



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

TREBALL DE FI D'ESTUDIS

Grau en Enginyeria electrònica industrial i automàtica

**Disseny i implementació d'un sistema de control automàtic
de temperatura i d'humitat inalàmbric per a entorns
domotitzats**



Memòria i Annexos

Autor: Martí Beck i Macaya
Director: Antonio Calomarde Palomino
Departament: ESAII
Convocatòria: Juny 2019



Aquesta obra està sota una llicència 3.0 Espanya de Creative Commons del tipus
Reconeixement - No comercial - Sense obres derivades

Per a veure una còpia d'aquesta llicència visiti
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/> o envii una carta a Creative Commons, 559 Nathan Abbott Way, Stanford, California 94305, USA o a Creative Commons, 543 Howard Street, 5th Floor, San Francisco, California, 94105, USA.

Vostè és lliure de copiar, distribuir i comunicar públicament l'obra sota les condicions següents:

- **Reconeixement.** Heu de reconèixer els crèdits de l'obra de la manera especificada per l'autor o el llicenciador (però no d'una manera que suggereixi que us donen suport o rebeu suport per l'ús que feu l'obra).
- **No comercial.** No podeu utilitzar aquesta obra per a finalitats comercials.
- **Sense obres derivades.** No podeu alterar, transformar o generar una obra derivada d'aquesta obra.

Al reutilitzar o distribuir l'obra s'han de deixar ben clars els termes de la seva llicència.

“The saddest aspect of life right now is that science gathers knowledge faster than society gathers wisdom.”

“L'aspecte més trist de la vida actual és que la ciència guanya coneixement més ràpidament que la societat guanya saviesa.”

Isaac Asimov (1920 – 1992), escriptor i divulgador científic.

Resum

Aquest projecte desenvolupa un mètode per a controlar i modificar la temperatura d'una habitació o un altre tipus d'entorn tancat mitjançant tres microcontroladors Arduino UNO REV3 basats en l'Atmega328P. Cada un dels microcontroladors s'encarregarà de desenvolupar una de les tres funcions següents: control i gestió, adquisició d'humitat i temperatura i control dels actuadors. La comunicació entre els tres microcontroladors es realitza a través del xip de radiofreqüència nRF24L01 que opera de 2,400 a 2,525 GHz; per tant, la comunicació és inalàmbrica o sense fils.

Per a comprovar l'eficàcia i l'eficiència del sistema dissenyat, s'ha realitzat una implementació a petita escala amb un prototip fabricat per l'estudiant que consisteix en tres plaques iguals on s'inclou l'etapa de potència i els conversos DC/DC necessaris per al correcte funcionament del prototip; una placa on s'ubiquen els actuadors i l'enllaç d'aquests amb el seu sistema de control i una placa *shield* adaptada per a cada controlador on s'incorporen els sensors, connectors i l'electrònica a través de la qual la persona modifica els paràmetres de configuració i actuació del sistema.

Donat que aquest projecte representa la culminació dels estudis d'enginyeria electrònica industrial i automàtica s'hi poden veure reflectits tots els coneixements apresos durant tots els anys d'estudi. És per aquest motiu que tant el *software* com el *hardware* que es requereix per a fer assolir els objectius esperats s'han desenvolupat de manera autònoma y original.



Resumen

Este proyecto desarrolla un método para controlar y modificar la temperatura de una habitación u otro tipo de entorno cerrado mediante tres microcontroladores Arduino UNO REV3 basados en el Atmega328P. Cada uno de estos microcontroladores se encargará de desarrollar una de las tres funciones siguientes: control y gestión, adquisición de Humedad y temperatura y control de los actuadores. La comunicación entre a los tres microcontroladores se realiza mediante el chip de radiofrecuencia nRF24L01 que opera de 2,400 a 2,525 GHz; por tanto, la comunicación es totalmente inalámbrica.

Para comprobar la eficacia y la eficiencia del sistema diseñado, se ha realizado una implementación a pequeña escala con un prototipo fabricado por el estudiante que consiste en tres placas iguales donde se incluye la etapa de potencia y los convertidores de corriente continua necesarios para el correcto funcionamiento del prototipo; una placa donde se ubican a los actuadores y el enlace de estos con su sistema de control y una placa *shield* adaptada para cada controlador donde se incorporan a los sensores, conectores y la electrónica a través de la cual la persona modifica a los parámetros de Configuración y actuación del sistema.

Ya que este proyecto simboliza la culminación de los estudios de ingeniería electrónica industrial y automática se pueden ver reflejados todos los conocimientos adquiridos a lo largo de los años de estudio. Es por eso que tanto el *software* cómo el *hardware* que se requieren para alcanzar los objetivos esperados se han desarrollado de forma autónoma y original.



Abstract

This project develops a method for controlling and modifying the temperature of 1 room or other type of environment enclosed by 3 Arduino UN REV3 Microcontrollers based on the Atmega328P. Each of the microcontrollers will be responsible of developing one of the following three functions: control and management, acquisition of humidity and temperature and control of the actuators. The communication between the three microcontrollers is performed using the radio frequency chip nRF24L01 that operates from 2.4 to 2.525 GHz; Therefore, the communication is wireless.

To verify the efficiency and the effectiveness of the designed system, a small scale implementation has been carried out with one prototype manufactured by the student consisting on three equal boards where the power stage is included and the DC/DC converters required for the correct operation of the prototype; a plate where the actuators are located and their link with their control system and a plate shield adapted for each controller with the sensors, connectors and/or electronics through which the user modifies the parameters of configuration and performance of the system.

Since that this project symbolizes the ending of the career of Automatic electronics and industrial electronics engineering one can see reflected all the knowledge gathered during the years of study. Therefore, both hardware and software required to reach the proposed objectives have been developed autonomously and originally.



Agraïments.

Agraeixo, en primer lloc, als meus pares, per haver-me donat suport moral i econòmic per arribar on he arribat, per haver-me ajudat quan no veia res clar i haver-me educat de la forma que ho han fet. Agraeixo, també, a la meua parella per haver estat al costat ajudant-me en tot moment.

A tots els mestres i professors que he tingut al llarg de la meua vida, a tots els nivells, des de l'escola a la universitat. Tots ells han contribuït a la meua formació i a que pogués arribar on soc ara. Igualment, aquells que tot i no ser professors meus, m'han ajudat en tot el que han pogut resolent, o no, els dubtes que la vida m'ha anat plantejant.

També m'agradaria agrair al meu avi, que va deixar-nos l'any 2016, que va estudiar enginyeria industrial a l'Escola universitària d'Enginyeria tècnica industrial de Barcelona, edifici on jo vaig començar el grau l'any 2015 i que va aportar el seu gra de sorra i molta inspiració a que jo m'inclinés per aquests estudis.

En últim lloc però no menys important, agraeixo al meu tutor, Antonio Calomarde Palomino, per haver cregut en mi i per haver-me donat l'oportunitat per a desenvolupar les idees que tenia. També li agraeixo l'orientació i l'impuls inicial que necessitava per a dur a terme el treball i que em va donar sense cap tipus de problema.

A tots ells els agraeixo infinitament tota l'ajuda prestada, volent o sense voler, que mai podré retornar.



Índex

RESUM	II
RESUMEN	IV
ABSTRACT	VI
AGRAÏMENTS.	VIII
ÍNDEX	X
1. PREFACI.	2
1.1. Breu resum de la història de la calefacció.....	2
1.2. L'estat de l'art.	4
1.2.1. La domòtica.....	4
1.2.2. Productes de mercat.	5
1.3. Origen del treball.	6
1.4. Motivació personal.	7
2. INTRODUCCIÓ.	8
2.1. Objectius del treball.....	8
2.2. Abast del treball.	9
2.3. Descripció del prototip.	10
2.3.1. El circuit bàsic.....	10
2.3.2. El controlador.....	11
2.3.3. El sensor.	12
2.3.4. L'actuador.	12
2.3.5. Construcció final.	13
2.4. Gestió del temps.	15
3. DESENVOLUPAMENT DEL <i>HARDWARE</i>.	16
3.1. El microcontrolador.	16
3.2. El xip de comunicació.	18
3.2.1. Funcionament del xip nRF24L01.	20
3.2.2. El protocol de funcionament del xip nRF24L01.....	22
3.3. Els sensors.	23
3.3.1. La sensació tèrmica.....	23
3.3.2. El sensor d'humitat i temperatura.	24

3.4.	Les interfícies home-màquina.	26
3.4.1.	La pantalla.	26
3.4.2.	El potenciòmetre.	26
3.4.3.	Els botons.	28
3.5.	Els actuadors.	31
3.5.1.	El motor.	31
3.5.2.	El calefactor.	31
3.5.3.	L'activació i control.	33
3.6.	L'alimentació.	37
3.6.1.	El regulador de 8 V.	39
3.6.2.	El regulador de 3,3 V.	43
3.7.	La placa i els circuits.	45
3.7.1.	La seguretat elèctrica.	45
4.	DESENVOLUPAMENT DEL SOFTWARE. _____	46
4.1.	Els ordinogrames dels programes principals.	47
4.1.1.	El sensor.	47
4.1.2.	El controlador.	49
4.1.3.	L'actuador.	52
5.	ANÀLISI DE L'IMPACTE SOCIAL I AMBIENTAL. _____	54
6.	ANÀLISI ECONÒMICA. _____	56
6.1.	Costos de material.	56
6.1.1.	Cost del circuit de control i potència dels actuadors.	56
6.1.2.	Cost del circuit necessari per al regulador commutat de tensió L4960.	57
6.1.3.	Cost del circuit necessari per al regulador lineal de tensió LM350.	57
6.1.4.	Cost total del prototip.	58
6.2.	Costos d'enginyeria.	59
	CONCLUSIONS. _____	60
	BIBLIOGRAFIA _____	62
	GLOSSARI. _____	64
	Comunicació sèrie I ² C.	64
	Comunicació sèrie SPI.	64
	Altres.	64
	ANNEX A: CODI EN C DELS MICROCONTROLADORS. _____	66

A1. Codi del controlador.....	66
A2. Codi del sensor.....	80
A3. Codi de l'actuador.....	84
ANNEX B: ESQUEMA ELECTRÒNIC.	88
B1. Circuit del controlador.....	90
B2. Circuit del sensor.....	91
B3. Circuit de l'actuador.	92
B4. Esquema del microcontrolador i el seu circuit.	93
B5. Esquema del circuit bàsic del xip nRF24L01.....	94
B6. Esquema del circuit bàsic del display LCD.	95



1. Prefaci.

1.1. Breu resum de la història de la calefacció.

Vivim en un món on la tecnologia ha avançat i avança tan ràpidament que els essers humans que convivim amb ella i la consumim no tenim temps d'adaptar-nos als productes que la globalització i el desenvolupament comercial ens llencen als anuncis. Tant és així, que en molts aspectes de la vida quotidiana com, per exemple, la calefacció, la tecnologia pràcticament no hi apareix; . O, més ben dit, gairebé no ha aparegut durant els darrers anys.

La calefacció ha estat el mètode a través del qual els humans hem escalfat les nostres residències durant el transcurs de l'evolució de la humana. Va començar ara fa 790.000 anys amb el domini de l'ús del foc. Més endavant, els habitatges van passar a ser escalfats amb llars de foc i xemeneies, que representen el mateix concepte però afegint-hi un escapament de gasos i una protecció contra incendis molt rústica (consistent en una paret de pedra). En l'estudi de la història, els invents i les ciències socials s'especula que aquest tipus de calefacció va aparèixer a les regions més septentrionals del món donada la necessitat vital de mantenir calent l'habitatge, com ens explica l'arqueòleg francès Jean-Pierre Adam en el seu llibre *La Construction romaine: matériaux et techniques* (Adam, 1984) i no va ser implementada en les tècniques de construcció habituals fins al segle XI.



Figura 1: Foc a terra. Font: www.pxhere.com.



Figura 2: Foc en una casa rural. Font: www.pxhere.com.

El següent avanç apareix, probablement, al segle XV amb un invent molt particular: l'estufa. Aquest aparell permetia el transport de la calor produïda per la combustió de la llenya sense patir els inconvenients dels gasos produïts per aquesta, doncs es realitzava en un entorn tancat amb un extractor de fums que aïllava la transferència de massa amb l'entorn a escalfar. Aquest invent es va

anar perfeccionant amb el pas dels anys, sobretot a partir del segle XIX (Laboulaye, 1862), però el concepte va prevaldre.

Amb la revolució industrial, però, amb el perfeccionament de la màquina de vapor, es comença a emprar aquest per al disseny de sistemes de calefacció centrals en els quals la transferència de calor es divideix en dues parts: la primera on un combustible crema i calenta un líquid (aigua o oli) o un gas (vapor o aire) i la segona on aquest líquid, a través de canalitzacions, va alliberant aquesta energia en forma de calor. El combustible va anar variant amb els anys: de llenya a carbó, de carbó a gas ciutat, d'aquest al gasoil i, per últim, el gas natural.



Figura 3: Estufa clàssica de llenya. Font: <https://deestufasradiadores.com>.



Figura 4: Radiadors moderns. Font: www.wikipedia.com

L'últim avanç d'aquest sector ha estat la calefacció elèctrica. Arran de la descoberta i el control de l'electricitat al segle XIX i gràcies als estudis de termodinàmica i electricitat de James Prescott Joule entre d'altres científics s'aconseguí controlar l'efecte Joule i usar-lo a favor del fabricant assolint rendiments molt propers al 100 %, ja que tota l'energia dissipada pren la forma de l'energia que es vol crear.

La calefacció elèctrica va permetre l'eliminació dels grans desavantatges de totes les calefaccions anteriors: el combustible i els excedents de la combustió. Sí que és veritat, però, que la major part de l'electricitat, avui en dia i, en més altes proporcions, durant el segle passat, es produïda mitjançant combustibles fòssils, però almenys la contaminació queda més concentrada i és més senzilla la gestió i neutralització.

Alhora, el control d'aquest sistemes ha anat variant amb el pas dels anys. El control de les estufes de llenya i les llars de foc era per accionament humà directe amb l'absència de cap intermediari mecànic.

Simplement la interessada o l'interessat es limitava a afegir el combustible en qüestió a necessitat. Algunes calefaccions de gas inclouen i inclouen sistemes mecànics per a controlar el cabal de combustible que es crema i les primeres calefaccions elèctriques permetien seleccionar la potència consumida en un rang de valors normalment definit per un potenciòmetre. Cal destacar que el disseny de selecció de temperatura a través d'un element girant s'ha mantingut inclòs després de l'arribada de l'electrònica.

Per acabar, l'arribada dels termòmetres digitals i l'ús de transductors i sensors ha permès als sistemes de control automàtics tenir valors directes sobre els quals actuar i així poder realitzar el control de forma electrònica amb més precisió i requerint menys atenció de l'usuari.

1.2. L'estat de l'art.

1.2.1. La domòtica.

El Diccionari dels Estudis Catalans defineix la domòtica com la "disciplina que s'ocupa de la concepció i de l'aplicació d'automatismes en les instal·lacions dels habitatges." Aquesta doctrina popularment coneguda com *smarthouse* o cases intel·ligents (derivats dels anglicismes *smartphone*, *smarttv*, etc.) permet al ciutadà de peu introduir l'electrònica digital en el seu entorn més pròxim per tal de fer-los la vida més senzilla, com per exemple: rentadores i assecadores que s'activen quan no hi ha ningú a casa per a no molestar o bé quan l'electricitat és més barata; llums programables per apagar-se o encendre's amb un horari determinat; o el famós control per veu dels altaveus intel·ligents. D'altra banda, el sector de la neteja tampoc s'ha quedat enrere amb aparells com els robots aspirador, els robots pal-de-fregar, neteja-vidres automàtics... Un sense-fi d'electrodomèstics interconnectats que es comuniquen entre si i amb l'usuari per tal de crear una experiència de vida més senzilla.



Figura 5: simbologia de les cases intel·ligents. Font: <https://pixabay.com>

Està clar, doncs, que avui dia qualsevol persona té a l'abast la tecnologia suficient per a muntar una casa que funcioni en la seva major part de forma autosuficient. Els nous descobriments en el camp de l'energia so lar permeten, a més a més, que tots aquests electrodomèstics estiguin alimentats amb energia verda.

1.2.2. Productes de mercat.

Tant és així que empreses internacionals com Google, Amazon o Siemens ja han desenvolupat els seus sistemes de termòstats automàtics que poden ser controlats des d'aparells a llarga distància (com els mòbils, ordinadors...) a través d'internet o amb control per veu (Google Home, Alexa...). Aquests dispositius un cop sincronitzats amb el mòbil personal poden seguir un *tracking* de l'usuari i saber quan està tornant a casa per a encendre la calefacció i quan se'n va per a apagar-la. D'aquesta forma l'estalvi energètic és molt major i l'entorn habitable millora les seves prestacions. Aquests aparells acostumen a incorporar, també, una programació horària que facilita el dia a dia i l'organització del temps als usuaris.

Apareixen termòstats com els fabricants per Honeywell o per Ecobee amb interfícies de disseny per a resultar atractius, funcionalitats 4.0 i IoT. El problema més greu que presenten aquests dispositius és l'elevat preu de mercat que acostuma a rondar els 200 € o 300 €, una quantitat de diners que, òbviament, moltes persones no poden permetre's. Tot i així, aquesta compra s'ha de veure com una inversió i no una adquisició, ja que l'objectiu és l'estalvi energètic i no el profit decoratiu.



Figura 6: Termòstat intel·ligent low-cost del fabricant alemany Bosch.

També tenim la tercera generació dels Nest Learning Thermostat (a uns \$250) amb disseny circular i memòria intel·ligent. Aquest aparell es capaç de detectar els hàbits de vida dels usuaris en una setmana i sel·leccionar la temperatura adient en funció del dia i l'hora. A més a més, es pot connectar amb els sistemes de seguretat de l'habitatge i amb l'ubicació del telèfon mòbil per a saber quan no hi ha ningú a casa o està arribant algú per a encendre o apagar la calefacció. Podem trobar productes com el comandament a distància intel·ligent Logitech Harmony Elite per \$250, que serveix per a controlar tot tipus de dispositius *smart* (televisió, música, llum, alarmes...) o els endolls iHome ISP6X per meys de \$20 que permeten l'encesa i l'apagada a distància d'elements que no tenen connectivitat 4.0.

1.3. Origen del treball.

Aquest treball neix de la necessitat i la voluntat de reduir el consum energètic dels habitatges i altres entorns que requereixin un control de temperatura. Les calefaccions i els aires condicionats el 2011 representaven la major part del consum energètic total de les cases espanyoles de mitjana l'any 2011, un 48 %; per tant, qualsevol reducció de consum en aquest aspecte produiria un decreixement considerable en el malbaratament d'energia i, per contra, en la contaminació del nostre planeta.

Estem veient com, amb el pas dels anys, les temperatures cada vegada són més altes a l'estiu a la zona est de l'atlàntic i més baixes a l'hivern a la zona oest del mateix, que són, també, les regions que més calefaccions i aires condicionats presenten de tot el planeta i els majors consumidors energètics del món; i tot això per culpa del canvi climàtic, que cap estudi científic demostra que es vagi a aturar. Per tant, podem preveure que el consum d'aire condicionat i calefaccions no anirà a la baixa, a diferència dels combustibles fòssils que s'encarreguen de proporcionar l'energia necessària per a fer funcionar tots aquests aparells.

Tots aquells que hagin estat en una casa gran amb un sistema de calefacció molt simple (sobretot cases de varis pisos) hauran vist com la temperatura de cada habitació acostuma a ser diferent. El motiu és que la majoria de sistemes de calefacció moderns només incorporen un termòstat en tot el sistema. Aquest detall obliga a tots els actuadors a encendre's i apagar-se en funció de la temperatura d'una de les estances, refredant o escalfant, en excés, la resta d'habitacions.

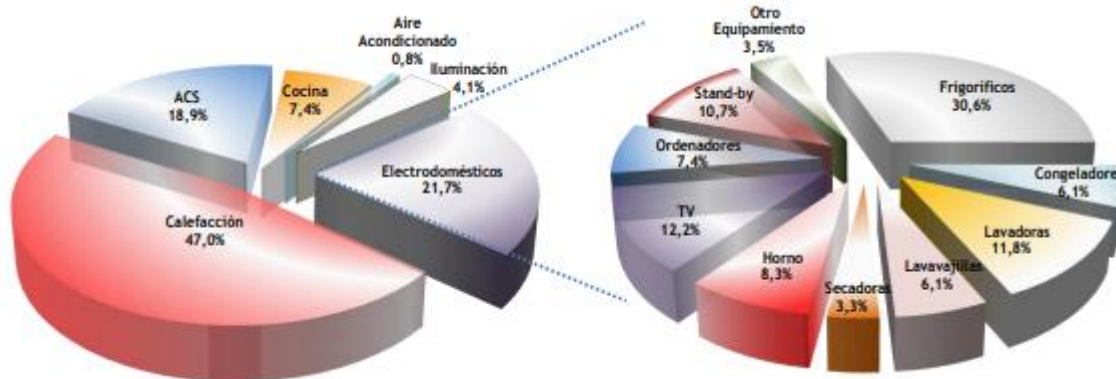


Figura 7: Estructura del consum en les cases espanyoles al 2011 segons fonts energètiques. Font: (IDAE. Ministerio de industria, energía y turismo., 2011).

Per exemple, en un pis amb una llargada considerable cada banda està orientada en una direcció geogràfica diferent (punt cardinal diferent) i això fa que a la banda nord sempre hi faci més fred. En una casa la calor tendeix a elevar-se als pisos superiors degut al canvi de densitat de l'aire en funció de la temperatura fent així que les estances inferiors sempre estiguin més fredes.

L'estalvi energètic que comportaria poder reduir i augmentar les temperatures de les habitacions al gust de cada habitant i necessitat personal ajudarien enormement a reduir les factures de llum i gas i la contaminació general de cada habitatge.

1.4. Motivació personal.

L'impuls principal d'aquest treball, descrit parcialment en l'apartat anterior, és la necessitat d'estalviar i consumir menys. Ara bé, la necessitat personal que m'ha portat a desenvolupar aquest projecte ha estat l'interès per l'electrònica i la domòtica, la voluntat de construir i fabricar; desenvolupar un projecte per mi mateix amb una fi que ajudi a avançar la societat cap a un món més just i un futur millor o, coneixent l'estat del clima avui en dia, cap a un futur.

El camp de la domòtica m'ha apassionat des dels inicis de la meva educació secundària i l'interès per aquesta doctrina no ha fet res més que créixer en els últims anys. He anat seguint amb molta intriga i esperança les noves tecnologies que han sortit al mercat i els productes innovadors que han tret les companyies per a automatitzar les cases: control de llums, persianes, electrodomèstics intel·ligents... com ja he mencionat en l'apartat anterior.

És per aquest motiu que a l'hora d'escollir un camp per a desenvolupar en aquest treball, l'elecció va ser senzilla: un sistema de control de temperatura per a habitatges. Tot i això, volia afegir-hi una característica diferent i adient en els temps que estem vivint: la tecnologia *wireless* o sense fils.

2. Introducció.

En aquest apartat es descriuran els objectius inicials del projecte; el treball desenvolupat; els mètodes que s'han usat per tal d'aconseguir dur-lo a terme; les principals característiques bones i dolentes del projecte i la gestió del temps dedicat.

2.1. Objectius del treball.

L'objectiu principal d'aquest treball ha estat el disseny i la implementació d'un sistema de control de temperatura i humitat junt amb un sistema d'actuadors sobre aquests mateixos valors. A més, aquest sistema haurà de ser totalment remot i poder-se instal·lar en un habitatge de forma senzilla.

Per aconseguir l'èxit d'aquesta empresa s'usaran els coneixements obtinguts al llarg dels quatre anys d'estudis d'enginyeria electrònica i més concretament aquells apresos en els camps de l'electrònica analògica, electrònica digital, electrònica de potència, termodinàmica, matemàtiques, química, control industrial i automàtic, robòtica industrial, sistemes de control i informàtica industrial i equips electrònics.

El disseny de la unitat hauria de seguir l'esquema que es pot veure en el diagrama de blocs de la figura següent, on apareix un microcontrolador que funciona com a *master* o amo dirigint la comunicació i establint el rol de cadascun dels *slaves* o esclaus, que seran dos microcontroladors, també encarregats d'adquirir informació (sensor) i actuar sobre uns paràmetres (actuador).

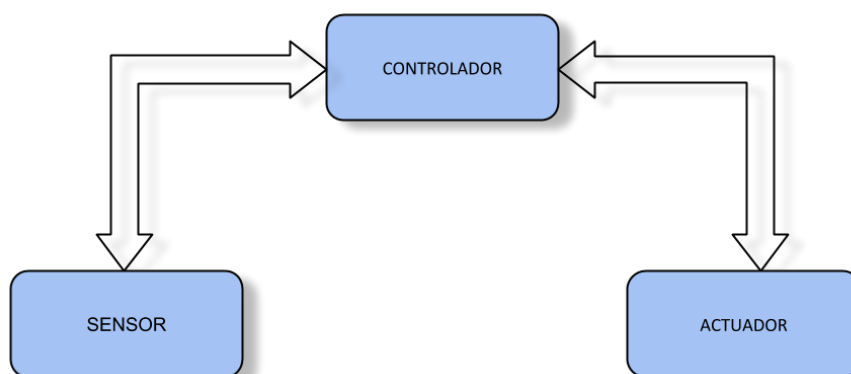


Figura 8: diagrama de blocs del funcionament de les comunicacions en el prototip.

Tot i així, la idea d'aquest projecte, com ja s'ha mencionat, és poder controlar la temperatura d'un habitatge de forma coordinada. Per tant, el que es proposa és el sistema següent:

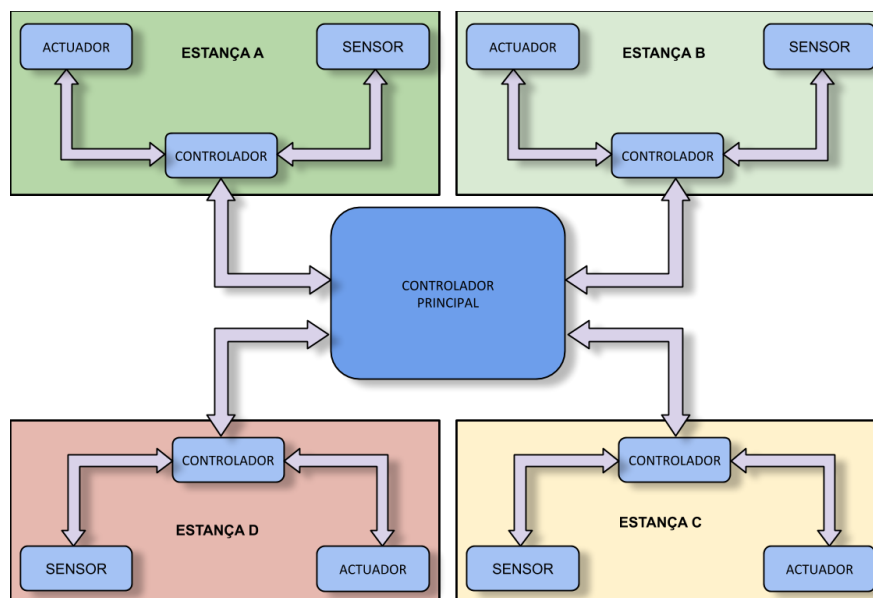


Figura 9: diagrama de blocs de les comunicacions del sistema teòric proposat.

Com es pot veure, es tracta d'un sistema de comunicació *master-slave* en forma d'arbre amb múltiples *masters*, múltiples *slaves* i un *general master*. Aquest sistema seria capaç de controlar la temperatura de diverses estances per separat i de forma individual permetent, així, un estalvi general d'energia i la creació d'un entorn més agradable per a les diferents persones que l'habitin.

En conclusió, és dissenyarà i fabricarà un sistema automàtic capaç de controlar dues variables climàtiques, la temperatura i humitat, i amb capacitat d'actuar sobre una d'elles (la temperatura), sense que cap persona necessiti encarregar-se d'encendre i apagar l'aparell. Aquest sistema haurà d'incloure proteccions de seguretat i funcionar de forma eficient.

2.2. Abast del treball.

De totes i cada una de les parts del treball, es dissenyarà l'alimentació del sistema partint de la base que l'energia s'obté de la font elèctrica més comuna en els endolls d'un habitatge estàndard: 220 V_{AC} i 50 Hz. Es dissenyarà, doncs, el convertidor AC-DC, per reduir la tensió d'entrada i convertir-la a tensió contínua, ja que és aquesta amb la que treballen la majoria de xips del mercat; els convertidor DC-DC pertinents per a alimentar els components. Cal destacar que, per motius econòmics, el convertidor de corrent alterna a corrent contínua no és fabricarà, doncs els components necessaris per aquest encarien molt el projecte. També cal destacar que, tot i que l'objectiu seria usar actuadors de potència que fossin capaços de modificar les variables en una estança real, pels mateixos motius anteriorment citats, s'usaran actuadors de baixa potència ja que el control seria equivalent i només es

modificarien els càlculs. Tot i així, el disseny i els càlculs econòmics es realitzaran de la mateixa manera que la resta de dissenys.

També es crearan tots els circuits que siguin pertinents i/o necessaris per al desenvolupament del projecte. Per a realitzar l'esquema s'usarà el programa de *software* lliure *Fritzing*[®] i els programes amb llicència d'estudiant *PSPICE* i *Orcad Capture* per als càlculs i simulacions.

Alhora, es programarà el codi dels microcontroladors des de zero únicament amb l'ajuda de les llibreries *free-use* que proporcionin els fabricants dels components o els usuaris, adaptant-les, si fos adient, a les necessitats del projecte.

En últim lloc, es construirà un prototip a partir dels dissenys creats de mà de l'estudiant. Aquest hauria de ser capaç de funcionar ininterrompudament durant el temps que sigui necessari. No és construirà, com ja s'ha mencionat en anteriors paràgrafs, els convertidors AC-DC a causa de la desproporcionalitat del cost dels components en comparació amb els de baixa potència.

2.3. Descripció del prototip.

El prototip consisteix en tres circuits diferents, tots ells compartint etapes d'alimentació similars però esdevenint peculiars en un tret diferencial que els caracteritza (obtenció d'informació pel sensor, control d'actuadors per l'actuador i control d'informació i gestió d'aquesta el controlador). Així doncs, el procés de fabricació es podria realitzar conjuntament fins a última instància. Aquests tres circuits estan separats elèctricament (com a mínim en quant a connexió a la xarxa), fet que els permet ser col·locats en qualsevol lloc.

2.3.1. El circuit bàsic.

El circuit bàsic conté un transformador AC/DC de $V_{out} = 12 V$ i $I_{out max} = 2 A$.

El primer convertidor DC/DC és el regulador commutat de tensió **L4960** amb el seu circuit bàsic que subministra una tensió de sortida de $V_{out} = 8 V$ amb una corrent de sortida de $I_{out max} = 2,5 A$. El segon convertidor DC/DC es realitza amb l'encapsulat **LM350**, un regulador de tensió lineal que atorga una tensió de sortida de $V_{out} = 3,3 V$ i permet fins una corrent de sortida de $I_{out max} = 3 A$, tot i que el circuit en requereix molta menys.

El microcontrolador **Arduino UNO Rev3** s'alimenta a una tensió d'entrada $V_{in} = 8 V$ i consumeix fins a una corrent de $I_{in max} = 800 mA$, depenent dels xips que hagi d'alimentar i les sortides connectades.

El xip de comunicació **nRF24L01**, un xip de radiofreqüència que treballa a una freqüència $f = 2,4 \text{ GHz}$ amb infinitud d'aplicacions, s'alimenta a una tensió d'entrada de $V_{in} = 3,3 \text{ V}$ i té una corrent màxima de $I_{in \text{ max}} = 13 \text{ mA}$.

2.3.2. El controlador.

El circuit del controlador presenta, afegidament al circuit bàsic, una pantalla LCD de 4 files i 20 caràcters per fila que s'encarrega de mostrar a l'interactuador la informació necessària per a la configuració dels paràmetres de control. Aquesta pantalla s'alimenta a 5 V i es comunica amb el microcontrolador a través dels protocols de comunicació I2C.

Per a modificar la temperatura s'usa un potenciòmetre d'eix i univolta que rota seleccionant el valor adequat. Aquest funcionament és molt similar a un seleccionador dels antics dials de ràdio, que girant una roda connectada a un condensador variable es modificava la freqüència central del filtre d'entrada. S'ha escollit aquest disseny perquè tradicionalment el seleccionador de temperatura dels termòstats han tingut aquesta forma; tot i això, es va valorar usar botons per a seleccionar-la però es va acabar desestimant pel motiu mencionat anteriorment. Dos botons amb resistències de Pull-Up modifiquen altres paràmetres com la brillantor de la pantalla i la potència màxima del ventilador.

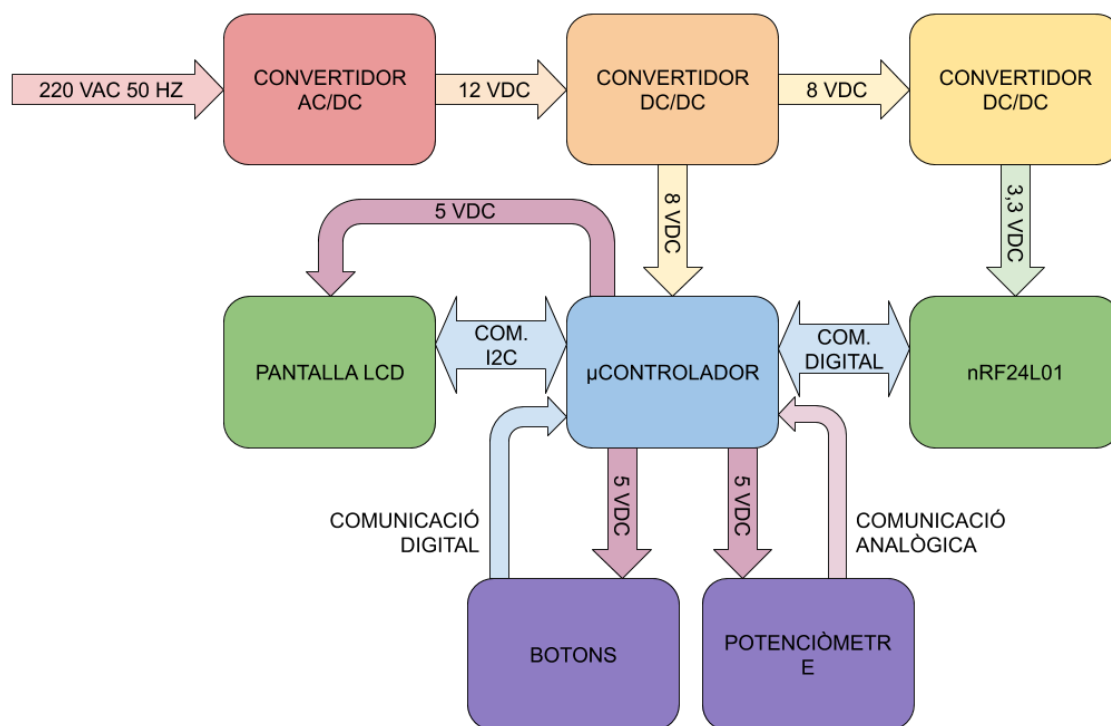


Figura 10: Diagrama de blocs del circuit controlador. Font: pròpia.

2.3.3. El sensor.

El circuit del sensor consisteix en el xip am2320 que és un sensor de temperatura i un sensor d'humitat integrats en un mateix encapsulat que es comunica mitjançant el protocol de comunicació digital sèrie I2C.

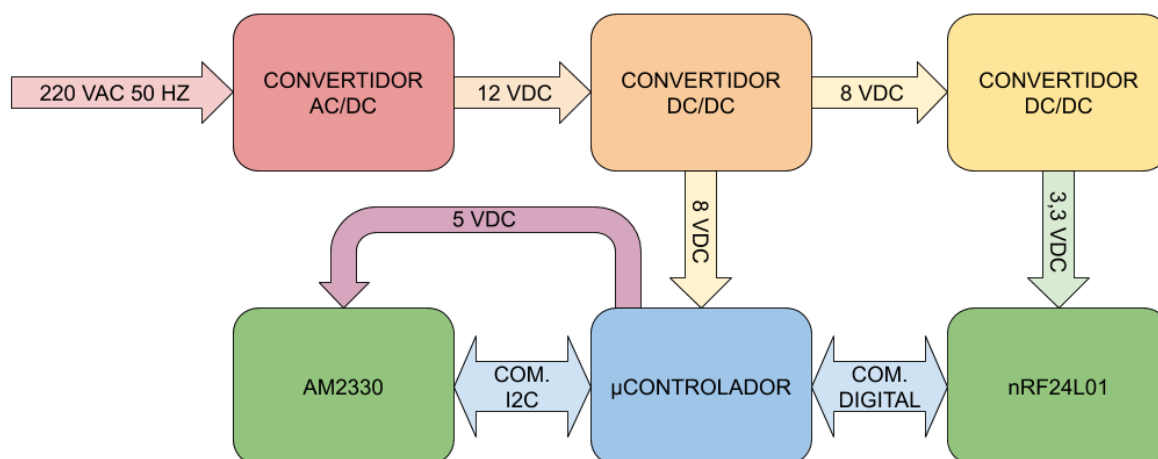


Figura 11: Diagrama de blocs del circuit sensor. Font: pròpia.

2.3.4. L'actuator.

L'actuator consta de dos petits circuits separats elèctricament: el circuit de control, que consta del microcontrolador i el xip de comunicació i el circuit dels actuadors, que consta de dos relés, un ventilador i una cèl·lula PTC.

S'ha escollit aquesta separació perquè els dos actuadors puguin funcionar de forma separada, permetent així el funcionament del ventilador per a disminuir la temperatura dels usuaris per convecció en cas de que aquesta sigui superior a la consigna. Així, mentre el calefactor es troba apagat el ventilador pot seguir funcionant.

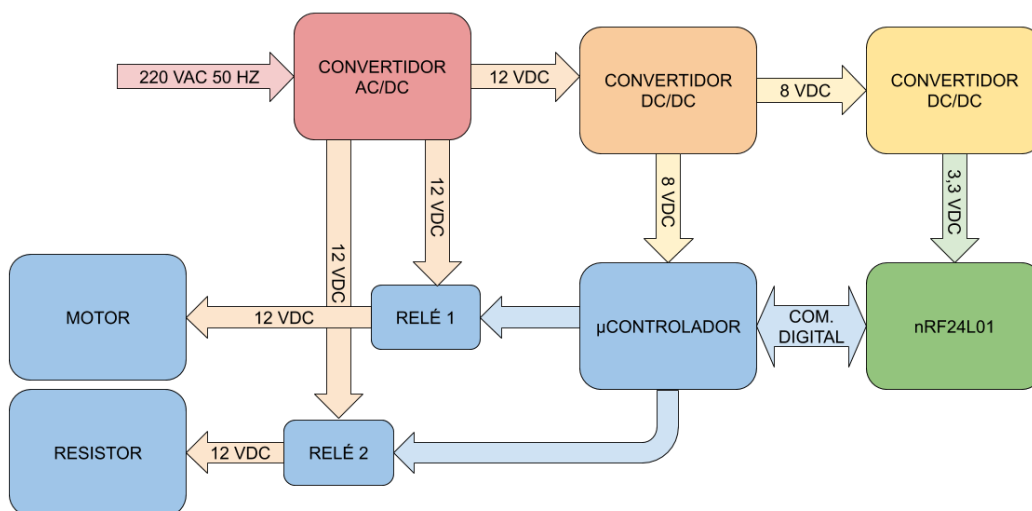


Figura 12: Diagrama de blocs del circuit actuator. Font: pròpia.

2.3.5. Construcció final.

A continuació es presenta el prototip construït amb alguns dels resultats. Als annexos, concretament als annexos B, es poden trobar els circuits detallats de tot el prototip.

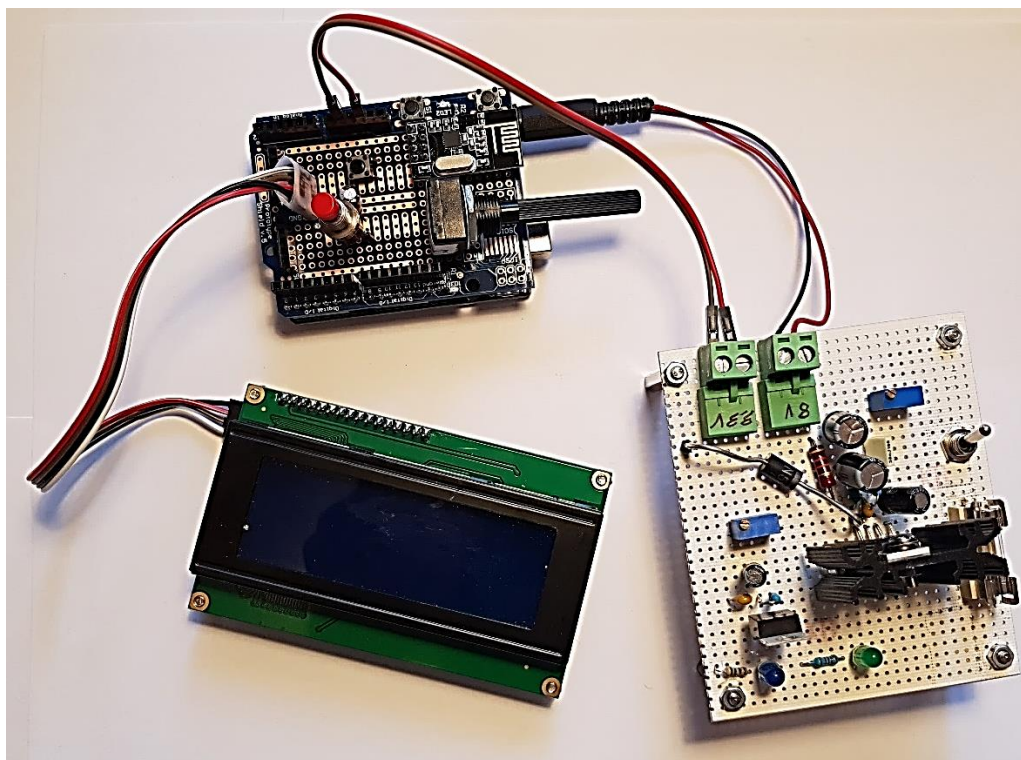


Figura 13: Construcció final del prototip del circuit controlador, amb la placa d'alimentació i la interfície home-màquina. Font: pròpia.

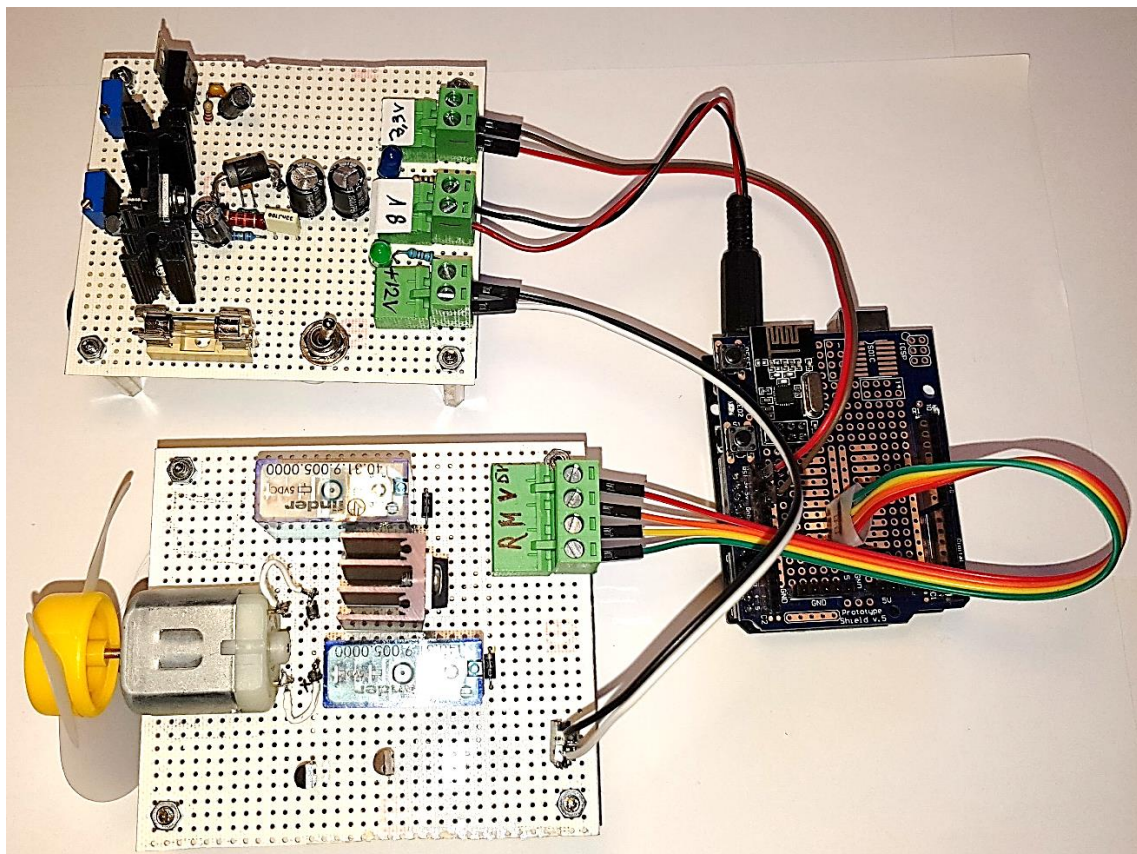


Figura 14: Construcció final del prototip del circuit actuator, amb la placa d'alimentació i la placa dels actuadors. El calefactor no es mostra doncs es munta com una extensió. Font: pròpia.

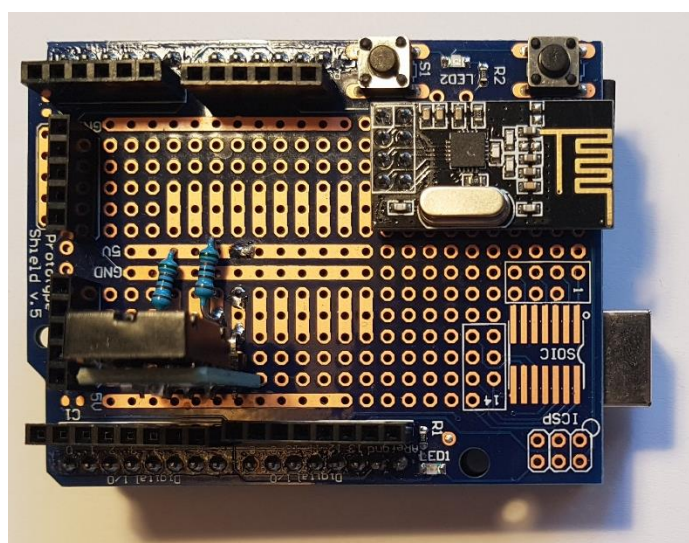


Figura 15: Placa shield del circuit sensor. Font: pròpia.



Figura 16: Captura de la pantalla en funcionament. Font: pròpia.

2.4. Gestió del temps.

El període efectiu de producció ha estat de tres mesos i mig: les dues setmanes inicials invertides en la definició del treball, l'acotació i la tria dels components; nou setmanes dedicades a la part pràctica; tres per la programació bàsica i càlculs; dues pel muntatge electrònic; quatre per la correcció d'errors i modificacions posteriors; i, en últim lloc, tres setmanes dedicades a la redacció de la memòria i perfeccionament del prototip.

A continuació es mostra el diagrama de Gantt elaborat per al correcte desenvolupament del prototip.

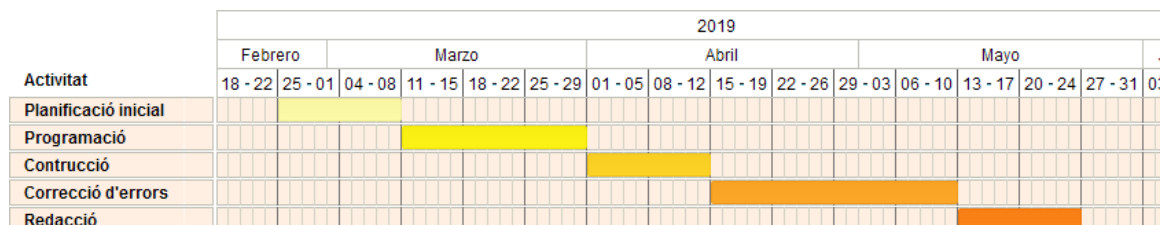


Figura 17: diagrama de Gantt del projecte.

Totes les activitats tenen un marge d'una setmana, doncs la data màxima de finalització és el dia 31 de maig.

3. Desenvolupament del *hardware*.

En aquest apartat es descriurà en profunditat el funcionament i el desenvolupament de la part electrònica del projecte. Inclou explicacions i justificacions sobre el motiu de cada decisió i el motiu o motius pels quals s'ha escollit aquell element. Inclou, alhora, els càlculs realitzats, omesos, intuïts o negligits i una explicació per a ells.

3.1. El microcontrolador.

Per a escollir el microcontrolador a usar s'han valorat diverses característiques bàsiques: el microcontrolador haurà de incorporar interrupcions externes i internes, el microcontrolador haurà de tenir sortides PWM o suficients sortides digitals com per a construir un convertidor digital a analògic per a poder simular senyals analògiques. El microcontrolador haurà de tenir un preu assequible per a la contrucció i un entorn de programació en C. També, si és possible, haurà d'incorporar ports de comunicació sèrie SPI i I²C.

Paràmetre	ATmega328p	ATmega 2560	Cortex-M0+	87c51
Entrades i sortides	23 bits I/O (6 PWM)) Dos ADCs de 10 bits i 8 canals un i un altres de 6 canals.	86 bits I/O. (16 PWM) Un ADC de 10 bits.	29 I/O programables. 1 ADC de 12 bits.	4 ports de 8 bits I/O.
Tensió d'alimentació	1,8 V a 5,5 V	1,8 V a 5,5 V	1,8 V a 3,3 V	2,7 V a 5,5 V
Memòria	1 kbyte EEPROM 2 kbyte SRAM	4 kbyte EEPROM 8 kbyte SRAM	4 kbyte SRAM 32 kbyte flash	64 kbyte ROM 64 kbyte RAM
Interrupcions	2 interrupcions externes.	6 interrupcions externes.	32 interrupcions externes.	6 interrupcions externes.
Freqüència	0 MHz a 20 MHz	0 MHz a 16 MHz	0 MHz a 30 MHz	0 MHz a 33 MHz
Interfícies de comunicació	I ² C i SPI	SPI, I ² C, USART	SPI, I ² C, USART	UART
Preu	9,99 €	13,00 €	4,51 €	7,84 €

Taula 1: Característiques de tensió del microcontrolador. Font: (Atmel, 2009), (Atmel, 2014) (NXP, 2018) (Phillips, 2000).

S'ha escollit el microcontrolador ATmega328p perquè la construcció de mercat Arduino UNO que incorpora totes les funcionalitats descrites, a més a més de reguladors de tensió, bus USB i el muntatge bàsic i una interfície de programació. De forma afegida, l'entorn de programació Arduino és molt intuïtiu i facilita el traspàs de les idees i els algorismes pensats a codi d'automatisme i microcontrolador industrial. Les característiques descrites poden ser o bé internes del xip o bé externes (com alguns ADCs) muntades en una PCB inclosa en el disseny bàsic del xip.

El microcontrolador es programa en el llenguatge de programació C a través del *software* de lliure distribució desenvolupat per l'empresa fabricant *Arduino IDE*. És un microcontrolador molt versàtil que facilita la programació i el muntatge dels prototips. Alhora, en ser un dels microcontroladors més estesos en el món de l'electrònica casolana, moltes persones han escrit llibreries sense llicència ni drets d'autor que faciliten encara més l'ús d'aquest dispositiu i de molts altres que s'hi vulguin connectar.

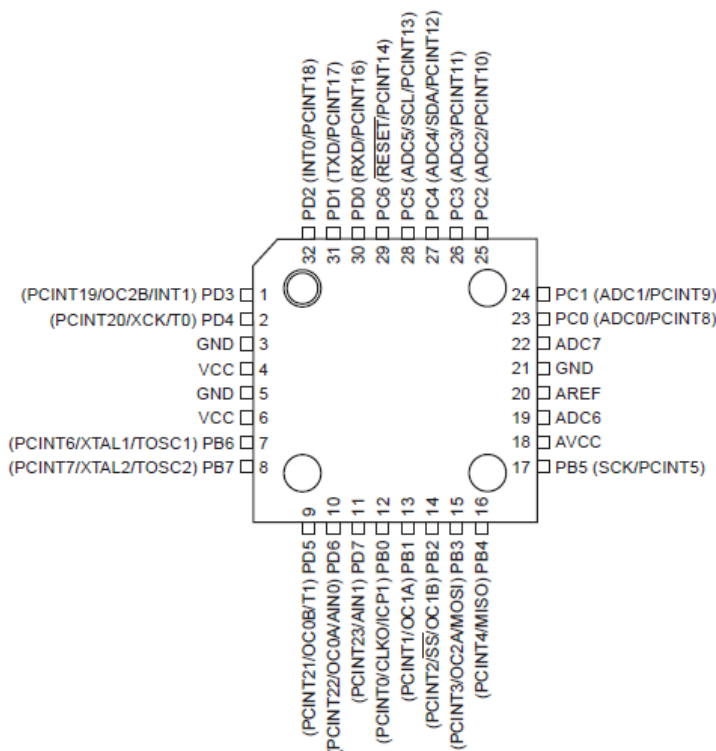


Figura 18: Esquema dels pins del microcontrolador ATMEGA328. Font: (Atmel, 2009).

A més a més, compta amb proteccions per sobretensió i curtcircuits com fusibles reprogramables.

Afegidament, incorpora reguladors de tensió de 5 V i 3,3 V que permeten l'ús de la gran majoria de xips sense necessitat de l'adquisició de reguladors externs. Desgraciadament, aquests reguladors són

lineals i no inclouen dissipadors la qual cosa fa que si es connecta el xip a una tensió d'entrada elevada la placa se sobreescalfi i pot arribar a trencar-se.

Incorpora un LED connectat a l'entrada digital 13 que s'il·lumina quan aquesta està a nivell alt (5 V), una tensió de referència per a l'ADC de les entrades analògiques i un botó de *reset* per a reiniciar el programa de forma manual.

La corrent màxima que suporta són 500 mA quan s'alimenta a través de l'ordinador i 800 mA quan està alimentat per una font externa. Les corrents màximes que subministren les seves sortides són de:

Pin	Corrent
5 V	500 mA
3,3 V	50 mA
Sortides digitals (D0 - D13)	20 mA (típic); 40 mA (màxim); sempre i quan la suma de tots no superi 200 mA

Taula 2: Característiques de corrent del microcontrolador.

Els límits de tensió de les entrades i sortides són els següents:

Pin	Tensió
V_{in}	500 mA (USB) o 800 mA (jack)
Entrades analògiques (A0 – A5)	-0,5 V a + 5,5 V
Entrades digitals (D0 - D13)	-0,5 V a + 5,5 V

Taula 3: Característiques de tensió del microcontrolador.



3.2. El xip de comunicació.

Per escollir el xip de comunicació usat s'han tingut en compte varies característiques:

- La comunicació ha de ser totalment sense fils entre un microcontrolador i un altre.
- La comunicació ha de ser senzilla i ràpida.
- La comunicació ha d'incloure protocols de detecció d'errors.
- La comunicació ha de ser capaç de funcionar a mitja distància superant parets.
- El xip ha de ser compatible amb les sortides digitals del microcontrolador (de 5 V).
- El xip ha de consumir el mínim possible.

Donades aquestes característiques, es presenten dos candidats possibles. En la següent taula comparativa podem veure les diferents característiques dels dos xips i comparar-les amb molta facilitat.

Cal destacar que no s'ha usat cap dispositiu amb comunicació *Bluetooth* perquè es un tipus de comunicació de baixa potència i poca distància i que, tot i que hauria estat una bona elecció, no s'han usat tampoc xips amb comunicació *ZigBee* degut al seu alt cost d'adquisició en el mercat. En el seu lloc s'han escollit aquests dos candidats:

Paràmetre	Si4463	nRF24L01
Frequència de transmissió	119 MHz a 1050 MHz	2400 MHz a 2525 MHz
Velocitat de transmissió	$100 \frac{\text{bits}}{\text{s}}$ a $1 \frac{\text{Mbit}}{\text{s}}$	$500 \frac{\text{kbits}}{\text{s}}$ a $2 \frac{\text{Mbits}}{\text{s}}$
Tensió d'alimentació	1,8 V a 3,6 V	1,9 V a 3,6 V
Consum mínim (<i>standby</i>)	50 nA	32 μ A
Consum màxim	18 mA	12,3 mA
Comunicacions màximes	100 canals	125 canals i 6 comunicacions per canal.
Potència de sortida màxima	+20 dBm	0 dBm
Sensibilitat	-126 dB · m	-85 dB · m (a $1 \frac{\text{Mbit}}{\text{s}}$)
Distància de transmissió (<i>eyesight</i>)	1000 m	100 m (en funció de la potència de sortida) 1000 m (amb xip d'extensió i antena)
Tensió màxima dels pins de comunicació	5 V	5 V
Preu	4,50 € (www.amazon.es)	3,00 € (www.amazon.es)
Fotografia	 <p>Figura 19: fotografia de la PCB amb el circuit bàsic del xip Si4463. Font: www.aliexpress.com.</p>	 <p>Figura 20: fotografia de la PCB amb el circuit bàsic del xip nRF24L01. Font: http://www.hobbyandyou.com.</p>

Taula 4: taula comparativa entre els dos candidats a xip de comunicació.

Amb totes aquestes dades s'ha decidit que el millor candidat és el xip de radiofreqüència nRF24L01 per diversos motius:

- El xip Si4463 està pensat per llarga distància (centenars de metres) i per això incorpora una antena externa que permet augmentar la potència de sortida. Aquest fet fa que consumeixi més energia en el procés de transmissió i és un detall que volem minimitzar.
- La velocitat de transmissió del xip nRF24L01 pot arribar a ser el doble de ràpida que la del xip Si4463.
- EL xip nRF24L01 té més capacitat de comunicar-se amb altres xips doncs té més canals i més ports per canal.
- El cost base del xip nRF24L01 és més baix que el del xip Si4463.

Els inconvenients, per això, són importants i s'han de tenir en compte: el xip nRF24L01 per tal de comunicar-se sense perdre la connexió necessita una font d'alimentació molt estable. El convertidor DC/DC de 5 V a 3,3 V de l'Arduino UNO Rev3 no és suficientment estable com per a alimentar el xip així que es requereix un convertidor extern. També cal destacar que la freqüència d'operació del xip se solapa amb la freqüència WiFi altament present en els habitatges. Per a evitar interferències es modificarà via *software* la freqüència de transmissió al rang entre 2,500 GHz i 2,525 GHz.

3.2.1. Funcionament del xip nRF24L01.

El xip de comunicació de radiofreqüència nRF24L01 es comunica a freqüències entre els 2,400 GHz (WiFi) i els 2,525 GHz (microones). Disposa d'un filtre digital que permet la separació de totes les senyals d'entrada per freqüència i descodificadors digitals que li permeten separar les senyals de la mateixa freqüència en funció d'unes adreces. Ho podem veure a la Figura 22 extreta de la fulla d'informació del fabricant on se'ns mostra com un xip amb el rol de *master* configurat a una freqüència determinada pot comunicar-se amb 6 *slaves* a la vegada.

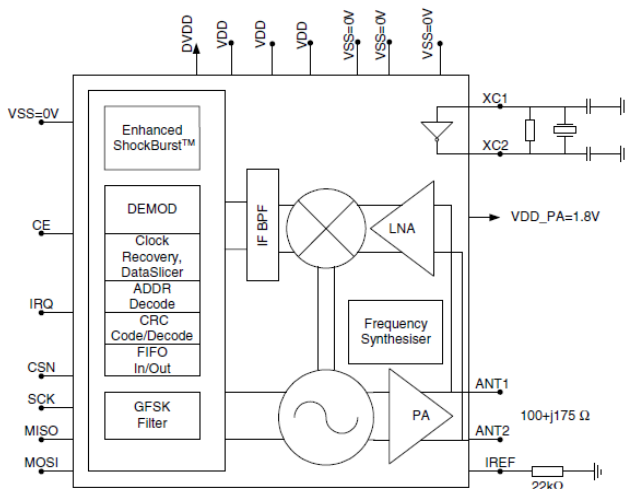


Figura 21: Diagrama de blocs del xip nRF24L01 amb components externs. Font: (Nordic Semiconductor ASA, 2006).

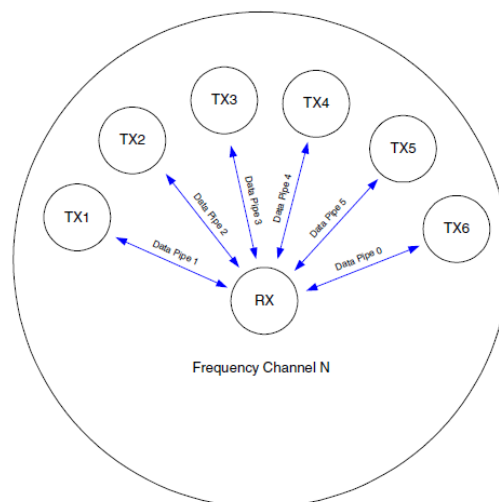


Figura 22: Comunicació master-slave del xip nRF24L01. Font: (Nordic Semiconductor ASA, 2006)

D'aquesta forma podem calcular el nombre màxim d'*slaves* que pot tenir cada *master*:

$$n_{\text{màxim}} = n_{\text{freqüències}} \cdot 6 = 125 \cdot 6 = 750 \text{ xips}$$

Equació 1

De sobres per al nostre propòsit, tenint en compte que en cas de necessitar més comunicacions podríem dissenyar un esquema en arbre amb varis *masters* i varis *slaves*.

El sistema de comunicació entre dos xips està definit en el controlador de la comunicació del xip i els seus registres. De forma simple, el missatge consisteix de quatre parts:

- **Preamble** que serveix per a detectar els nivells lògics 0 i 1 de l'entrada RX i transportar-los a la sortida TX.
- L'**adreça** conté la "contrasenya" que permetrà identificar el missatge pel receptor.
- La **payload** o **càrrega útil** és la part del missatge que realment volem transmetre; és a dir: la informació.
- **CRC** o **control de redundància cíclica** conté els protocols de comprovació d'errors polinòmics que poden ser o bé de 8 bits ($x^8 + x^2 + x + 1$) o bé de 16 bits ($x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$).

Preamble	Address 3-5 byte	Payload 1 - 32 byte	CRC 0/1/2 byte
----------	------------------	---------------------	----------------

Figura 23: Mida i configuració del missatge transferit entre els xips nRF24L01. Font: (Nordic Semiconductor ASA, 2006)

El preamble és generat automàticament pel mateix xip, el mateix passa amb el control de redundància cíclica que el calcula el xip de forma interna.

La màxima corrent que necessita el xip nRF24L01 per a funcionar és de **12,3 mA** (Nordic Semiconductor ASA, 2006).

3.2.2. El protocol de funcionament del xip nRF24L01.

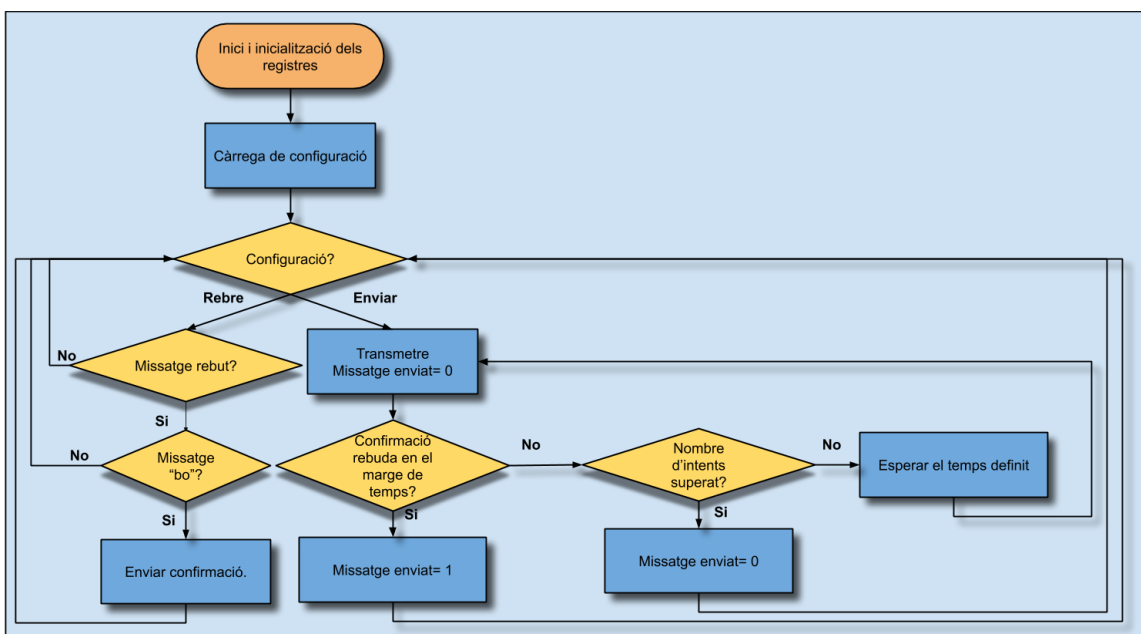


Figura 24: Ordinograma de l'algorisme recursiu que controla el funcionament de l'enviament i la rebuda de dades del xip nRF24L01. Font: pròpia.

Com podem veure a la figura, el protocol de funcionament del xip de comunicació és bastant complex. Com s'ha mencionat amb anterioritat, fa servir protocols polinòmics per a comprovar que el missatge rebut és correcte i envia sempre una confirmació que va des del receptor a l'emissor. Si aquesta confirmació no es rep vol dir que la comunicació ha fallat i s'ha de tornar a intentar un nombre de vegades definit en els registres que pot ser modificat (o eliminat, creant així un bucle infinit molt perillós a nivell d'execució); aquests intents se separen temporalment per un temps definit igualment en els registres del xip. A continuació s'explica aquest protocol amb més detall:

L'enviament: el protocol d'enviament de dades comença seleccionant el xip com a transmissor, l'adreça d'enviament i carregant un missatge a transmetre al registre corresponent del xip. Donades aquestes condicions, la transmissió comença quan el pin CE es manté a nivell alt durant $10 \mu s$. Un cop ha acabat de transmetre immediatament es col·loca en mode recepció esperant el missatge d'ACK (*auto acknowledgement*) durant el temps definit en el registre corresponent. Si no es rep, ho torna a intentar un nombre de vegades definides manualment (o infinitament si no s'ha definit aquest nombre). Un cop s'ha rebut l'ACK, transmet al microcontrolador connectat la confirmació de rebuda. En aquest moment finalitza el protocol d'enviament i, o bé entra en *standby* (CE a nivell baix), o el repeteix (CE a nivell alt).

La recepció: el protocol de recepció de dades se selecciona activant l'adreça (*pipe*) o adreces que poden rebre missatges i la freqüència de recepció, així com la velocitat d'aquesta. També s'ha de modificar el registre d'enviament per tal de què el protocol s'executi correctament. Amb aquesta informació carregada, s'activa el pin CE del xip i al cap de $130 \mu s$ l'nRF24L01 comença a monitoritzar l'aire esperant rebre alguna senyal. Quan rep un senyal vàlid (es comprova l'adreça i el protocol CRC) el xip transmet el missatge al registre de sortida i envia un ACK a l'emissor. En aquest moment finalitza el protocol de recepció i, o bé entra en *standby* (CE a nivell baix), o el repeteix (CE a nivell alt).

3.3. Els sensors.

L'objectiu d'aquest treball resideix en la capacitat del sistema de mesurar temperatura i humitat. S'han escollit aquestes dues variables climàtiques a causa del seu impacte directe, junt amb el vent, per modificar la sensació tèrmica dels humans.

3.3.1. La sensació tèrmica.

La sensació tèrmica és aquella reacció del cos humà envers el conjunt de condicions climàtiques que determinen l'ambient des d'un punt de vista tèrmic. En anglès s'anomena *apparent temperature*.

Aquest efecte s'aprecia sobretot en condicions climàtiques extremes com, per exemple, el clima mediterrani a l'estiu on l'alta humitat relativa a l'ambient juntament amb les altes temperatures provoquen que les persones sentin una temperatura major a la real; o a les antípodes climatològiques, l'absència d'humitat en ambients molt freds provoca la sensació contrària: fred extrem i congelació.

Això és degut al mètode de refredament del cos humà que es basa en la suor o transpiració, la taxa d'evaporació d'aigua del cos depèn altament a la concentració d'aigua de l'exterior ja que funciona com un sistema osmotitzat.

A partir d'aquesta taula i per mètodes de regressió lineal es proposa la següent equació (Stull, 2000):

$$T_{\text{sensació}} = -42,379 + 2,0490 \cdot T + 10,1433 \cdot H_{\text{relativa}} - 0,2248 \cdot T \cdot H_{\text{relativa}} - 0,0068 \cdot T^2 - 0,0548 \cdot H_{\text{relativa}}^2 + 0,0012 \cdot T^2 \cdot H_{\text{relativa}} + 0,0009 \cdot T \cdot H_{\text{relativa}}^2$$

Equació 2

On la temperatura es mesura en °F i la humitat relativa (HR, d'Humitat Relativa) en %.

Requerint el canvi d'unitats de °C a °F quan sigui necessari:

$$T[°F] = T[°C] \cdot 1,8 + 32$$

Equació 3

NOAA national weather service: heat index

Temperature \ Relative humidity	80 °F (27 °C)	82 °F (28 °C)	84 °F (29 °C)	86 °F (30 °C)	88 °F (31 °C)	90 °F (32 °C)	92 °F (33 °C)	94 °F (34 °C)	96 °F (36 °C)	98 °F (37 °C)	100 °F (38 °C)	102 °F (39 °C)	104 °F (40 °C)	106 °F (41 °C)	108 °F (42 °C)	110 °F (43 °C)
40%	80 °F (27 °C)	81 °F (28 °C)	83 °F (29 °C)	85 °F (30 °C)	88 °F (31 °C)	91 °F (33 °C)	94 °F (34 °C)	97 °F (36 °C)	101 °F (38 °C)	105 °F (41 °C)	109 °F (43 °C)	114 °F (46 °C)	119 °F (48 °C)	124 °F (51 °C)	130 °F (54 °C)	136 °F (58 °C)
45%	80 °F (27 °C)	82 °F (28 °C)	84 °F (29 °C)	87 °F (31 °C)	89 °F (32 °C)	93 °F (34 °C)	96 °F (36 °C)	100 °F (38 °C)	104 °F (40 °C)	109 °F (43 °C)	114 °F (46 °C)	119 °F (48 °C)	124 °F (51 °C)	130 °F (54 °C)	137 °F (58 °C)	
50%	81 °F (27 °C)	83 °F (28 °C)	85 °F (29 °C)	88 °F (31 °C)	91 °F (33 °C)	95 °F (35 °C)	99 °F (37 °C)	103 °F (39 °C)	108 °F (42 °C)	113 °F (45 °C)	118 °F (48 °C)	124 °F (51 °C)	131 °F (55 °C)	137 °F (58 °C)		
55%	81 °F (27 °C)	84 °F (29 °C)	86 °F (30 °C)	89 °F (32 °C)	93 °F (34 °C)	97 °F (36 °C)	101 °F (38 °C)	106 °F (41 °C)	112 °F (44 °C)	117 °F (47 °C)	124 °F (51 °C)	130 °F (54 °C)	137 °F (58 °C)			
60%	82 °F (28 °C)	84 °F (29 °C)	88 °F (31 °C)	91 °F (33 °C)	95 °F (35 °C)	100 °F (38 °C)	105 °F (41 °C)	110 °F (43 °C)	116 °F (47 °C)	123 °F (51 °C)	129 °F (54 °C)	137 °F (58 °C)				
65%	82 °F (28 °C)	85 °F (30 °C)	89 °F (32 °C)	93 °F (34 °C)	98 °F (37 °C)	103 °F (39 °C)	108 °F (42 °C)	114 °F (46 °C)	121 °F (49 °C)	128 °F (53 °C)	136 °F (58 °C)					
70%	83 °F (28 °C)	86 °F (30 °C)	90 °F (32 °C)	95 °F (35 °C)	100 °F (38 °C)	105 °F (41 °C)	112 °F (44 °C)	119 °F (48 °C)	126 °F (52 °C)	134 °F (57 °C)						
75%	84 °F (29 °C)	88 °F (31 °C)	92 °F (33 °C)	97 °F (36 °C)	103 °F (39 °C)	109 °F (43 °C)	116 °F (47 °C)	124 °F (51 °C)	132 °F (56 °C)							
80%	84 °F (29 °C)	89 °F (32 °C)	94 °F (34 °C)	100 °F (38 °C)	106 °F (41 °C)	113 °F (45 °C)	121 °F (49 °C)	129 °F (54 °C)								
85%	85 °F (29 °C)	90 °F (32 °C)	96 °F (36 °C)	102 °F (39 °C)	110 °F (43 °C)	117 °F (47 °C)	126 °F (52 °C)	135 °F (57 °C)								
90%	86 °F (30 °C)	91 °F (33 °C)	98 °F (37 °C)	105 °F (41 °C)	113 °F (45 °C)	122 °F (50 °C)	131 °F (55 °C)									
95%	86 °F (30 °C)	93 °F (34 °C)	100 °F (38 °C)	108 °F (42 °C)	117 °F (47 °C)	127 °F (53 °C)										
100%	87 °F (31 °C)	95 °F (35 °C)	103 °F (39 °C)	112 °F (44 °C)	121 °F (49 °C)	132 °F (56 °C)										

Key to colors: Caution Extreme caution Danger Extreme danger

Figura 25: taula amb les principals conversions de temperatura i humitat. Font: National Oceanic and Atmospheric Administration.

3.3.2. El sensor d'humitat i temperatura.

L'elecció del sensor dependrà àmpliament en la sensibilitat i la resolució de l'aparell, el seu cost i la dificultat d'ús. També s'ha valorat que el mateix sensor incorpori els dos transductors encarregats de mesurar les variables i que la comunicació i l'adquisició i el processament de dades sigui senzill. Amb aquests requisits s'han valorat els següents sensors:

Paràmetre	AM2320	SHT85	HDC2080
Precisió Temperatura	± 0,5 °C	± 0,1 °C	± 0,4 °C
Precisió Humitat	± 3 %	± 1,5 %	± 3 %
Rang Temperatura	-20 °C a 80 °C	-40 °C a 120 °C	-40 °C a 85 °C

Tipus de comunicació	Digital, I ² C	Digital, I ² C	Digital, I ² C
Tensió d'alimentació	5 V	3,3 V	3,3 V
Consum de corrent	350 μ A	1,7 μ A	550 nA
Preu	3,45 €	25,52 €	2,65 €
Temps d'enviament	3 setmanes	7 setmanes	5 setmanes

Taula 5: Taula comparativa entre diferents sensors. Font: (Mouser Electronics)

Donat que el consum de corrent no és una característica limitant en el nostre projecte (no funciona amb bateries) i degut a la relació entre preu i temps d'arribada del producte, s'ha escollit el sensor AM2320, que té una precisió suficientment alta com per a mesurar la temperatura d'una estança. Tot i així, si es disposés d'un pressupost més elevat i més temps per a desenvolupar el projecte, el sensor SHT85 se situa com la millor opció.

Les característiques físiques del sensor escollit es mostren en les següents figures i taules:

Paràmetre	Mínim	Típic	Màxim	Unitat
Resolució		0,1		% HR
Rang	0		99,9	% HR
Precisió		± 3		% HR
Repetibilitat		$\pm 0,1$		% HR
Temps de resposta		< 5		s
Deriva		< 0,5		$\frac{\% HR}{any}$

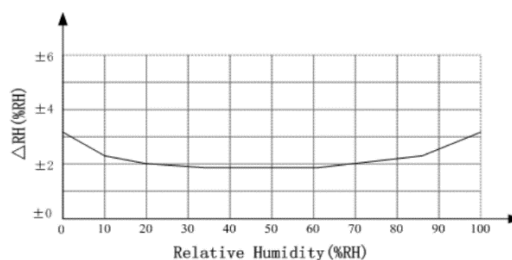


Figura 26: Error del sensor de humitat en funció de la humitat real.

Taula 6: Característiques del sensor d'humitat.

Paràmetre	Mínim	Típic	Màxim	Unitat
Resolució		0,1		$^{\circ}$ C
Rang	-40		80	$^{\circ}$ C
Precisió		$\pm 0,5$		$^{\circ}$ C
Repetibilitat		$\pm 0,2$		$^{\circ}$ C
Temps de resposta		< 5		s
Deriva		$\pm 0,1$		$\frac{^{\circ}C}{any}$

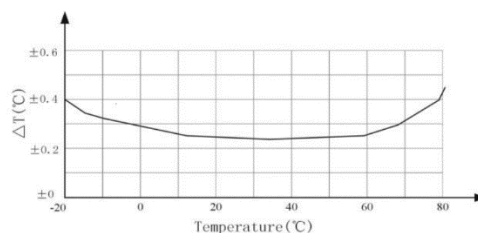


Figura 27: Error del sensor de temperatura en funció de la temperatura real.

Taula 7: Característiques del sensor de temperatura.

Afegidament, el fabricant recomana usar dos resistors de *pull-up* connectats dels pins *SDA* i *SCL* a V_{CC} per tal d'ajudar al conjunt del sistema proporciona la tensió necessària per als protocols de comunicació.

El consum de corrent segons el fabricant és de **950 μA** en el cas menys favorable (Aosong Electronics, 2018).

3.4. Les interfícies home-màquina.

3.4.1. La pantalla.

El display LCD usat el fabrica l'empresa *KeyStudio* i és un *display* LCD de quatre línies i vint caràcters per línia altament configurable. Aquest prototip incorpora el controlador I²C **PCF8574** que és una expansió de 8 bits per bus I²C d'alt corrent capaç d'il·luminar LEDs petits (Texas Instruments, 2015).

Aquest component té quatre pins que es corresponen de la següent manera:

Pin	Connexió
<i>V_{CC}</i>	Alimentació a 5 V (recomanat) (2,5 V a 7 V límits)
<i>Gnd</i>	Massa.
<i>SDA</i>	Pin A4. Informació en sèrie.
<i>SCL</i>	Pin A5. Rellotge en sèrie.

Taula 8: esquema de pins del display LCD.

El corrent màxim que drena aquest component, segons el fabricant, és de **25 mA**. (KeyStudio, 2017)

3.4.2. El potenciòmetre.

Inicialment es va valorar l'opció de fer servir dos botons ($\uparrow \downarrow$) per a modificar la consigna, però donat a que es requeria l'ús d'interrupcions i aquestes es va decidir usar-les per a altres paràmetres (com es veu a l'apartat 3.4.3), al final es va decidir l'ús d'un potenciòmetre que donés l'efecte clàssic de gir dels antics termòstats.

El potenciòmetre s'alimenta a 5 V i es connecta el cursor a l'entrada analògica A0 del microcontrolador. Usant el descodificador analògic digital de 10 bits podem calcular la resolució:

$$10 \text{ bits} \equiv 2^{10} \text{ estats} \equiv 1024 \text{ estats} \quad \text{Equació 4}$$

$$\frac{\Delta V}{2^{\text{bits}}} = \text{resolució ADC} \Rightarrow \frac{5 \text{ V} - 0 \text{ V}}{2^{10}} = 48 \text{ mV/bit} \quad \text{Equació 5}$$

Per al càlcul de la temperatura establirem un límit superior i inferior en l'escala: 15 °C per sota i 30 °C per sobre, que són valors comuns d'un habitatge on rarament s'hi viu per sota de 15 °C, a l'hivern, o per sobre de 30 °C, a l'estiu.

Com que la precisió del nostre sensor de temperatura és de 0,1 °C i la precisió és de 0,5 °C, establirem la resolució del que anomenarem el *sistema d'adquisició de consigna* a 0,5 °C, doncs una menor resolució no tindria sentit, ja que no podríem constatar si realment som en aquella temperatura o no.

$$\frac{5 V}{30\text{ }^{\circ}\text{C} - 15\text{ }^{\circ}\text{C}} = 333 \frac{\text{mV}}{\text{ }^{\circ}\text{C}} \quad \text{Equació 6}$$

Per tant, ja que

$$333 \frac{\text{mV}}{\text{bit}} > 48 \frac{\text{mV}}{\text{bit}} \quad \text{Equació 7}$$

Podem veure que el descodificador analògic digital del microprocessador és prou potent com per a realitzar la conversió sense problema.

D'aquesta forma podem calcular els bits que necessitem que s'activin per cada increment:

$$\frac{333 \frac{\text{mV}}{\text{bit}}}{48 \frac{\text{mV}}{\text{bit}}} = 6,94 \text{ salts} \approx 7 \text{ salts} \quad \text{Equació 8}$$

Una altra forma de calcular-ho seria usant una regressió lineal aprofitant la linealitat del potenciòmetre de la forma següent:

$$y = m \cdot x + n \Rightarrow T_{\text{consigna}}(V_{in}) = m \cdot V_{in} + n \quad \text{Equació 9}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 30\text{ }^{\circ}\text{C} = m \cdot 1024 \text{ bit} + n \\ 15\text{ }^{\circ}\text{C} = m \cdot 0 \text{ bit} + n \end{array} \right\} \quad \text{Equació 10}$$

Un sistema de dues equacions de primer grau i dues incògnites, una única solució tal que:

$$\left\{ \begin{array}{l} m = 0,0146 \frac{\text{ }^{\circ}\text{C}}{\text{bit}} \\ n = 15\text{ }^{\circ}\text{C} \end{array} \right\} \Rightarrow T_{\text{consigna}}(V_{in}) = 0,0146 \frac{\text{ }^{\circ}\text{C}}{\text{bit}} \cdot V_{in} + 15\text{ }^{\circ}\text{C} \quad \text{Equació 11}$$

Sempre tenint en compte que, en aquest cas, és realitza una conversió analògica i no discreta, a diferència de la que en realitat realitza l'ADC i la que necessitem nosaltres. Tot i així, aquesta conversió discreta es pot programar per *software* tal i com s'ha fet en aquest projecte i es veurà més endavant.

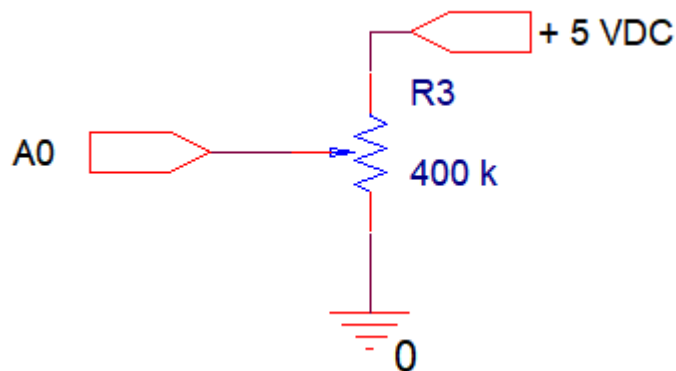


Figura 28: esquema elèctric del connexionat del potenciòmetre.

Per a calcular el corrent que hauria de subministrar la font per tal de què el dispositiu funcioni correctament usarem la clàssica llei d'ohm assumint que l'entrada del dispositiu presenta una impedància infinita.

$$V = R \cdot I \Rightarrow I = \frac{V}{R} = \frac{5 \text{ V}}{400 \text{ k}\Omega} = 12,5 \mu\text{A}$$

Equació 12

Així doncs, el corrent consumit serà de **12,5 μA**.

3.4.3. Els botons.

Els botons es connecten amb el següent esquema a les entrades digitals D2 i D3 del microcontrolador que corresponen a les interrupcions. S'ha escollit aquest mètode perquè la durada total del *loop* del programa podria ser més llarg que no el temps que es mantingui premut el botó, la qual cosa provocaria un error en la detecció.

El microcontrolador escollit només presenta dues interrupcions en els pins d'entrada digital 2 i 3 i per aquest motiu només es poden introduir dues funcionalitats pels botons.

Les interrupcions en aquest microcontrolador es poden activar de moltes maneres, la que escollim nosaltres és per flanc de baixada. Per això farem ús de resistors de *pull-up* externs; tot i que el mateix microcontrolador disposa de resistors de *pull-up* interns programables de 30 kΩ a 50 kΩ (varien molt en funció de la temperatura i la producció), no els usarem doncs un error en el codi o una sobretensió/sobrecorrent o accident elèctric similar podrien alterar el funcionament del *software* i desprogramar el microcontrolador i es provocarien danys involuntaris en aquest.

Per aquest motiu, s'escullen resistors de $4,7\text{ k}\Omega$, un valor suficientment alt com perquè el corrent fluctuant no ataquí el microcontrolador però suficientment baix com perquè detecti la diferència entre nivell alt i nivell baix.

Problemes de *debounce*: el *debounce* és l'efecte electromecànic produït en els contactes quan aquests s'activen i es desactiven. Un contacte mecànic acostuma a estar format per dues peces conductores que s'ajunten i se separen per conduir o aïllar un sistema. En aquest procés, quan les dues peces es troben molt a prop, es poden modelitzar com a condensadors de capacitàncies molt baixes que provoquen l'efecte elèctric que es pot veure a continuació:

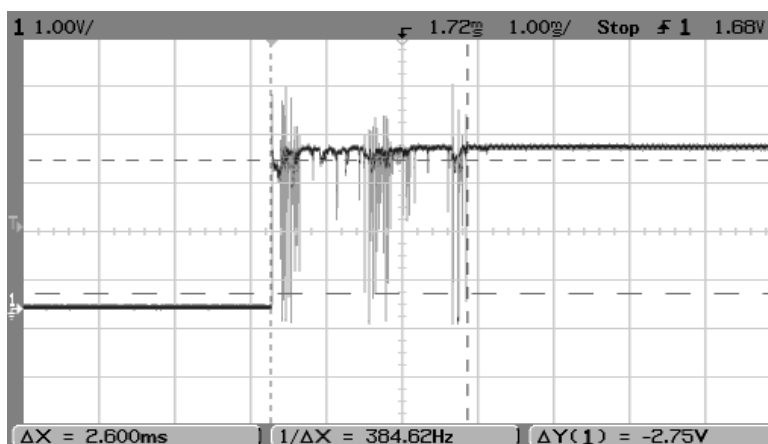


Figura 29: Bounce per flanc de pujada en un oscil·loscopi digital. Font: www.commons.wikimedia.org.

Com es pot comprovar en la figura, això provocaria en el microprocessador multitud d'entrades incongruents que alterarien el correcte funcionament del programa.

Per a solucionar aquest problema es poden optar per dues solucions diferents: el *debounce* per *hardware* i el *debounce* per *software*.

Per aquest projecte s'ha optat per usar una combinació dels dos i així reduir dràsticament les possibilitats d'error.

El *debounce* per *software* s'explicarà en el seu apartat corresponent (4.1.2). En aquest apartat ens limitarem a explicar que via digital s'eludeixen totes les entrades en un temps establert després del primer canvi, ignorant així qualsevol flanc que arribi al microcontrolador en aquell temps.

El *debounce* per *hardware* es realitza col·locant un condensador en paral·lel al polsador que tindrà l'objectiu de suavitzar tots aquells canvis bruscos no desitjats.

Per escollir el valor del condensador s'ha de tenir en compte dues coses: el temps que triga el botó a finalitzar la baixada (quan deixen d'haver-hi pics) i el resistor usat:

$$t_{min} < 5 \cdot \tau_{RC} = 5 \cdot R \cdot C \quad \text{Equació 13}$$

Com que desconexem el temps mínim usarem un valor fixat de 25 ms i comprovarem que no hi hagi cap mena de *bouncing*. Afegidament, el temps fixat per *software* serà més elevat a fi d'augmentar la seguretat.

$$R = 4,7 \text{ k}\Omega; \tau = R \cdot C \Rightarrow \tau = 4,7 \text{ k}\Omega \cdot C \Rightarrow C = \frac{\tau}{4,7 \text{ k}\Omega} \quad \text{Equació 14}$$

$$\tau > \frac{t_{min}}{5} \Rightarrow C > \frac{t_{min}}{5 \cdot R} \Rightarrow \frac{25 \text{ ms}}{5 \cdot 4,7 \text{ k}\Omega} \approx 1 \mu\text{F} \quad \text{Equació 15}$$

Per tant, el condensador necessari serà de $C = 1 \mu\text{F}$.

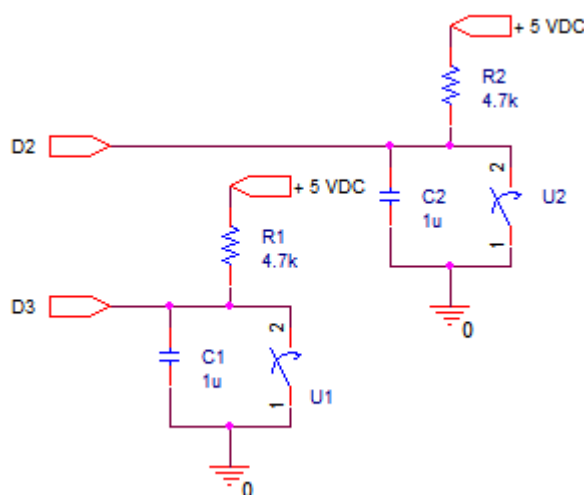


Figura 30: esquema elèctric del connexionat dels botons.

Igual que en l'apartat anterior, calcularem el màxim corrent consumit com:

$$V = R \cdot I \Rightarrow I = \frac{V}{R} = \frac{5 \text{ V}}{4,7 \text{ k}\Omega} = 1,07 \text{ mA} \quad \text{Equació 16}$$

I, assumint que en cap moment els dos pulsadors estaran activats a la vegada, el màxim corrent consumit serà d'**1,07 mA**.

3.5. Els actuadors.

Els actuadors necessaris per a la modificació de la temperatura són dos: un motor capaç de fer girar unes aspes que generen un corrent d'aire ajudant així la velocitat de transmissió de temperatura i l'homogeneïtat d'aquesta i un resistor calefactor o element similar que s'encarregui d'eleva la temperatura d'aquest aire.

Amb l'objectiu d'abaratir costos s'ha decidit implementar el sistema de potència a baixa tensió ($12 V_{DC}$) i no a alta tensió ($220 V_{DC}$) per dos motius:

- La diferència entre les dues implementacions són les magnituds dels càlculs de potència.
- El preu entre els components d'alta potència i baixa potència és significativament dispar.

Així doncs, es decideix usar un motor de $12 V_{DC}$ per a realitzar la funció de ventilador i un resistor o una cèl·lula termoelèctrica per a realitzar la funció de calefactor.

3.5.1. El motor.

El motor ha de ser un motor de baixa potència i treballar a un voltatge de 12 V. S'ha valorat, no gensmenys, usar un motor de menor potència (treballant a 9 V o 6 V), però requeriria de reguladors de tensió addicionals que encaririen el preu del circuit. Així doncs, donat el catàleg i les característiques necessàries, s'ha escollit un motor que presenta les següents característiques:

Tensió d'alimentació	Màxim rendiment			Bloqueig	
	Velocitat	Corrent	Parell motor	Corrent	Parell motor
12 V	7177 rpm	0,21 A	20,5 g · cm	1 A	117 g · cm

Taula 9: Característiques del motor. Font: <http://mini-dcmotor.sell.everychina.com>.

Així doncs, el consum màxim és d'**1 A**.

3.5.2. El calefactor.

Per a escalfar l'aire s'ha escollit una cèl·lula PTC (sigles de l'anglès *Positive Temperature Coefficient*, coeficient positiu de temperatura) de baixa potència destinada a electrodomèstics d'ús comú com cafeteres o el sector de l'automobilisme. També poden usar-se com a sensors de temperatura si el que es fa es detectar el canvi de la resistència del component, però al ser una relació matemàtica bidireccional, poden usar-se a l'inrevés: com a calefactores.

Les PTCs són resistors la resistència de les quals augmenta de forma no-lineal en funció de la temperatura. Aquest fet els dona molta seguretat, doncs no requereixen proteccions perquè s'auto-limiten per l'efecte que té la temperatura en els resistors:

$$\Delta R \propto \Delta T$$

Equació 17

L'aplicació d'una diferència de tensió ΔV en borns d'un element resistiu genera un corrent I i una potència P tal que:

$$V = R \cdot I$$

Equació 18

$$P = V \cdot I$$

Equació 19

Aquest corrent I genera per efecte Joule un augment de temperatura T en l'element resistiu que, per les mateixes propietats elementals de l'element, implica un augment de la resistència elèctrica R .

Aquest augment de la resistència elèctrica implica que, com es veu en l'Equació 18, disminueixi el corrent elèctric, disminuint així la potència dissipada. La disminució del corrent elèctric implica una disminució de la temperatura, que implica una disminució de la resistència, que implica un augment de la temperatura... i així *ad eternum*.

Aquest procés es pot veure en detall a la Figura 31.

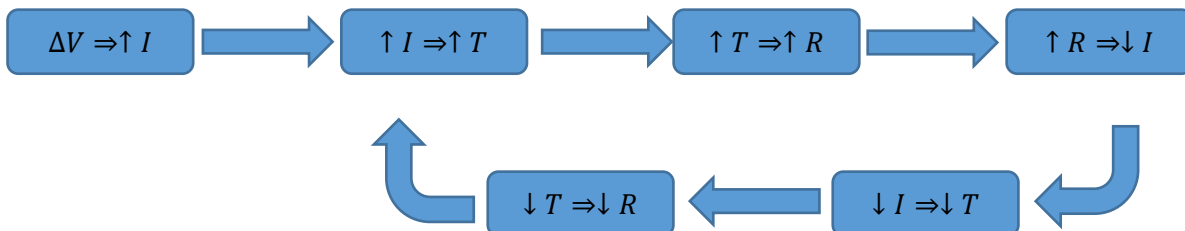


Figura 31: Diagrama de blocs del funcionament de l'autolimitació de temperatura en un element resistiu. Font: pròpia.

La PTC escollida arriba fins a 220 °C amb una potència de 28 W tot i què en el nostre cas no se li subministrerà tanta potència.

Per tant, la corrent drenada serà variable, la qual cosa ens donarà facilitat a l'hora de dissenyar les fonts.

3.5.3. L'activació i control.

Per a controlar els actuadors es farà servir un relé electromecànic per a cada actuador. Aquest relé s'activarà amb una de les sortides digitals del microcontrolador, per aquest motiu la bobina ha de poder ser activada a 5 V. El circuit proposat és el següent:

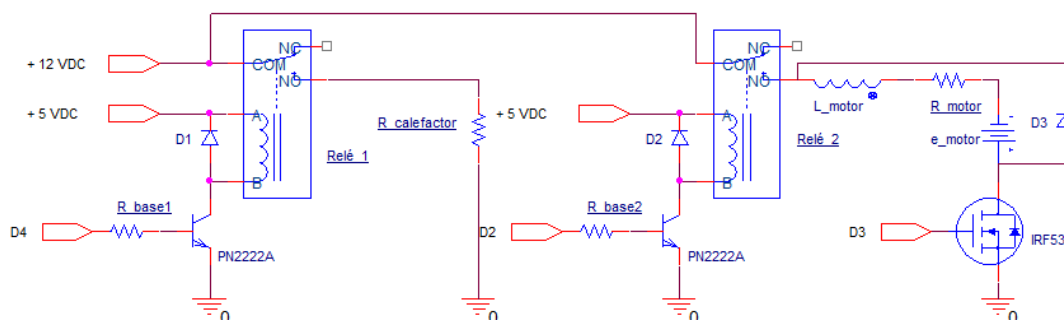


Figura 32: Circuit elèctric de control dels actuadors. Font: pròpia.

Bobina			Contacte		
U_N	P_N	I_N	U_N	P_N	$I_{m\grave{a}x}$
5 V	0,5 W	100 mA	12,5 V	125 W	20 A

Taula 10: Característiques del relé 40.31. Font: (Finder, 2013).

Per al control de l'obertura dels relés electromecànics s'usen els transistors NPN **PN2222** connectats a la sortida de 5 V de l'Arduino, ja que les sortides digitals no donen suficient corrent per a l'activació de la bobina. S'esullen aquests transistors perquè tenen un guany de corrent elevat ($h_{fe} = 100$, valor mínim) i baixa tensió V_{CE} . També es podrien haver usat dos transistors NPN **BC547** perquè presenten unes característiques molt similars.

$V_{out\ micro}$	$I_{out\ micro}$	$h_{fe\ min}$	$V_{BE\ sat}$	$V_{CE\ sat}$
5 V	20 mA	35	2 V	1 V

Taula 11: Característiques del transistor PN2222. Font: (FairChild; ON Semiconductors, 2018).

Per a calcular la resistència que hauria de tenir el resistor a la sortida digital del microcontrolador farem servir la llei d'Ohm de la següent manera:

$$R_{base} = \frac{(V_{out\ micro} - V_{BE\ sat})}{\frac{I_N}{h_{fe\ min}}} = \frac{(5\ V - 2\ V)}{\frac{100\ mA}{35}} = 1050\ \Omega \approx 1\ k\Omega \quad \text{Equació 20}$$

Per tant, el resistor que necessitem tindrà una resistència d'1 kΩ.

Per a protegir el circuit de sobrecorrents, s'ha decidit posar dos díodes **1N4004** en borns de les bobines dels relés i del motor per a controlar la descàrrega dels inductors.

Per al control de la velocitat del motor s'usarà la sortida *PWM* del microcontrolador connectada al transistor MOSFET **IRF530** que compleix els requisits de corrent, tensió, velocitat, preu de cost i disponibilitat. S'ha escollit aquest mètode i no un pont en H perquè no es requereix realitzar un canvi de sentit en la direcció de gir del motor ni una frenada brusca. A més a més, al ser un motor amb escombretes l'aturada estant desconectat es més suau i no produeix canvis bruscos.

Els senyals *PWM* són un tipus de senyals que són capaces de modificar la tensió mitjana de la sortida a partir del control del cycle de treball.

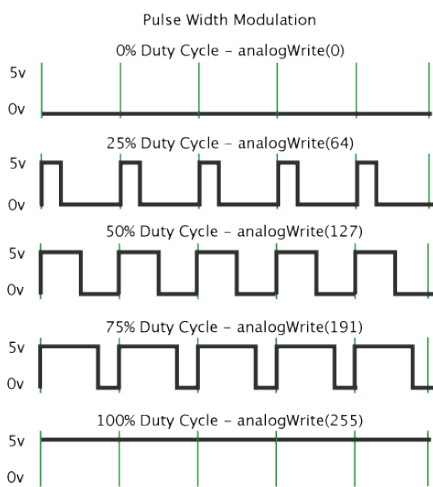


Figura 33: Funcionament del cycle de les senyals *PWM* en l'Arduino. Font: www.arduino.cc.

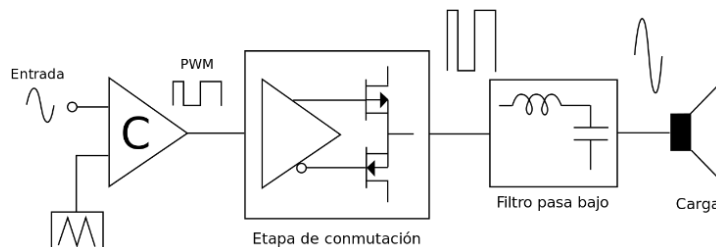


Figura 34: Diagrama de blocs del funcionament de les senyals *PWM*. Font: www.wikipedia.com.

Per a calcular el valor mitjà del senyal de sortida, partirem de l'equació de la tensió mitja en un senyal temporal:

$$V_{mig} = \frac{1}{T} \cdot \int_t^{t+T} v(t)dt \tag{Equació 21}$$

I donat que els senyals digitals *PWM* de l'arduino donen una tensió de 5 V en estat alt i 0 V en estat baix:

$$v(t) = \begin{cases} 5 V, & 0 < t < T \cdot DC \\ 0 V, & T \cdot DC < t < T \end{cases} \tag{Equació 22}$$

$$\begin{aligned}
 V_{mig} &= \frac{1}{T} \cdot \int_t^{t+T} v(t)dt = \frac{1}{T} \cdot \left(\int_0^{T \cdot DC} (5 V)dt + \int_{T \cdot DC}^T (0 V)dt \right) \\
 &= \frac{1}{T} \cdot (5 V \cdot T \cdot DC - 5 V \cdot 0 + 0 V) = \frac{1}{T} \cdot (5 V \cdot T \cdot DC) \\
 &= 5 V \cdot DC
 \end{aligned}$$

Equació 23

Per tant, el V_{mig} de la senyal de sortida serà una relació directa entre la tensió a nivell alt i el cicle de treball.

Ara bé, sabem que el senyal de sortida del microcontrolador per a sortides PWM s'expressa en bits, ja que utilitza un convertidor DAC (de l'anglès **D**igital to **A**nalog **C**onversor, convertidor digital a analògic) de 4 bits, és a dir, té una sortida amb 255 valors possibles (1 a 255). El DC de la nostra senyal serà proporcional a aquest valor numèric. Per aquest motiu, d'ara endavant mencionarem únicament el valor de sortida per *software* i no el valor real del cicle de treball.

Com és ben conegut, tots els motors requereixen una tensió d'arrancada que és més elevada que la tensió de funcionament. Això és degut al fet que la fricció estàtica entre elements és més elevada que la fricció dinàmica. Aquest detall el podem veure a la Figura 35.

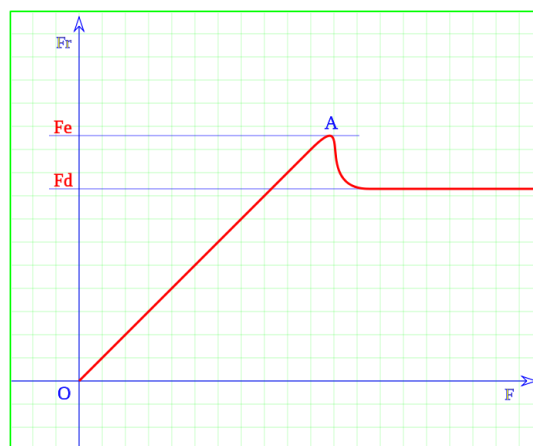


Figura 35: Gràfic que mostra la fricció que oposa un objecte inicialment en repòs (eix y) en funció de la força aplicada per a afavorir el moviment (eix x). El moviment es dona a partir de l'instant A. Font: www.wikipedia.com.

Per a obtenir el valor d'aquesta tensió s'ha requerit proves pràctiques, ja que depèn altament de la càrrega a moure i del medi en el qual l'ha de moure. En el nostre cas, la càrrega són les aspes del ventilador i el medi l'aire.

Es comprova, incrementant bit a bit la sortida del microcontrolador que el valor necessari per a iniciar el moviment és de 40 i per a aturar-lo de 25. S'estableix, doncs, el valor mínim de velocitat en 40 i el valor màxim en 255.

Inicialment s'ha volgut establir un control proporcional integral derivatiu que acostuma a ser la millor elecció pel que fa a temps de resposta i error en estat estacionari, però la comunicació sense fils amb els xips nRF24L01 no és constant i periòdica doncs al no incorporar un rellotge comú en molts dels intents de comunicació (aproximadament el 50 % segons càlculs experimentals) fallen perquè o bé se solapen les recepcions o bé quan s'envia el missatge el receptor no està rebent. Aquest dificulta enormement el càlcul integral i derivatiu que es calcula en funció del temps i el període de mostreig.

Per aquest motiu s'ha establert únicament un control proporcional de la velocitat que, tot i que provoca un error en estat estacionari major que el control PI, PD o PID, es pot assumir perquè els canvis de temperatura i humitat en una estança com una habitació són molt lents.

La velocitat del motor es controla amb una equació lineal en funció de la temperatura de consigna, la temperatura de sensació i la potència màxima permesa introduïda per l'usuari. La potència màxima, amb tres valors, estableix la velocitat màxima essent aquesta

Potència	Velocitat màxima (bits)
1	150 de 255
2	200 de 255
3	250 de 255

Taula

12:

relació entre la potència i la velocitat màxima. Font: pròpia.

El control d'aquest actuator és un control proporcional que es realitza mitjançant una funció lineal que disminueix o augmenta la velocitat de l'aparell en funció de l'error de temperatura. L'equació lineal s'ha establert de la següent manera:

$$v_{motor} = K_p \cdot e(t) + v_0 \quad \text{Equació 24}$$

En la qual la v_0 és la velocitat mínima per a moure les aspes, la K_p la constant proporcional i l'error ve donat per la fórmula següent:

$$e(t) = T_{sensació}(t) - T_{consigna} \quad \text{Equació 25}$$

Sabent que la temperatura màxima és $T_{màx.} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ i la temperatura mínima és $T_{mín.} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$, tenim que:

$$e_{màx.} = T_{sensació\ màx.} - T_{consigna\ mín.} = 30 \text{ }^\circ\text{C} - 15 \text{ }^\circ\text{C} = 15 \text{ }^\circ\text{C} \quad \text{Equació 26}$$

Ahora, sabent que la velocitat màxima pot agafar únicament tres valors i aquests són coneguts, podem calcular la K_p de la següent manera:

$$v_{màx.} = K_p \cdot e_{màx.} + v_0 \quad \text{Equació 27}$$

$$v_{màx.} = K_p \cdot 15 \text{ }^\circ\text{C} + 40 \Rightarrow K_p = \frac{v_{màx.} - 40}{15 \text{ }^\circ\text{C}} \quad \text{Equació 28}$$

I prengui els valors discrets de la següent taula:

Potència	$V_{màx.}$	K_p
----------	------------	-------

1	150	7,33 °C ⁻¹
2	200	10,66 °C ⁻¹
3	250	14 °C ⁻¹

Taula 13: relació entre la potència, la velocitat màxima i la constant de proporcionalitat. Font: pròpia.

Així doncs, l'equació per al càlcul de la velocitat del motor ens queda de la següent manera:

$$v_{motor} = \left(\frac{v_{m\grave{a}x.} - 40}{15} \right) \cdot (T_{sensaci\grave{o}} - T_{consigna}) + 40 \quad \text{Equació 29}$$

Sempre i quant l'error sigui positiu el resultat serà superior a 40 i hi haurà moviment de motor i si el resultat és negatiu no hi haurà moviment degut a la baixa tensió i la corren serà consumida en va. Per aquest motiu s'ha escollit el següent sistema:

$$\left\{ \begin{array}{l} v_{motor} = \left(\frac{v_{m\grave{a}x.} - 40}{15} \right) \cdot e(t) + 40, \quad \text{si } e(t) > 0 \\ 0, \quad \text{si } e(t) < 0 \end{array} \right\} \quad \text{Equació 30}$$

Per a la regulació de la temperatura, com ja s'ha explicat en anteriors apartats, s'ha fet ús de dos actuadors: un motor funcionant com un ventilador i un resistor funcionant com a font de calor. El resistor calenta l'aire al seu voltant a través de la **conducció** i el ventilador ajuda a la conducció tèrmica per **convecció**.

El control d'aquests aparells s'ha realitzat de la següent manera:

L'element calefactor s'encén i s'apaga seguint la següent funció lògica:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Si } T_{consigna} > T_{sensaci\grave{o}} \Rightarrow \text{Resistor ON} \\ \text{Si } T_{consigna} < T_{sensaci\grave{o}} \Rightarrow \text{Resistor OFF} \end{array} \right\} \quad \text{Equació 31}$$

Per tant, el resistor és controlat a través d'un sistema de regulació tot o res.

3.6. L'alimentació.

Un cop analitzades les necessitats del nostre circuit podem procedir al disseny de l'alimentació. Al llarg d'aquest capítol s'han anat resumint les característiques elèctriques més importants de cada un dels elements que consten en el disseny, aquestes característiques seran usades en aquest apartat per a realitzar els càlculs i les suposicions necessàries per al disseny de les fonts d'alimentació i els convertidors.

En primer lloc, es necessitarà un convertidor de corrent alterna a corrent continua de $220 V_{AC}$ a $12 V_{DC}$ que sigui capaç de suportar els corrents que necessiten els components per placa. En segon lloc, es necessitarà un convertidor contínua-contínua que passi de la tensió de sortida de l'anterior convertidor a uns $8 V_{DC}$ i en tercer lloc un altre convertidor contínua-contínua que acabi de reduir la tensió $3,3 V_{DC}$ per a alimentar el xip de comunicació.

Per a saber quina hauria de ser la potència i el corrent necessari d'aquests convertidors usarem les taules següents, en les quals es resumeixen els càlculs dels apartats anteriors i s'exemplifiquen de forma escalonada. Noti's que s'han seleccionat en la majoria de casos els valors més extrems per a tenir un marge de seguretat suficientment elevat com per a no comprometre cap component. Noti's també que els 5 V els proporciona el microcontrolador i que per aquest motiu no estan inclosos en els càlculs de corrents.

Xip o circuit	Corrent màxima	Tensió necessària
Arduino	500 mA a 800 mA (extrem)	8 V
nRF24L01	12,3 mA (màxim, puntual)	3,3 V
AM2320	950 μ A	5 V
Potenciòmetre	12,5 μ A	5 V
Botons	1,07 mA (puntual)	5 V
Display LCD	25 mA	5 V
Relés	130 mA (cada un)	5 V
Motor	0,21 A	12 V
Cèl·lula PTC	De 0,5 A a 1 A	12 V

Taula 14: Corrents i tensions d'alimentació de cada xip o component. Font: pròpia.

Tensió	Controlador	Sensor	Actuador
3,3 V	12,3 mA	12,3 mA	12,3 mA
5 V	26,09 mA	950 μ A	260 mA
8 V	812,3 mA	812,3 mA	812,3 mA
12 V	812,3 mA	812,3 mA	Entre 1,5 A i 2 A

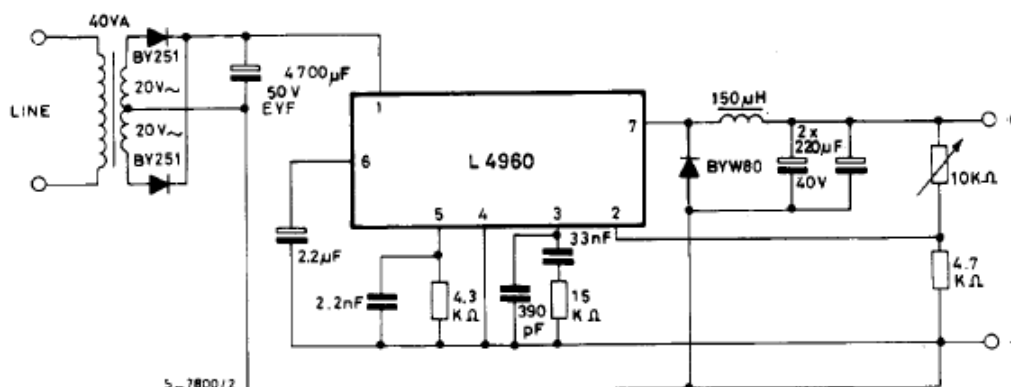
Taula 15: Corrent necessària a subministrar pels convertidors. Font: pròpia.

Com ja s'ha mencionat en apartats anteriors, la font d'alimentació únicament es dissenyarà, no es construirà donat l'alt preu que tenen els transformadors de mercat en comparació amb els convertidors AC/DC integrats que es poden trobar a les botigues d'electrònica.

El fabricant del regulador commutat de tensió **L4960** proporciona un esquema de circuit per al disseny de fonts d'alimentació. Aquest consta del circuit bàsic de l'L4960 en el qual es connecta a l'entrada un

transformador de $220 V_{AC}$ a $40 V_{AC}$, un pont de díodes rectificador de mitja ona i un condensador electrolític de molt alta capacitatància que suavitzi el senyal altern.

Segons el fabricant, aquesta construcció permet regular, a través d'un potenciòmetre, una càrrega de $5,1 V$ a $15 V$ i amb un corrent de sortida de $2,5 A$.



$V_o = 5.1V$ to $15V$
 $I_o = 2.5A$ max
 Load regulation (1A to 2A) = $10mV$ ($V_o = 5.1V$)

Figura 36: Esquema proposat pel fabricant per al disseny de fonts d'alimentació AC/DC. Font: (STMicroelectronics, 2000).

En el seu lloc, s'ha escollit un convertidor de $220 V_{AC}$ a $12 V_{DC}$ amb un corrent de càrrega màxim de $2 A$.

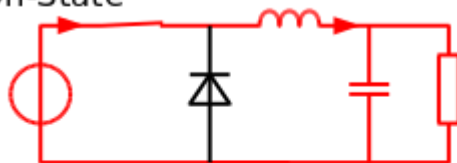
Per a reduir la tensió en continua a $8 V$ i $3,3 V$ que tenim a la sortida del convertidor alterna-contínua farem servir dos reguladors de tensió en cadena, ja que són l'opció més barata i eficient (molt més que dissenyar el nostre propi regulador) que podem trobar.

3.6.1. El regulador de $8 V$.

En primer lloc, per al primer convertidor (de $12 V$ a $8 V$) es farà servir un regulador commutat, ja que l'objectiu és reduir el consum energètic que provocat el mateix regulador lineal del microcontrolador. Un regulador commutat és un tipus de regulador que en comptes de consumir tota aquella energia que no subministra a la sortida dissipant-la, funciona de forma molt similar als senyals *PWM*.

Quan el commutador es troba tancat, l'energia flueix a través del circuit, carregant la bobina i el

On-State



Off-State

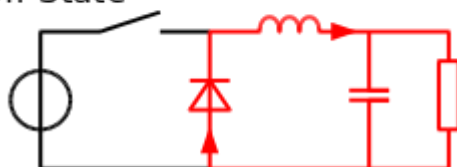


Figura 37: Funcionament dels convertidors commutats. Font: www.wikipedia.com

condensador, però quan s'obre, la bobina descarrega el corrent que ha acumulat i el condensador subministra la tensió carregada. Si el procés d'obrir i tancar es fa suficientment de pressa i els valors d'inductància i capacitància són els adequats, aquest procés disminueix la tensió sense perdre, idealment, energia en el procés. El procés descrit en el paràgraf anterior és una simplificació del funcionament real, que inclou transistors MOSFET, fonts de tensió quadrades o triangulars, etcètera.

S'han escollit tres candidats per a usar-se com a reguladors commutats. Aquests tres han estat el model **L4960**, **LT1070** i **LT1071**.

Paràmetre	L4960	LT1070	LT1071
Corrent de sortida (I_{out})	2,5 A	5 A	2,5 A
Freqüència de commutació (f_s)	85 kHz a 115 kHz	40 kHz	
Tensió d'entrada (V_{in})	50 V	3 V a 60 V	
Tensió de sortida (V_{out})	$V_{in} + 50 \text{ mV}$ a 50 V	$V_{in} + 2,6 \text{ V}$ a 65 V	
Circuit extern	sis condensadors, quatre resistors, una bobina i un díode.	sis condensadors, cinc resistors, dos bobines i tres díodes.	
Preu	1,96 €	16,13 €	11,51 €

Taula 16: Característiques del regulador L4960, LT1070 i LT1071. Font: (STMicroelectronics, 2000), (Linear Technology).

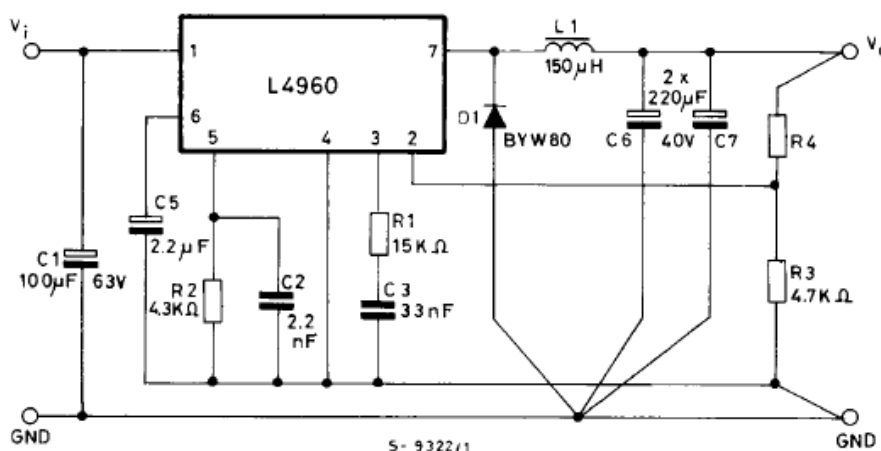
S'ha escollit el regulador **L4960** perquè té un cost d'adquisició molt inferior, el muntatge del circuit extern és més senzill i compleix els requisits necessaris del circuit.

Així doncs, i seguint les indicacions del fabricant, el circuit proposat per al convertidor commutat *step-down* contínua-continua serà el mostrat a la Figura 38 per a establir la tensió que es necessita es farà ús d'un potenciòmetre multivolta i una cola especial per a segellar potenciòmetres.

Resistor values for standard output voltages		
V _o	R3	R4
12V	4.7KΩ	6.2KΩ
15V	4.7KΩ	9.1KΩ
18V	4.7KΩ	12KΩ
24V	4.7KΩ	18KΩ

Taula 17: Valors dels resistors per ajustar la tensió de sortida quan la tensió d'entrada és de 24 V. Font: (STMicroelectronics, 2000).

A més a més, aquest component inclou un sistema d'apagament tèrmic que provoca un circuit obert quan el xip supera la temperatura de seguretat màxima.



C₁, C₆, C₇: EKR (ROE)
 D₁: BYW80 OR 5A SCHOTTKY DIODE
 SUGGESTED INDUCTOR: L₁ = 150µH at 5A

Figura 38: Circuit proposat pel fabricant per al funcionament del regulador L4960 com a *step-down*. Font: (STMicroelectronics, 2000).

Per a calcular si el xip requereix d'un dissipador extern farem servir la llei d'ohm tèrmica i les característiques del fabricant:

$$T_{xip} - T_{ambient} = P_{dissipada} \cdot R_{tèrmica}$$

Equació 32

Anem doncs a recopilar totes les dades que hem adquirit al llarg dels càlculs:

V_{in}	V_{out}	I_{out}	η
12 V	8 V	812 mA	80 %

Taula 18: Paràmetres de configuració del regulador commutat. Font: pròpia.

I a establir els nostres criteris

$T_{ambient}$	$T_{xip\ màxima}$	Marge de seguretat
30 °C	60 °C	50 %

Taula 19: Criteris de funcionament del regulador commutat. Font: pròpia.

Sabent, a través de les dades del fabricant, que les resistències tèrmiques $R_{junction-case} = 4 \frac{°C}{W}$,

$R_{junction-ambient} = 50 \frac{°C}{W}$ i $R_{case-diss} = 0,8 \frac{°C}{W}$ podem calcular si necessitem un dissipador o no i quin tipus

de dissipador necessitem si és que en necessitem:

$$P_{dissipada\ sense\ d.} = \frac{T_{junction} - T_{ambient}}{R_{j-a}} = \frac{60\ °C - 30\ °C}{50 \frac{°C}{W}} = 0,6\ W \quad \text{Equació 33}$$

$$\begin{aligned} P_{a\ dissipar} &= (V_{in} - V_{out}) \cdot I_{out} \cdot \eta \cdot (1 + marge) \\ &= (12\ V - 8\ V) \cdot 812\ mA \cdot 0,8 \cdot 1,5 = 3,90\ W \Rightarrow P_{dissipada} \\ &< P_{a\ dissipar} \end{aligned} \quad \text{Equació 34}$$

Per tant, necessitem l'ús d'un dissipador. Per a saber les característiques del dissipador farem servir la mateixa equació d'abans:

$$\begin{aligned} 60\ °C - 30\ °C &= 3,90\ W \cdot \left(4 \frac{°C}{W} + 0,8 \frac{°C}{W} + R_{dissipador} \right) \Rightarrow R_{dissipador} \\ &\leq 2,89\ °C/W \end{aligned} \quad \text{Equació 35}$$

Per tant, es necessita un dissipador que tingui una resistència tèrmica inferior o igual a $2,89 \frac{°C}{W}$.

En aquest cas i per problemes de disponibilitat s'ha escollit un dissipador amb una resistència tèrmica de $2,89 \frac{°C}{W}$ segons el fabricant. La qual cosa farà que el component s'escalfi fins la temperatura següent:

$$\begin{aligned} T_{xip} &= T_{ambient} + P_{dissipada} \cdot R_{tèrmica} \\ &= 30\ °C + 3,90\ W \cdot \left(4 \frac{°C}{W} + 0,8 \frac{°C}{W} + 2,89 \frac{°C}{W} \right) = 64,32\ °C \end{aligned} \quad \text{Equació 36}$$

Fet que no posa en perill la integritat física del xip.

3.6.2. El regulador de 3,3 V.

Per al regulador de tensió de 8 V a 3,3 V s'usarà un regulador lineal, ja que la potència a dissipar és mínima i això fa que les pèrdues d'energia siguin mínimes també. Cal destacar que aquest regulador no s'empra per a l'estalvi d'energia sinó per a crear una font de tensió suficientment estable com per a alimentar el xip de comunicació que és extremadament sensible a canvis a la tensió d'entrada.

S'ha escollit el regulador lineal **LM350** per disponibilitat, tot i que el regulador LM7833 també seria una bona elecció. Les característiques tècniques del regulador són les següents:

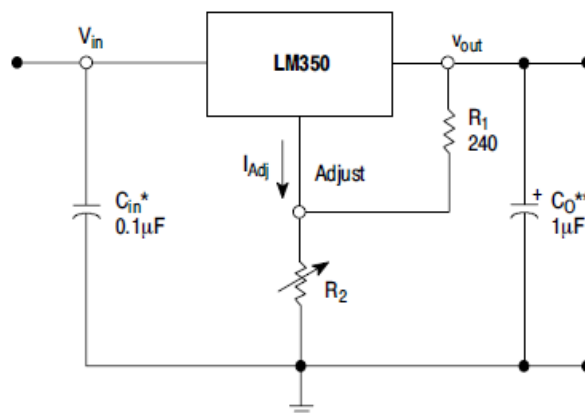
Tensió d'entrada (V_{in})	Tensió de sortida (V_{out})	Corrent de sortida (I_{out})
$V_{out} + 5\text{ mV}$ a 35 V	1,2 V a 33 V	3,0 A

Taula 20: Característiques elèctriques del regulador LM350. Font: (Semiconductor Components Industries, LLC, 2006).

A més a més, aquest component inclou, igual que l'anterior, un sistema d'apagament tèrmic que provoca un circuit obert quan el xip supera la temperatura de seguretat màxima.

El mode de funcionament d'aquest regulador és més simple que l'anterior. Simplement dissipa la tensió sobrant a través d'unions PN que requereixen una tensió de polarització fixa i estable (*exempli grātiā*: díodes).

Aquest convertidor contínua-contínua *step-down* permet la regulació de la tensió de sortida de forma molt simple amb molt pocs components, com es pot veure en la Figura 39.



* = C_{in} is required if regulator is located an appreciable distance from power supply filter.
 ** = C_O is not needed for stability, however, it does improve transient response.

Figura 39: Circuit proposat pel fabricant per a treballar amb el regulador LM350. Font: (Semiconductor Components Industries, LLC, 2006).

El mateix fabricant dona l'equació per a calcular la tensió de sortida en funció de la tensió d'entrada i dels resistors que componen el circuit:

$$V_{out} = 1,25 V \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + I_{Adj} \cdot R_2 \quad \text{Equació 37}$$

I donat que la I_{Adj} és inferior a $100 \mu A$, es pot negligir sense que tingui cap efecte destacable en els càlculs.

El valor del resistor serà, doncs:

$$R_2 = \left(\frac{V_{out}}{1,25 V} - 1\right) \cdot R_1 = \left(\frac{3,3 V}{1,25 V} - 1\right) \cdot 240 \Omega = 393,3 \Omega \quad \text{Equació 38}$$

Valor que serà assignat a través d'un potenciòmetre multivolta d'1 $k\Omega$ de la mateixa forma que en l'anterior regulador.

Per als càlculs del dissipador farem servir el mateix mètode que hem fet servir en l'anterior encapsulat.

Anem doncs a recopilar totes les dades que hem adquirit al llarg dels càlculs:

V_{in}	V_{out}	I_{out}
8 V	3,3 V	12,3 mA

Taula 21: Paràmetres de configuració del regulador commutat. Font: (Semiconductor Components Industries, LLC, 2006).

I a establir els nostres criteris

$T_{ambient}$	$T_{xip \text{ màxima}}$	Marge de seguretat
30 °C	60 °C	50 %

Taula 22: Criteris de funcionament del regulador commutat. Font: pròpia.

Sabent, a través de les dades del fabricant, que les resistències tèrmiques $R_{\text{junction-case}} = 2,3 \frac{^{\circ}C}{W}$, $R_{\text{junction-ambient}} = 35 \frac{^{\circ}C}{W}$ i $R_{\text{case-diss}} = 0,8 \frac{^{\circ}C}{W}$ podem calcular si necessitem un dissipador o no i quin tipus de dissipador necessitem si és que en necessitem:

$$P_{dissipada \text{ sense } d.} = \frac{T_{\text{junction}} - T_{\text{ambient}}}{R_{j-a}} = \frac{60^{\circ}C - 30^{\circ}C}{35 \frac{^{\circ}C}{W}} = 0,86 W \quad \text{Equació 39}$$

$$P_{a \text{ dissipar}} = (V_{in} - V_{out}) \cdot I_{out} \cdot (1 + \text{marge}) = (8 V - 3,3 V) \cdot 12,3 mA \cdot 1,5 \\ = 0,09 W \Rightarrow P_{dissipada} > P_{a \text{ dissipar}} \quad \text{Equació 40}$$

Per tant, no necessitarem cap dissipador.

3.7. La placa i els circuits.

Per a la construcció del prototip es faran servir *perfboards* de baquelita de mida 90 mm d'amplada i 80 mm de llargada. S'usaran quatre plaques d'aquestes: tres per a l'etapa d'alimentació i una per a l'etapa de potència. El sistema de control i els sensors, botons, etcètera es muntaran en unes plaques *shield* dissenyades especialment per a l'arquitectura Arduino UNO

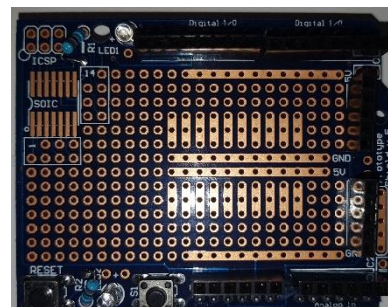


Figura 40: Placa shield per l'Arduino UNO Rev 3. Font: pròpia

En aquesta placa, que es connecta directament a l'Arduino, s'hi soldaran els xips de comunicació, sensors, botons i altres connexions simples. En les altres plaques s'hi soldaran els circuits de regulació així com els sistemes de seguretat.

3.7.1. La seguretat elèctrica.

A fi d'evitar problemes de curtcircuits s'ha decidit afegir un fusible en el circuit. Aquest fusible tindrà el valor de corrent que hagi de suportar el circuit multiplicat per 1,25. Aquesta mesura de seguretat evitarà danys per curtcircuits.

	Controlador	Sensor	Actuador
Intensitat màxima	812 mA	812 mA	2 A
Fusible	1 A	1 A	2,5 A

Taula 23: intensitats de seguretat dels circuits. Font: pròpia.

Alhora, també s'hi instal·larà un interruptor de seguretat que permeti l'aturada manual del sistema (un per a cada circuit) en cas que deixi de funcionar correctament per fallada elèctrica o electrònica.

4. Desenvolupament del *software*.

L'extensió del codi i la dificultat d'entendre un codi que no s'ha escrit (encara que els comentaris facilitin aquesta tasca) farien molt complicat l'estudi del codi en si, és per això que en aquest apartat no es veurà cap fragment del codi desenvolupat en si, excepte alguna línia o comanda en concret, sinó que s'ajuntarà en els annexos, concretament en els Annexos B, a disposició del lector.

Per a explicar el disseny i el funcionament del software escrit es farà ús d'ordinogrames, algorismes i diagrames de blocs dissenyats o bé pel fabricant d'algun dels components usats o bé originals.

El *software* de l'Arduino predefineix un sistema recursiu molt útil en la programació de microcontroladors consistent en una primera fase on s'executa la funció *setup()*, que s'executa un únic cop i s'encarrega d'obrir ports i configurar els paràmetres inicials o estàtics i una segona fase en la qual s'executa la funció *loop()*, que s'executa contínuament fins que s'apaga l'equip.

Per aprofitar al màxim aquest mode de funcionament el que s'ha fet ha estat introduir en la funció *loop()* la crida a moltes funcions les quals s'encarreguen de d'executar totes aquelles accions necessàries per al desenvolupament del control. D'aquesta forma el codi queda més ordenat i fàcil d'entendre pel mateix programador o per qualsevol lector.

Per a programar el codi s'ha usat el programa de lliure distribució Arduino IDE, dissenyat pel mateix fabricant del microcontrolador, que fa la funció d'interfície de programació, compilador en llenguatge ensamblador i carrega el programa al microcontrolador. A més, també gestiona les biblioteques i la comunicació sèrie amb el microcontrolador, la qual cosa facilita enormement la interacció amb l'aparell.

El codi es distribuirà en tres programes, un per a cada microcontrolador.

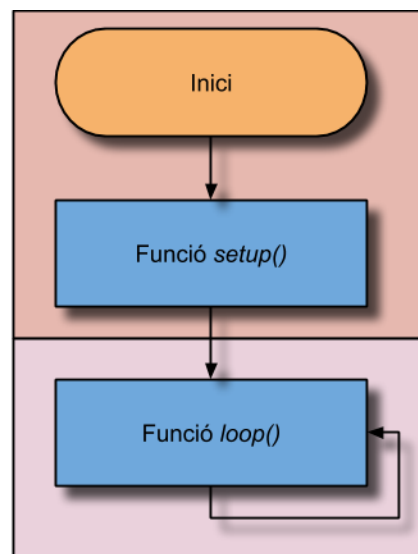


Figura 41: Ordinograma del funcionament dels programes en Arduino. Font: pròpia.

4.1. Els ordinogrames dels programes principals.

En aquest apartat s'exposaran i s'explicaran de forma molt resumida el funcionament dels programes que componen aquest projecte. Tots aquells processos situats sobre el fons vermell fosc serà la part inclosa en la funció *setup()* i tots aquells processos situats sobre el fons clar constaran dins la funció *loop()*.

4.1.1. El sensor.

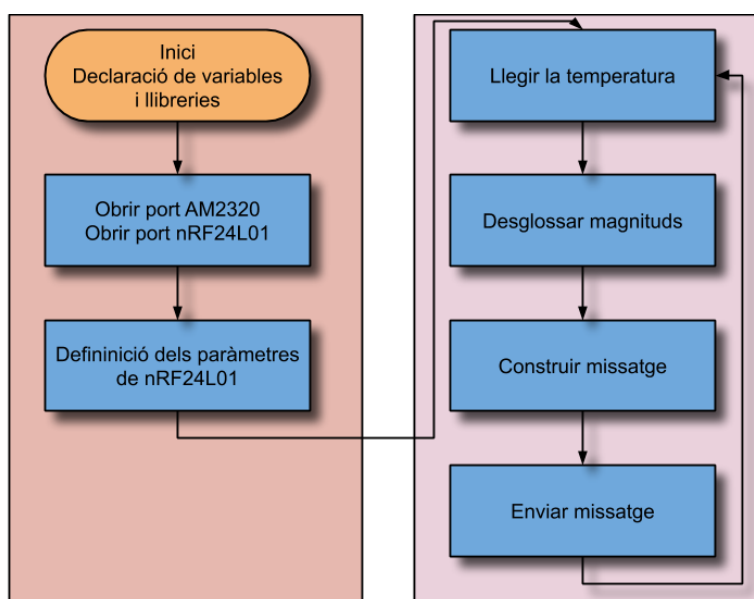


Figura 42: Ordinograma de l'algoritme recursiu que controla el funcionament del microcontrolador sensor. Font: pròpia.

El programa *sensor* és un programa molt simple que es limita a llegir la informació transmesa pel xip AM2320 a través del bus I2C i la mateixa llibreria que crea el fabricant descodifica els valors. Un cop tenim els valors de temperatura i humitat creem el missatge a transmetre de la següent manera:

Ja que el missatge a transmetre ha de ser un text pla en forma d'*array* de *chars* el que farem serà separar les xifres de cada magnitud i carregar-les al missatge. En primer lloc convertim el valor de temperatura amb decimals a un enter de tres xifres

$$T_{enter} = T_{mesurada} \cdot 10$$

Equació 41

Després separem les xifres de la humitat mesurada i de la temperatura (en enter) de la següent forma:

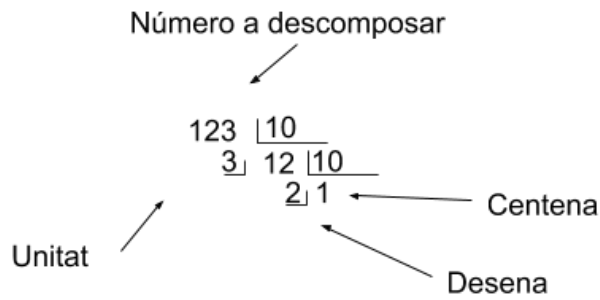


Figura 43: Descomposició en xifres matemàticament. Font: pròpia.

Aquesta descomposició es fa emprant les comandes “/” i “%” del llenguatge de programació C que permeten obtenir el resultat d’una divisió entera i el seu residu, respectivament.

Amb els valors ja descomposats creem el missatge seguint el següent algorisme:

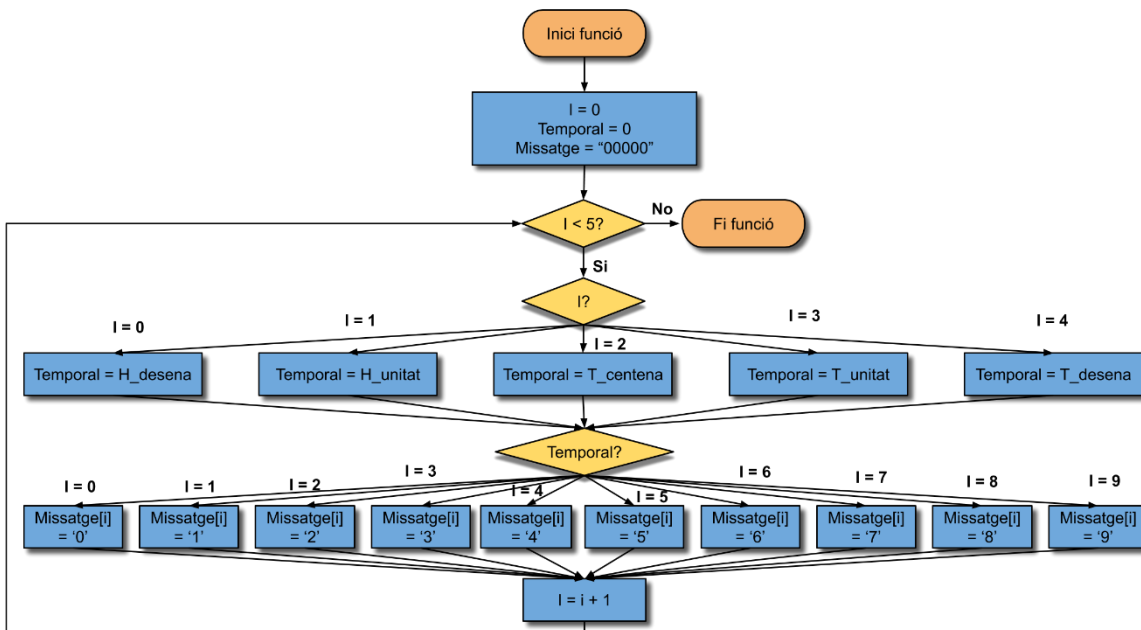


Figura 44: Ordinograma que mostra el funcionament de la construcció del missatge en el programa sensor. Font: pròpia.

Per acabar, s’envia el missatge seguint els protocols del xip nRF24L01 amb les comandes definides per la seva llibreria.

4.1.2. El controlador.

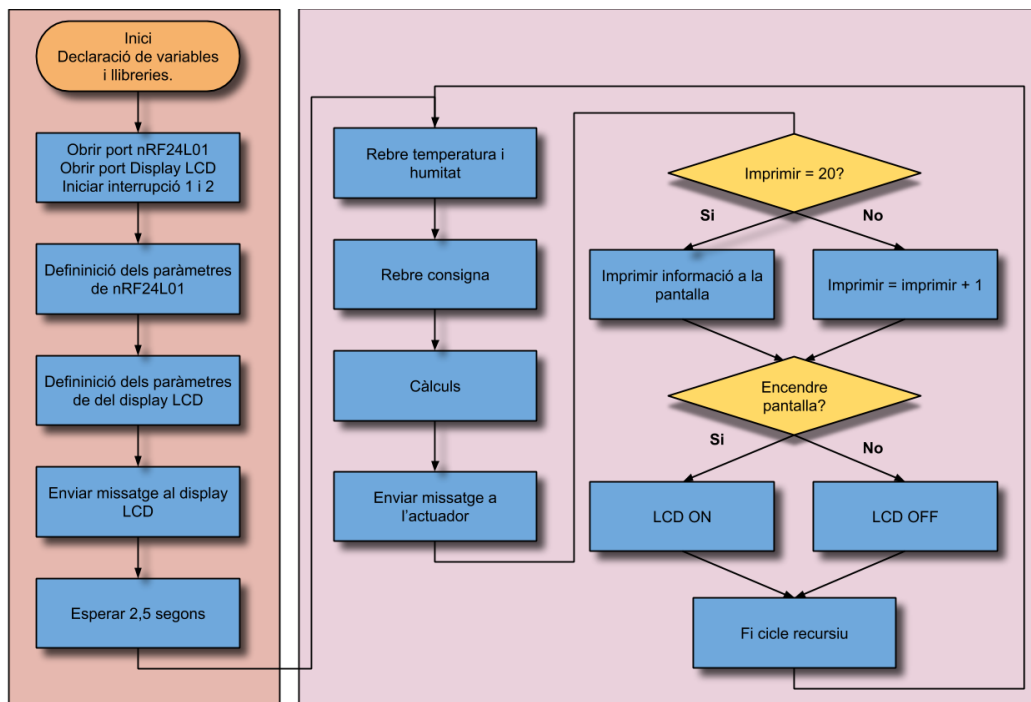


Figura 45: Ordinograma de l'algorisme recursiu que controla el funcionament del microcontrolador controlador.
Font: pròpia.

El programa del *controlador* presenta el codi més extens de tots. Això és donat, lògicament, perquè s'ha intentat que tots els càlculs extensos es realitzessin en aquest microprocessador alleugerint així la càrrega dels altres i optimitzant la comunicació.

Podem veure a la Figura 45, el codi que s'executa recursivament es dedica a llegir l'entrada del xip de comunicació esperant el missatge del sensor, llegir la consigna establerta per l'usuari, realitzar els càlculs necessaris, enviar a l'actuador el que hagi de fer i, finalment, apagar o encendre la pantalla si es necessari i enviar les noves dades a la pantalla.

La descodificació del missatge rebut (enviat pel sensor) es realitza de manera inversa a la codificació. Per aquest motiu no adjuntarem el codi d'aquesta.

Via software s'ha decidit que els valors s'actualitzarien cada 1 s a 2 s, depenent de la comunicació, i s'apagaria la pantalla automàticament als 30 s per a estalviar energia. Les variables es mostren a la pantalla seguint el següent esquema:

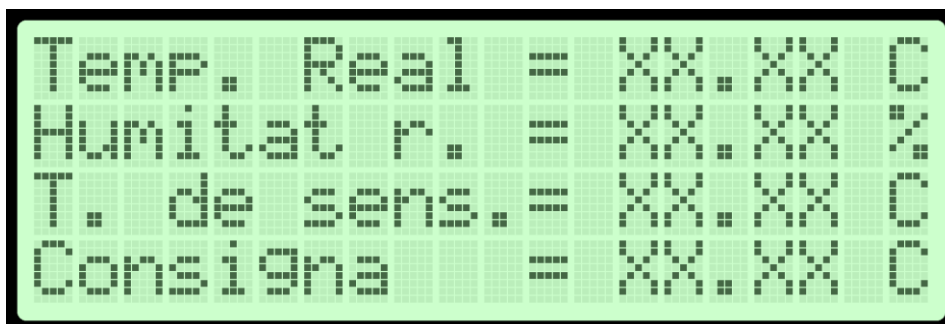


Figura 46: Simulació 1 de la sortida de la pantalla. Font: <http://avtanski.net/projects/lcd/>.

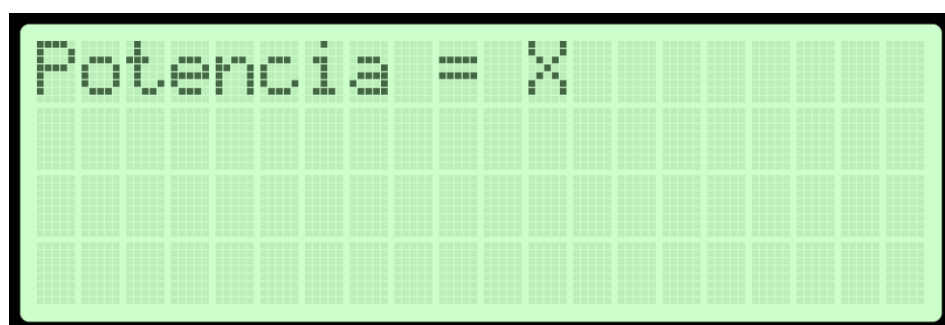


Figura 47: Simulació 2 de la sortida de la pantalla. Font: <http://avtanski.net/projects/lcd/>.

Les interrupcions no consten en el codi recursiu, òbviament, i per això s'han afegit de forma separada. Aquestes interrupcions seran cridades en qualsevol moment que es premi un botó, la qual cosa provocarà una baixada de tensió a l'entrada del pin digital.

La primera interrupció s'encarrega d'encendre o apagar la pantalla de forma manual per a poder visualitzar les dades si aquestes s'han deixat de mostrar a causa de l'apagament automàtic o per a deixar-les de visualitzar.

La segona interrupció defineix la potència màxima del motor en tres modes diferents: baixa, mitja i alta. Amb aquest mètode aconseguim controlar la velocitat d'escalfament de l'estança i el consum com ja hem vist en l'apartat corresponent al control.

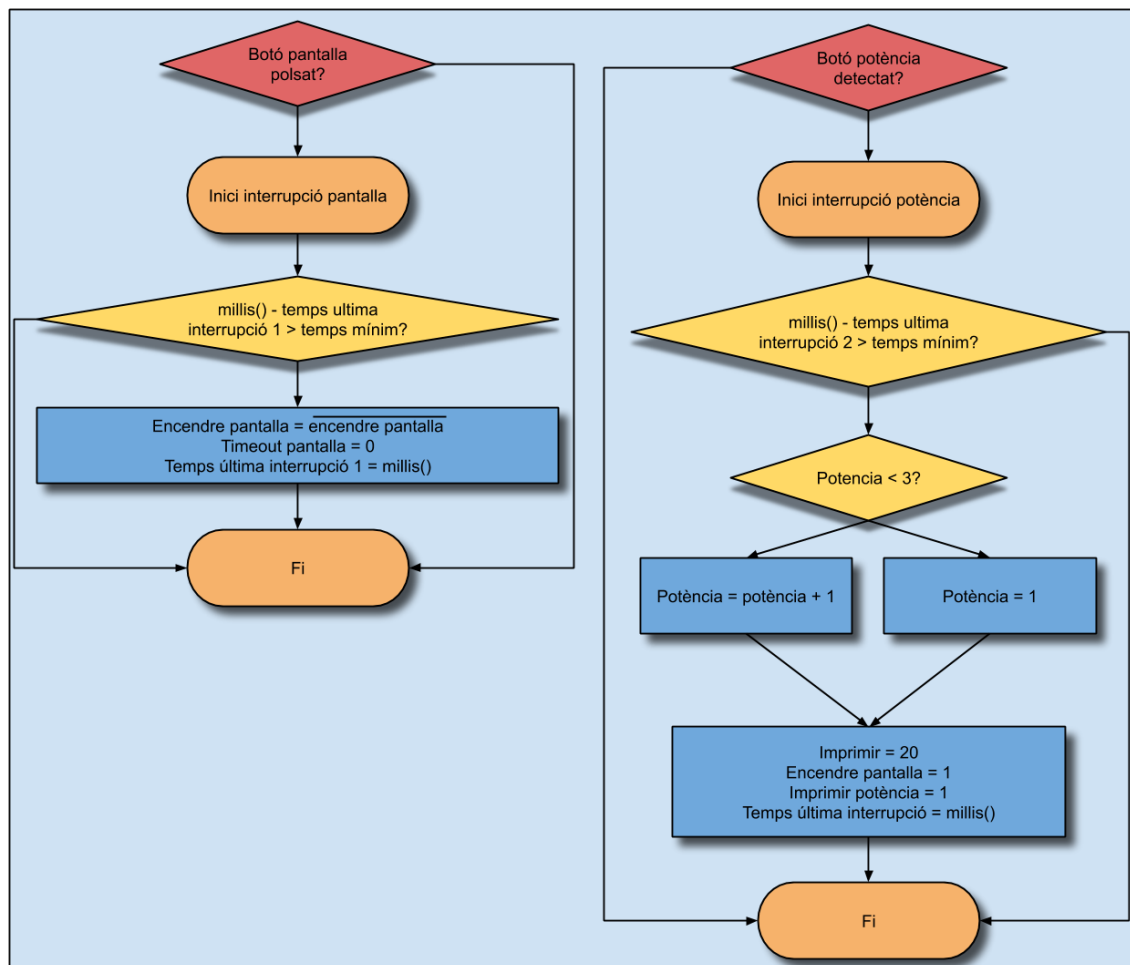


Figura 48: Ordinograma dels algorismes que componen les interrupcions. Font: pròpia.

En la Figura 48 es pot veure l'algorisme usat per a eliminar el *bouncing* mecànic que apareix al prémer els botons. Bàsicament consisteix en ignorar qualsevol interrupció que es doni entre el primer instant que es detecti un canvi de flanc pertinent (de baixada, en aquest cas), i un marge de temps establert. És a dir, quan es prem el botó comença el filtratge de falses senyals via *software* que consisteix, bàsicament, a ignorar qualsevol crida nova a la funció interrupció que transcorre entre la primera activació i un temps determinat que s'ha establert en 150 ms.

4.1.3. L'actuador.

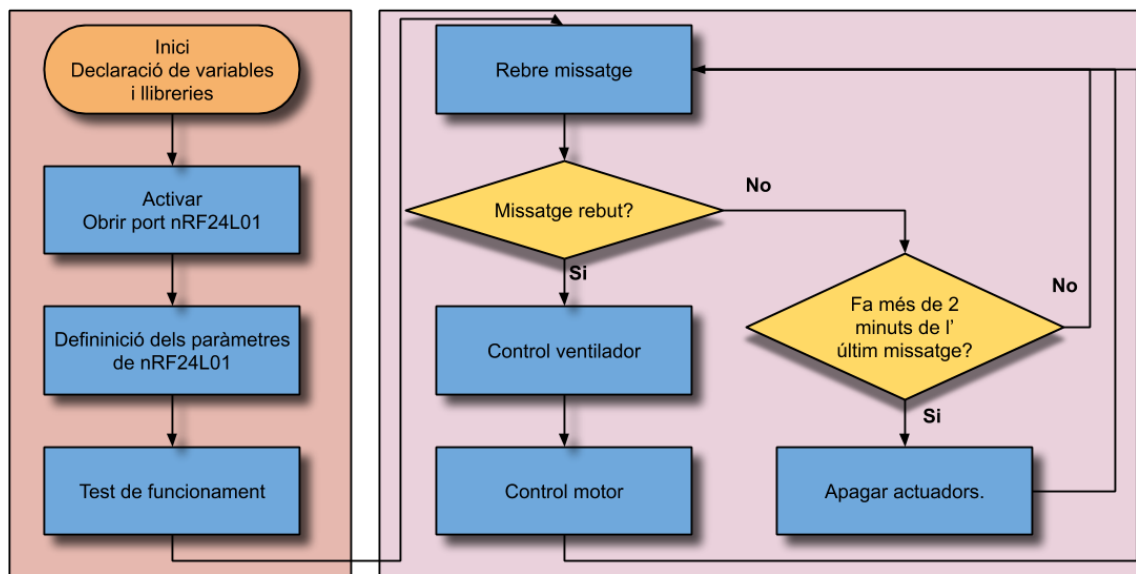


Figura 49: Ordinograma de l'algorisme recursiu que controla el funcionament del microcontrolador actuador.
Font: pròpia.

En aquest cas, el programa resulta, també, molt simple. Cal destacar que en la part de posada en marxa hi ha una zona en la qual es prova el funcionament dels relés que, com és sabut, al constar d'una part mecànica, són els primers components d'un equip, junt amb la font d'alimentació, que comencen a fallar. Tot i això, el test no dona cap resultat tangible pel processador sinó simplement aporta informació a l'usuari.

La funció recursiva es dedica a comprovar si ha arribat algun missatge nou, si és així interpreta el missatge i envia el senyal a les sortides digitals i si no és així comprova quanta estona ha passat des de l'últim missatge rebut i si han passat més de dos minuts atura els actuadors.

Aquesta última mesura és una mesura de seguretat per a evitar que una pèrdua d'alimentació en el controlador deixi en caiguda lliure els actuadors, ja que si aquests es troben encesos a màxima potència no s'aturarien mai.



5. Anàlisi de l'impacte social i ambiental.

Per a desenvolupar aquest apartat s'han tingut en compte els diferents aspectes entre els quals destaquen l'origen dels materials que componen el prototip, el tipus de distribució, la mà d'obra usada durant tot el procés, l'origen de l'energia emprada i el reciclatge dels components un cop acabada la seva vida útil.

Els circuits electrònics actuals es componen de centenars de materials diferents procedents de molts llocs del món. Tot i això, els materials més comuns s'aconsegueixen de les fonts següents:

- El plàstic que es crea a partir de petroli acostuma a venir de la península Aràbiga (donat que el seu és de millor qualitat i el reserven per a la fabricació de productes derivats).
- El tàntal, tungstè i l'estany acostumen a venir de l'Àfrica, concretament de la zona entre el Congo, Uganda, Kenya, Tanzània, Burundi i Ruanda. Aquestes zones sovint pateixen conflictes armats i moltes empreses els aprofiten per signar acords que desprotegeixen els drets de la població. Per aquest motiu hi ha vàries empreses que han creat un tractat d'importació que contempla no importar minerals extrets en zones bèl·liques el qual no s'extreuen minerals de zones bèl·liques (*FairPhone*, per exemple). La resta de metalls normalment venen de sud Amèrica i Àfrica i els adhesius dels Estats Units d'Amèrica.
- Els circuits integrats acostumen a produir-se al Japó o a la Xina, depenent del fabricant, però els components electrònics (resistors, condensadors, bobines, díodes, etcètera) es fan quasi tots a la Xina. La major part dels circuits i altres productes similars es munten en el mateix lloc així com a d'altres estats considerats NPI (Nous Països Industrialitzats) com Malàisia, Filipines, Indonèsia, etcètera. Les empreses trien aquests països perquè necessiten mà d'obra abundant i barata sense o amb poca qualificació. A més les despeses del transport cap als centres consumidors que, principalment, són els països rics d'Europa i d'Amèrica no suposa un cost massa gran donat que és dur a terme amb vaixells i avions amb molt de cabotatge.

En conclusió, el procés de fabricació de l'aparell produeix una petjada ecològica molt gran, ja que el producte final ha de recórrer mig planeta en camions, vaixells i avions. En relació al petit impacte econòmic que produeix el procés, aquest deixa un impacte econòmic minúscul en comparació amb el cost final del producte.

El fet que els productes necessitin ser transportats des de tan lluny implica una despesa energètica molt gran que contribueix a augmentar la contaminació atmosfèrica d'una forma cada cop més insostenible. Tanmateix, com que el consum energètic del producte és molt baix i l'objectiu del mateix és minimitzar els consums energètics dels habitatges, es pot dir que la petjada social i ecològica que deixa és compensada pels efectes positius quan s'instal·la. Si a més a més en el procés de fabricació del producte s'utilitzés energies renovables el seu impacte ecològic podria reduir-se substancialment.

6. Anàlisi econòmica.

En aquest apartat es descriurà i s'analitzarà el cost total del prototip creat a partir del disseny electrònic i mecànic.

Cal destacar que en aquest llistat no s'han inclòs els costos de l'adquisició de les eines necessàries per a la seva construcció (soldador, trepant, broques, jocs d'eines, multímetres...) ni dels productes consumits (cablejat, estany, silicona, pega...) doncs els primers no corresponen a material fungible i el cost dels segons es pot negligir degut al seu baix cost o baixa quantitat usada.

A més, s'han inclòs els costos d'enginyeria associats a les hores dedicades al desenvolupament del projecte com a estudiant.

Amb l'objectiu de simplificar la taula s'ha decidit subdividir els costos en apartats diferents:

6.1. Costos de material.

En aquest apartat es descriuen els costos associats al material fungible adquirit per al muntatge del prototip. Aquests materials s'han adquirit físicament.

6.1.1. Cost del circuit de control i potència dels actuadors.

Producte	Font	Preu per unitat [€/u.]	Quantitat [u.]	Cost [€]	Cost amb IVA [€]
Motor 12 V	Diotronic	5,6870	1	6,88	6,8813
Celula peltier 10 W	Amazon	7,5900	1	7,59	7,5900
Relé bobina 5 V					
conmutador 12,5 V	Diotronic	9,1476	2	11,07	22,1372
Transistor NPN 2222	Diotronic	0,4500	2	0,54	1,0890
Mosfet IRF530	Diotronic	0,5823	1	0,70	0,7046
Dissipador petit	Diotronic	0,7900	1	0,96	0,9559
Díode 1N4004	Diotronic	0,0500	2	0,06	0,1210
Total					39,4789

Taula 24: Cost del circuit dels actuadors.

6.1.2. Cost del circuit necessari per al regulador commutat de tensió L4960.

Producte	Font	Preu per unitat [€/u.]	Quantitat [u.]	Cost [€]	Cost amb IVA [€]
Regulador	Diotronic	2,0240	1	2,02	2,45
Dissipador de calor TO220 (gran)	Diotronic	0,9900	1	0,99	1,20
Potenciometre 10 kΩ multivuelta	Diotronic	0,7413	1	0,74	0,90
electrolític 2,2 μF	Diotronic	0,0100	1	0,01	0,01
Condensador electrolític 100 μF	Diotronic	0,0286	1	0,03	0,03
Condensador electrolític 220 μF	Diotronic	0,0550	2	0,11	0,13
Condensador	Diotronic	0,0900	1	0,09	0,11
Condensador	Diotronic	0,0500	1	0,05	0,06
Resistor 4,3 kΩ	Diotronic	0,0300	1	0,03	0,04
Resistor 4,7 kΩ	Diotronic	0,0200	1	0,02	0,02
Resistor 15 kΩ 0,25	Diotronic	0,0500	1	0,05	0,06
Bobina 150 μH	Diotronic	0,1500	1	0,15	0,18
Diodo 1N5819	Diotronic	0,0400	1	0,04	0,05
Díodo LED	Diotronic	0,2500	1	0,25	0,30
Resistor 470 Ω	Diotronic	0,0200	1	0,02	0,02
Total					5,5707

Taula 25: Cost del circuit L4960.

6.1.3. Cost del circuit necessari per al regulador lineal de tensió LM350.

Producte	Font	Preu per unitat [€/u.]	Quantitat [u.]	Cost [€]	Cost amb IVA [€]
Regulador lineal LM350	Diotronic	0,80	1	0,80	0,96
Potenciometre 1 kΩ	Diotronic	1,15	1	1,15	1,39
Resistor 240 Ω 0,25 W	Diotronic		1	0,00	0,00
Condensador electrolític 1 μF	Diotronic	0,04	1	0,04	0,05
Condensador ceràmic 100 nF	Diotronic	0,09	3	0,28	0,34
Díode LED petit	Diotronic	0,25	1	0,25	0,30
Resistor 47 Ω	Diotronic	0,05	1	0,05	0,06
Total					3,11

Taula 26: Cost del circuit LM350.

6.1.4. Cost total del prototip.

Producte	Font	Preu per unitat [€/u.]	Quantitat [u.]	Cost [€]
Microcontrolador				
Arduino Uno Rev3	Amazon	9,99	3	29,97
Shield Arduino UNO	Amazon	7,09	3	21,27
nRF24L01	Amazon	7,29	3	21,87
AM2320 I2C	Amazon	7,99	1	7,99
Pantalla LCD 20x04 I2C	Amazon	9,99	1	9,99
Resistors 4,7 kΩ 0,25 W	Diotronic	0,12	2	0,24
Potenciòmetre 100 kΩ	Diotronic	1,2	1	1,2
Transformador AC/DC 12 V 2 A	Amazon	12,49	3	37,47
Connector alimentació femella	Diotronic	0,4961	3	1,4883
Connector alimentació mascle	Diotronic	0,8349	3	2,5047
Regleta pasador placa de topes 2 mascle	Onda Radio	0,6222	8	4,9776
Regleta pasador placa de topes 2 femella	Onda Radio	0,6222	8	4,9776
Regleta pasador placa de topes 4 mascle	Onda Radio	1,24	1	1,24
Regleta pasador placa de topes 4 femella	Onda Radio	1,24	1	1,24
Portafusibles	Diotronic	0,203643	3	0,610929
Interruptor	Diotronic	1,1858	3	3,5574
Circuit actuadors	-	39,48	1	39,48
Circuit LM350	-	3,11	3	9,33
Circuit L4960	-	5,707	3	17,121
Perfboard	Diotronic	6,63201	4	26,52804
Cargols i femelles	Diotronic	8,8	1	8,8
Total				251,8556

Taula 27: Cost total del prototip.

6.2. Costos d'enginyeria.

Producte	Font	Preu per unitat (€/u.)	Quantitat (u.)	Cost (€)	Cost amb IVA (€)
Hores de treball	Conveni col·lectiu	20,0000	600	12000,00	14520,00
Hores de transport		20,0000	15	300,00	363,00
Prototip	-	251,8560	1	251,86	251,86
Total					15134,8560

Taula 28: Cost final del projecte.

Per tant, el cost real que s'ha gastat en el desenvolupament del prototip en material és de 251,86 € i el cost total teòric del projecte és de 15134,86 €.

Conclusions.

Algú va dir ja fa molt de temps que per ser feliç en el treball propi s'ha de ser capaç de realitzar-lo i percebre la sensació d'èxit en dur-lo a terme. Malgrat que durant la realització del tot el projecte m'he hagut d'enfrontar i resoldre amb problemes que apareixien per tal de poder arribar a assolir els objectius proposats a l'inici, no he decaigut en el desànim. Els resultats dels dissenys i la fabricació del prototip han estat satisfactoris ja que funciona de forma correcta i esperada amb les característiques proposades inicialment i s'ha realitzat en el marge de temps establert.

Nogensmenys, malgrat haver assolit els objectius plantejats en iniciar el projecte penso que ara que està acabat i amb l'experiència adquirida, podria proposar les següents propostes de millora.

- Per començar, el control del calefactor el muntaria igual que el control de la velocitat del motor: amb senyals PWM. El fet que tingui un control binari provoca un desgast molt gran en el relé que l'activa i un retard en la histèresi molt petit. Aquest retard tan petit fa que al final l'error en estat estacionari acabi sent molt gran i el temps de resposta molt elevat.
- En segon lloc, respecte a la comunicació entre els microcontroladors, dissenyaria un programa que activés i desactivés la comunicació mitjançant interrupcions (fent ús del pin IRQ del xip nRF24L01) per així evitar temps perdut i errors de comunicació.
- En tercer i últim lloc, per al control de la temperatura i la humitat faria servir el microcontrolador Arduino MEGA, que disposa de més entrades i sortides, entre altres característiques, i permetria un desenvolupament de la interfície més extens, agradable i personalitzable.

Per acabar, no voldria ometre la menció d'un dels objectius que, pel simple fet de ser menys tangibles, no deixa de ser menys important en tot aquest treball: l'aprenentatge. El Treball de fi de grau representa la culminació d'uns estudis universitaris i, com a tals, la prioritat és l'aprenentatge i l'adquisició d'un gran ventall de coneixements.

La realització d'aquest treball ha representat tot un repte personal que ha provocat una resposta cognitiva de lluita i esforç com mai havia generat cap altre treball. Aquest fet no voldria que restés sense donar-li importància ja que a mi m'omple de satisfacció i alegria haver finalitzat aquest treball.

Bibliografia

Adam, Jean-Pierre. 1984. *La construction romaine: Matériaux et techniques* livre. Paris : s.n., 1984. ISBN: 2-7084-0104-1.

Aosong Electronics. 2018. *Digital Temperature and Humidity Sensor. AM2320 Product Manual.* 2018.

Arduino. [En línia] <https://www.arduino.cc/>.

Atmel. 2009. *8-bit AVR Microcontroller with 4/8/16/32K Bytes In-System Programmable Flash.* 2009.

—. **2014.** *Atmel ATmega640/V-1280/V-1281/V-2560/V-2561/V.* 2014.

Ballester, Eduard i Piqué, Robert. 2011. *Electrónica de potencia.* Barcelona : Marcombo, 2011. ISBN: 978-84-267-1669-9.

Blog. *SourceMap.* [En línia] <https://www.sourcemap.com/>.

Certicalia. [En línia] <https://www.certicalia.com>.

FairChild Semiconductor. 2002. *BC546/547/548/549/550 NPN Epitaxial Silicon Transistor.* 2002.

FairChild; ON Semiconductors. 2018. *PN2222: General Purpose NPN Epitaxial Silicon Transistor.* 2018.

Finder. 2013. *Serie 40 - Mini-relé para circuito impreso enchufable 8 - 10 - 16 A.* 2013.

Gámiz, Juan. 2017. *Sesiones teóricas (I): el microcontrolador 87C51; su arquitectura y su programación.* Barcelona : s.n., 2017.

García Leyton, Luís Alberto. 2004. *Aplicación del análisis multicriterio en la evaluación de impactos ambientales.* 2004. ISBN: 8468881473.

IDAE. Ministerio de industria, energía y turismo. 2011. *Análisis del consumo energético del sector residencial en España.* 2011.

KeyStudio. 2017. *Keystudio 1602 I2C Module.* 2017.

Laboulaye, M. CH. 1862. *Dictionnaire des arts et manufactures de l'agriculture, des mines, etc.* Paris : s.n., 1862.

Linear Technology. *LT1070/LT1071 5A and 2.5A High Efficiency Switching Regulators.*

Mouser Electronics. Mouser Electronics. *Mouser Electronics*. [En línia] <https://www.mouser.es/>.

Nordic Semiconductor ASA. 2006. *Single chip 2.4 GHz Transceiver nRF24L01*. 2006.

NXP. 2018. *LPC83x*. 2018.

Phillips. 2000. *80C51 8-bit microcontroller family*. 2000.

Piqué, Robert, et al. 2016. *Electrònica de potència: manual de pràctiques*. Barcelona : s.n., 2016.

Semiconductor Components Industries, LLC. 2006. *LM350. 3.0 A, Adjustable Output, Positive Voltage Regulator*. 2006.

Sensirion. 2018. *SHT85 Humidity and Temperature Sensor*. 2018.

Silicon Labs. 2016. *Si4464/63/61/60 HIGH-PERFORMANCE, LOW-CURRENT TRANSCEIVER*. 2016.

STMicroelectronics. 2000. *L4960. 2.5A POWER SWITCHING REGULATOR*. 2000.

Stull, Richard. 2000. *Meteorology for Scientists and Engineers*. s.l.: Brooks/Cole, 2000. ISBN 9780534372149.

Texas Instruments. 2019. *HDC2080 Low-Power Humidity and Temperature Digital Sensor*. 2019.

—. **2015.** *PCF8574 Remote 8-Bit I/O Expander for I2C Bus*. Texas : s.n., 2015.

Tornil, Sebastian i Gámiz, Juan. 2016. *Sesiones teóricas (II): programación en C*. Barcelona : s.n., 2016.

Vishay Siliconix. 2011. *IRF530, SiHF530. Power MOSFET*. 2011.

2019. Wikipedia. [En línia] 2019. <https://www.wikipedia.org/>.

Glossari.

Comunicació sèrie I²C.

- **I²C**: Inter Integrated Circuit
- **SCL**: Serial Clock.
- **SDA**: Serial Data

Comunicació sèrie SPI.

- **SPI**: Serial Peripheral Interface.
- **MOSI**: Master Output Slave Input.
- **MISO**: Master Input Slave Output.
- **CSN**: Chip Select.
- **CE**: Chip Enable.
- **IRQ**: Maskable Interrupt.

Altres.

- **EEPROM**: Electronically Erasable Programmable Read Only Memory.
- **SRAM**: Static Random Access Memory.
- **HMI**: Human Machine Interface.
- **ISR**: Interruption Service Routine.
- **PWM**: Pulse Width Modulation
- **ADC**: Analog to Digital Converter
- **DAC**: Digital to Analog Converter.
- **AC**: Alternating Current.
- **DC**: Direct Current.
- **PCB**: Printed Circuit Board.
- **RX**: Receive.
- **TX**: Transmit.
- **RH**: Relative Humidity.
- **HR**: Humitat relativa.
- **LED**: Light Emitting Diode.
- **VCC**: Voltage Common Collector.

- **GND:** Ground.
- **PTC:** Positive Temperature Coefficient.
- **NPN:** Negative (doped) Positive (doped) Negative (doped).
- **PNP:** Positive (doped) Negative (doped) Positive (doped).
- **MOSFET:** Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor.
- **IoT:** Internet of Things.

Annex A: Codi en C dels microcontroladors.

El microcontrolador At328P es programa amb el llenguatge de programació C. Per tant, el codi desenvolupat en aquest projecte es troba en aquest llenguatge. Amb l'objectiu de facilitar la lectura i comprensió dels aspectes tècnics reproduïts s'ha fet ús dels comentaris en excés descrivint cada una de les parts del codi en qüestió.

S'inclouen els codis descarregats en els tres microcontroladors. Les llibreries usades no s'inclouen a fi d'evitar un excés de documentació. Tot i això, totes són de programari lliure i poden ser trobades de forma ràpida i senzilla en pàgines web o a través del mateix cercador de biblioteques de l'Arduino.

A1. Codi del controlador.

```

2  /* Creador:                Martí Beck Macaya.
3     Editor:                 Martí Beck Macaya.
4     Data de creació:       28/02/2019.
5     Última actualització:  27/05/2019
6
7     Descripció: Aquest programa controla la comunicació
8     entre el sensor i l'actuador i interpreta la temperatura
9     i la humitat de l'estança per a ordenar-li a l'actuador
10    que fer. També gestiona la interfície home-màquina.
11  */
12 // Llibreries necessàries per a fer servir el xip nRF24L01
13 // de comunicació. //
14 #include <nRF24L01.h>
15 #include <RF24.h>
16 #include <RF24_config.h>
17 #include <SPI.h>
18
19 // Llibreries necessàries per a fer funcionar el display. //
20 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
21
22 // Definim els pins de comunicació digital del xip nRF24L01.
23 //
24 #define CE_PIN    9
25 #define CSN_PIN  10
26
27 RF24 radio(CE_PIN, CSN_PIN);
28

```



```
26 // Creem la pantalla en la direcció I2C 0x27 de 20 caràcters
    per cada una de les 4 files. //
27 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);
28
29 // Definim les adreces de comunicació per a llegir i
    escriure del xip nRF24L01. //
30 const uint64_t WrittingPipe = 0xF0F0F0F0AA;
31 const uint64_t ReadingPipe = 0xF1F1F1F1BB;
32
33 // Definim els pins d'interrupció. //
34 const int PIN_interr_pantalla = 2;
35 const int PIN_interr_potencia = 3;
36
37 // Declaració dels missatges de comunicació. //
38 char msg_IN_sensor[12] = "", msg_OUT_controlador[12] = "0000
    0";
39
40 // Variables per a gestionar l'adquisició de missatges amb
    el xip nRF24L01. //
41 bool newData = false;
42 bool result = false;
43
44 // Variable que emmagatzema el valor de la temperatura a la
    qual es vol mantenir l'espai. //
45 float consigna = 0;
46
47 // Variables que realitzen l'adquisició i conversió de
    temperatura i les operacions adients. //
48 float T_r_c = 0; // Temperatura real en °C.
49 float T_r_c_mesura1 = 0, T_r_c_mesura2 = 0, T_r_c_mesura3 =
    0; // Variables per a fer la mitjana de les últimes
    temperatures. //
50 float RH = 0; // Humitat relativa en %.
51 float RH_mesura1 = 0, RH_mesura2 = 0, RH_mesura3 = 0; //
    Variables per a fer la mitjana de les últimes humitats. //
52 int mesura = 1; // el sistema de correcció de valors. //
53 float T_r_f, T_s_f, T_s_c; // Temperatura real en °F. //
    Temperatura de sensació en °F. // Temperatura de sensació en
    °C. //
54
55 // Variables per a evitar el debounce //
56 const int Temps_espera = 150;
57 unsigned long temps_ultima_interr_1;
58 unsigned long temps_ultima_interr_2;
59
```

```
60 // Variables per a gestionar la interrupció del polsador
    "potencia". //
61 int potencia = 2;
62 bool imprimir_potencia = false;
63
64 // Variables per a gestionar la interrupció del polsador
    "pantalla". //
65 int timeout_pantalla = 0;
66 bool lcd_onoff = true; // true vol dir encesa, false
    apagada.
67
68 // Variables per a gestionar l'escriptura en el display LCD.
    //
69 int const_imprimir = 250;
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82 // Inici de la funció Setup //
83 void setup()
84 {
85     // Definim els pins d'interrupció com a entrades. //
86     pinMode(PIN_interr_pantalla, INPUT);
87     pinMode(PIN_interr_potencia, INPUT);
88
89     // Creem les interrupcions i les activem. //
90     attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(PIN_interr_pantalla)
, interr_pantalla, FALLING);
91     attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(PIN_interr_potencia)
, interr_potencia, FALLING);
92
93     // Obrim el port sèrie de comunicació amb el PC (només
testing). //
94     Serial.begin(9600);
95
96     // Obrim la comunicació amb el xip nRF24L01. //
```

```
97  radio.begin();
98  radio.setCRCLength(RF24_CRC_16);           // Definim la
      llargada del missatge a enviar (16
      bytes).                                 //
99  radio.setDataRate(RF24_250KBPS);          // Definim la
      velocitat de transmissió (250
      kb/s).                                 //
100 radio.setChannel(100);                    // Definim el la
      freqüència de treball (2,5
      GHz).                                 //
101 radio.setPALevel(RF24_PA_MAX);           // Definim la
      potència de sortida
      (màxima).                             //
102 radio.setRetries(5, 10);                 // Definim el
      nombre d'intents i la separació temporal d'aquests (delay,
      count). //
103 radio.openWritingPipe(WritingPipe);      // Obrim l'adreça
      on
      escriurem.                             //
104 radio.openReadingPipe(1, ReadingPipe);    // Obrim l'adreça
      on llegirem, (1 de
      6).                                     //
105
106 // Encenem el display //
107 lcd.init();                              // Obrim la
      comunicació.                             //
108 lcd.backlight();                          // Encenem la llum
      de
      fons.                                   //
109
110 // Escrivim el primer missatge en el display //
111 lcd.setCursor(0, 0);                      // Situem el
      cursor en el primer espai (0,0) de
      (20,4).                                 //
112 lcd.print("Controlador humitat");
113 lcd.setCursor(0, 1);
114 lcd.print("i temperatura.");
115 lcd.setCursor(0, 2);
116 lcd.print("Marti Beck Macaya");
117 lcd.setCursor(0, 3);
118 lcd.print("Versio v1.1");
119
120 // Esperem 2,5 segons //
```

```
121 delay(2500);
122
123 // Netegem la pantalla //
124 lcd.clear();
125}
126
127// Inici de la funció recursiva //.
128void loop()
129{
130  Rebre_TH(); // Cridem la
    funció que rep el missatge del sensor amb la temperatura i
    la humitat.//
131  Rebre_Consigna(); // Cridem la
    funció que rep la consigna del
    potenciometre. //
132  Calcul_temp(); // Cridem la
    funció que calcula la temperatura de la
    consigna. //
133  Enviar(); // Cridem la
    funció que envia el missatge als
    actuadors. //
134
135 // Imprimir la informació en pantalla.
136 if (const_imprimir >= 20) {
137   const_imprimir = 0;
138   Imprimir();
139 }
140 else {
141   const_imprimir = const_imprimir + 1;
142 }
143
144 // Gestionem l'apagament automàtic de la pantalla al
    passar uns 30 segons (aproximadament). //
145 if (timeout_pantalla == 468) {
146   lcd_onoff = false;
147 }
148 else{
149   timeout_pantalla = timeout_pantalla + 1;
150 }
151
152 // Gestionem l'encesa i l'apagada del display en funció
    dels valors marcats en el programa. //
153 if (lcd_onoff) {
154   lcd.backlight();
155   lcd.display();
```

```
156 }
157 else{
158     lcd.noBacklight();
159     lcd.noDisplay();
160 }
161
162
163}
164
165// Funció interrupció del botó "pantalla". //
166void interr_pantalla() {
167    // Tots aquells valors que es detectin entre la primera
    // detecció i Temps_espera (150 ms) s'ignoraran). //
168    if (millis() - temps_ultima_interr_1 > Temps_espera) {
169        lcd_onoff = !lcd_onoff;           // Invertim
        // l'estat de la
        // pantalla. //
170        timeout_pantalla = 0;           // Reiniciem el
        // comptador de la
        // pantalla. //
171        Serial.print("Interupció pantalla correcta");
172        temps_ultima_interr_1 = millis();
173    }
174}
175
176
177// Funció interrupció del botó "potencia". //
178void interr_potencia() {
179    // Tots aquells valors que es detectin entre la primera
    // detecció i Temps_espera (150 ms) s'ignoraran). //
180    if (millis() - temps_ultima_interr_2 > Temps_espera) {
181        lcd_onoff = true;           // Invertim l'estat de
        // la
        // pantalla. //
182        const_imprimir = 20;           // Reiniciem el
        // comptador de la
        // pantalla. //
183        imprimir_potencia = true;
184        switch (potencia) {
185            case 1:
186                potencia = 2;
187                break;
188            case 2:
189                potencia = 3;
190                break;
```

```
191     case 3:
192         potencia = 1;
193         break;
194     default:
195         potencia = 2;
196         break;
197     }
198     Serial.print("Interupció potencia correcta");
199     temps_ultima_interr_2 = millis();
200 }
201}
202
203
204// Funció que gestiona l'arribada de nous missatges. //
205void Rebre_TH(){
206     radio.openReadingPipe(1, ReadingPipe);           // Obrim, en
        segon lloc i per seguretat l'adreça de
        lectura.                                     //
207     radio.startListening();                           // Comencem
        a
        escoltar.
        //
208     if ( radio.available() ) {                         // Si hi ha
        un missatge per llegir i mentre aquest missatge aparegui als
        registres del xip, llegim. //
209         while (radio.available()) {
210             radio.read( &msg_IN_sensor, sizeof(msg_IN_sensor) );
211         }
212         newData = true;                               // Activem
        la variable per a que el programa sapigui que hem
        llegit. //
213     }
214
215     // Gestionem la impressió en pantalla PC de les dades. //
216     if (newData == true) {
217         Serial.print("Missatge rebut. ");
218         Serial.println(msg_IN_sensor);
219         newData = false;
220     }
221     else {
222         Serial.println("No s'ha rebut res.");
223     }
224}
225
226
```

```
227// Funció que gestiona l'adquisició de la consigna. //
228void Rebre_Consigna() {
229  float consigna_raw, consigna_filt;      // Variables
      temporals per a filtrar i convertir el valor
      desitjat.          //
230  int consigna_round;
231
232  consigna_raw = analogRead(A0);          // Llegim el
      valor.
233
234  consigna_filt = 0.0146 * consigna_raw + 15; // Operem amb
      els valors. //
235
236  consigna_round = round(consigna_filt);
237
238  // Donat que la sensibilitat del nostre sensor és de 0,5
      °C no té sentit establir una consigna amb més precisió que
      aquesta sensibilitat,
239  // Per tant, aproximem, sempre, els valors en increments
      de 0,5 °C. //
240  if (abs(consigna_round - consigna_filt) < 0.25)
241  {
242    consigna = consigna_round;
243  }
244
245  if (abs(consigna_round - consigna_filt) > 0.25)
246  {
247    if (consigna_round - consigna_filt > 0)
248    {
249      consigna = consigna_round - 0.5;
250    }
251    if (consigna_round - consigna_filt < 0)
252    {
253      consigna = consigna_round + 0.5;
254    }
255  }
256}
257
258
259// Funció que gestiona la descodificació del missatge i els
      càlculs del missatge a enviar a l'actuador.. //
260void Calcul_temp() {
261  char humitat_char[3] = "00", temperatura_char[4] = "000";
262  float T_r_c_float, RH_float;
```

```
263
264 // Creem els chars amb els valors de temperatura i
    humitat.
265 humitat_char[0] = msg_IN_sensor[0];
266 humitat_char[1] = msg_IN_sensor[1];
267 temperatura_char[0] = msg_IN_sensor[2];
268 temperatura_char[1] = msg_IN_sensor[3];
269 temperatura_char[2] = msg_IN_sensor[4];
270
271 // Convertim els chars a float. //
272 T_r_c_float = atof(temperatura_char) / 10;
273 RH_float = atof(humitat_char);
274
275 // Calculem la mitjana dels tres últims valors. //
276 switch (mesura)
277 {
278     case 1:
279         mesura = mesura + 1;
280         T_r_c_mesura1 = T_r_c_float;
281         RH_mesura1 = RH_float;
282         break;
283     case 2:
284         mesura = mesura + 1;
285         T_r_c_mesura2 = T_r_c_float;
286         RH_mesura2 = RH_float;
287         break;
288     case 3:
289         mesura = 1;
290         T_r_c_mesura3 = T_r_c_float;
291         RH_mesura3 = RH_float;
292         break;
293     default:
294         mesura = 1;
295         break;
296 }
297
298 T_r_c = (T_r_c_mesura1 + T_r_c_mesura2 + T_r_c_mesura3) /
    3;
299 RH     = (RH_mesura1 + RH_mesura2 + RH_mesura3) / 3;
300
301 // Operem per a conèixer l'equivalent a temperatura de
    sensació. //
302 T_r_f = (T_r_c * 9 / 5) + 32;
```



```
303  T_s_f = -
      42.379 + 2.04901523 * T_r_f + 10.14333127 * RH - 0.22475541
      * T_r_f * RH - 0.00683783 * T_r_f * T_r_f - 0.05481717 * RH
      * RH + 0.00122874 * T_r_f * T_r_f * RH + 0.00085282 * T_r_f
      * RH * RH - 0.00000199 * T_r_f * T_r_f * RH * RH;
304  T_s_c = (T_s_f - 32) * 5 / 9;
305}
306
307
308// Funció que gestiona l'enviament del missatge a
      l'actuador. //
309void Enviar()
310{
311  float error = 0, vel_max;
312  int i_loop = 2, Variable_temporal = 0;
313  int vel_motor = 0, vel_motor_centena = 0, vel_motor_desena
      = 0, vel_motor_unitat = 0, vel_temporal = 0;
314
315  // Gestionem resistor. //
316  if (T_r_c <= consigna)
317  {
318    msg_OUT_controlador[0] = '1';
319  }
320  else
321  {
322    msg_OUT_controlador[0] = '0';
323  }
324
325  // Gestionem ventilador en funció de la potència màxima.
      //
326  error = abs(consigna - T_r_c);
327  switch (potencia)
328  {
329    case 1:
330      vel_max = 150;
331      break;
332    case 2:
333      vel_max = 200;
334      break;
335    case 3:
336      vel_max = 250;
337      break;
338    default:
339      vel_max = 200;
```

```
340     break;
341 }
342
343 // Convertim, descodifiquem i operem amb els valors de
    velocitat que enviarem a l'actuador. //
344 vel_motor = ((vel_max-40)/15)*error + 40;
345
346 vel_motor_unitat = vel_motor % 10;
347 vel_temporal = vel_motor / 10;
348 vel_motor_desena = vel_temporal % 10;
349 vel_motor_centena = vel_temporal / 10;
350
351 if (error != 0)
352 {
353     msg_OUT_controlador[1] = '1';
354 }
355 else
356 {
357     msg_OUT_controlador[1] = '0';
358 }
359
360 for (i_loop = 2; i_loop < 5; i_loop = i_loop + 1) {
361     // Assignem a la variable temporal el valor del num que
    volem carregar al missatge. //
362     switch (i_loop) {
363         case 2:
364             Variable_temporal = vel_motor_centena;
365             break;
366         case 3:
367             Variable_temporal = vel_motor_desena;
368             break;
369         case 4:
370             Variable_temporal = vel_motor_unitat;
371             break;
372         default:
373             Variable_temporal = 0;
374             break;
375     }
376
377     // Carreguem al missatge el valor en la posició
    adequada. //
378     switch (Variable_temporal) {
379         case 0:
380             msg_OUT_controlador[i_loop] = '0';
```

```
381     break;
382     case 1:
383         msg_OUT_controlador[i_loop] = '1';
384         break;
385     case 2:
386         msg_OUT_controlador[i_loop] = '2';
387         break;
388     case 3:
389         msg_OUT_controlador[i_loop] = '3';
390         break;
391     case 4:
392         msg_OUT_controlador[i_loop] = '4';
393         break;
394     case 5:
395         msg_OUT_controlador[i_loop] = '5';
396         break;
397     case 6:
398         msg_OUT_controlador[i_loop] = '6';
399         break;
400     case 7:
401         msg_OUT_controlador[i_loop] = '7';
402         break;
403     case 8:
404         msg_OUT_controlador[i_loop] = '8';
405         break;
406     case 9:
407         msg_OUT_controlador[i_loop] = '9';
408         break;
409     default:
410         msg_OUT_controlador[i_loop] = 'e';
411         break;
412     }
413 }
414
415 radio.stopListening(); // Parem
    d'escoltar per a poder escriure. //
416 radio.openWritingPipe(WritingPipe); // Obrim
    l'adreça d'escriptura. //
417
418 result = radio.write( &msg_OUT_controlador, sizeof(msg_OUT
    _controlador) ); // Escrivim el missatge al port de sortida
    com a punter. //
419
420 Serial.print("Missatge enviat. ");
```

```
421 Serial.print(msg_OUT_controlador);
422 if (result) {
423     Serial.println(" Missatge rebut.");
424 }
425 else {
426     Serial.println(" Error enviar.");
427 }
428}
429
430
431// Funció que gestiona l'enviament de dades a la pantalla.
//
432void Imprimir()
433{
434 String
435     T_r_c_string, RH_string, T_s_c_string, consigna_string;
436 T_r_c_string = String(T_r_c);
437 RH_string = String(RH);
438 T_s_c_string = String(T_s_c);
439 consigna_string = String(consigna);
440
441 lcd.clear();
442 if (imprimir_potencia == false) {
443     lcd.setCursor(0, 0);
444     lcd.print("Temp. real = ");
445     lcd.print(T_r_c_string);
446     lcd.print(" C");
447
448     lcd.setCursor(0, 1);
449     lcd.print("Humitat r. = ");
450     lcd.print(RH_string);
451     lcd.print(" %");
452
453     lcd.setCursor(0, 2);
454     lcd.print("T. de sens.= ");
455     lcd.print(T_s_c_string);
456     lcd.print(" C");
457
458     lcd.setCursor(0, 3);
459     lcd.print("Consigna = ");
460     lcd.print(consigna_string);
461     lcd.print(" C");
462 }
```

```
463 else {
464     lcd.setCursor(0, 0);
465     lcd.print("Potencia = ");
466     lcd.print(potencia);
467     imprimir_potencia = false;
468 }
469 }
470
```

A2. Codi del sensor.

```

1  /* Creador:           Martí Beck Macaya.
2  * Editor:            Martí Beck Macaya.
3  * Data de creació:   15/03/2019.
4  * Última actualització: 07/05/2019
5  *
6  * Descripció: Aquest codi agafa la temperatura i la
   humitat que dona el xip AM2320 i la transmet al controlador
   amb el xip nRF24L01.
7  */
8
9  // Llibreries //
10 #include <nRF24L01.h>
11 #include <RF24.h>
12 #include <RF24_config.h>
13 #include <SPI.h>
14
15 #include "Adafruit_Sensor.h"
16 #include "Adafruit_AM2320.h"
17
18 #define CE_PIN    9
19 #define CSN_PIN  10
20
21 Adafruit_AM2320 am2320 = Adafruit_AM2320 ();
22
23 const uint64_t WritingPipe = 0xF1F1F1F1BB;
24
25 RF24 radio(CE_PIN, CSN_PIN);
26
27 char msg_OUT_sensor[12] = "00000"; // Array a transmetre
28 int Temperatura = 22, T_centena, T_desena, T_unitat, T_tempo
   ral;
29 int Humitat = 55, H_desena, H_unitat;
30
31 int i_loop;
32 int Variable_temp;
33
34 bool newData = false;
35 bool result = false;
36
37 void setup(void)
38 {
39   Serial.begin(9600);

```

```
40 Serial.println("1");
41 am2320.begin();
42 radio.begin();
43 radio.setCRCLength(RF24_CRC_16);
44 radio.setDataRate(RF24_250KBPS);
45 radio.setChannel(100);
46 radio.setPALevel(RF24_PA_MAX);
47 radio.setRetries(5,10); // delay, count
48 }
49
50 void loop(void)
51 {
52   Llegir_temp_hum();
53   Enviar_senyal();
54 }
55
56
57 // Funcions //
58 void Llegir_temp_hum()
59 {
60   Humitat = am2320.readHumidity();
61   Temperatura = am2320.readTemperature()*10;
62
63   H_unitat = Humitat % 10;
64   H_desena = Humitat / 10;
65   T_unitat = Temperatura % 10;
66   T_temporal = Temperatura / 10;
67   T_desena = T_temporal % 10;
68   T_centena = T_temporal / 10;
69 }
70
71
72 void Enviar_senyal()
73 {
74   strcpy(msg_OUT_sensor, "");
75   for (i_loop = 0; i_loop < 4; i_loop = i_loop + 1) {
76
77     // Assignem a la variable temporal el valor del num que
78     // volem carregar al missatge. //
79     switch (i_loop) {
80       case 0:
81         Variable_temp = H_desena;
82         break;
83       case 1:
```

```
83     Variable_temp = H_unitat;
84     break;
85     case 2:
86         Variable_temp = T_centena;
87         break;
88     case 3:
89         Variable_temp = T_desena;
90         break;
91     case 4:
92         Variable_temp = T_unitat;
93         break;
94     case 5:
95         Variable_temp = 9;
96         break;
97     default:
98         Variable_temp = 0;
99         break;
100 }
101
102 // Carreguem al missatge el valor en la posició
adequada. //
103 switch (Variable_temp) {
104     case 0:
105         msg_OUT_sensor[i_loop] = '0';
106         break;
107     case 1:
108         msg_OUT_sensor[i_loop] = '1';
109         break;
110     case 2:
111         msg_OUT_sensor[i_loop] = '2';
112         break;
113     case 3:
114         msg_OUT_sensor[i_loop] = '3';
115         break;
116     case 4:
117         msg_OUT_sensor[i_loop] = '4';
118         break;
119     case 5:
120         msg_OUT_sensor[i_loop] = '5';
121         break;
122     case 6:
123         msg_OUT_sensor[i_loop] = '6';
124         break;
125     case 7:
```



```
126     msg_OUT_sensor[i_loop] = '7';
127     break;
128     case 8:
129         msg_OUT_sensor[i_loop] = '8';
130         break;
131     case 9:
132         msg_OUT_sensor[i_loop] = '9';
133         break;
134     default:
135         msg_OUT_sensor[i_loop] = 'e';
136         break;
137     }
138 }
139
140 radio.stopListening();
141 radio.openWritingPipe(WrittingPipe);
142
143 result = radio.write( &msg_OUT_sensor, sizeof(msg_OUT_sens
    or) );
144
145 Serial.print("Missatge enviat ");
146 Serial.print(msg_OUT_sensor);
147 if (result) {
148     Serial.println(" Missatge rebut.");
149 }
150 else {
151     Serial.println(" Error. Missatge no rebut.");
152 }
153 }
154
```

A3. Codi de l'actuador.

```

1  /* Creador:           Martí Beck Macaya.
2  * Editor:            Martí Beck Macaya.
3  * Data de creació:   20/03/2019.
4  * Última actualització: 19/05/2019
5  *
6  * Descripció: Aquest codi controla l'estat del ventilador
   i el calentador a través de les comandes que li dona el
   controlador.
7  */
8
9  // Llibreries necessàries per a fer servir el xip NRF24L01
   de comunicació. //
10 #include <nRF24L01.h>
11 #include <RF24.h>
12 #include <RF24_config.h>
13 #include <SPI.h>
14
15 #define CE_PIN    9
16 #define CSN_PIN  10
17
18
19 // Definim els pins de comunicació del xip NRF //
20 RF24 radio(CE_PIN, CSN_PIN);
21
22 const uint64_t ReadingPipe = 0xF0F0F0F0AA;
23
24 char msg_IN_controlador[12] = ""; // msg[0] =
   resistor; msg[1] = ventilador; msg[2,4] = velocitat del
   ventilador;.
25 char vel_motor_char[4] = "000";
26
27 int DIGPin_Resistor = 2, DIGPin_Ventilador = 4, ANAPin_Venti
   lador = 3;
28
29 int temps_espera = 0;
30 int vel_motor = 0;
31
32 bool MissNou = false;
33
34 unsigned long ultim_missatge;
35 const unsigned long timeout = 120000;
36

```

```
37 void setup() {
38   // put your setup code here, to run once:
39   pinMode(DIGPin_Resistor, OUTPUT);
40   pinMode(DIGPin_Ventilador, OUTPUT);
41   pinMode(ANAPin_Ventilador, OUTPUT);
42
43   Serial.begin(9600);
44   Serial.println("Inici RX");
45   radio.begin();
46   radio.setCRCLength(RF24_CRC_16);
47   radio.setDataRate(RF24_250KBPS);
48   radio.setChannel(100);
49   radio.setPALevel(RF24_PA_MAX);
50   radio.setRetries(5,10);
51   radio.openReadingPipe(1, ReadingPipe);
52   radio.startListening();
53
54   Serial.println("testejant relés ");           // Comprovem el
funcionament dels relés. //
55
56   Serial.println("Relé ressitor 2 segons ");
57   digitalWrite( DIGPin_Resistor, HIGH);
58   delay(2000);
59   digitalWrite( DIGPin_Resistor, LOW);
60
61   Serial.println("Relé ventilador 2 segons ");
62   digitalWrite( DIGPin_Ventilador, HIGH);
63   delay(2000);
64   digitalWrite( DIGPin_Ventilador, LOW);
65
66 }
67
68 void loop()
69 {
70   RebreMissatge();
71
72   if (MissNou == true) {
73     Serial.print("Missatge rebut: ");
74     Serial.println(msg_IN_controlador);
75
76     Ventilador();
77     Resistor();
78
79     MissNou = false;
```

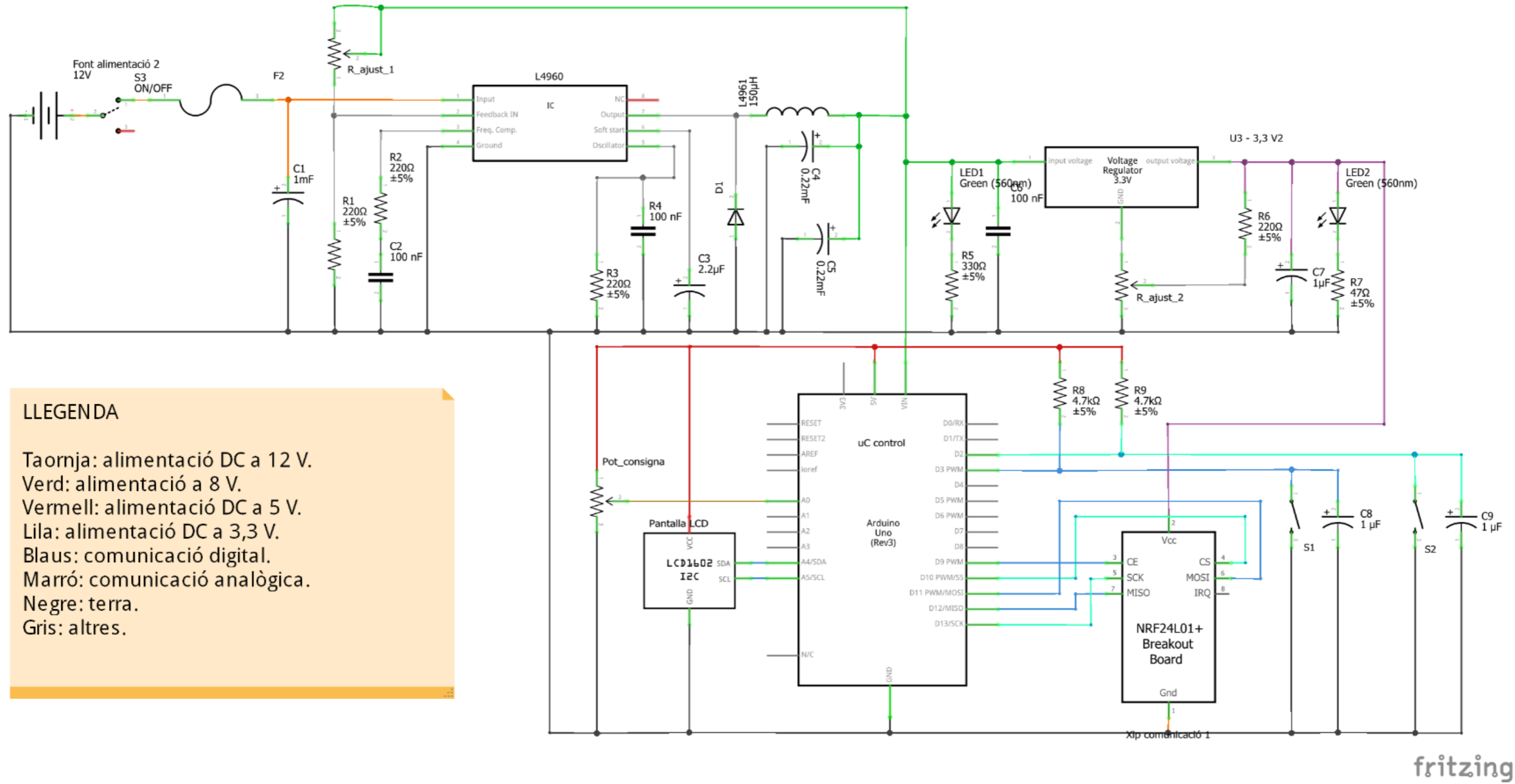
```
80 }
81 else {
82     Serial.println("No s'ha rebut res.");
83     apagar_auto();
84 }
85 }
86
87
88 void RebreMissatge() {
89     radio.startListening();
90     if ( radio.available(ReadingPipe) ) {
91         while (radio.available()) {
92             radio.read( &msg_IN_controlador, sizeof(msg_IN_controlador) );
93             MissNou = true;
94             ultim_missatge = millis();
95         }
96     }
97     else {
98         MissNou = false;
99     }
100 }
101
102 void Ventilador() {
103     // Gestionem ventilador //
104
105     switch (msg_IN_controlador[1]) {
106         case '1':
107             digitalWrite( DIGPin_Ventilador, HIGH);
108             break;
109         case '0':
110             digitalWrite( DIGPin_Ventilador, LOW);
111             break;
112         default:
113             digitalWrite( DIGPin_Ventilador, LOW);
114             break;
115     }
116
117     vel_motor_char[0] = msg_IN_controlador[2];
118     vel_motor_char[1] = msg_IN_controlador[3];
119     vel_motor_char[2] = msg_IN_controlador[4];
120
121     vel_motor = atof(vel_motor_char);
122
```

```
123 analogWrite( ANAPin_Ventilador, vel_motor);
124
125
126}
127
128void Resistor() {
129 // Gestionem resistor //
130 switch (msg_IN_controlador[0]) {
131     case '1':
132         digitalWrite( DIGPin_Resistor, HIGH);
133         break;
134     case '0':
135         digitalWrite( DIGPin_Resistor, LOW);
136         break;
137     default:
138         digitalWrite( DIGPin_Resistor, LOW);
139         break;
140 }
141}
142
143void apagar_auto() {
144 if (millis() - ultim_missatge > timeout){ // Si la
145     diferència temporal entre el moment en que s'ha rebut
146     l'últim missatge i ara és més gran de 2 minuts, apagar els
147     actuadors. //
148
149     digitalWrite(2, LOW);
150     digitalWrite(4, LOW);
151     ultim_missatge = 0;
152 }
```

Annex B: Esquema electrònic.

De la mateixa manera que s'ha inclòs en l'Annex A els codis descarregats en els tres microcontroladors, en aquest apartat s'hi inclouen els dissenys elèctrics i electrònics dels tres circuits que componen el projecte.

B1. Circuit del controlador.



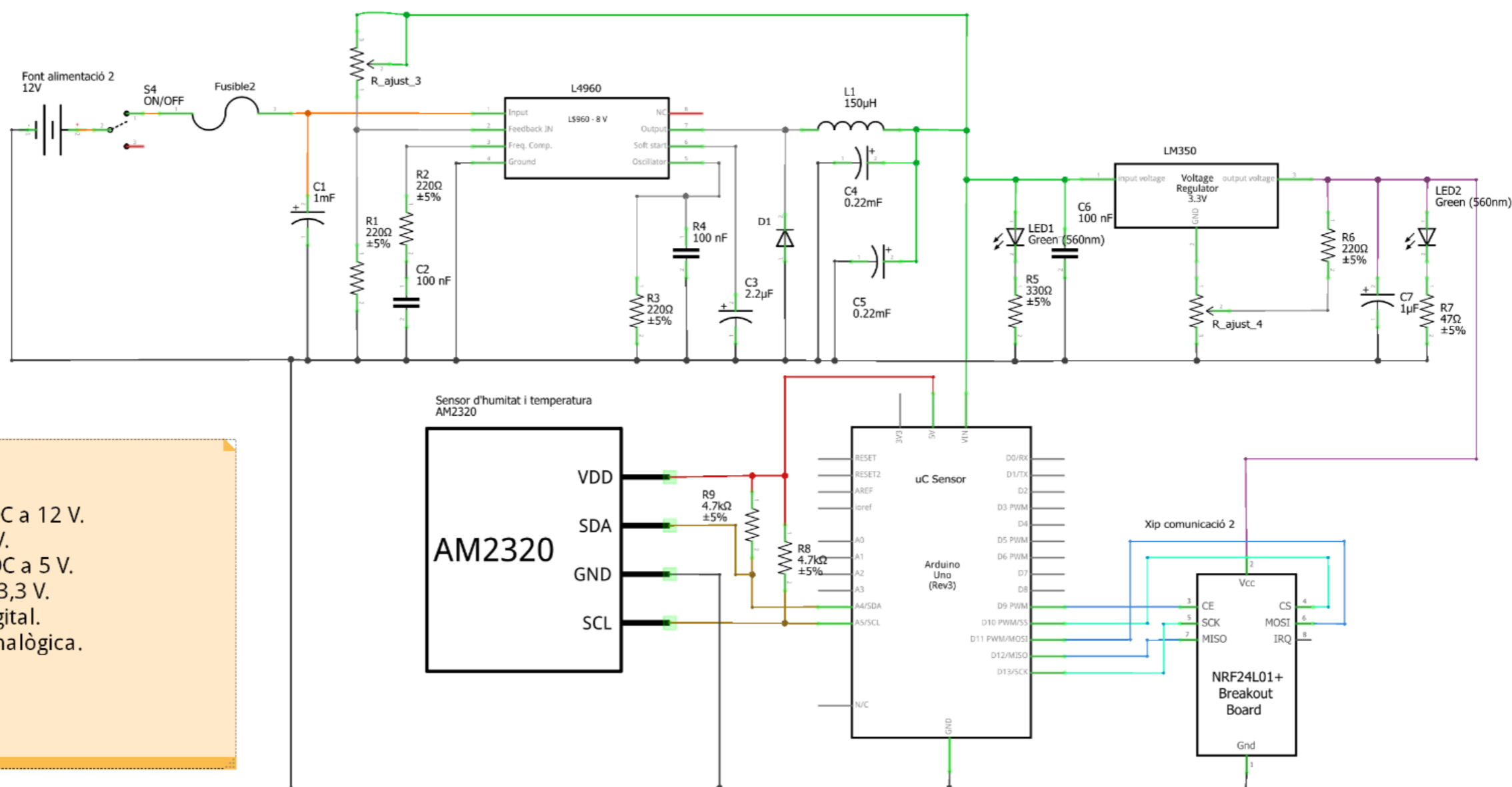
LLEGENDA

Taornja: alimentació DC a 12 V.
 Verd: alimentació a 8 V.
 Vermell: alimentació DC a 5 V.
 Lila: alimentació DC a 3,3 V.
 Blaus: comunicació digital.
 Marró: comunicació analògica.
 Negre: terra.
 Gris: altres.

Figura 50: esquema electrònic del circuit controlador. Font: pròpia.

fritzing

B2. Circuit del sensor.



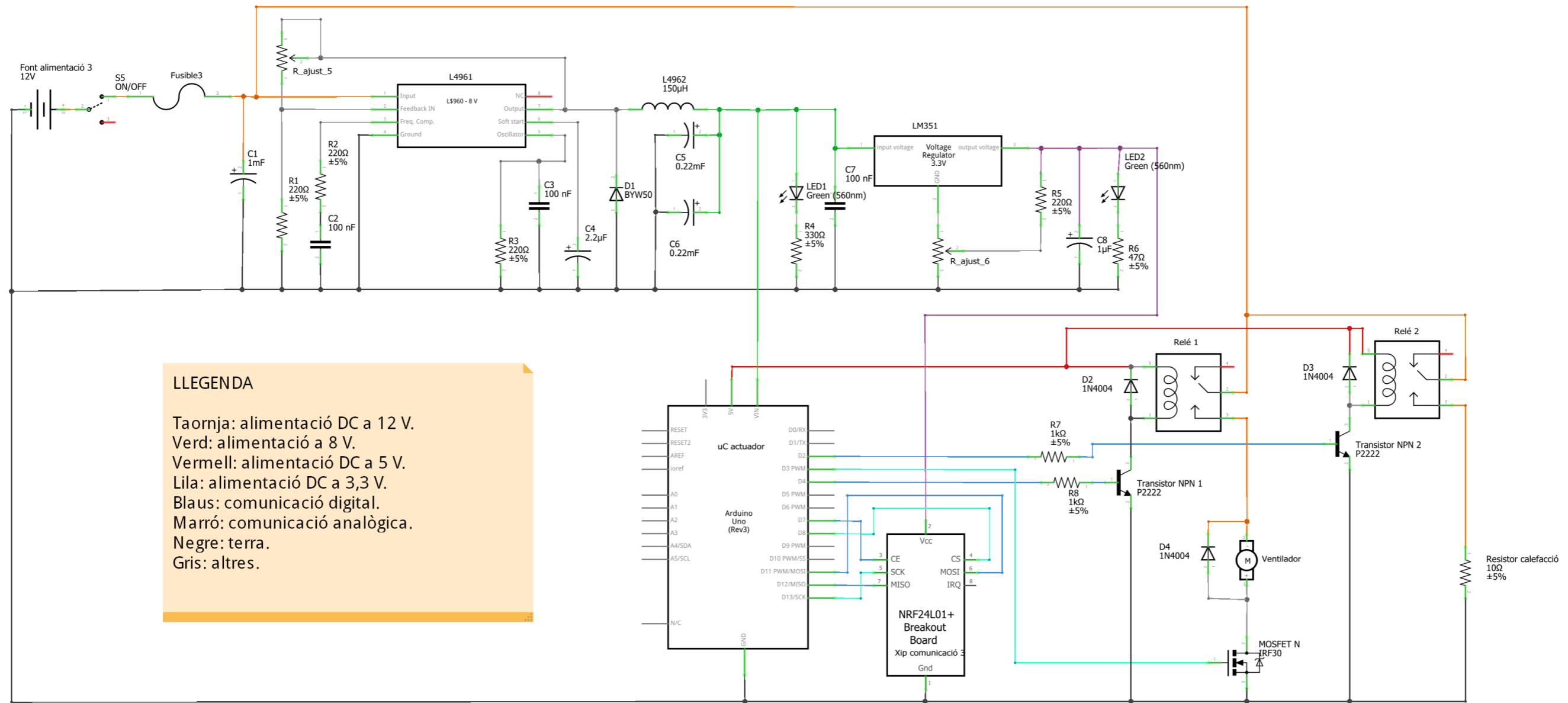
LLEGENDA

Taornja: alimentació DC a 12 V.
 Verd: alimentació a 8 V.
 Vermell: alimentació DC a 5 V.
 Lila: alimentació DC a 3,3 V.
 Blaus: comunicació digital.
 Marró: comunicació analògica.
 Negre: terra.
 Gris: altres.

fritzing

Figura 51: esquema electrònic del circuit sensor. Font: pròpia.

B3. Circuit de l'actuator.



LLEENDA

Taornja: alimentació DC a 12 V.
 Verd: alimentació a 8 V.
 Vermell: alimentació DC a 5 V.
 Lila: alimentació DC a 3,3 V.
 Blaus: comunicació digital.
 Marró: comunicació analògica.
 Negre: terra.
 Gris: altres.

Figura 52: esquema electrònic del circuit actuator. Font: pròpia.

fritzing

B4. Esquema del microcontrolador i el seu circuit.

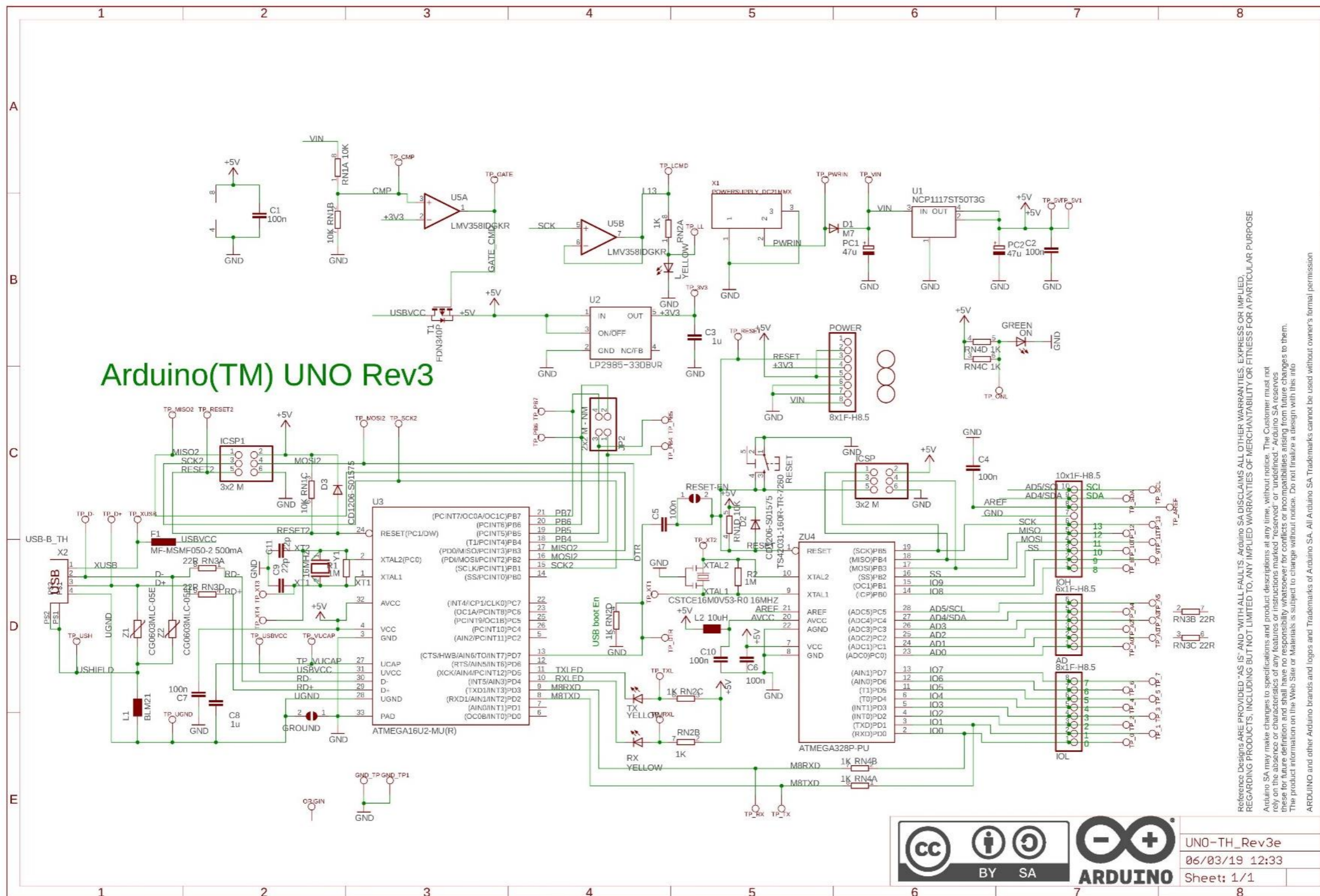


Figura 53: Esquema electrònic del circuit del microcontrolador. Font: <https://www.arduino.cc/>.

B5. Esquema del circuit bàsic del xip nRF24L01.

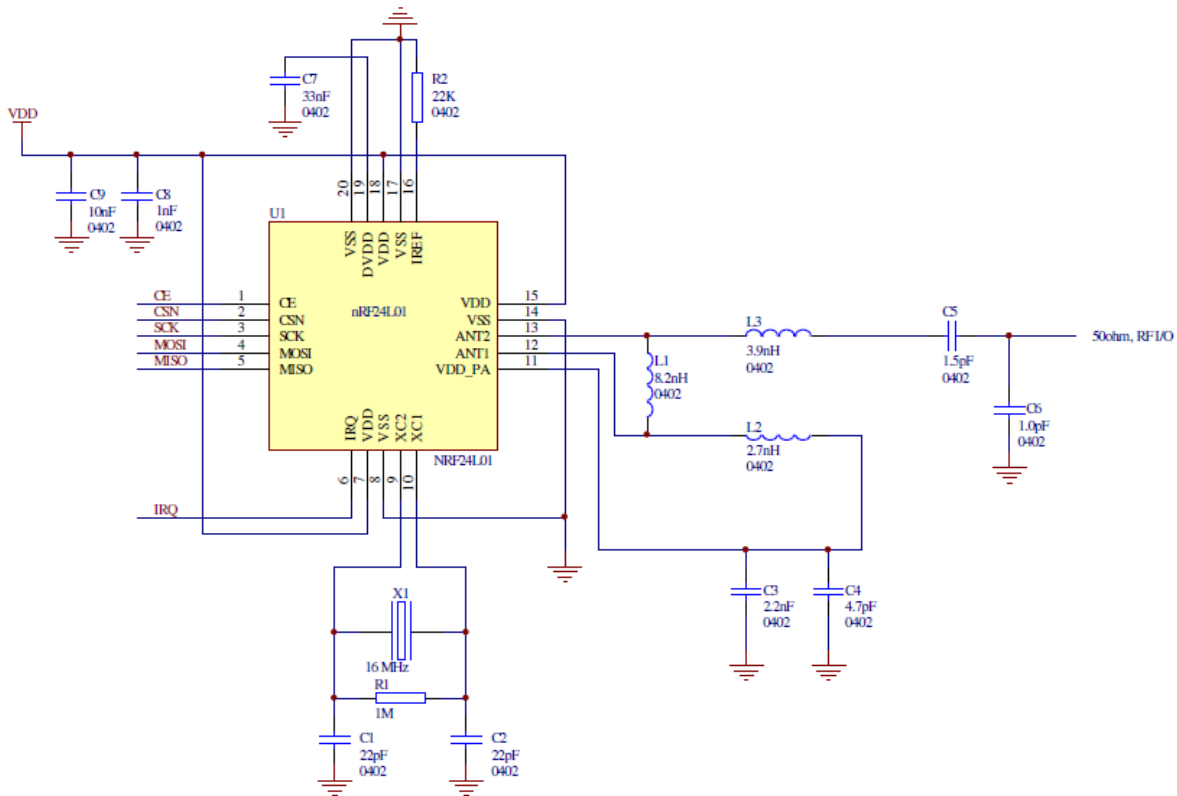


Figura 54: Esquema electrònic del circuit del xip nRF24L01. Font: (Nordic Semiconductor ASA, 2006).

B6. Esquema del circuit bàsic del display LCD.

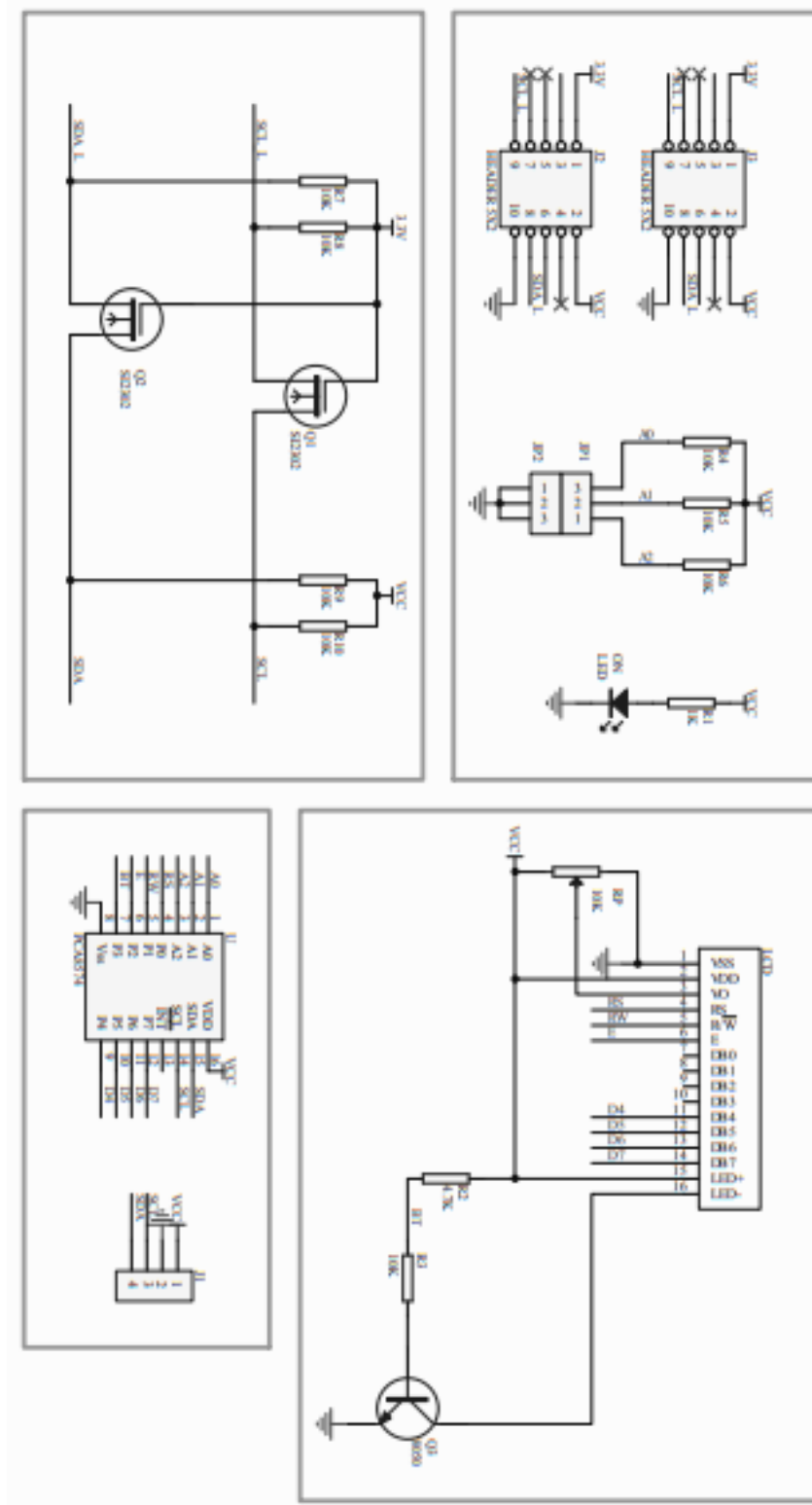


Figura 55: Esquema electrònic del display LCD. Font: www.scribd.com.