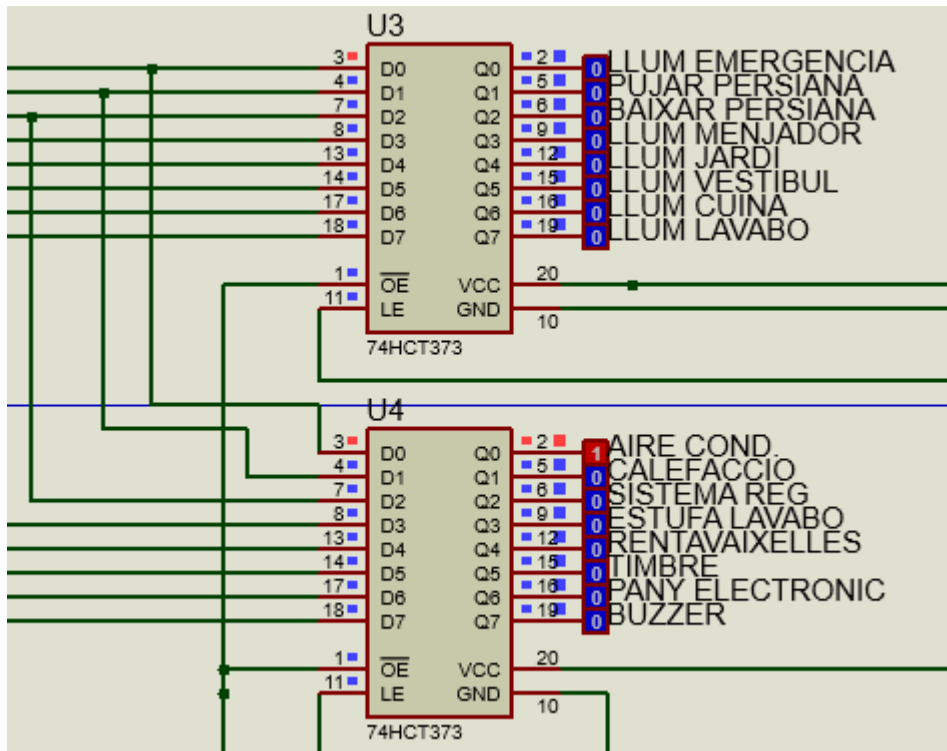


Figura 9.7. Selecció de l'apagada dels llums (Font: Proteus).

9.2. Alarmes.

Per a comprovar el correcte funcionament dels senyals d'alarma, així com d'alguns sensors, es comprova els missatges d'alerta que apareixen automàticament durant 3 segons en el display LCD per mostrar l'avís corresponent.

En el cas dels sensors analògics s'activa el senyal d'alarma quan s'arriba a un cert valor establert. Per exemple, si durant el sistema de reg es supera el consum de litres d'aigua introduït des del menú de control, inicialment configurat a 15 litres, aquest s'apaga i es mostra el següent missatge d'avís:

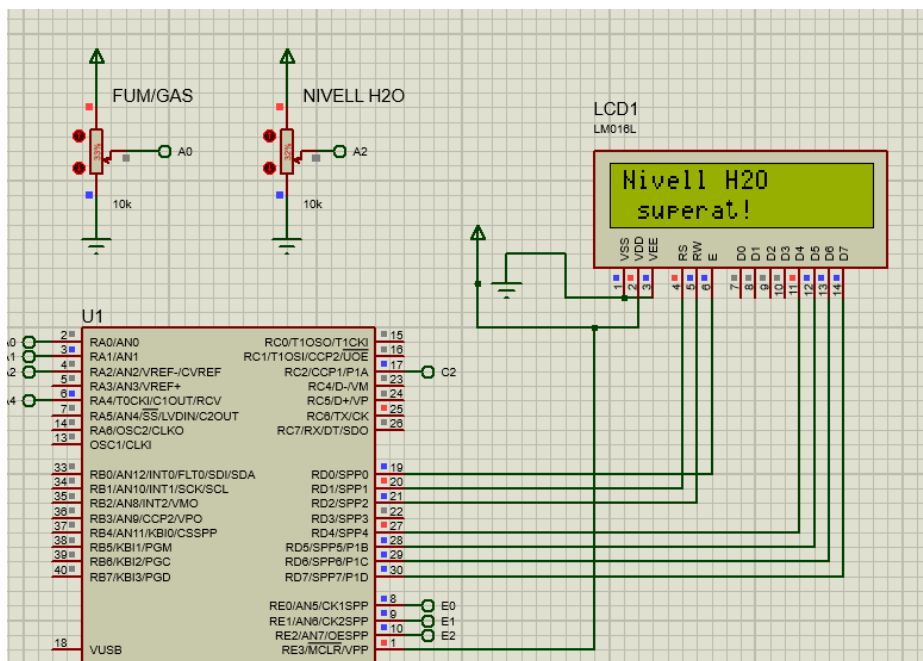


Figura 9.8. Missatge d'avis corresponent al nivell d'aigua superat (Font: Proteus).

El mateix passa amb el sensor de fum ja que si s'excedeix el valor del 70% de gasos, mitjançant el potenciòmetre del prototip de proves, es mostra el respectiu missatge d'alarma d'incendis.

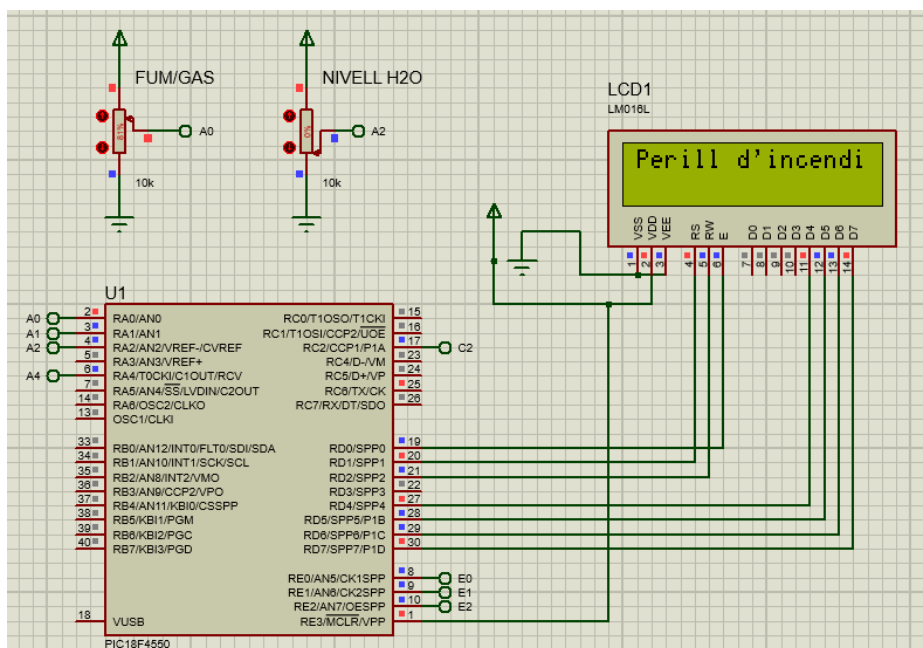


Figura 9.9. Missatge d'avis d'incendi (Font: Proteus).

Per altra banda, les entrades digitals també provoquen senyals d'alarma. El sensor de presència, inicialment a '0', només mostra el respectiu avís si s'ha activat prèviament l'alarma d'intrusió mitjançant el menú de comandament.

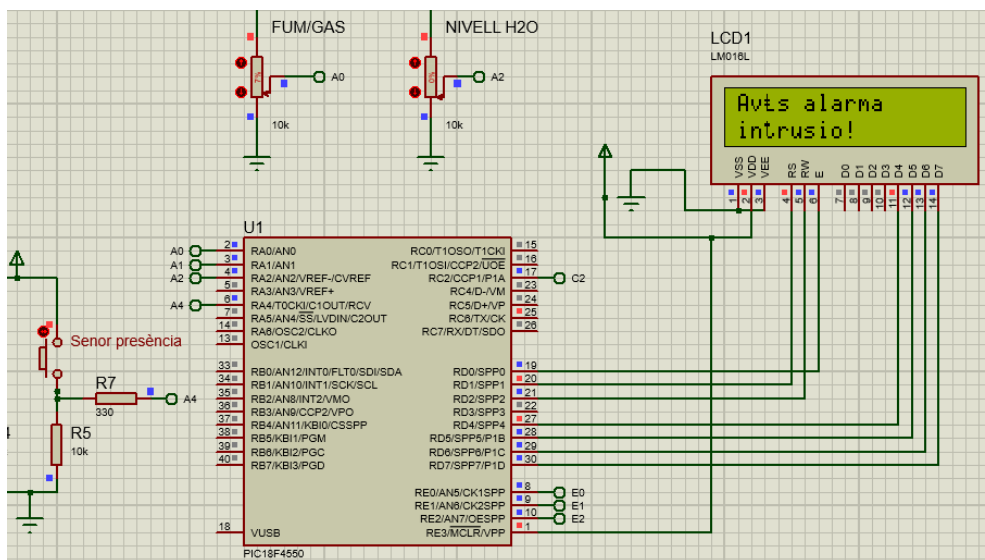


Figura 9.10. Missatge d'avís corresponent a l'alarma d'intrusió (Font: Proteus).

10. Normativa.

Com a qualsevol tot projecte, s'ha tingut en compte una sèrie de reglamentacions i normatives legals per a la correcte desenvolupament i aplicació en la vida real del sistema domòtic dissenyat.

Tot seguit, s'exposen les principals normatives i especificacions tècniques:

- Norma UNE-EN 50090 *Sistemas Electrónicos de Viviendas y Edificios (HBES)*.
- Norma UNE-EN 50491 *Sistemas Electrónicos de Viviendas y Edificios (HBES). Sistemas de Automatización y Control de Edificios (BACS)*.
- Norma UNE-EN 14908 *Comunicación abierta de datos en automatización, control y gestión de edificios. Protocolo de red en edificios*.
- Norma UNE-EN 55022 *Equipos de tecnología de la información*.
- Norma UNE-EN 55024:99 *Equipos de tecnología de la información. Límites y métodos de medida*.
- Norma UNE-CWA 50487 IN *Código de práctica del hogar digital*.
- Norma UNE-EN 61000 *Compatibilidad Electromagnética (CEM)*.
- Norma ISO 14001: Compromís amb el medi ambient.
- Norma BS 7799: Requisits d'un sistema de seguretat de la informació (SGSI) per a ser certificable per a una entitat independent.
- Especificació EA0026 *Instalaciones de Sistemas Domóticos de Viviendas*.
- Especificació CLC/TR 59491-6-3 *Instalaciones de Sistemas Domóticos de Viviendas*.

En referència a la reglamentació, es tenen en compte les següents:

- Reglament Electrotècnic de Baixa Tensió (REBT).
- Reglament d' Infraestructures Comunes de Telecomunicacions (ICT).
- Directiva de Compatibilitat Electromagnètica CEM 89/336/CEE.
- Directiva de Baixa Tensió BT 73/23/CEE.

Conclusions i possibles millores.

Per concloure el projecte, es pot dir que s'ha aconseguit la majoria d'objectius proposats abans de la seva realització, tot i que per manca de temps no s'ha pogut desenvolupar un projecte més extens i amb més abast.

Com a experiència personal, la part més complicada ha estat el disseny previ de la part hardware i l'inici de la programació software ja que per començar aquestes tasques cal tenir les idees ben clares i la metodologia a seguir, al ser les parts on s'ha dedicat més temps.

Per altra banda, també cal dir que durant el desenvolupament del projecte s'ha canviat coses sobre la marxa ja que al posar-ho en pràctica es va veient la viabilitat que poden tenir algunes idees prèvies, com algunes de les funcions domòtiques pensades per a discapacitats. Un clar exemple seria la proposta de realitzar comandes de veu per a que les persones cegues poguessin interactuar amb la interfície de comandament, que per manca de temps es deixa com a possible millora o extensió d'aquest projecte. També la possibilitat d'incorporar un altaveu on es comentessin les parts del menú per aquestes persones.

Ha estat difícil incorporar noves funcions destinades a persones discapacitades degut a la seva complexitat en la seva realització ja sigui a nivell hardware o software i en el seu alt cost econòmic dels complements. Tot i això, en tot moment s'ha intentat tenir en compte la utilitat de totes les aplicacions a qualsevol tipus de persona.

Una altra possible millora i com a extensió d'aquest projecte, podria ser la incorporació d'un comandament remot mitjançant protocols de comunicació sense fils, com podrien ser *Wi-fi* o *Bluetooth*. També la possibilitat de programar hores d'encesa i d'apagada d'alguns actuadors del sistema per a un control completament automàtic.

I per últim, però no menys important, la possibilitat de dissenyar un sistema real amb les mateixes característiques que permeti la interconnexió d'elements amb xarxes sense fils amb l'objectiu de poder reduir ampliar al màxim el nombre d'entrades i sortides del sistema domòtic i, per tant, poder tenir més aplicacions.

Bibliografia

- [1] *Alfa & Omega*. (Enero de 2016). Obtenido de Configuración del módulo Bluetooth HC-06: <http://alfayomega-soluciones.blogspot.com/2014/02/configuracion-de-modulo-bluetooth-hc-06.html>
- [2] *Arduino a muerte*. (2015). Obtenido de Variar intensidad mediante Bluetooth: <http://arduinoamuerte.blogspot.com/2016/02/variando-la-intensidad-de-un-led-por.html>
- [3] Ballester, E., & Piqué, R. (2011). *Electrónica de Potencia. Principios fundamentales y estructuras básicas*. Barcelona: Marcombo, S.A.
- [4] Bindu, B. (Febrero de 2013). *Student Companion Electronics*. Obtenido de Interfacing de DS1307 RTC with PIC: <https://www.studentcompanion.co.za/interfacing-the-ds1307-real-time-clock-with-pic-microcontroller-mikroc/>
- [5] Breijo, E. G. (2008). *Compilador C CCS y Simulador PROTEUS para Microcontroladores PIC*. Barcelona, España: MARCOMBO, S.A.
- [6] Castaño, S. A. (Junio de 2018). *Control Automático Educación*. Obtenido de <https://controlautomaticoeducacion.com/>
- [7] Ferrando, A. (2014). Sensor de temperatura y control por medio de PIC. *HETPRO*, 6. Obtenido de <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/sensor-de-temperatura-con-pic-lm35/>
- [8] *Future Engineers*. (18 de June de 2015). Obtenido de ISIS PROTEUS: <http://fengineers.blogspot.com/2015/06/isis-proteus.html>
- [9] Gámiz, J. (2007). *Sesiones teóricas: El microcontrolador 87C51; su arquitectura y su programación*. Barcelona: Escola d'Enginyeria de Barcelona Est.
- [10] Gontawa, B. (2018). Control persianas con PIC. *ECUDUINO*, 12.
- [11] Gràcia, J. (2010). *Instalaciones domóticas*. València: EDITEX.
- [12] *Inventable*. (13 de Marzo de 2014). Obtenido de Artículos de electrónica: <https://www.inventable.eu/indice-de-articulos/>
- [13] Javier, H. (Julio de 2019). *Inventable*. Obtenido de Control relé con transistor: <https://www.inventable.eu/controlar-rele-con-transistor/>

- [14] López, A. C. (2012). *Manual de usuario del compilador PCW de CCS*. Madrid: MICROCHIP PICMicro.
- [15] Martínez, H. (Plà 2002). *Apunts d'Electrònica per a Àudio i Video (EAVEIA-820242)*. Barcelona: Escola d'Enginyeria Tècnica Industrial de Barcelona.
- [16] Martínez, P. (2017). Cerradura electrónica con PIC. *El blog de Pedro*, 8.
- [17] Melgoza, J. (2011). *Blog de electrónica*. Obtenido de <https://jonathanmelgoza.com/blog/display-7-segmentos-con-pic/>
- [18] MrChunckuee. (Mayo de 2012). Obtenido de MrChunckuee's Blog: <https://mrchunckuee.blogspot.com/2012/08/CCS-PIC-0006.html>
- [19] Naranjo, J. (4 de Febrero de 2017). *Teslabem*. Obtenido de Fundamentos del protocolo I2C: <https://teslabem.com/nivel-intermedio/fundamentos-del-protocolo-i2c-aprende/>
- [20] Pino, M. (Mayo de 2015). *Geek Factory*. Obtenido de Bluetooth HC-05 y HC-06: <https://www.geekfactory.mx/tutoriales/bluetooth-hc-05-y-hc-06-tutorial-de-configuracion/>
- [21] PWMLABS. (5 de Abril de 2017). *WordPress*. Obtenido de <https://pwmlabs.wordpress.com/2017/04/05/grabado-de-pics-con-pickit3-y-mplab-x/>
- [22] Ramírez, J. (Mayo de 2016). *Banggood*. Obtenido de https://es.banggood.com/5V-Low-Level-Trigger-One-1-Channel-Relay-Module-Interface-Board-Shield-DC-AC-220V-p-1337402.html?gmcCountry=ES¤cy=EUR&createTmp=1&utm_source=googleshopping&utm_medium=cpc_bgcs&utm_content=zouzou&utm_campaign=pla-esg-ele-pc&gc
- [23] Stevens, J. (Marzo de 2016). *OpenLabPro*. Obtenido de Interfacing of RTC with PIC18F4550: <https://openlabpro.com/guide/interfacing-rtc-ds1307-with-pic18f4550/>
- [24] *Uno Robotica*. (8 de Julio de 2010). Obtenido de <http://www.unrobotica.com/usbcon.htm>
- [25] Valle, L. d. (Mayo de 2013). *Programar Fácil*. Obtenido de Relé y Arduino: <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/rele-y-arduino-mkr1000/>
- [26] Youtube. (Enero de 2017). Obtenido de Configuración Pickit3: <https://www.youtube.com/watch?v=8K5gOlixF3Q>