



Escola Universitària d'Enginyeria
Tècnica Industrial de Barcelona
Consorci Escola Industrial de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Volum I
Memòria

TREBALL DE FI DE GRAU



**“CONTROL I
MONITORITZACIÓ
SENSE FILS D’UN
HABITATGE”**

TFG presentat per obtenir el títol de GRAU en
ENGINYERIA ELECTRÒNICA INDUSTRIAL I
AUTOMÀTICA

Per **Joan Bergadà Bofill**

Barcelona, 14 d'Octubre de 2015

Director: Manuel Manzanares Brotons
Departament d'Enginyeria Electrònica (EEL)
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

ÍNDEX MEMÒRIA

Índex memòria	1
Resum	5
Resumen	5
Abstract	5
Agraïments	6
Capítol 1: Objecte del projecte	7
Capítol 2: Motivació i justificació	9
Capítol 3: Especificacions bàsiques	11
3.1. Descripció del problema.....	11
3.2. Especificacions tècniques	12
Capítol 4: Sistemes domòtics	13
4.1. Breu descripció dels sistemes domòtics	13
Capítol 5: Xarxes sense fils	15
5.1. Introducció	15
5.2. Classificació de les xarxes sense fils.....	16
5.3. Comparació entre xarxes de curt abast wlan i wpan	18
Capítol 6: Xarxes ZigBee	19
6.1. Introducció	19
6.2. Característiques més significatives del sistema ZigBee.....	20
6.3. Tipus de transmissions de dades	21
6.4. Tipus de dispositius.....	21
6.5. Topologia de la xarxa	22
6.6. Capes de ZigBee.....	23
Capítol 7: Possibles solucions	25
Capítol 8: Solució escollida	29
8.1. Característiques dels mòduls XBee	29
8.2. Muntatge bàsic.....	34
8.3. Direccionament	34
8.3.1. Direccionament de 16 bits	34
8.3.2. Direccionament de 64 bits	35

8.4.	Comunicacions	36
8.4.1.	Comunicació sense fils	36
8.4.2.	Comunicació sèrie	36
8.5.	Estats de treball	41
8.5.1.	Mode rebre/transmetre	41
8.5.2.	Mode comandes	42
8.5.3.	Mode sleep.....	42
8.5.4.	Mode Idle.....	43
8.6.	Modes de treball.....	44
8.6.1.	Mode transparent.....	44
8.6.2.	Mode API	44
8.7.	Protecció de dades.....	47
8.8.	Software xctu	47
Capítol 9:	Dispositius de la xarxa	51
9.1.	Descripció general	51
9.2.	Elements comuns	52
9.2.1.	Commissioning button.....	52
9.2.2.	Associate Led	53
9.3.	Bateries	53
9.4.	Coordinador.....	58
9.4.1.	Introducció.....	58
9.4.2.	Característiques	59
9.4.3.	Paràmetres de configuració del mòdul XBee.....	60
9.5.	Mòdul de control.....	60
9.5.1.	Introducció.....	60
9.5.2.	Característiques	61
9.5.3.	Paràmetres de configuració del mòdul XBee.....	68
9.6.	Teclat	69
9.6.1.	Introducció.....	69
9.6.2.	Característiques	70
9.6.3.	Paràmetres de configuració	72
9.7.	Control de consum.....	72
9.7.1.	Introducció.....	72
9.7.2.	Característiques	72
9.7.3.	Paràmetres de configuració	77
9.8.	Driver endolls	78

9.8.1. Introducció.....	78
9.8.2. Característiques	79
9.8.3. Paràmetres de configuració	84
9.9. Dimmer	85
9.9.1. Introducció.....	85
9.9.2. Característiques	85
9.9.3. Paràmetres de configuració	88
9.10. Altres opcions.....	89
Capítol 10: Interfície d'usuari i estructura del programa.....	91
10.1. Introducció	91
10.2. Comunicació entre els mòduls i el controlador.....	92
10.3. Estructura general del software	94
10.4. Finestra inicial	96
10.5. Finestra de configuració de la xarxa	96
10.6. Finestra de control instal·lació	102
Capítol 11: Normativa	117
Capítol 12: Planificació	119
Capítol 13: Possibles millores	121
Capítol 14: Bibliografia	123
14.1. Referències bibliogràfiques	123
14.2. Bibliografia de consulta	124

RESUM

Aquest projecte consisteix en el disseny i el prototipat d'un sistema de control i monitorització sense fils d'un habitatge mitjançant el protocol ZigBee amb l'objectiu de formar una xarxa modular per a reduir el cost i facilitar la implementació dels dispositius. El sistema s'ha de poder instal·lar a qualsevol habitatge sense necessitat de fer modificacions en la instal·lació convencional i s'han de poder gestionar tots els elements des d'una unitat de control oferint totes les prestacions d'un sistema domòtic.

RESUMEN

Este proyecto consiste en el diseño y la construcción del prototipo de un sistema de control y monitorización inalámbrico de una vivienda mediante el protocolo ZigBee con el objetivo de formar una red modular para reducir el coste y facilitar la implementación de los dispositivos. El sistema se debe poder instalar en cualquier vivienda sin necesidad de hacer modificaciones en la instalación convencional y se deben poder gestionar todos los elementos desde una unidad de control ofreciendo todas las prestaciones de un sistema domótico.

ABSTRACT

This project consists of designing and prototyping a wireless home monitoring control system with the ZigBee protocol. The objective is to form a modular net to reduce the costs and help with the device's implementation. The system can be installed in any home without having to modify the original installation and all the elements can be managed from a control unit offering all the functions of a home automation system.

AGRAÏMENTS

Per començar voldria agrair l'ajuda de Carlos Rodríguez. Gràcies a ell vaig començar a construir el projecte.

Agrair també l'ajuda i el suport al tutor Manuel Manzanares. Sempre disposat, atent i pacient.

Els últims agraïments van destinats a la meva família i a la meva parella. Sense ells no hagués estat possible. No només per aquest projecte sinó durant tota l'etapa universitària. M'han ajudat, recolzat i motivat per arribar fins aquí. Gràcies.

CAPÍTOL 1:

OBJECTE DEL PROJECTE

En l'actualitat, els sistemes automatitzats i informatitzats estan implantats en molts àmbits, indústria, automoció, comerç, agricultura... Aquests sistemes estan en contínua evolució i cada cop són més necessaris per a millorar la producció, l'estalvi energètic, la comoditat...

No obstant, la implantació de sistemes domòtics en habitatges no està tan estès. El principal motiu és el cost de la instal·lació d'aquests sistemes.

És més habitual instal·lar sistemes domòtics en obres de nova construcció, ja que des d'un inici es dimensiona, calcula i adapta tota la instal·lació per a poder controlar-la amb un sistema domòtic.

Adaptar habitatges d'antiga construcció és més costós degut a que, a més del cost dels dispositius sensors, actuadors i controladors, s'ha de modificar tota la instal·lació convencional, amb el cost que això implica.

Per tant, l'objectiu del projecte és dissenyar i crear un prototip funcional d'una xarxa sense fils per al control i la monitorització d'un habitatge. D'aquesta manera s'aconsegueix el mateix grau d'automatització i prestacions que ofereixen els sistemes domòtics convencionals reduint el cost dels dispositius i de la instal·lació.

A part dels avantatges que representa la reducció de costos i de no modificar la instal·lació convencional, aquest sistema és modular per a que l'usuari pugui ampliar els elements controlats o sensors i detectors quan sigui necessari. Inicialment s'han definit una sèrie de mòduls amb unes funcions concretes, però en poden existir molts de diferents específics per a qualsevol element a controlar. Amb el protocol de comunicacions utilitzat, es podrien controlar tots els electrodomèstics de casa, com rentadores, robots de neteja i de cuina, televisors, etc, si els fabricants incorporessin els corresponents controladors en els seus aparells.

Perquè sigui un producte competitiu, ha d'incorporar un software de configuració, control i monitorització atractiu i versàtil. Atractiu per a l'usuari, que sigui intuïtiu i agradable. Versàtil perquè ha de ser capaç de realitzar moltes funcions, trobar tots els mòduls que formen la xarxa i poder-los configurar, gestionar la xarxa, afegint o eliminant mòduls i incorporar moltes altres funcions d'eficiència energètica, enregistrament de dades dels sensors, gestió d'alarmes i sistemes de seguretat, etc.

CAPÍTOL 2:

MOTIVACIÓ I JUSTIFICACIÓ

A l'hora de desenvolupar un projecte com aquest s'obre un gran ventall d'opcions i possibilitats. És una oportunitat única de conèixer i aprofundir sobre temes que et desperten interès.

L'interès per la domòtica no és nou, és una tecnologia en constant evolució, però sempre hi ha aspectes a millorar. En aquest projecte s'ha volgut aportar alguna innovació, per aquest motiu s'han buscat solucions que no oferissin els sistemes convencionals. La primera és poder controlar des d'un sol aparell fins a tota la casa. Normalment, les cases són domòtiques o no ho són, però no hi ha punt mig. Un altre punt seria poder modificar el sistema sempre que es vulgui: que fos tant fàcil com anar a una ferreteria, comprar un mòdul i un cop a casa, afegir-lo a la instal·lació en pocs minuts. Una part fonamental, difícil de solucionar, és evitar ampliar i modificar la instal·lació elèctrica convencional a l'hora d'implantar un sistema domòtic.

Com no podia ser d'una altra manera, l'interès per l'eficiència energètica tampoc és nou. Un cop l'habitatge és construït, millorar la seva eficiència energètica representa tot un repte. Un cop més s'ha d'optar per incorporar sistemes domòtics cars i difícils d'instal·lar.

Per tant, la motivació d'aquest projecte ha estat innovar per trobar una alternativa als sistemes domòtics habituals. Un sistema de baix cost, modular, flexible, sense necessitat de modificar la instal·lació convencional i que presenti una millora de la gestió energètica de l'habitatge.

Un cop plantejat el repte, la motivació és aconseguir-ho.

CAPÍTOL 3:

ESPECIFICACIONS

BÀSIQUES

3.1. Descripció del problema

Per tal que el sistema domòtic presenti un avantatge significatiu sobre els sistemes domòtics convencionals, ha de ser molt fàcil d'instal·lar i sense que impliqui modificacions en la instal·lació de l'habitatge. Aquest fet afecta directament sobre el cost del producte, ja que el preu serà únicament el dels dispositius.

Un altre aspecte a tenir en compte és que cada usuari té les seves necessitats i possibilitats, per tant el grau d'automatització de l'habitatge variarà segons cada situació. Per a poder resoldre aquest requisit, cada usuari ha de poder escollir els dispositius que necessita i poder ampliar el grau d'automatització sempre que vulgui.

Ja que no es modifica el sistema convencional, els dos sistemes, han de poder conviure. Si hi hagués una averia en el sistema de control, la instal·lació convencional ha de seguir funcionant.

A través dels sensors, detectors i la configuració dels dispositius, s'ha de poder millorar l'eficiència energètica de l'habitatge, apagant els llums sí no es detecta presència, ajustar el termòstat al sortir de casa, establir una prioritat de dispositius treballant simultàniament, etc...

Molts paràmetres de configuració del sistema de control han de ser seleccionats o modificats per l'usuari a través del software.

3.2. Especificacions tècniques

El prototip desenvolupat consta de sis mòduls que formen la xarxa i el dispositiu de control. Aquest dispositiu és una tauleta tàctil, que incorpora el software de monitorització i control.

Cada un dels mòduls està dissenyat per a unes tasques concretes.

El mòdul de control està pensat per a les habitacions i estances grans. És capaç de mesurar la temperatura i la llum, incorpora un detector de moviment i quatre polsadors. Funciona amb piles que poden durar fins a dos anys, per tant es pot ubicar a qualsevol lloc.

El teclat disposa de sis polsadors per realitzar diverses funcions. Està ideat per ubicar-lo a l'entrada de l'habitatge, i a cada polsador s'han incorporat funcions específiques, com "sortir de casa", apagant tots els llums, baixant persianes, etc.

El mòdul de control de consum s'ha d'ubicar a l'escomesa elèctrica de l'habitatge per a poder realitzar la lectura del consum elèctric en tot moment. El software disposa d'opcions d'estalvi energètic, establint un ordre de prioritats si es supera el consum establert.

El driver per a endolls serveix per controlar el dispositiu de potència connectat al mòdul. Mitjançant el software es pot conèixer el consum i encendre i parar de manera automàtica configurant el dispositiu.

El dimmer és un controlador d'intensitat de llum. Mitjançant aquets mòdul es pot regular la intensitat de llum d'una làmpada incandescent. També a través del software es pot conèixer el consum i configurar les funcions del dispositiu.

El sisè mòdul és el coordinador. No té accions associades, aquest és el dispositiu de gestió de la xarxa.

CAPÍTOL 4:

SISTEMES DOMÒTICS

4.1. Breu descripció dels sistemes domòtics

Es pot definir la domòtica com l'automatització i el control dels diferents dispositius elèctrics i electrònics de l'habitatge per millorar el confort, la seguretat i l'estalvi energètic.

Les principals característiques s'agrupen de la manera següent:

- Estalvi energètic
- Confort
- Seguretat
- Comunicacions

Es pot millorar l'estalvi energètic programant i dividint per zones la climatització i sabent la temperatura exterior, establint una prioritat d'aparells connectats a la vegada, apagant aparells innecessaris, prioritzant el màxim consum en hores de millors condicions tarifàries, etc.

El confort millora regulant la intensitat de llum, definint escenes, programant aparells per l'encesa automàtica, pujada i baixada automàtica de persianes, etc...

Els sistemes domòtics es poden dotar de sistemes de detecció d'intrusió, sensors de fuites de gas i aigua, d'incendi i actuar de manera conseqüent per evitar els possibles accidents.

Les comunicacions permeten informar i controlar a distància el que succeeix a l'habitatge.

Els principals dispositius pel control d'una casa domòtica són:

- **Sensors.** Els sensors són dispositius capaços de detectar magnituds físiques o químiques i transformar-les en variables elèctriques. Els més habituals són de temperatura, il·luminació, consum, aigua, gas, humitat, etc.
- **Actuadors.** Els actuadors són els responsables de dur a terme una acció. Encendre i parar un llum, pujar i baixar una persiana, connectar i desconnectar un dispositiu, etc.
- **Controladors.** Els controladors són els elements encarregats de gestionar tot el sistema en funció de la programació i la informació que reben dels sensors.
- **Bus.** El Bus és el mitjà de transmissió de la informació entre els diferents elements que formen el sistema.
- **Interfície.** La interfície és l'entorn en què es mostra i es controla tota la informació del sistema. És l'enllaç entre el dispositiu domòtic i l'usuari. Ja pot ser un display, un telèfon mòbil, una tauleta tàctil, etc.

Existeixen diferents arquitectures per formar els sistemes domòtics. Les més habituals són sistema centralitzat, descentralitzat, distribuït i mixt. Cada un d'ells presenta diferents prestacions en funció de les característiques de la instal·lació.

CAPÍTOL 5:

XARXES SENSE FILS

5.1. Introducció

Una xarxa sense fils és, com el seu nom indica, una xarxa en la qual dos o més dispositius es poden comunicar mitjançant un enllaç d'ones electromagnètiques, en comptes del cablejat estàndard.

Les ones electromagnètiques no necessiten un medi material per a desplaçar-se i s'agrupen en diferents denominacions en funció de la seva freqüència.

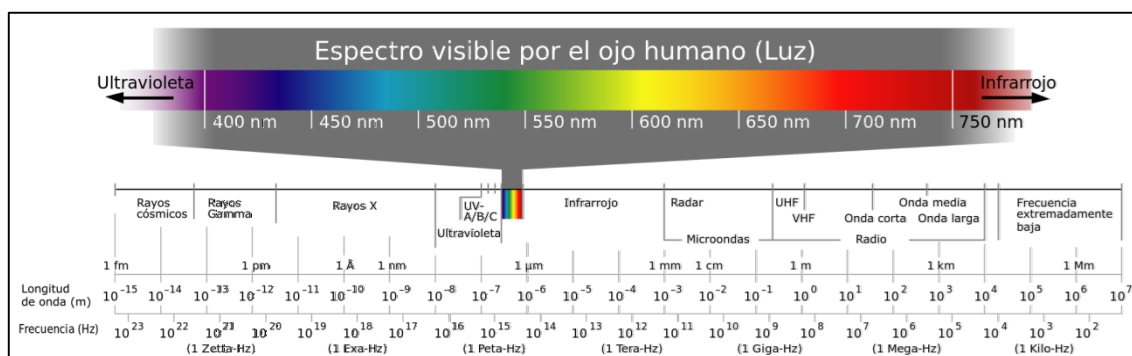


Figura 1. Espectre electromagnètic.

En els últims anys per poder satisfer les necessitats de portabilitat i mobilitat, les comunicacions sense fils han sofert un important creixement. Aquest tipus de comunicacions permet una comunicació eficaç i més còmoda, evitant l'ús de cables i per tant facilitant l'autonomia dels usuaris.

No s'espera que la tecnologia sense fils substitueixi els cables, però sí que presenta una sèrie d'avantatges respecte la tecnologia convencional.

Els principals avantatges són:

- Substituir el cablejat per sistemes sense fils, redueix els costos de la instal·lació, no només en el muntatge inicial sinó també per les ampliacions i el manteniment.
- Amb aquest tipus de sistemes es pot tenir accés a la xarxa de dades sense dependre de punts de connexió, permetent així una major mobilitat.
- En determinades zones pot ser molt costós fer arribar sistemes cablejats per a la comunicació, per causes del terreny i la distància. Amb els sistemes sense fils, es poden resoldre aquests inconvenients ja que la xarxa pot tenir un abast de desenes de quilòmetres.

Les principals bandes de freqüència per a la comunicació són les bandes d'infraroig i de radiofreqüència. Els infraroig permeten connexions de fins a 4Mbps, però el seu abast és molt curt i els dispositius han d'estar encarats i sense obstacles. D'altra banda, les comunicacions per radiofreqüència tenen una transferència de dades i un abast molt superiors, podent superar obstacles. Per aquests motius, són més adequades per a les xarxes de domòtica i comunicacions industrials.

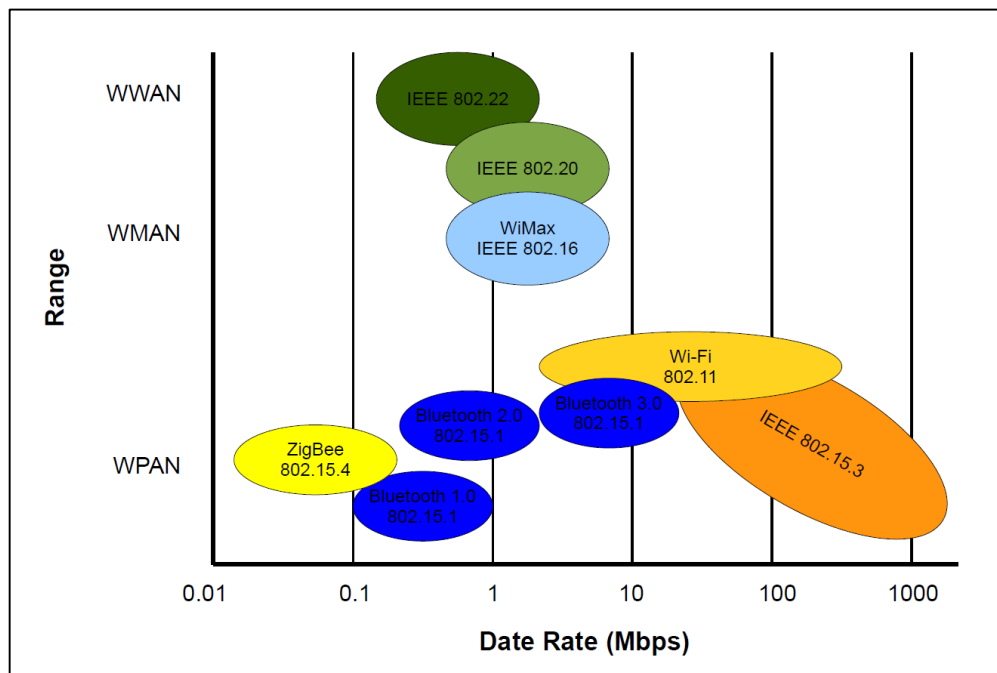
5.2. Classificació de les xarxes sense fils

En funció de la cobertura, les xarxes sense fils es poden classificar en diferents tipus.

- WWAN ("Wireless Wide Area Network"). Xarxes sense fils d'àrea geogràfica. Són les que tenen un major abast, des de desenes de metres fins a quilòmetres. Típicament utilitzades per a la comunicació de telefonia mòbil.
- WMAN ("Wireless Metropolitan Area Network"). Xarxes sense fils d'àrea metropolitana. Són similars a les WPAN. El principal estàndard és el WiMAX. Utilitzat per companyies de telecomunicacions per a transferència de dades de fins a 128 Mb/s.
- WLAN ("Wireless Local Area Network"). Xarxes sense fils d'àrea local. Molt utilitzat com a alternativa al LAN cablejat. Taxa de transferència de dades molt elevada, i un abast de fins a 150 m.
- WPAN ("Wireless Personal Area Network") . Xarxes sense fils d'àrea personal. Utilitzada per a la connexió de dispositius perifèrics. Curt abast de fins a desenes de metres.

Taula 1. Classificació xarxes sense fils.




Tipo de red	WWAN (Wide)	WMAN (Metropolitan)	WLAN (Local)	WPAN (Personal)
Estándar	GSM/GPRS/ UMTS	IEEE 802.16	IEEE 802.11	IEEE 802.15
Certificación		WiMAX	WiFi	Bluetooth, ZigBee
Velocidad máxima	42 Mb/s	128 Mb/s	600 Mb/s	55 Mb/s
Frecuencia	0,9/1,8/2,1 GHz	2-66 GHz	2,4 y 5 GHz Infrarrojos	2,4 GHz
Rango	35 Km	1 – 50 Km	30 - 150 m	10 m
Técnica radio	Varias	Varias	FHSS, DSSS, OFDM	FHSS
Itinerancia (roaming)	Sí	Sí (802.16e)	Sí	No
Equivalente a:	Conex. telef. (módem)	ADSL, CATV	LAN	Cables de conexión

**Figura 2.** Distància i velocitat de les xarxes sense fils.

5.3. Comparació entre xarxes de curt abast wlan i wpan

Les principals tecnologies de les xarxes WPAN són Wi-Fi, Bluetooth i Zigbee.

Les diferències més significatives de les diferents tecnologies es comparen en la següent taula:

	<u>Wi-Fi</u>	<u>Bluetooth</u>	<u>ZigBee</u>
Velocidad	<50 Mbps	1 Mbps	<250 kbps
Núm. nodos	32	8	255 / 65535
Duración batería	Horas	Días	Años
Consumo transm.	400 ma	40 ma	30 ma
Consumo reposo	20 ma	0.2 ma	3 µa
Precio	Caro	Medio	Barato
Configuración	Compleja	Compleja	Simple
Aplicaciones	Internet en edificios	Informática y móviles	Domótica y monitorización

Figura 3. Comparació entre Wifi, Bluetooth I ZigBee.

En conclusió, la tecnologia més adequada per crear una xarxa sense fils pel control i monitorització d'un habitatge domòtic és ZigBee, ja que té un menor consum, capacitat per connectar molts mòduls a la xarxa, el cost de cada mòdul és més econòmic, la configuració és més simple, i tot i que la taxa de transmissió de dades es la menor, ja és suficient.

CAPÍTOL 6:

XARXES ZIGBEE

Un cop seleccionat el protocol de comunicacions per a la implantació del sistema domòtic sense fils, a continuació s'aprofundeix més en aquest protocol.

6.1. Introducció

L'origen del nom ZigBee està inspirat en com es comuniquen i treballen les abelles (bee). Aquestes es comuniquen amb la resta de la comunitat, quan la volen orientar cap a un objectiu, amb unes danses que dibuixen semicercles o moviments semblants al Zig-Zag.

Aquests moviments i comportament, es comparen amb la comunicació entre diferents nodes d'una xarxa i els diferents rols dels components.

Segons la "ZigBee Alliance", ZigBee és l'estàndard sense fils obert i global per proporcionar la base de "L'Internet de les coses", permetent que objectes simples i intel·ligents puguin treballar junts per millorar la comoditat i l'eficiència en la vida quotidiana.

La "zigBee Allianz" es defineix com una associació sense ànim de lucre d'aproximadament 400 membres que treballen conjuntament per desenvolupar productes ZigBee fiables, innovadors, de baix cost, baix consum i fàcils d'usar. L'aliança promou l'adopció mundial de ZigBee com a l'estàndard sense fils per la detecció i control.

Dit d'una altra manera, la "ZigBee alliance" sorgeix per la necessitat de desenvolupar una tecnologia fiable però no de molt alta transferència de dades. Així, al 1998, un conjunt d'empreses s'associen per crear un estàndard de comunicacions per complementar el Wi-Fi i el Bluetooth. L'Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) finalitza i publica l'estàndard al maig del 2003.

En conclusió, l'estàndard ZigBee va ser dissenyat per complir les següents especificacions:

- Molt baix consum per poder funcionar amb piles.
- Baix cost dels dispositius i de la instal·lació.
- Curt abast, típicament menor a 50m.
- Optimitzat per a cicles de transmissió inferiors a 0,1%
- Baixa velocitat de transmissió, inferior a 250 kbps.

6.2. Característiques més significatives del sistema ZigBee

Les característiques més significatives del sistema ZigBee són:

- Velocitat de transmissió inferior a 250 kbps.
- Abast de comunicació de 10m fins a 75m.
- Pot usar bandes lliures ISM de 2,4 GHz (Mundial), 868 MHz a Europa i 915 MHz A EEUU.
- La xarxa pot estar formada fins a 65.535 nodes, agrupats en subxarxes de 255 elements.
- Baix consum dels nodes, ja que la major part del temps estan "dormint".
- Poden ser alimentats fins a 2 anys amb piles AA.
- Diferents tipus de topologies de xarxes.
- Escalabilitat de la xarxa.
- Les xarxes canvien els canals de forma dinàmica per evitar interferències.
- Posada en marxa sense fils.

Avantatges:

- Òptim per a xarxes de baixa transmissió de dades.
- Detecció d'energia.
- Redueix temps d'espera en l'enviament i la recepció de paquets.
- Baix cicle de treball. Consum energètic molt baix.
- Suport per a múltiples topologies de xarxa.
- Capacitat de fins a 65.535 nodes per xarxa.
- 128-bit AES de xifrat. Connexions segures entre dispositius.

- Molt econòmics i de construcció senzilla.

Desavantatges:

- La taxa de transferència de dades és molt baixa.
- Només pot manipular textos petits comparats amb altres tecnologies.
- No és compatible amb Bluetooth.
- Té menor cobertura perquè pertany a xarxes sense fils WPAN.

Alguns exemples d'aplicacions ZigBee són, lectures de sensors tant en indústria com en domòtica, sistemes de rec automàtic, control d'il·luminació, controls remots com TV, identificadors de radiofreqüència, control de sensors en hospitals, etc.

6.3. Tipus de transmissions de dades

Existeixen diferents maneres a l'hora de transmetre les dades entre els diferents dispositius de la xarxa. En funció de les característiques dels dispositius poden interessar uns sistemes o altres. Els diferents tipus de transmissions són:

- Transferència de dades periòdica. Es defineix una periodicitat per a que el mòdul enviï les dades. És la configuració habitual dels sensors, on cada cert temps envien les dades.
- Transferència de dades per esdeveniments. Es defineix una periodicitat per a l'enviament de dades, però a més, quan succeeix un esdeveniment concret, es força l'enviada. Un exemple seria un polsador: el mòdul envia el paquet de dades periòdicament, però si es detecta una pulsació, es força l'enviament de les dades.
- Dades periòdiques amb comunicació garantida amb balisa. (GTS, guaranteed time slot). És utilitzat en aplicacions on la freqüència d'enviament de dades és molt baixa i requereix una comunicació lliure. El mètode GTS garanteix un temps d'atenció.

6.4. Tipus de dispositius

En funció de les tasques que realitza cada mòdul dins la xarxa, aquests es poden classificar de la següent manera:

- Coordinador. És el dispositiu principal de la Xarxa. Cada xarxa ha de tenir un únic coordinador. És el dispositiu més complet ja que realitza funcions d'inici, control i enrutament. Requereix memòria i capacitat de computació.

- Router. La seva funció és estendre la xarxa gestionant nous camins de comunicació en cas de detectar algun problema amb la comunicació entre nodes. La complexitat és similar a la del coordinador. No hi ha limitació d'aquests dispositius per xarxa.
- Dispositiu final (end device). La seva funció és comunicar-se amb els routers o el coordinador, no pot gestionar altres nodes. És el mòdul més senzill.

6.5. Topologia de la xarxa

Les xarxes ZigBee permeten tres topologies diferents:

- Estrella. Tots els dispositius es comuniquen amb el coordinador. El rendiment de la xarxa és bastant alt ja que tots els paquets fan, com a molt, dos salts per arribar al destí. El disseny de la xarxa és senzill i això fa que no hi hagi protocols d'enrutament complexes. L'abast de la xarxa és limita a la distància màxima de comunicació dels mòduls i no hi ha vies alternatives si una comunicació falla.
- Arbre. Aquesta topologia no és gaire habitual ja que té massa desavantatges respecte a les altres topologies. Requereix de routers, que són més complexes, per enviar els paquets de dades però, tot i així només disposa d'un camí per connectar amb el router. L'abast es major que en estrella.
- Malla. És la que millors prestacions ofereix. Els routers tenen, com a mínim, dos camins per enviar paquets al coordinador, permetent triar el camí més adequat, o redirigint paquets per evitar obstacles. Aquesta topologia és robusta, flexible i de llarg abast, ja que els routers permeten ampliar la distància amb el coordinador. No obstant, la complexitat de la configuració de la xarxa augmenta i empitjora el rendiment i la latència.

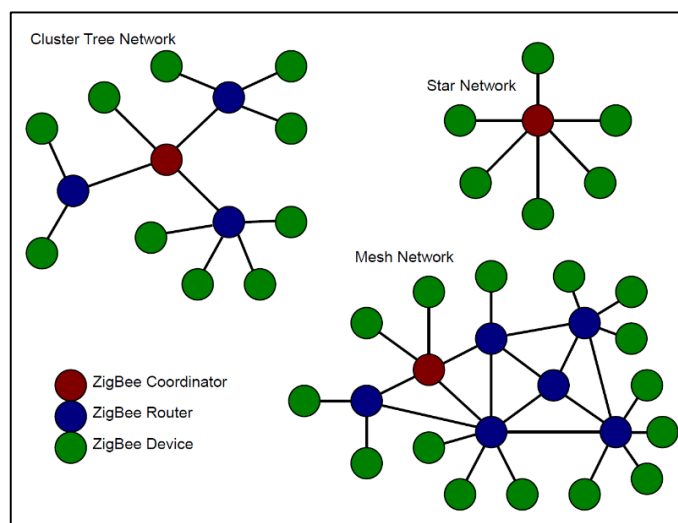


Figura 4. Topologies de les xarxes ZigBee.

6.6. Capes de ZigBee

Les capes del protocol ZigBee estan basades en el model OSI (Open System Interconnection). El model OSI és un marc de referència per definir architectures per a la interconnexió dels sistemes de comunicació. Aquest model està format de 7 capes, però ZigBee tan sols utilitza 4 capes amb l'objectiu de simplificar l'arquitectura d'una xarxa de baixa transferència de dades, simple i de baix consum.

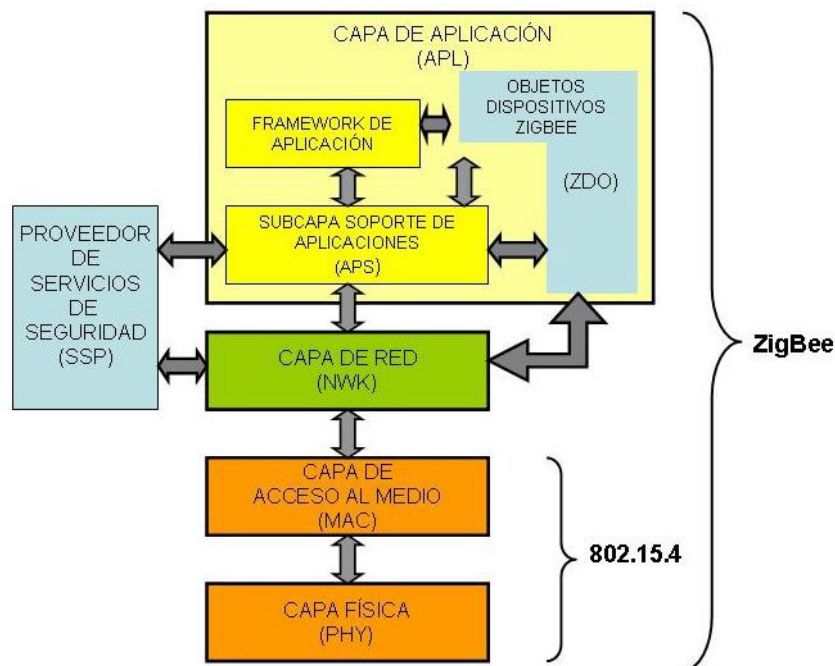


Figura 5. Capes del protocol ZigBee.

Les dues primeres capes, la física (PHY) i la d'accés al medi (MAC), estan basades en l'estàndard IEEE 802.15.4, mentre que les capes de xarxa (NWK) i d'aplicació de capa (APL) les defineix ZigBee.

CAPA FÍSICA (PHY)

És la capa més propera al hardware. És la responsable de proporcionar un mitjà per transmetre i rebre dades.

Les seves funcions són:

- Activar i desactivar el transceptor de ràdio.
- Detecció d'energia.
- Detecció de la qualitat de l'enllaç.
- Selecció del canal.
- Evacuació del canal lliure.
- Recepció i transmissió de dades pel canal físic.

CAPA D'ACCÉS AL MEDI (MAC)

Aquesta capa té la funció de proporcionar serveis a les capes superiors perquè gestionin les dades transferides de la xarxa.

Les principals tasques són:

- Generar les balises si es coordinador.
- Sincronitzar les balises.
- Gestió de les associacions i desvinculacions dels dispositius.
- Utilitzar l'algoritme CSMA-CA (carrier Sense Multiple Access-Collision Avoidance) per a l'accés al canal.
- Gestió del GTS (Guaranteed Time Slot).
- Gestionar l'enllaç entre les capes MAC dels mòduls contigus.

CAPA DE XARXA (NWK)

La capa de xarxa fa d'enllaç entre la capa MAC i la capa APL. És la responsable de gestionar la formació de xarxes i del Routing, procés de seleccionar el camí més idoni per a l'enviament dels paquets. Aquesta capa és la responsable de processos com iniciar una xarxa, unir-se a la xarxa, enrutar paquets i assegurar les entregues.

El coordinador és qui assigna a la capa NWK les direccions als dispositius de la xarxa.

CAPA D'APLICACIÓ (APL)

És la capa més alta del protocol ZigBee. Els fabricants de dispositius, desenvolupen aquesta capa per poder utilitzar un mateix dispositiu per a diverses aplicacions. Aquesta capa defineix la funcionalitat requerida pels dispositius.

CAPÍTOL 7:

POSSIBLES SOLUCIONS

Per escollir els mòduls més adequats pel muntatge de la instal·lació s'han buscat dispositius de característiques similars, tant de prestacions com de preu.

Els principals requisits que han de complir els mòduls, per complir amb les característiques d'una xarxa de dispositius per a un habitatge domòtic són:

- Protocol ZigBee.
- Distància de cobertura en interior d'habitatges suficient.
- Tensió d'alimentació aproximada de 2 a 3,5 V per poder funcionar amb piles AA.
- Baix consum en tots els tipus d'estat, transmissió, recepció i sleep.
- Dimensions reduïdes.
- Disponibilitat d'entrades i sortides digitals per interactuar amb l'entorn.
- Disponibilitat d'entrades analògiques pels sensors.
- Preu econòmic.

Els mòduls comparats són dels fabricants Digi International, Atmel Corporation i NXP Semiconductors. Tots compleixen amb l'estàndard ZigBee.

Taula comparativa entre mòduls ZigBee:

Taula 2. Comparació entre mòduls ZigBee.

FABRICANT	DIGI INTER.	ATMEL	NXP
MODEL	XBee Z2 Series 2	Zigbit ATZB	JN5168
Referència	XB24-Z7CIT-004	ATZB-X0-256	JN5168-1-M03
Comunicacions			
Protocol	ZigBee	ZigBee	ZigBee
Dist. ext.	120 m	178 m	Fins a 1 Km
Dist. Int.	40 m	48 m	-
Potència transmissió	2 mW	2,3 mW	3 mW
Velocitat trans.	250 kbps	250 kbps	250 kbps
Alimentació			
Tensió alimentació	2,1 – 3,6 V	1,8 – 3,6 V	2 – 3,6 V
Consum transmissió en	40 mA	6,3 mA	15,3 mA
Consum recepció en	40 mA	20,5 mA	17 mA
Consum en Sleep	1 µA	0,3 µA	0,7 µA
Entrades / Sortides			
Entrades sortides digitals /	12	32	20
Entrades analògiques	4 (10 bit)	4 (10 bit)	4 (10 bit)
PWM	1	1	5
General			
Dimensions	24,4X27,6 mm	33 X 20 mm	16X30mm
Preu	21 € aprox.	32 € aprox.	23 € aprox.

Observant la taula comparativa entre els diferents mòduls es pot veure que les característiques de tots ells són similars.

Referent a l'abast de la comunicació sense fils, el JN5168 de NXP és el que té major capacitat, fins a 1 km en exteriors. La menor capacitat la té el XBEE de Digi (en interiors es de 40 m) tot i que és suficient per a la comunicació en habitatges, i sobretot si la topologia de la xarxa és de malla.

Les tensions d'alimentació dels tres mòduls són similars, però el consum difereix més. El de menor consum és el ZigBit ATZB d'Atmel, i el de major és XBEE de Digi.

Tots els dispositius disposen d'entrades i sortides per interactuar amb l'entorn. El mòdul XBee té capacitat per a 11 entrades i/o sortides, mentre que els altres poden arribar fins a 32. Tots disposen de 4 entrades analògiques de 10 bits de resolució.

Les dimensions dels diferents dispositius són similars.

El mòdul més econòmic és XBee. És un fet rellevant ja que per muntar grans xarxes de dispositius, el preu de cada unitat influeix molt en el cost total de la xarxa.

Com a resultat de la comparació entre els diferents mòduls, s'escull el XBee Z2 Series 2 de Digi International. Compleix els requisits tècnics pel disseny de la xarxa, abast, consum, entrades i sortides i dimensions. És el més econòmic, característica molt important a tenir en compte ja que el preu és un dels principals requisits del disseny de la xarxa.

Un altre aspecte que condiciona a escollir aquest mòdul és la facilitat d'adaptació a la placa electrònica de muntatge de components, ja que disposa de dues tires de 10 pins cada una per a connectar una placa de muntatge.

Per últim, aquest mòdul és el més estès en aquest tipus d'instal·lacions, per tant hi ha molta més documentació i és més fàcil d'aconseguir en els distribuïdors de components electrònics.

CAPÍTOL 8:

SOLUCIÓ ESCOLLIDA

Un cop analitzades les diferents alternatives dels mòduls ZigBee, es decideix utilitzar els mòduls XBee Series 2 del fabricant Digi Internacional per les raons explicades en el capítol anterior.

8.1. Característiques dels mòduls xbee

Els mòduls XBee series 2, XB24-Z7CIT004 de Digi, permeten crear xarxes de malla complexes basades en el firmware XBee ZB de ZigBee. Aquests mòduls permeten una comunicació molt fiable i senzilla entre microcontroladors, ordinadors, sistemes i qualsevol element amb un port sèrie.

Els mòduls es comuniquen entre sí per radiofreqüència per enviar i rebre missatges però no poden gestionar les dades rebudes. Tanmateix, poden comunicar-se amb dispositius intel·ligents a través de la interfície sèrie.

Existeix també la sèrie 1 d'aquest dispositiu. Les dues sèries tenen la mateixa relació de pins, però no són compatibles, ja que tenen diferents chipsets i treballen amb diferents protocols. La sèrie 1 incorpora un chipset de Freescale i està dissenyat per treballar en xarxes punt a punt i punt a multipunt, mentre que la sèrie 2 incorpora un chipset Ember i està dissenyada per treballar en una xarxa en malla.

L'aspecte físic dels dispositius es pot veure en les següents imatges:



Figura 6. Mòdul XBee series 2 XB24-Z7CIT004.

Les dimensions del mòdul XBee són reduïdes, 27,61 mm d'alçada, 24,38 mm d'amplada i 2,89 mm de gruix. Aquest dispositiu porta integrada l'antena de transmissió, per tant aquesta no s'aprecia. Les connexions es realitzen mitjançant dos connectors ubicats a la cara posterior. Són 20 pins, amb una separació de 2 mm entre ells. Els següents esquemes mostren les dimensions del mòdul així com la relació dels 20 bornes de connexió.

Esquema de la cara anterior:

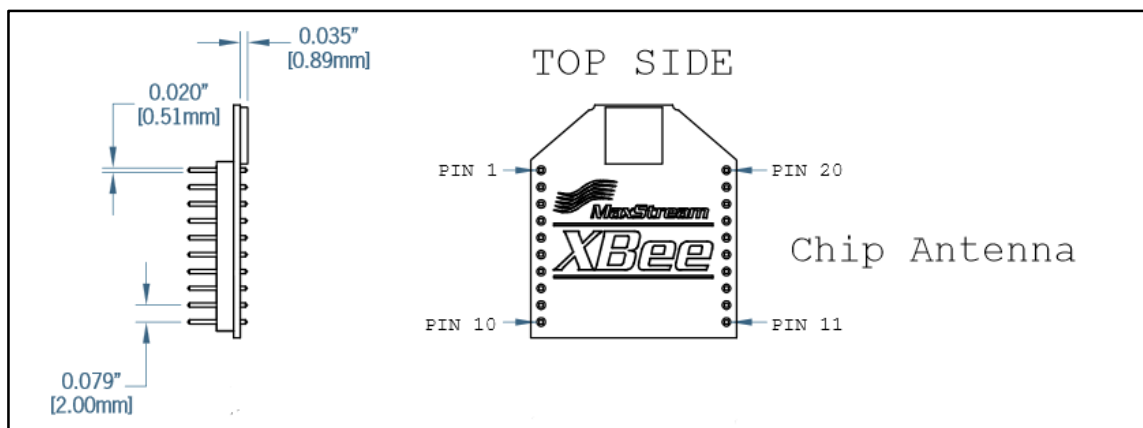


Figura 7. Esquema cara anterior mòdul XBee.

Esquema de la cara posterior:

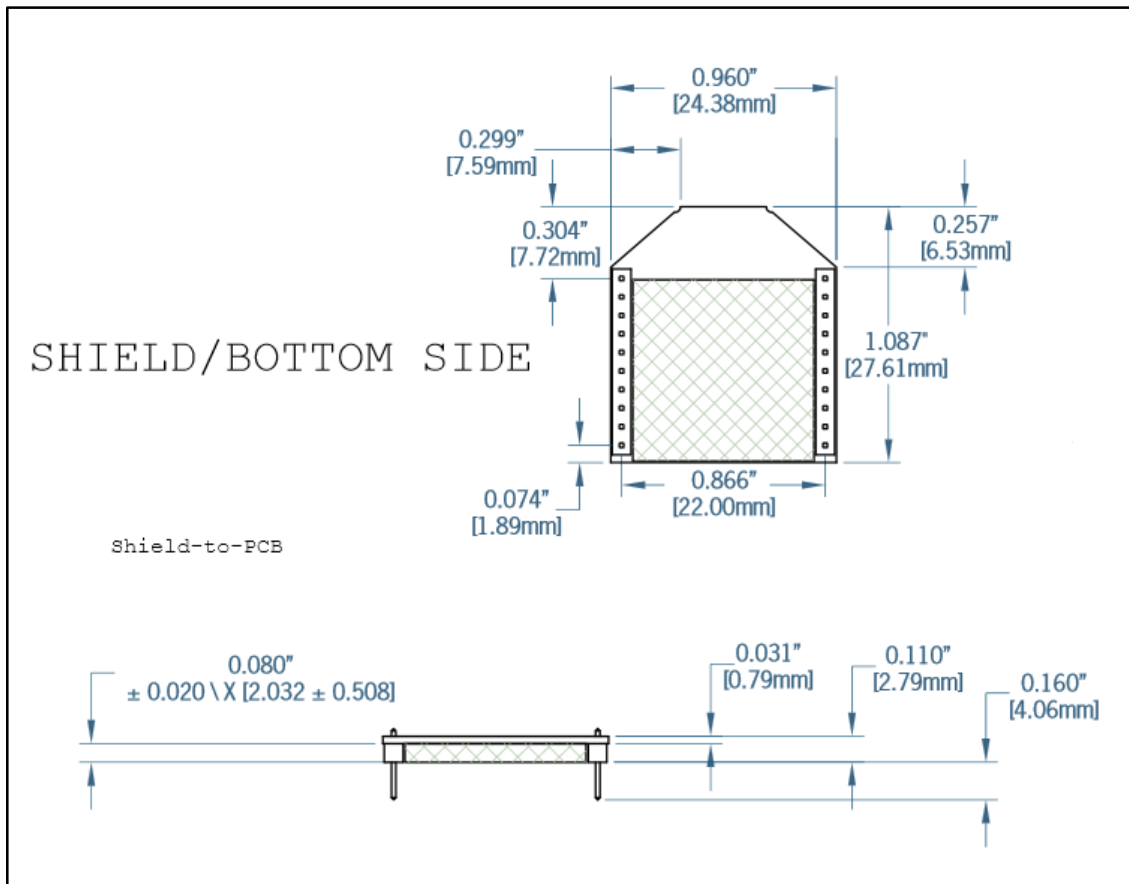


Figura 8. Esquema cara posterior mòdul XBee.

Les especificacions bàsiques dels mòduls són:

Taula 3. Especificacions mòdul XBee.

ESPECIFICIACIÓ	XBEE SERIES 2
FUNCIONAMENT	
Abast interior/urbà	Fins a 40 m
Abast exterior en línia	Fins a 120 m
Potència transmissió de sortida	2 mW (+3dBm)
Velocitat de transmissió	250 kbps
Velocitat de transmissió sèrie	1,2 kbps - 1 Mbps
Sensibilitat de recepció	-96 dBm
REQUISITS D'ALIMENTACIÓ	
Tensió d'alimentació	2,1 - 3,6 V
Consum de transmissió	40 mA
Consum de recepció	40 mA
Consum sleep	< 1 µA
GENERAL	
Banda de freqüència de treball	ISM 2,4 GHz
Dimensions	24,38 X 27,61 mm
Temperatura de treball	-40 - 85 °C
Opcions d'antena	Cable integrat, antena PCB, UFL
XARXA I SEGURETAT	
Topologies de xarxa suportades	Estrella, arbre, malla
Nombre de canals	16 canals
Canals	11 fins a 26
Opcions d'adreça	PAN ID, clúster IDs i End Point
HOMOLOGACIONS	
Estats Units	FCC ID: OUR-XBEE2
Europa	ETSI

Aquestes característiques del dispositiu mostren que el mòdul s'adapta perfectament a les especificacions definides pel muntatge dels components de la xarxa domòtica.

L'abast de 40 metres en interiors permet comunicar els diferents mòduls. El consum és molt baix, per tant s'assegura la durada de les bateries en els mòduls autònoms. Permet la topologia de xarxa en malla, que és la més robusta, flexible i millora l'abast de la xarxa. També inclou entrades i sortides per controlar l'entorn.

La següent taula permet veure amb més detall les diferents entrades i sortides, i totes les connexions del mòdul:

Taula 4. Pinout mòdul Xbee.

Pin	Nom	Direcció	Val. defecte	Descripció
1	VCC	-	-	Alimentació
2	DOUT	Sortida	Sortida	UART Data out
3	DIN/ <u>CONFIG</u>	Entrada	Entrada	UART Data in
4	DIO12	Entr/sort	Deshabilitat	E/S
5	<u>RESET</u>	Entr/sort	Col·lector obert amb pull-up	Reset del mòdul
6	RSSI PWM/DIO10	Entr/sort	Sortida	Força de la senyal / E/S
7	DIO11	Entr/sort	Entrada	E/S
8	Reservat	-	Deshabilitat	No connectat
9	<u>DTR</u> /SLEEP_RQ/DIO8	Entr/sort	Entrada	Control de línia / sleep / E/S
10	GND	-	-	Massa
11	DIO4	Entr/sort	Deshabilitat	E/S
12	<u>CTS</u> /DIO7	Entr/sort	Sortida	"Clear to send" / E/S
13	ON/ <u>SLEEP</u>	Sortida	Sortida	Indicador d'estat / E/S
14	VREF	Entrada	-	No usat. Només per segon processador programable
15	Associate/DIO5	Entr/sort	Sortida	Indicador associat/ E/S
16	<u>RTS</u> /DIO6	Entr/sort	Entrada	"request to send" / E/S
17	AD3/DIO3	Entr/sort	Deshabilitat	Entrada analògica / E/S
18	AD2/DIO2	Entr/sort	Deshabilitat	Entrada analògica / E/S
19	AD1/DIO1	Entr/sort	Deshabilitat	Entrada analògica / E/S
20	AD0/DIO1/ Commissioning button	Entr/sort	Deshabilitat	Entr. analògica / E/S / polsador de marxa

El mòdul XBee disposa de dotze entrades o sortides en funció de la seva configuració. D'aquestes, quatre poden ser configurades com a entrades analògiques per a lectures de sensors amb una resolució de 10 bits.

8.2. Muntatge bàsic

La connexió mínima que necessita el mòdul per poder ser usat és l'alimentació. No obstant, per poder enviar i rebre les dades a la xarxa, el mòdul coordinador ha d'estar connectat mitjançant els pins 2 (DOUT) i 3 (DIN) a un dispositiu amb comunicació sèrie.

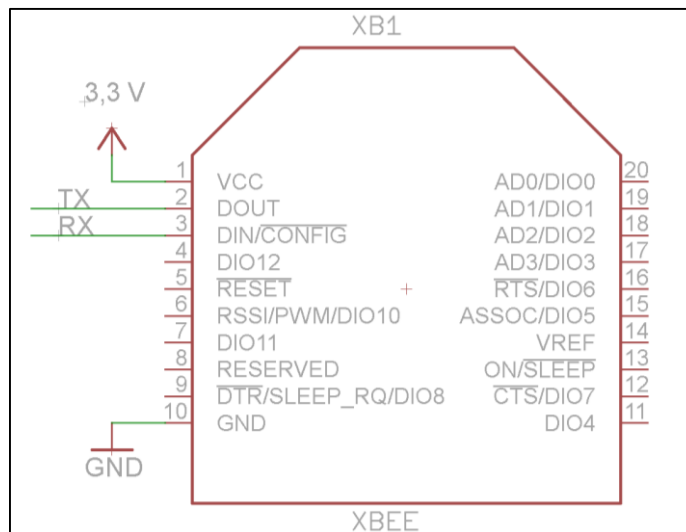


Figura 9. Muntatge bàsic mòdul XBee.

La comunicació amb el dispositiu de control, microcontrolador, ordinador, etc., es realitza mitjançant el port sèrie, o en el seu defecte, mitjançant un convertidor de USB a RS-232.

8.3. Direccionament

Els mòduls Xbee disposen de dos tipus de direccionalment: el de 16 bits i el de 64 bits.

8.3.1. Direccionament de 16 bits

Mitjançant el software de configuració dels mòduls, a través de la comanda MY es pot definir la direcció de cada mòdul dins de la xarxa. Aquesta direcció pot estar entre 0x00 i 0xFFFFE (en decimal, de 0 fins a 65.534). Si les direccions de cada mòdul no es defineixen amb el software del fabricant, el sistema n'assigna una automàticament i aquesta pot variar al inicialitzar el funcionament de la xarxa.

8.3.2. Direccionament de 64 bits

El direccionament de 64 bits es realitza utilitzant el número de sèrie del mòdul. Aquest valor es pot veure imprès a la cara posterior de cada dispositiu i és la direcció MAC; per tant, és únic.



Figura 10. Detall adreça Mac mòdul XBee.

La direcció MAC consta de vuit blocs hexadecimals, que correspon a 64 bits, guardada pel fabricant en dues variables que no es poden modificar de 32 bits en la memòria del dispositiu.

A l'utilitzar aquest mode de direccionalment s'assegura que aquesta direcció només la té l'usuari final i, d'aquesta manera, el sistema és més robust i segur.

8.4. Comunicacions

Els mòduls XBee transmeten dades procedents de l'entrada sèrie a través de l'aire i envien qualsevol paquet de dades rebut sense fils a la sortida sèrie. Ja sigui per configurar el dispositiu o per gestionar la xarxa sense fils, en el procés intervenen els dos tipus de comunicacions. D'aquesta manera dispositius intel·ligents com microprocessadors i ordinadors poden controlar el que envien els mòduls i gestionar els missatges rebuts.

8.4.1. Comunicació sense fils

Aquesta comunicació és entre els mòduls XBee. Els mòduls han de treballar tots en xarxa, per tant han de treballar tots a la mateixa freqüència de ràdio. Les especificacions de les comunicacions sense fils es veuen amb més detall al capítol 6.

8.4.2. Comunicació sèrie

La comunicació dels dispositius XBee al dispositiu de control es realitza mitjançant un port sèrie asíncron. Els mòduls es poden comunicar amb qualsevol dispositiu que utilitzi el sistema UART (Universal Asynchronous receiver/transmitter) compatible en nivells de tensió.

El diagrama del flux de dades del sistema en un entorn UART es pot analitzar en la següent imatge:

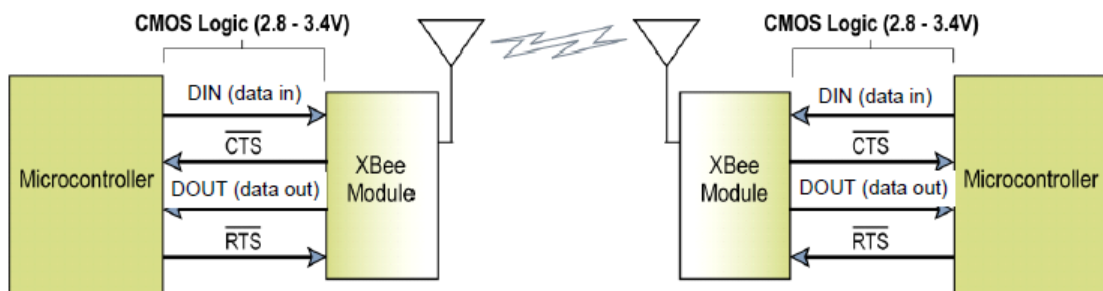


Figura 11. Transmissió dades dels mòduls XBee.

Les dades entren al mòdul UART pel pin 3 (DIN) com una senyal asíncrona la qual és emmagatzemada al buffer. De la mateixa manera succeeix quan es volen transmetre dades pel pin 4 (DOUT).

Els mòduls Xbee disposen de petits buffers per mantenir les dades rebudes del port sèrie i de les comunicacions sense fils. El buffer de recepció sèrie recull els caràcters entrants i els manté fins que puguin ser processats. El buffer de transmissió sèrie recull les dades que es reben a través de radiofreqüència i seran enviades per UART.

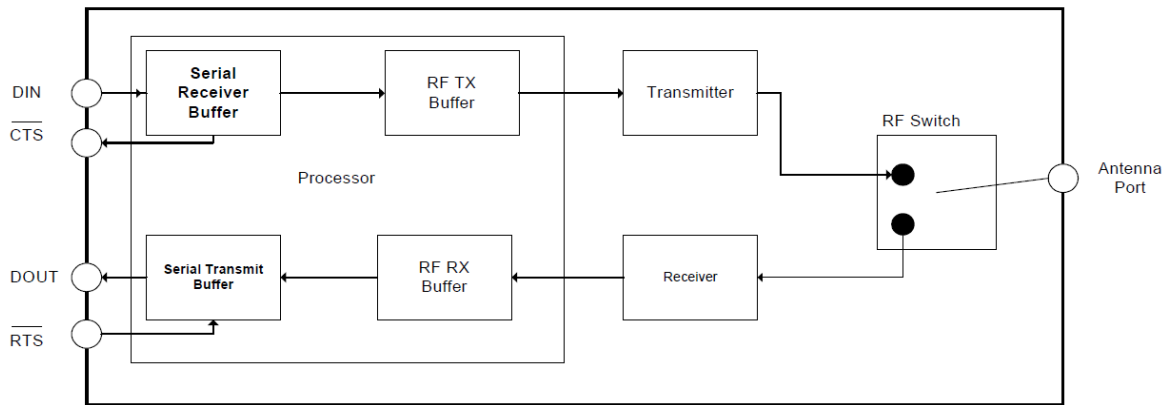


Figura 12. Estructura de recepció/enviament de dades mòduls Xbee.

COMUNICACIONS ASÍNCRONES UART

Les comunicacions sèrie asíncrones (UART) converteixen les dades sèrie a paral·lel quan es reben les dades, i de paral·lel a sèrie quan s'han d'enviar. En la següent figura es mostren els blocs bàsics de la UART. Es veuen els registres de dades de transmissió i recepció, els corresponents registres de desplaçament (RxD, TxD), els registres de transmissió i recepció i les senyals de sincronització per a l'inici de transmissió i recepció (RTS, CTS).

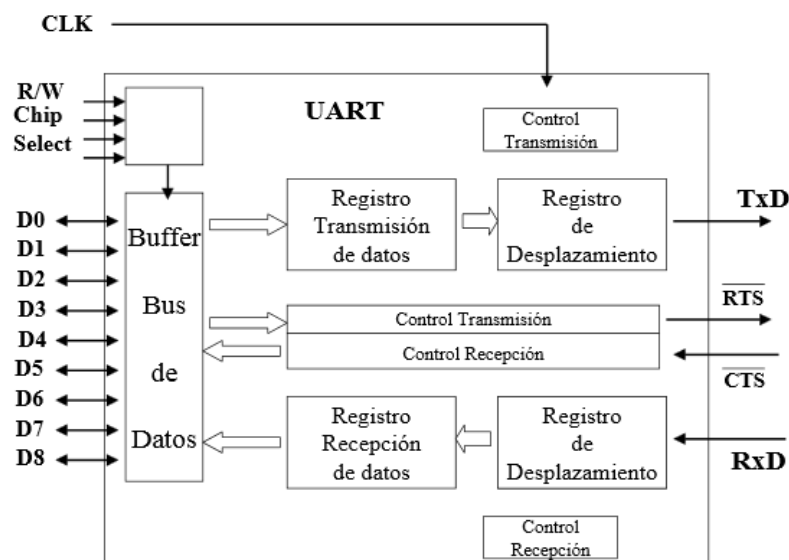


Figura 13. Estructura comunicacions UART.

Els paràmetres que s'han de definir per a la correcta comunicació amb UART són:

- Sincronisme entre transmissor i receptor.
- Codificació de les dades.
- Prioritat de l'enviament de bits.
- Velocitat d'enviament de dades.
- Senyals de Handshaking, intercanvi d'informació entre dispositius per definir el protocol a utilitzar.
- Senyals elèctriques dels valors lògics.

Per iniciar la transmissió de dades es comença amb un bit d'inici (Start bit). Acte seguit s'envien les dades (data bits), normalment de 5 a 9 bits. Per acabar, s'envia un bit de parada (stop bit). Les UART que treballen amb 8 bits, afegeixen un bit de detecció d'error o paritat.

La següent imatge mostra un exemple de la transmissió per UART.

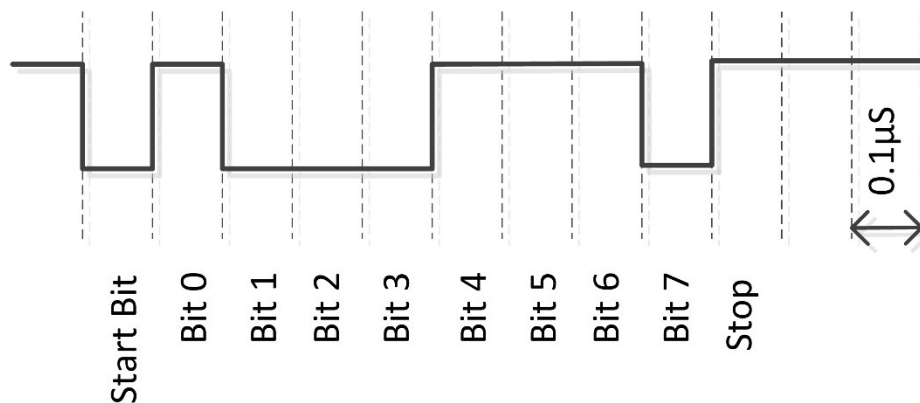


Figura 14. Trama transmissió UART.

La codificació pot ser qualsevol codi binari. El més habitual és el codi ASCII (American Standard Code for Information Interchange) que utilitza 7 bits per codificar 96 caràcters imprimibles i 32 caràcters de control.

La velocitat de transmissió es defineix en bauds, que és la quantitat de bits que es transmeten per segon. Els valors estàndards són: 110, 150, 300, 600, 900, 1200, 2400, 4800, 9600, 14400, 19200, 28800, 31250, 38400, 57800 i 115200. En aquest cas, la velocitat de transmissió configurada als mòduls és la que ve definida per defecte, 9600 bits cada segon.

CONVERSOR D'USB A UART

Per gestionar la xarxa mitjançant el coordinador i configurar els diferents mòduls, aquests s'han de poder comunicar amb el dispositiu de control, en aquest cas una tauleta tàctil. Els dispositius informàtics actualment no disposen de connector sèrie RS-232, s'han substituït per la comunicació USB.

Per aquest motiu i per igualar els nivells de tensió, que en el cas del port sèrie RS-232 és de -15 V a 15V i en cas dels mòduls XBee es de 0V a 3,2 V, s'ha d'utilitzar un convertidor.

El dispositiu seleccionat és "XBee Explorer USB" de Sparkfun. Aquest dispositiu incorpora un convertidor de USB a Serial FT231X per a comunicar la tauleta tàctil amb els dispositius XBee. Els nivells de tensió també s'adapten a les necessitats dels mòduls.

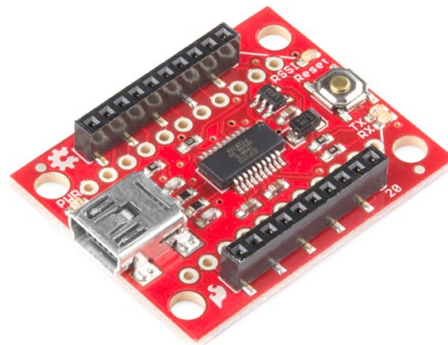


Figura 15. Mòdul XBee Explorer USB de Sparkfun.

El XBee explorer disposa de dues tires de 10 pins cada una per connectar els mòduls directament al convertidor. A més incorpora un polsador de reset i quatre indicadors LED per a recepció de dades, transmissió de dades, indicador d'intensitat de senyal i alimentació per facilitar la interacció amb l'usuari.

En la següent visió general es poden veure els diferents mòduls, ja siguin routers end device o el coordinador , formant la xarxa ZigBee. El dispositiu de control és una tauleta tàctil, amb un convertidor de USB a Sèrie per poder comunicar amb el coordinador de la xarxa.

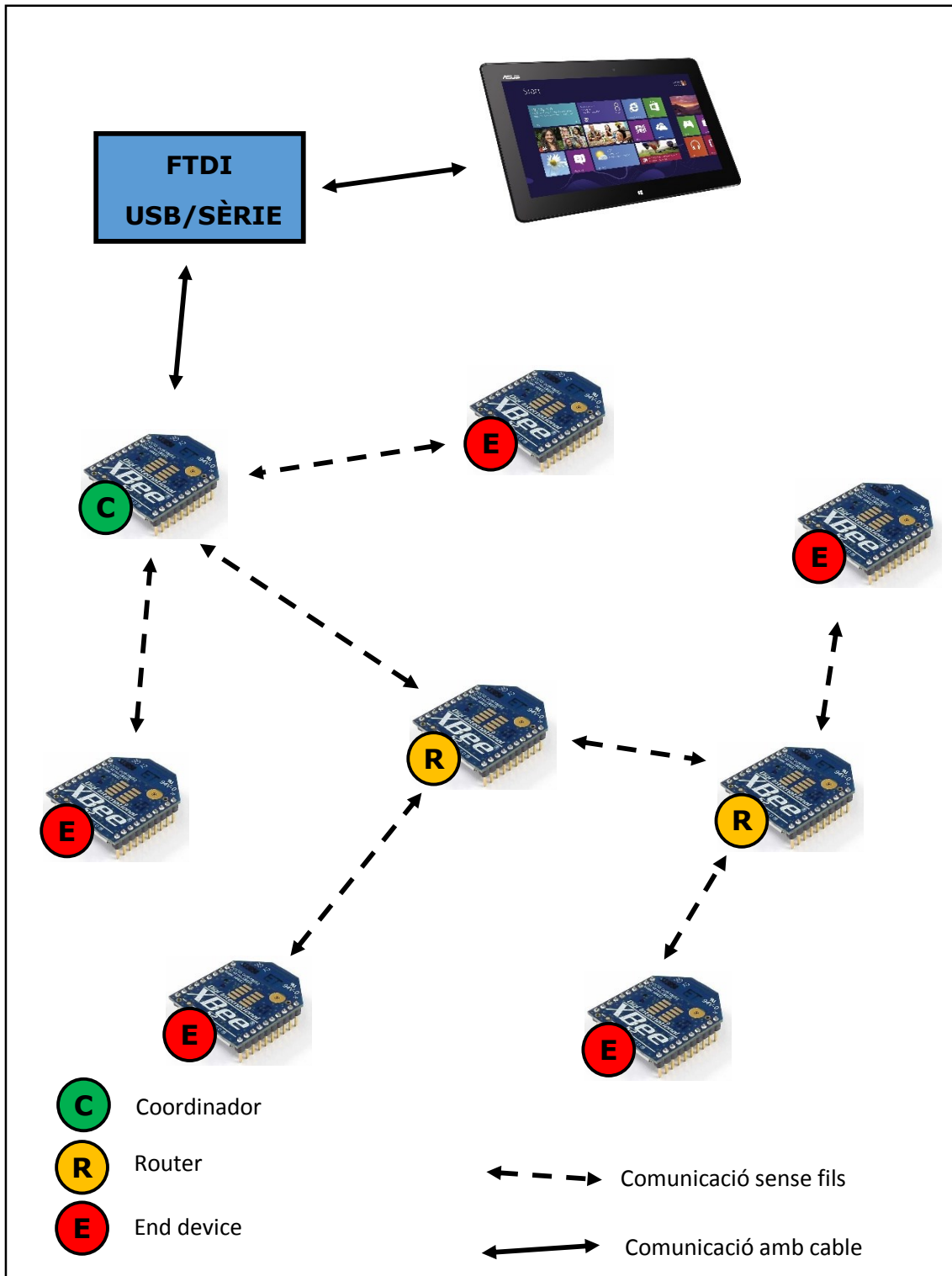


Figura 16. Estructura de xarxa ZigBee amb mòduls XBee.

8.5. Estats de treball

Els mòduls Xbee poden estar en 5 fases diferents de treball:

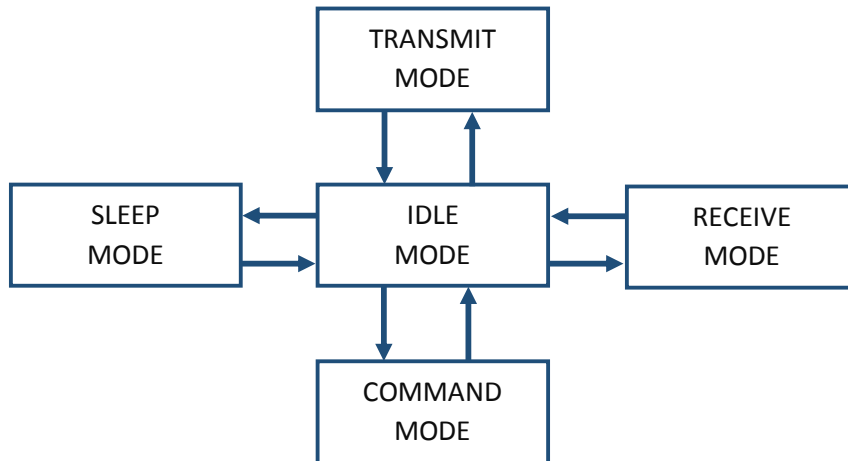


Figura 17. Estats de treball mòduls XBee.

8.5.1. Mode rebre/transmetre

El mòdul estarà en "receive mode" quan li arribi algun paquet de dades a través de l'antena o a través del pin 3 (DIN). Un cop processada la informació s'enviarà un altre paquet i el mòdul passarà a "transmit mode".

La informació transmesa pot ser directa o indirecta. Directa significa que la informació s'envia immediatament a la direcció de destí. Quan és de manera indirecta, la informació és retinguda durant un període de temps i només s'envia quan la direcció de destí la sol·licita.

També és possible enviar la informació de dues maneres, Unicast i Broadcast. Amb mode Unicast, la comunicació és des d'un mòdul fins a un altre. És l'única manera que permet la resposta del mòdul que rep la informació. Quan el paquet és rebut, el mòdul receptor envia una confirmació, ACK, al mòdul emissor. Si aquesta confirmació no es rep, l'emissor ho intenta tres vegades. Aquest paquet de confirmació ACK no és pot veure, es una informació interna entre els mòduls.

8.5.2. Mode comandes

Per llegir o modificar paràmetres del mòdul, com per exemple el nom del dispositiu, el mode de funcionament, etc., primer s'ha d'entrar en el mode comandes, un estat en què els caràcters rebuts pel port sèrie s'interpreten com a ordres.

Per poder entrar en aquest mode, s'ha d'utilitzar algun programa o controlador que utilitzi UART. La seqüència es, primer esperar un temps definit per GT (Guard Time); passat aquest temps, que per defecte és d'un segon, enviar "+++" i esperar un altre GT; el mòdul enviarà un OK de confirmació i ja es podran llegir o configurar els paràmetres del mòdul.

A continuació es mostra un exemple de comanda per canviar la direcció de destí DT del mòdul.

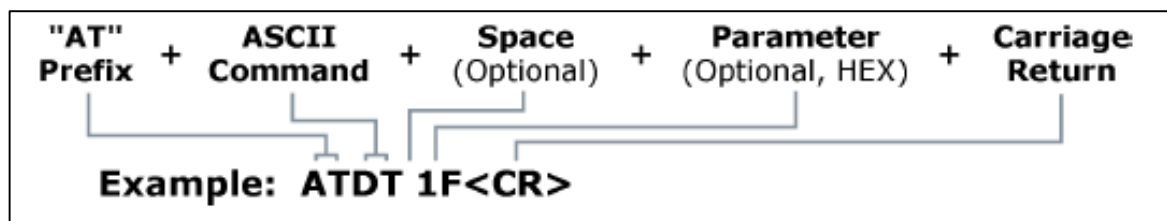


Figura 18. Trama AT per a la direcció DT.

Les comandes de lectura i configuració dels mòduls es coneixen com a comandes AT. Hi ha fins a 93 comandes: per canviar els valors de les sortides, conèixer el firmware, canviar el temps de sleep, conèixer la tensió d'alimentació del mòdul, etc.

8.5.3. Mode sleep

El mode Sleep fa que el mòdul entri en un mode de baix consum, ja que la majoria de les funcions queden deshabilitades. Aquesta funció només la permeten els mòduls finals, end device.

Els mòduls disposen d'una sortida, ON/SLEEP per mostrar, per exemple amb un LED, si el dispositiu està despert (ON), o dormint (SLEEP).

Els end device disposen de dos modes de Sleep:

- Mitjançant l'entrada SLEEP_RQ. Aquest mode permet que el mòdul estigui despert o dormint en funció de l'estat de l'entrada SLEEP_RQ. Quan l'entrada és a nivell alt, el mòdul acaba qualsevol transmissió o recepció de dades i passa a dormir. El mòdul despertarà si el valor de la entrada SLEEP_RQ passa a nivell baix.

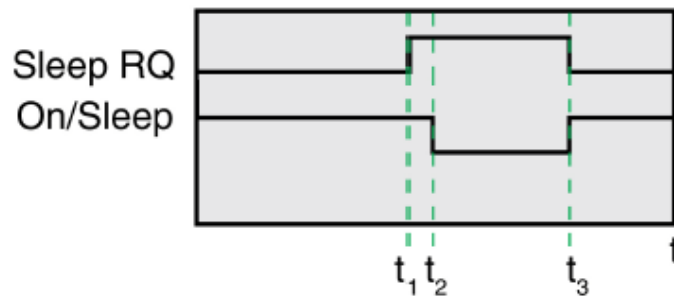


Figura 19. Comportament Sleep del mòdul XBee.

- Mode de Sleep cíclic. Aquest mode permet que el mòdul dormi durant un temps establert i despertar un moment per comprovar si ha rebut informació o si n'ha d'enviar. Per configurar aquesta opció, s'ha d'establir el paràmetre SM a 4. Una altra opció, establint el paràmetre SM a 5, és un cycle de Sleep amb l'opció de despertar el mòdul si la senyal de l'entrada SLEEP_RQ passa a nivell baix.

Hi ha 5 paràmetres que determinen la configuració dels modes de dormir:

- SM (Sleep Mode). Estableix el tipus de Sleep del mòdul. Sense Sleep, amb Sleep en funció de l'entrada SLEEP_RQ, cicles de Sleep o cicles amb condició per despertar.
- ST (Time before Sleep). Determina el temps d'inactivitat abans d'entrar al mode Sleep.
- SP (Cyclic Sleep període). Determina el temps que el mòdul està en Sleep. Mentre el mòdul està dormint, no realitza cap operació, no es pot comunicar de cap manera.
- SN (Number of cicles). Factor multiplicador de cicles de Sleep.
- SO (Sleep options). Establir opcions de Sleep. Hi ha tres possibles configuracions: despertar sempre el temps de ST abans de cada cycle, augmentar el temps de sleep per a llargs períodes, multiplicant el temps del cycle és multiplica pel factor SN.

8.5.4. Mode Idle

Si el mòdul no està en cap dels estats anteriors, es troba en estat Idle, desocupat.

8.6. Modes de treball

En funció de la manera com es transmet la informació, existeixen dos modes de treball.

8.6.1. Mode transparent

En aquest mode de treball, tots els paquets de radiofreqüència que arriben a través de l'antena es desen al buffer de sortida i s'envien per el pin 2 (DOUT), i tots els paquets de dades que arriben pel pin 3 (Din), es desen al buffer d'entrada i es transmeten com a paquets de radiofreqüència.

És a dir, la utilitat d'aquest mètode de treball és evitar el cable des d'un punt a un altre. Tot el que arriba a un mòdul via cable, ho transmet a l'altre via radiofreqüència, i tot el que arriba via radiofreqüència ho envia via cable.



Figura 20. Comunicació transparent entre mòduls XBee.

Aquest mode està destinat a la comunicació punt a punt i no incorpora cap tipus de control.

8.6.2. Mode API

Aquest mode de treball és l'utilitzat en el disseny de la xarxa ZigBee que descriu aquest projecte, per aquest motiu es detalla més en profunditat.

El mode API (Aplication Programming Interface), ofereix una alternativa al mode transparent. Proporciona una interfície estructurada, on les dades es transmeten en paquets organitzats i en un ordre determinat. Això li permet establir una comunicació complexa entre els mòduls.

Els principals avantatges d'aquest mode de treball són:

- Configuració de mòdul local i remots de la xarxa sense entrar el mode comandes.
- Gestionar la transmissió de dades a un o a varis destins.
- Identificar la direcció d'origen de cada paquet.
- Conèixer si el paquet s'ha entregat o s'ha perdut.
- Obtenir la intensitat del senyal dels paquets rebuts.

Els paquets de dades estructurades usats en el mode API, s'anomenen trames o frames. Aquests paquets són enviats entre els diferents mòduls i contenen les operacions o esdeveniments i informació addicional com el destí, l'origen o la qualitat de la senyal.

Les trames API tenen el següent format:

Taula 5. *Format trames API.*

Delimitador d'inici	Longitud		Trama de dades								Checksum
			Iden. trama	Dades							
B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	...	Bn	N+1
0x7E	MSB	LSB	Tipus trama API	Tipus de trama especifica							Únic byte

DELIMITADOR D'INICI

El delimitador d'inici és el primer byte de la trama de dades i indica la entrada d'un paquet de dades. El seu valor és sempre 0x7E. Si les trames no comencen amb aquest delimitador d'inici, es descarten i no es reben ni s'envien.

LONGITUD

La longitud especifica el nombre total de bytes inclosos en el camp de dades de la trama. Són el segon i tercer bytes de la trama i exclouen el delimitador d'inici, la longitud i la suma de comprovació.

TRAMA DE DADES

Les dades contenen les accions o esdeveniments que s'envien al mòdul. Aquestes dades estan separades en dos parts.

- Tipus de trama. És l'identificador del tipus de trama. Hi ha 18 tipus de trames diferents. És el quart byte de la trama.
- Dades específiques. Les dades són les accions o esdeveniments pròpiament i la seva estructura varia en funció del tipus de trama.

Els tipus de trames que es poden utilitzar depenen del mòdul de la xarxa. En el cas del mòdul XBee, que treballa amb ZigBee, els tipus de trama amb els quals pot treballar es mostren a la taula 6. Les trames de color verd són les trames que s'envien per la comunicació sèrie, i que el mòdul envia per radiofreqüència. En canvi les trames de color blau són les trames rebudes per la comunicació sèrie com a resposta dels mòduls remots.

SUMA DE COMPROVACIÓ (CHECKSUM)

La suma de comprovació es l'últim byte de la trama i comprova la coherència de les dades. Si la suma de comprovació no és vàlida, els paquets no seran transmesos ni processats.

El càlcul del checksum es realitza de la següent manera:

1. Sumar tots els bytes del paquet excloent el delimitador d'inici i la longitud.
2. Del resultat anterior, només interessen els bytes menys significatius.
3. Restar la quantitat anterior a 0xFF.

Resum de tipus de trames API.

Taula 6. Resum tipus de trames API.

API ID	Nom de la trama	Descripció
0x00	Transmit request (64 bit adress)	Transmetre dades per RF a la direcció de 64 bits especificada
0x01	Transmit request (16 bit adress)	Transmetre dades per RF a la direcció de 16 bits especificada
0x08	AT command	Consultar o especificar valors del mòdul XBee local
0x09	AT Command Queue Parameter Value	Consultar o especificar valors del mòdul XBee local sense aplicar canvis
0x17	Remote AT command request	Consultar o especificar valors dels mòduls XBee remots
0x80	Receive paquet (64 bit adress)	Transmetre per RF les dades rebudes via sèrie
0x81	Receive paquet (16 bit adress)	Transmetre per RF les dades rebudes via sèrie
0x82	Receive paquet (64 bit adress IO)	Enviar dades per RF de l'estat d'entrades i sortides
0x83	Receive paquet (16 bit adress IO)	Enviar dades per RF de l'estat d'entrades i sortides
0x88	AT command response	Mostrar la resposta de l'última comanda AT del mòdul local
0x89	Transmit status	Indica si la transmissió de dades és correcte o incorrecte
0x8A	Modem status	Mostra les notificacions com reset, associació, desassociació, etc.
0x97	Remote AT command response	Mostrar la resposta de l'última comanda AT del mòdul remot

8.7. Protecció de dades

Per a determinades aplicacions pot ser necessària la protecció de les dades enviades i rebudes. En aquest prototip no s'ha reforçat la seguretat en la transferència de dades, però els mòduls XBee incorporen funcions d'enciptació de dades.

Hi ha quatre paràmetres per establir l'enciptació dels paquets enviats per radiofreqüència:

- Paràmetre habilitar enciptació AES (EE). Habilitar l'enciptació de les trames.
- Paràmetre d'opcions d'enciptació (EO). Definir les opcions d'enciptació, per exemple no xifrar durant la unió a la xarxa.
- Paràmetre de clau d'enciptació (KY). Estableix la clau de la enciptació de les trames. Pot ser un valor de 0 a 32 caràcters hexadecimal.
- Paràmetre de clau d'enciptació de la xarxa (NK). Estableix la clau per xifrar i desxifrar la xarxa.

8.8. Software xctu

El software XCTU és una aplicació per configurar els mòduls XBee. Mitjançant la comunicació sèrie es comunica amb els dispositius per llegir o establir els paràmetres. És un software gratuït de Digi Internacional i és molt útil ja que permet carregar els diferents firmware dels mòduls (coordinador, router o end device), veure tots els paràmetres disponibles amb la corresponent definició i valors per defecte, modificar els paràmetres, veure els dispositius de la xarxa, entre d'altres funcions.

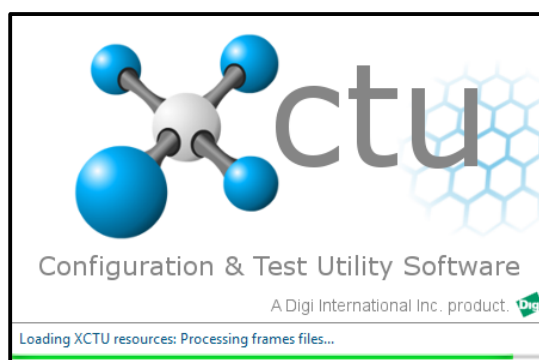


Figura 21. Logo software Xctu.

A l'iniciar el software apareix la finestra principal dividida en dues parts. La secció de l'esquerra és on es mostra la llista de mòduls detectats i la part de la dreta mostra una llista amb tots els paràmetres del mòdul seleccionat.

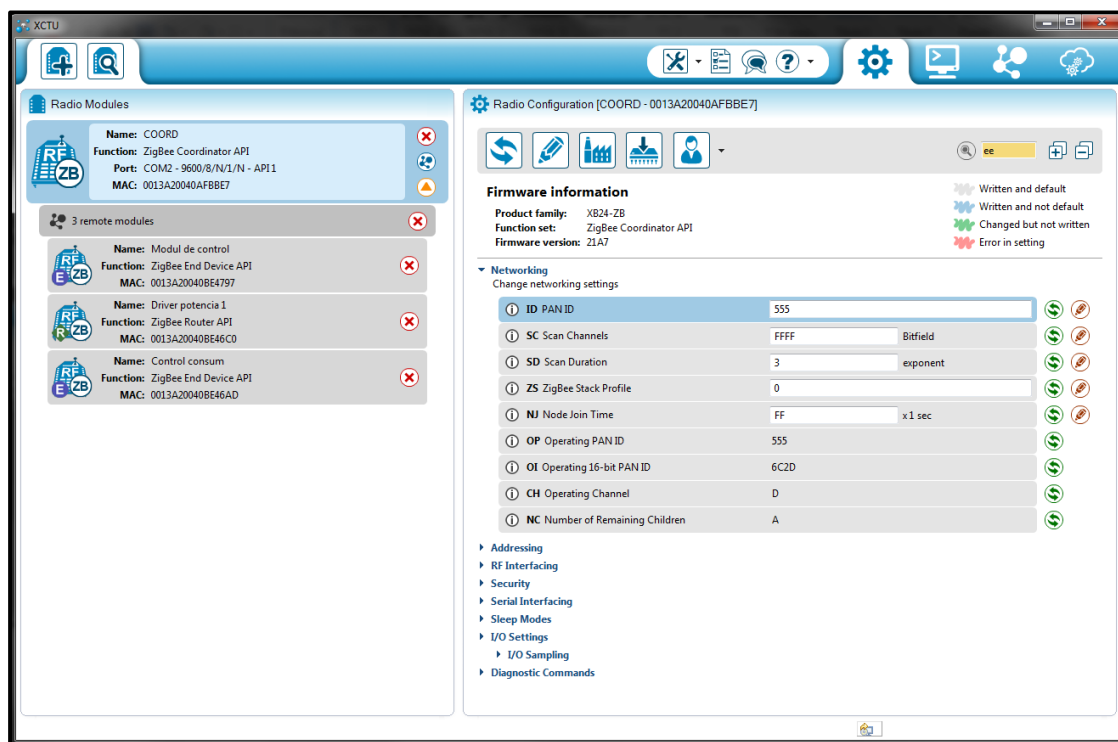


Figura 22. Vista configuració software Xctu.

Un cop es detecta un mòdul connectat a l'ordinador, la resta es poden buscar a través de radiofreqüència. El mòdul connectat amb cable es veu a la part superior de la secció de l'esquerra i els mòduls detectats via radiofreqüència apareixen sota d'aquest, lleugerament més petits.

Es poden llegir i modificar tots els paràmetres dels mòduls que apareguin a la part esquerra, sent molt pràctic el fet de poder-los configurar sense necessitat d'estar connectats físicament a l'ordinador ja que ho estan per radiofreqüència.

Mitjançant la consola es pot veure tot el trànsit de dades, tant les enviades com les rebudes. També permet crear trames de dades amb un assistent i enviar-les a la xarxa.

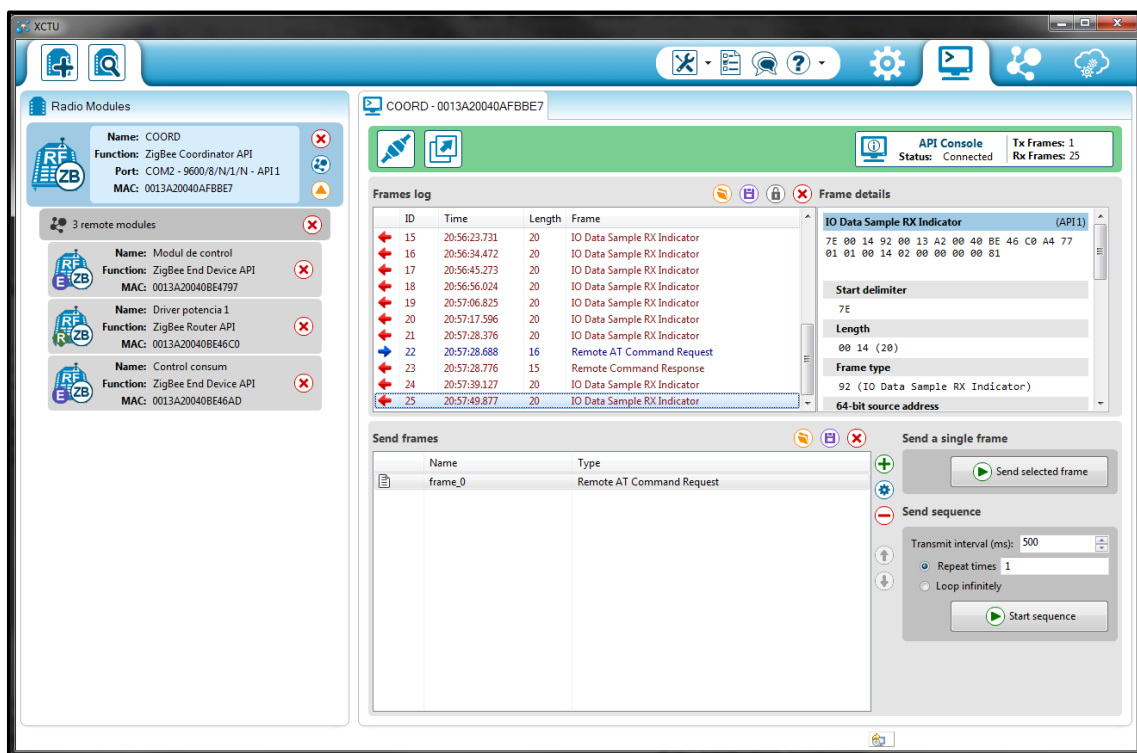


Figura 23. Vista consola software Xctu.

Una altra opció que permet el software Xctu és una visió general de la xarxa amb tots els mòduls detectats. D'aquesta manera es veuen tots els dispositius i la topologia de la xarxa.

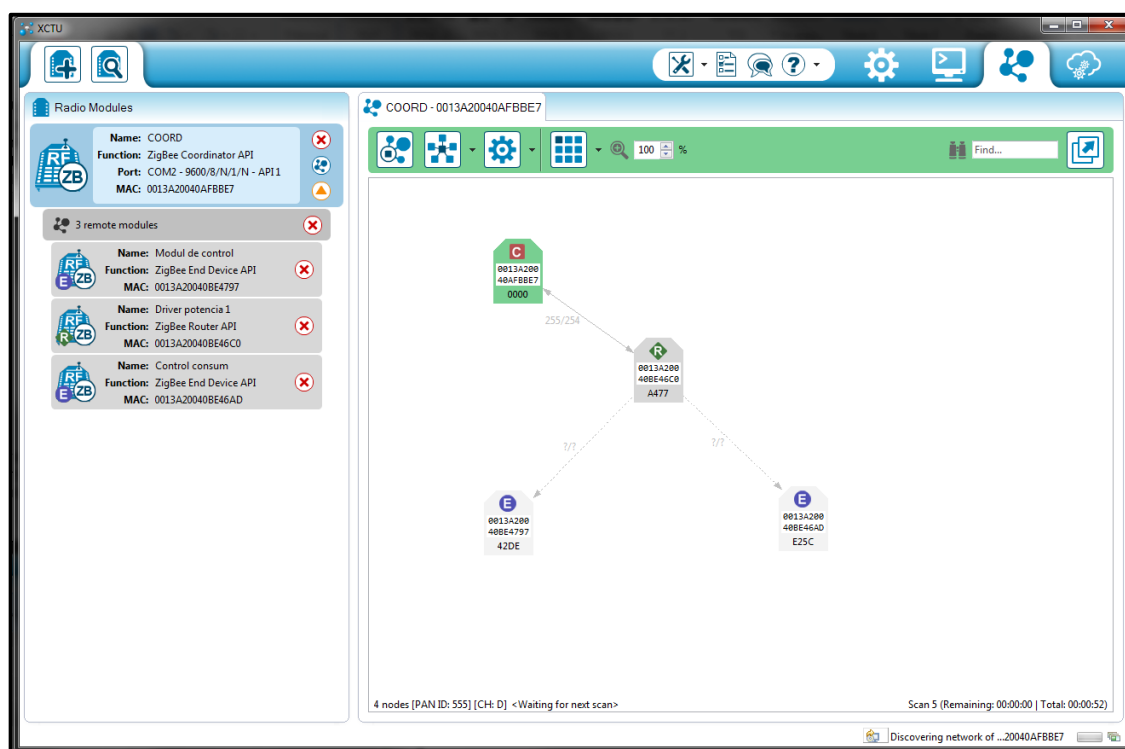


Figura 24. Vista general de la xarxa software Xctu.

CAPÍTOL 9:

DISPOSITIUS DE LA

XARXA

9.1. Descripció general

L'ús de xarxes ZigBee permet dissenyar mòduls específics per a cada funció que es vulgui realitzar, incorporant els elements necessaris per poder formar part de la xarxa. Un dels principals avantatges és que permet començar amb un determinat nombre de dispositius i ampliar-los quan sigui necessari.

D'aquesta manera es poden comercialitzar molts dispositius diferents per a diverses funcions, amb una sèrie de característiques ja definides en cada mòdul per fer que la configuració final per l'usuari sigui més senzilla. Per tant, l'usuari final pot afegir tants mòduls com vulgui d'una manera fàcil amb el software per configurar la instal·lació.

Per dur a terme aquest prototip, s'han dissenyat 5 mòduls diferents, bàsics per poder visualitzar el funcionament.

9.2. Elements comuns

Tots els mòduls incorporen dues funcions per facilitar la incorporació dels mòduls a la xarxa i per veure l'estat del mòdul.

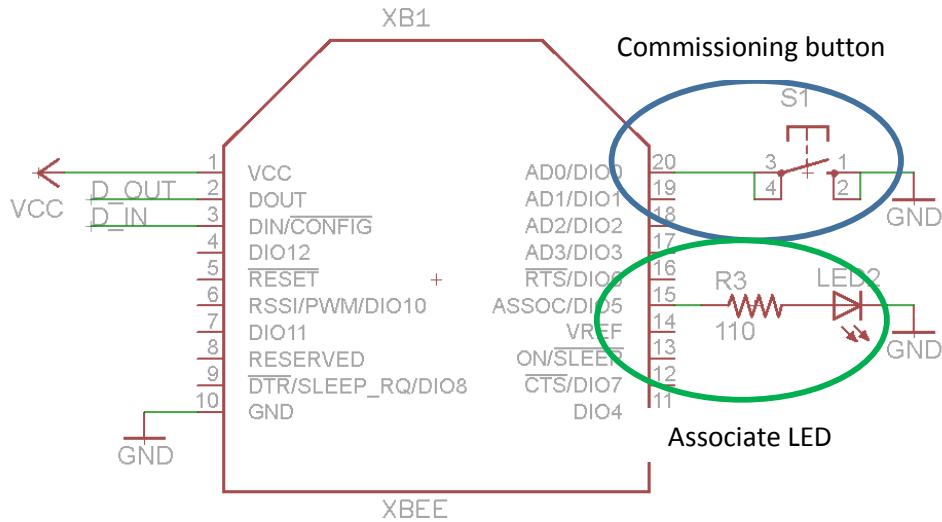


Figura 25. Elements comuns mòduls XBee.

9.2.1. Commissioning button

El commissioning button ofereix algunes funcions simples per ajudar a crear i comunicar amb la xarxa.

Taula 7. Funcions del commissioning button.

Polsades	Mòdul dins de la xarxa	Mòdul sense xarxa
1	<ul style="list-style-type: none"> • Desperta al end device durant 30 segons. • El mòdul envia una trama d'identificació a la xarxa. 	<ul style="list-style-type: none"> • Desperta al end device durant 30 segons. • Mostra un codi d'error al indicador associat.
2	<ul style="list-style-type: none"> • El mòdul envia una transmissió al coordinador per permetre que els mòduls s'uneixin a la xarxa durant 1 minut. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sense funció.
3	<ul style="list-style-type: none"> • Provoca que el mòdul abandoni la xarxa. • Restaura els valors per defecte del mòdul. 	<ul style="list-style-type: none"> • Restaura els valors per defecte del mòdul.

9.2.2. Associate Led

El LED associat mostra informació sobre l'estat del mòdul dins de la xarxa.

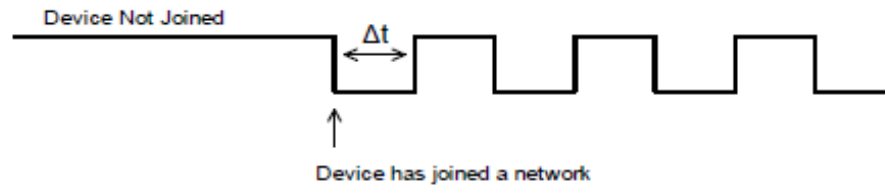


Figura 26. Resposta de l'associat Led.

Si el mòdul no està unit a una xarxa, el LED associat està encès. Si el mòdul està unit a una xarxa, el LED associat fa un parpelleig intermitent amb el temps fixat pel paràmetre LT.

9.3. Bateries

Un dels aspectes més interessants dels mòduls és el seu consum reduït, permetent d'aquesta manera ser alimentats amb piles corrents durant llargs períodes de temps.

En funció de l'estat de funcionament en què es troba el mòdul, el seu consum varia.

Taula 8. Consums mòduls XBee en funció de l'estat de treball.

Estat de funcionament	Consum
Transmissió de dades	40 mA
Recepció de dades	40 mA
Idle	15 mA
Sleep	<1 µA

L'estat de funcionament amb menor consum és l'SLEEP, per tant, per allargar al màxim la bateria interessa que la major part del temps el mòdul estigui en aquest estat.

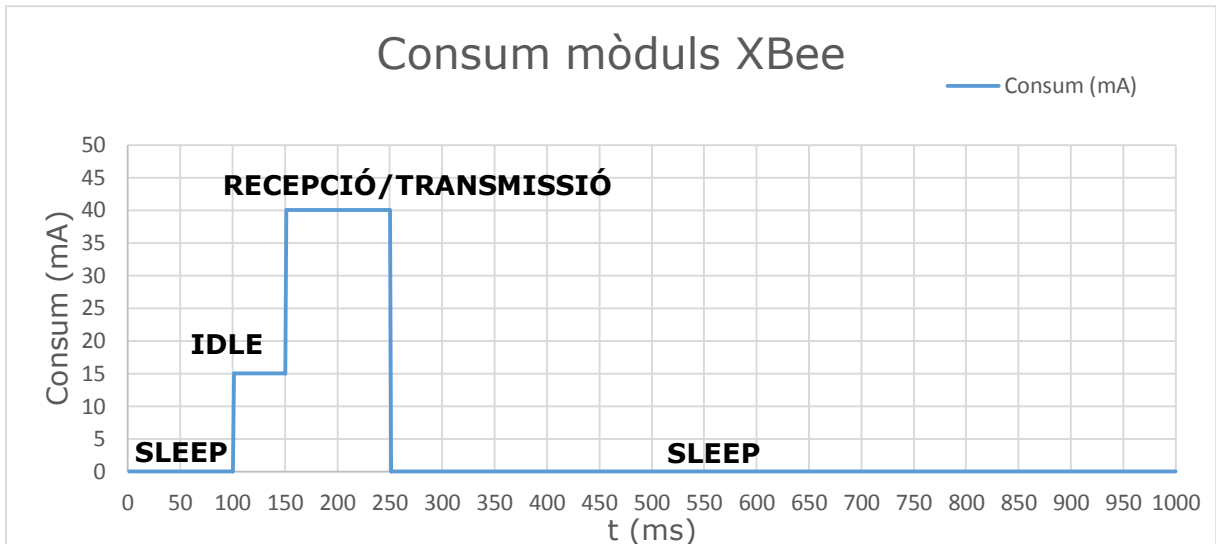


Figura 27. Consum dels mòduls XBee.

En la gràfica anterior es pot veure un exemple de com varia el consum en un període de 10 segons. Durant 50 ms el mòdul es desperta i comprova si té paquets pendents per rebre. En cas que hi hagi un paquet pendent, el coordinador l'hi envia. Acte seguit rep el paquet i envia la resposta, amb la qual cosa està enviant i rebent 100 ms.

En el cas real, els mòduls estan configurats amb un temps d'Sleep de 60 s, un temps Idle de 50 ms i un temps per enviar i rebre de 100 ms.

Per tant el percentatge de temps en cada estat seria de:

$$\text{Consum Idle} = \frac{0,05 (s)}{60 (s)} \cdot 100 = 0,08333 \% \quad (1)$$

$$\text{Consum Rec/Tra} = \frac{0,1 (s)}{60 (s)} \cdot 100 = 0,16667 \% \quad (2)$$

$$\text{Consum SLEEP} = \frac{59,85 (s)}{60 (s)} \cdot 100 = 99,75 \% \quad (3)$$

I el consum en cada estat seria de:

$$\text{Consum Idle} = 0,0008333 \cdot 15 \text{ (mA)} = 0,0125 \text{ mA} \quad (4)$$

$$\text{Consum Rec/Tra} = 0,0016667 \cdot 40 \text{ (mA)} = 0,0667 \text{ mA} \quad (5)$$

$$\text{Consum SLEEP} = 0,9975 \cdot 0,001 \text{ (mA)} = 0,0009975 \text{ mA} \quad (6)$$

La mitjana de consum, doncs, és de:

$$\text{Consum} = 0,0125 + 0,0667 + 0,0009975 = 0,0802 \text{ mA} \quad (7)$$

Si s'afegeix un percentatge d'eficiència del sistema del 90%:

$$\text{Consum} = 0,0802 \text{ mA} \cdot 1,1 = 0,08822 \text{ mA} \quad (8)$$

Les bateries utilitzades són dues piles AA, amb una capacitat de 2000 mAh i una tensió de 1,5V. Al col·locar-les en sèrie, la tensió se suma, sent la resultant de 3V, i la capacitat es manté en 2000 mAh.

En aquestes condicions la durada de les piles seria de:

$$\text{Durada en hores} = \frac{2000 \text{ (mAh)}}{0,08822 \text{ (mA)}} = 22670,596 \text{ h} \quad (9)$$

$$\text{Durada en anys} = \frac{22670,596}{(365 \cdot 24)} = 2,588 \text{ anys} \quad (10)$$

En conclusió, per allargar al màxim la vida de les piles que alimenten als mòduls, interessa que la major part del temps estiguin dormint. Una conseqüència d'aquest fet és que la freqüència de transmissió de dades disminueix i, per tant, la captura de dades dels sensors es realitza amb la mateixa freqüència.

Per aquest motiu, sempre que es pugui, els mòduls que no necessitin ser alimentats amb piles és millor alimentar-los amb una font connectada a la xarxa. D'aquesta manera sempre estan desperts per poder enviar i rebre dades i es poden configurar com a routers, ja que aquests presenten millors característiques dins de la xarxa ZigBee.

També cal especificar que aquests càlculs només fan referència al consum i la durada de les piles únicament alimentant al dispositiu XBee, no es té en compte la resta de l'electrònica de cada mòdul.

El fabricant MaxStream proporciona una aplicació de full de càlcul per calcular la vida de les bateries per alimentar els mòduls. Especificant el temps de cada estat de funcionament i el consum en cada un d'ells, calcula la durada de les bateries. Es pot veure a la següent pàgina.

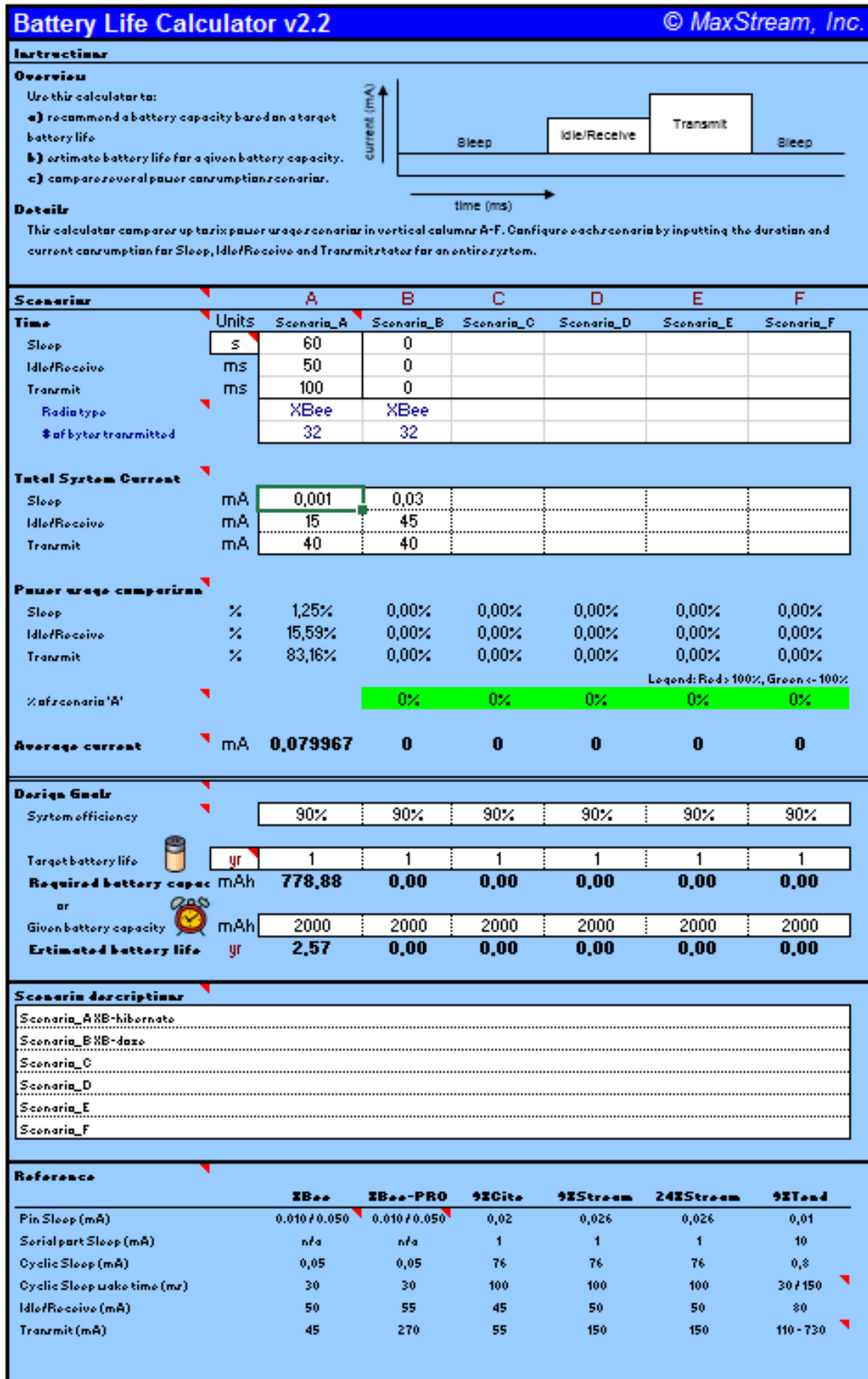


Figura 28. Battery life calculator de MaxStream.

9.4. Coordinador

9.4.1. Introducció

El mòdul coordinador és el responsable de seleccionar el canal de comunicació, l'identificador de la xarxa PAN ID (16-bit i 64-bit), la política de seguretat i la pila de perfil de la xarxa. El coordinador és l'únic dispositiu que pot iniciar una xarxa ZigBee, i cada xarxa n'ha de tenir un. Un cop el coordinador ha iniciat la xarxa, permet a altres dispositius unir-se a aquesta xarxa.

El coordinador és l'element que permet comunicar-se amb tots els dispositius de la xarxa. Per aquest motiu el coordinador es connecta al dispositiu de control, en aquest cas una tauleta tàctil, ja que mitjançant el software de control es pot gestionar tota la recepció i enviament de paquets de dades. Per exemple, si es polsa un polsador d'un mòdul de la xarxa, aquest envia una trama de dades sense fils al mòdul coordinador i aquest les envia mitjançant la transmissió sèrie per cable al dispositiu de control. El software de control analitza les dades i en conseqüència genera una trama per encendre el llum corresponent. Envia el paquet de dades per cable al coordinador i aquest l'envia sense fils al mòdul que ha d'encendre el llum.

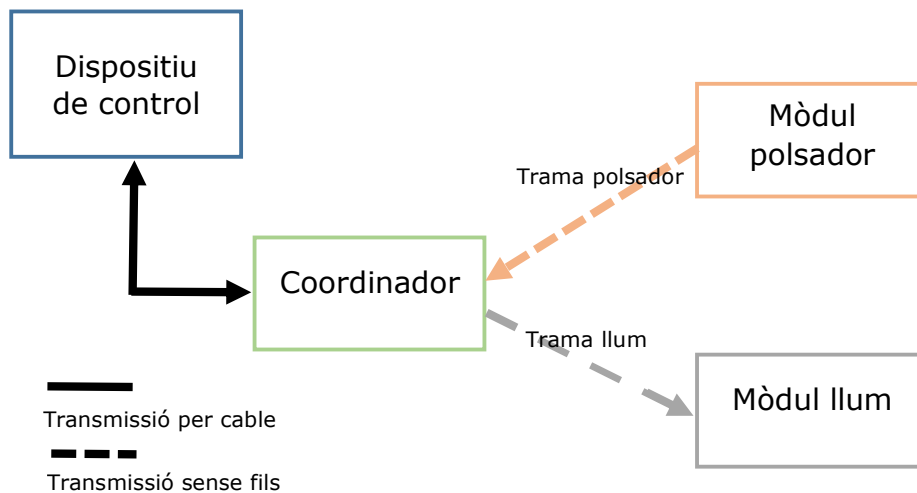


Figura 29. Esquema de transmissió/recepció coordinador.

9.4.2. Característiques

El coordinador es comunica amb la tauleta tàctil, mitjançant un convertidor de RS-232 a USB de Sparkfun. Aquest dispositiu s'ha explicat amb més detall a l'apartat 8.4 Comunicacions, en el subapartat de Convertidor de USB a UART.



Figura 30. Mòdul coordinador.

Tots els mòduls XBee Z2 Series 2 poden fer les tres funcions: coordinador, router o end device, tant sols s'ha de configurar amb el software del fabricant. El software carrega el firmware corresponent a cada funció al mòdul.

9.4.3. Paràmetres de configuració del mòdul XBee

Els paràmetres de configuració del mòdul XBee per configurar el dispositiu com a coordinador es detallen a l'annex, al capítol 2.

9.5. Mòdul de control

9.5.1. Introducció

Aquest dispositiu està dissenyat per controlar els paràmetres de les habitacions, menjador, sales i altres estances. Incorpora un sensor de temperatura, un sensor de llum, un detector de moviment i quatre polsadors.

Les dades dels sensors s'envien a l'element controlador i mitjançant el software de control, es processen les dades i s'actua en conseqüència. Gràcies a aquestes mesures, mitjançant els mòduls corresponents es pot activar la calefacció si la temperatura és baixa, o es pot regular la intensitat de la llum en funció de la llum de l'habitació.

Amb el detector de moviment es pot controlar l'encesa o apagada dels elements que es vulgui controlar. Per tant, es pot programar l'apagada dels llums si durant un interval de temps no es detecta moviment.

Una altra característica molt interessant del detector de moviment és que es pot afegir al sistema d'alarma, per exemple, si detecta moviment pot activar l'alarma o dur a terme altres accions d'avis d'intrusió.

Els quatre polsadors es poden configurar per les accions que es desitgi, des d'encendre o apagar un llum, controlar la intensitat de llum o pujar i baixar persianes.

Totes aquestes característiques contribueixen en un dels aspectes principals del projecte que és l'estalvi energètic. Ajustant la calefacció, apagant llums quan no sigui necessari, amb el control de persianes, etc., redueixen el consum de l'habitatge. A més, el software de control de la xarxa emmagatzema les dades per poder ser analitzades posteriorment i així tenir més informació a l'hora de fer un estudi d'eficiència energètica.

Aquest mòdul va alimentat amb piles AA i la durada de la bateria pot arribar fins a dos anys de vida, tot i que el dispositiu també pot anar alimentat per USB. Si el mòdul és alimentat mitjançant USB, un LED de color verd ho indica.

Una altra característica del mòdul és que incorpora també el polsador de comissioning button i el LED associat, ambdós explicats als apartats 9.2.1 i 9.2.2, perquè són elements comuns en tots els mòduls.

9.5.2. Característiques

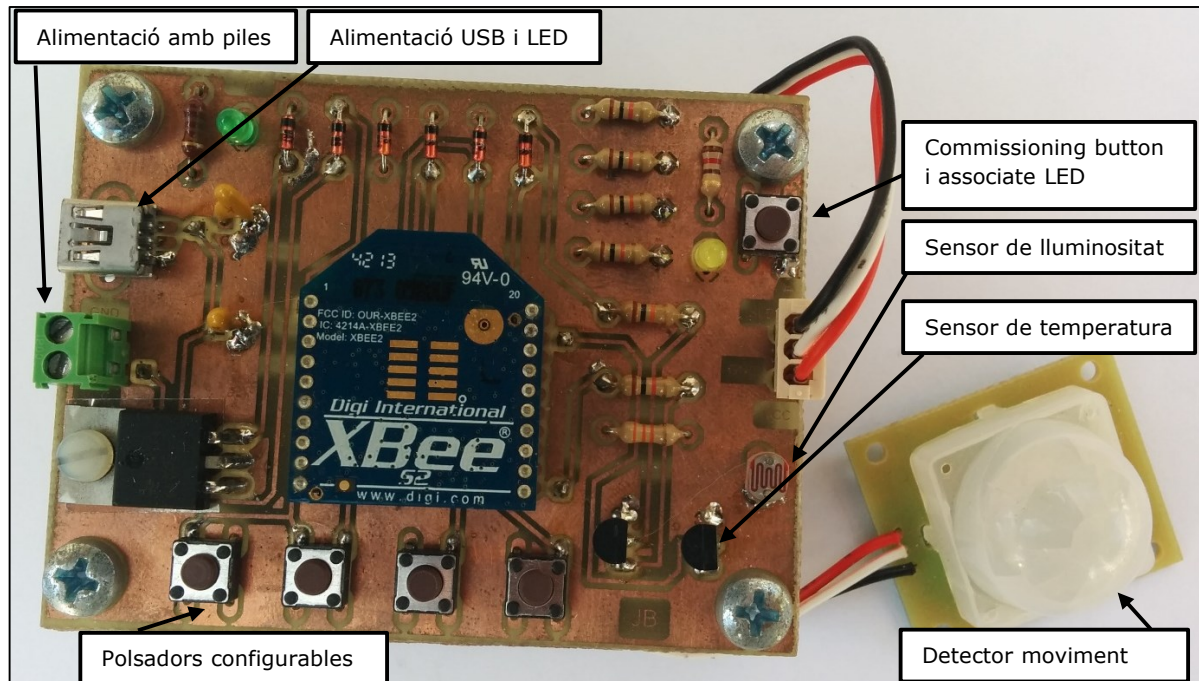


Figura 31. Mòdul de control.

L'alimentació del mòdul pot ser mitjançant el connector USB o mitjançant piles AA.

- Alimentació mitjançant USB:

La tensió de l'estàndard USB és de 5 V i la dels mòduls XBee admet un marge de 2,1 V fins a 3,6 V, per tant la tensió s'ha d'adaptar. El fabricant Texas Instruments disposa d'un circuit integrat regulador de tensió per passar de 5 V a 3,3 V. El propi fabricant especifica el muntatge bàsic, incorporant al circuit integrat els dos condensadors electrolítics. Per poder veure si el dispositiu és alimentat a través del port USB, s'ha incorporat un indicador LED de color verd amb la resistència corresponent.

A més, el connector USB serveix també per connectar el mòdul a un ordinador, utilitzant un adaptador de comunicació sèrie a USB per configurar el mòdul a través del software de control.

El valor de la resistència ve donat per:

Segons característiques datasheet:

$$V_{LED_verd} = 2,2 V ; I_{LED_verd} = 10 mA$$

Per tant:

$$R = \frac{(V_T - V_{LED})}{I_{LED}} = \frac{(3,3 - 2,2)}{10 \cdot 10^{-3}} = \frac{1,1}{10 \cdot 10^{-3}} = 110 \Omega \quad (11)$$

Aquest regulador de tensió incorpora també un díode Schottky per evitar incidències si el mòdul és alimentat a la vegada per USB i piles. La caiguda de tensió en el díode és de 0,2 V, per tant la tensió d'alimentació del circuit amb USB serà de 3,1 V.

Pel càlcul del dissipador del regulador de tensió es tenen en compte les dades proporcionades pel fabricant: una resistència tèrmica d'unió-ambient de 19° C/W i una temperatura màxima d'unió de 125 °C. Per tant:

$$T_j - T_a = P \cdot R_{j-a} \quad (12)$$

La potència del circuit és:

$$P = I_{max} \cdot (V_{in} - V_{out}); P = 0,25 \cdot (5 - 3,3) = 0,425 W \quad (13)$$

Per tant, en aquestes condicions la temperatura de la unió serà:

$$T_j = (P \cdot R_{j-a}) + T_a ; T_j = (0,425 \cdot 19) + 25 = 33,075 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (14)$$

En aquestes condicions, la temperatura de la unió és molt inferior a la que pot suportar el regulador, per això no es necessari col·locar un dissipador de temperatura.

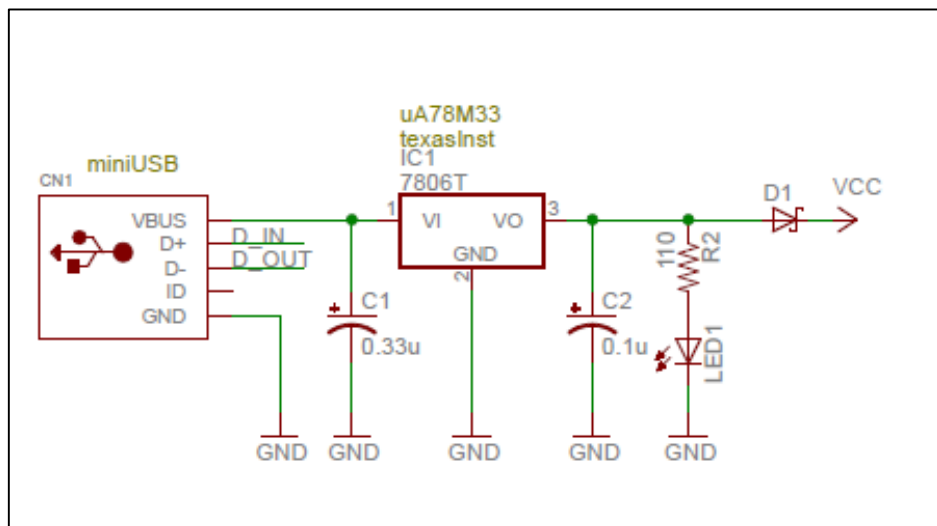


Figura 32. Reducció de tensió de 5 V a 3,3 V.

- Alimentació mitjançant piles:

Si el mòdul és alimentat mitjançant piles AA, la tensió proporcionada per aquestes ja és correcta. Han de ser dues piles alcalines de 1,5 V connectades en sèrie per proporcionar 3 V.

Igual que en la alimentació per USB, es col·loca un díode Schottky per evitar conflictes tant si el dispositiu s'alimenta per USB com amb piles.

La tensió d'alimentació del mòdul en cas que s'alimenti amb piles serà de 2,8 V, ja que el díode Schottky té una caiguda de tensió de 0,2 V.

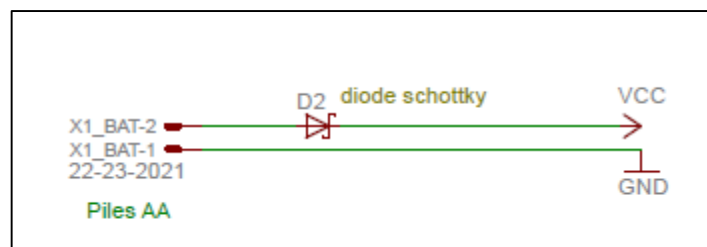


Figura 33. Alimentació amb piles AA.

- Commissioning button i Associate LED:

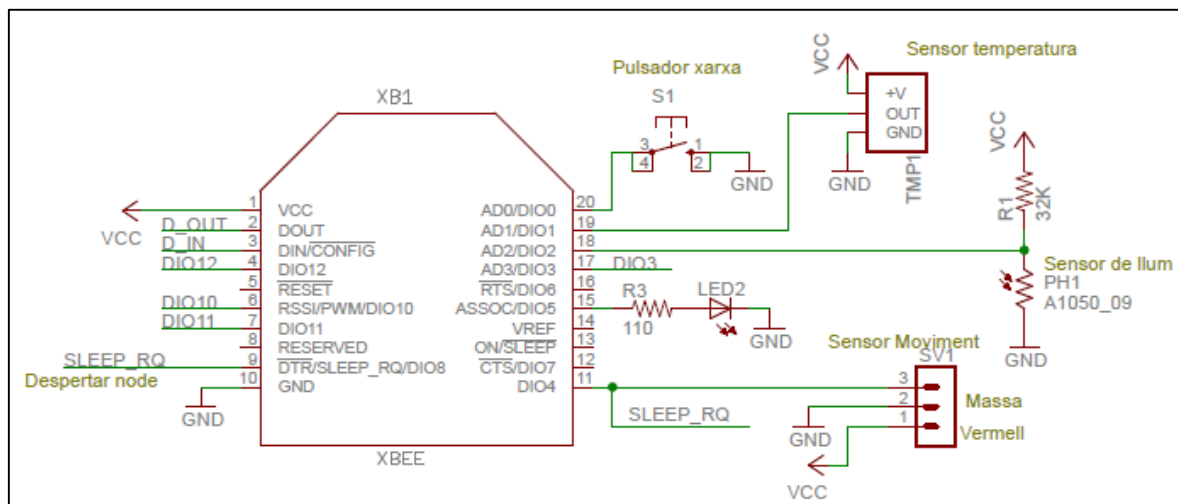


Figura 34. Entrades i sortides XBee mòdul de control.

Les connexions d'aquests dos dispositius s'han fet seguint les especificacions del datasheet del fabricant Digi International. Aquest especifica la connexió del pulsador. L'entrada específica ja disposa del hardware necessari i només és necessari connectar el pulsador. Pel que fa al LED de color groc, el càlcul s'especifica a continuació.

Segons característiques datasheet:

$$V_{LED_groc} = 2,1 V ; I_{LED_groc} = 10 mA$$

Per tant:

$$R = \frac{(V_T - V_{LED})}{I_{LED}} = \frac{(3,1 - 2,1)}{10 \cdot 10^{-3}} = \frac{1}{10 \cdot 10^{-3}} = 100 \Omega \quad (15)$$

S'ha considerat que la tensió de sortida del mòdul XBee és de 3,1 V. Si el mòdul s'alimenta amb piles, la tensió a la sortida del mòdul seria de 2,8 V, però s'ha considerat el cas més desfavorable per assegurar el correcte funcionament del LED. Ja que el valor és lleugerament superior al LED de color verd, s'ha utilitzat el mateix valor, el de 110 Ω , per a més facilitat de components.

- Detector de moviment:

El detector de moviment passa a nivell baix quan detecta moviment. Ja que les entrades del mòdul XBee són a nivell baix, serveix directament el fil d'alarma del detector. Aquest detector pot ser alimentat a 3 V.

- Sensor de temperatura:

El sensor de temperatura és el TMP36 del fabricant Analog Devices. La tensió d'alimentació és de 2,7 V fins a 5,5 V. El muntatge l'especifica el fabricant. Per calcular la temperatura en funció de la tensió de sortida del sensor, s'utilitza la informació del datasheet per treure la següent gràfica. Amb l'equació de la gràfica es calcula el valor de la temperatura en funció de la tensió a la entrada analògica del mòdul XBee.

Equació de la gràfica:

$$Y = 0,01X + 0,5 \quad (16)$$

El valor de la temperatura en funció de la tensió serà:

$$X = \frac{Y - 0,5}{0,01} \quad (17)$$

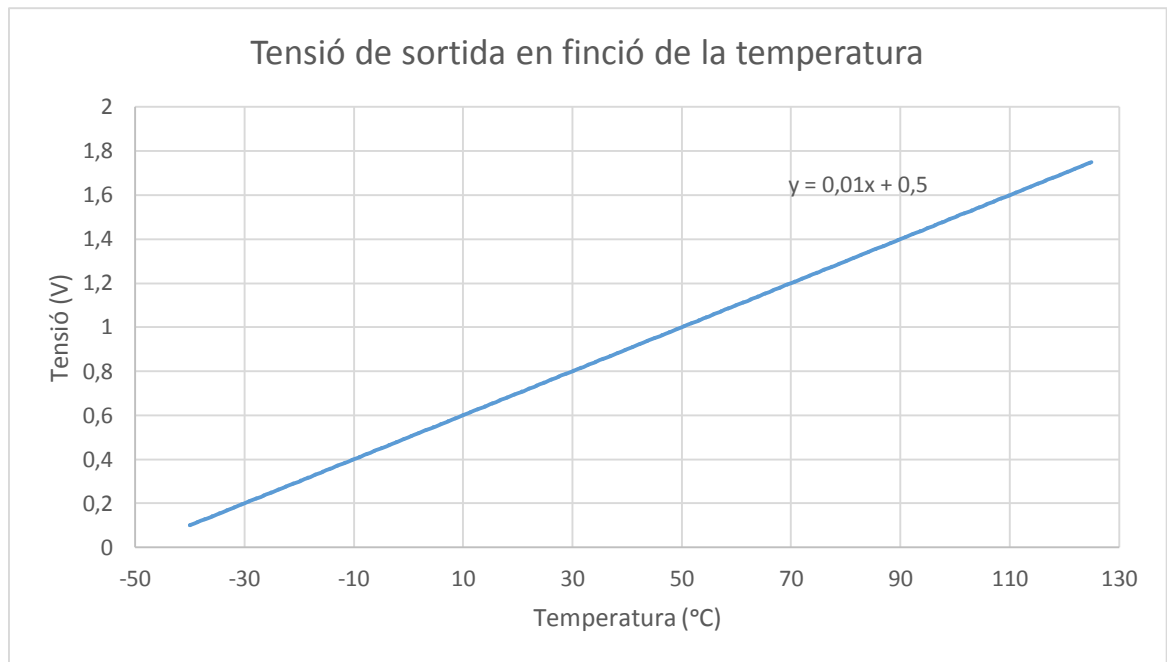


Figura 35. Resposta sensor de temperatura.

L'entrada analògica del mòdul XBee és de 10 bits, que són 1023 valors, d'aquesta manera la resolució del sensor ve donada per:

$$Res = \frac{V_{max}}{bits} = \frac{1,2}{1023} = 0,001173 V \quad (18)$$

És a dir:

$$Res = \frac{T_{max}}{bits} = \frac{120}{1023} = 0,1173 ^\circ C \quad (19)$$

Per tant, la variació mínima de temperatura que pot captar el sistema és de 0,1173 °C.

- Sensor de llum:

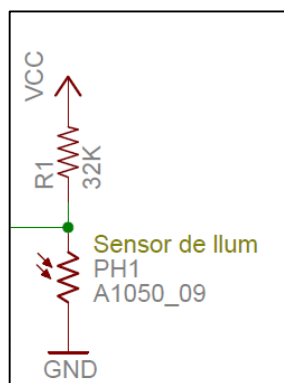


Figura 36. Sensor de llum mòdul de control.

El sensor de llum varia la seva resistència en funció de la intensitat de llum que rep. En màxima llum la seva resistència és de 20 Ω , i a la foscor és de 20 K Ω . Es vol que a la foscor, la tensió en el punt mig del divisor sigui de 1,2 V.

$$V_{sensor} = VCC \cdot \frac{R_{sensor}}{R_{sensor} + R_1} \quad (20)$$

$$R_1 = \frac{R_{sensor}}{V_{sensor}/VCC} - R_{sensor} = \frac{20000}{\frac{1,2}{3,1}} - 20000 = 31666,67 \Omega \quad (21)$$

En el cas de màxima llum, la resistència del sensor valdrà 20 Ω i d'aquesta manera la tensió del sensor valdrà:

$$V_{sensor} = VCC \cdot \frac{R_{sensor}}{R_{sensor} + R_1} = 3,1 \cdot \frac{20}{20 + 32000} = 0,0019 V \quad (22)$$

La resolució del sensor es calcula igual que en el cas anterior:

$$Res = \frac{V_{max}}{bits} = \frac{1,2}{1023} = 0,00173 V \quad (23)$$

No obstant, en el software de la aplicació, la intensitat de llum es representa en percentatge per a una fàcil comprensió per a l'usuari. D'aquesta manera, la resolució en percentatge queda:

$$Res = \frac{\%_{max}}{bits} = \frac{100}{1023} = 0,09775 \% \quad (24)$$

Així la variació mínima percentual d'intensitat de llum que pot captar el sistema és de 0,09775 %.

- Polsadors:

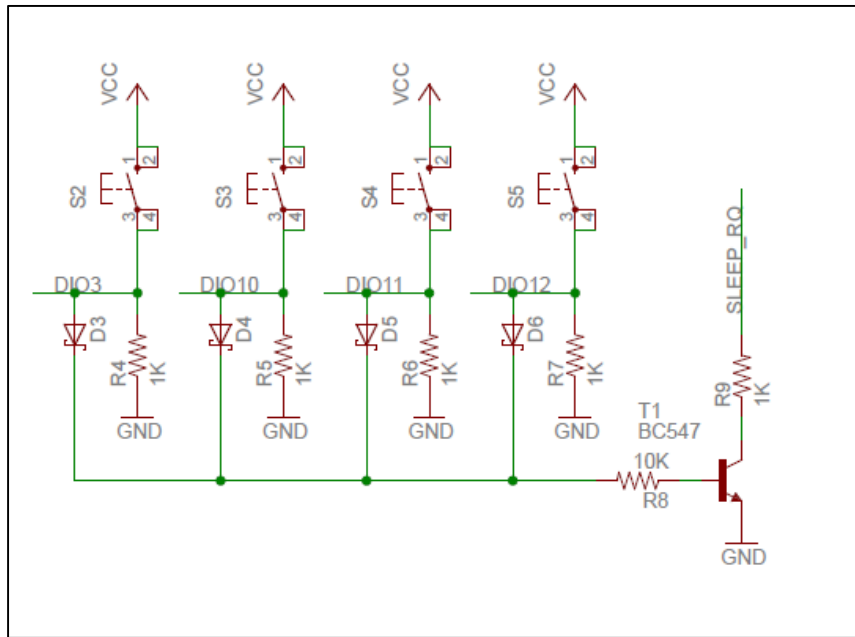


Figura 37. Polsadors mòdul de control.

Les entrades del mòdul XBee necessiten resistències de pull down. És a dir, quan el polsador està obert, el valor de la tensió a la resistència (el mateix que a l'entrada) és GND, per tant la entrada està a nivell baix. Si en canvi el polsador es polsa, el valor de la tensió a la resistència i a la entrada és VCC, i per tant és a nivell alt.

Pel càlcul de la resistència de les entrades, tenint en compte que el fabricant especifica que valor màxim de corrent als pins ha de ser de 4 mA, es fa el següent:

$$V = R \cdot I; R = \frac{V}{I} = \frac{3,1}{0,004} = 775 \Omega \quad (25)$$

Ja que no és un valor normalitzat, s'ha escollit un valor proper de la resistència de 1 K Ω . D'aquesta manera s'allunya una mica del valor màxim recomanat pel fabricant, quedant:

$$V = R \cdot I; I = \frac{V}{R} = \frac{3,1}{1000} = 3,1 \text{ mA} \quad (26)$$

Per altra banda, aquests polsadors han de despertar el mòdul perquè aquest pugui enviar la trama corresponent al polsador polsat. Per despertar al mòdul, és necessari que l'entrada SLEEP_RQ passi a nivell baix. Si es connectés directament amb els polsadors, el mòdul mai entraria en mode SLEEP ja que aquests estan sempre a nivell baix. Per tant és necessari utilitzar un transistor

per invertir la lògica. D'aquesta manera, l'entrada SLEEP_RQ sempre és a nivell alt permetent que el mòdul faci els cicles de SLEEP. Si es polsa algun dels polsadors, el transistor entra en saturació posant a nivell baix l'entrada SLEEP_RQ. D'aquesta manera el mòdul es desperta i envia la trama de dades corresponent.

La resistència de base que ha d'incorporar el transistor es calcula així:

$$V_{BE} = 0,7 V ; V_{CE(SAT)} = 0,09 V ; h_{FE} = 110 \quad (27)$$

Les condicions de saturació són:

$$\begin{aligned} I_B &> 0 \\ h_{FE} \cdot I_B &> I_C \end{aligned} \quad (28)$$

Equacions:

$$\begin{aligned} V_{DIO} &= R_B \cdot I_B + V_{BE} \\ V_{CC} &= R_C \cdot I_C + V_{CE(SAT)} \\ h_{FE} \cdot I_B &> I_C \end{aligned} \quad (29)$$

D'on:

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE(SAT)}}{R_C} = \frac{3,1 - 0,09}{1000} = 3,01 \text{ mA} \quad (30)$$

$$h_{FE} \cdot I_B > I_C ; I_B > \frac{I_C}{h_{FE}} ; I_B > \frac{0,00301}{110} > 27 \mu A \quad (31)$$

$$R_B = \frac{V_{DIO} - V_{BE}}{I_B} = \frac{(3,1 - 0,2) - 0,7}{27 \cdot 10^{-5}} = 8148,15 \Omega \quad (32)$$

S'ha escollit el valor de 10 K Ω al tractar-se d'un valor proper molt habitual.

9.5.3. Paràmetres de configuració del mòdul XBee

Els paràmetres de configuració del mòdul XBee per configurar el dispositiu com a Mòdul de control es detallen a l'annex, al capítol 2.

9.6. Teclat

9.6.1. Introducció

La funció per la qual ha estat dissenyat aquest mòdul és per tenir un accés ràpid i fàcil a determinades funcions de la xarxa de control domèstic. Incorpora 6 polsadors configurables cada un d'ells a través del software de control.

Un exemple seria col·locar el mòdul proper a la porta d'entrada i configurar els polsadors amb funcions útils per a l'entrada i la sortida de l'habitatge. Les funcions programades per defecte són:

- Sortir de casa: Apagar llums, desconnectar endolls, baixar persianes i fixar la consigna de la calefacció a 18 °C.
- Tornar a casa: Encendre els llums adequats quan s'entra a casa, pujar les persianes, connectar endolls i fixar la consigna de la calefacció a 20 °C.
- Activar la funció d'estalvi energètic: fixar les consignes de calefacció de tot l'habitatge a 19 °C i fixar el valor del regulador de llum al 40%.
- Connectar la alarma d'intrusió.
- Desconnectar l'alarma d'intrusió.

Totes aquestes funcions aporten molta facilitat per millorar l'estalvi energètic a l'habitatge, ja que amb una pulsació s'ajusta tot a les condicions òptimes.

El mòdul funciona amb piles, d'aquesta manera es pot ubicar a qualsevol lloc de l'habitatge. El cicle de SLEEP és llarg, ja que no ha d'enviar ni rebre dades de manera periòdica, sinó que quan un polsador es polsa, el mòdul es desperta i envia la trama de dades corresponent al polsador premut. D'aquesta manera, com ja s'ha vist en el capítol 9.3, la vida de les bateries és superior als 2 anys.

El dispositiu també pot anar alimentat per USB. Si el mòdul és alimentat mitjançant USB, un LED de color verd ho indica.

Una altra característica del mòdul és que incorpora també el polsador de comissioning button i el LED associat, ambdós explicats als apartats 9.2.1 i 9.2.2, ja que són elements comuns en tots els mòduls.

9.6.2. Característiques

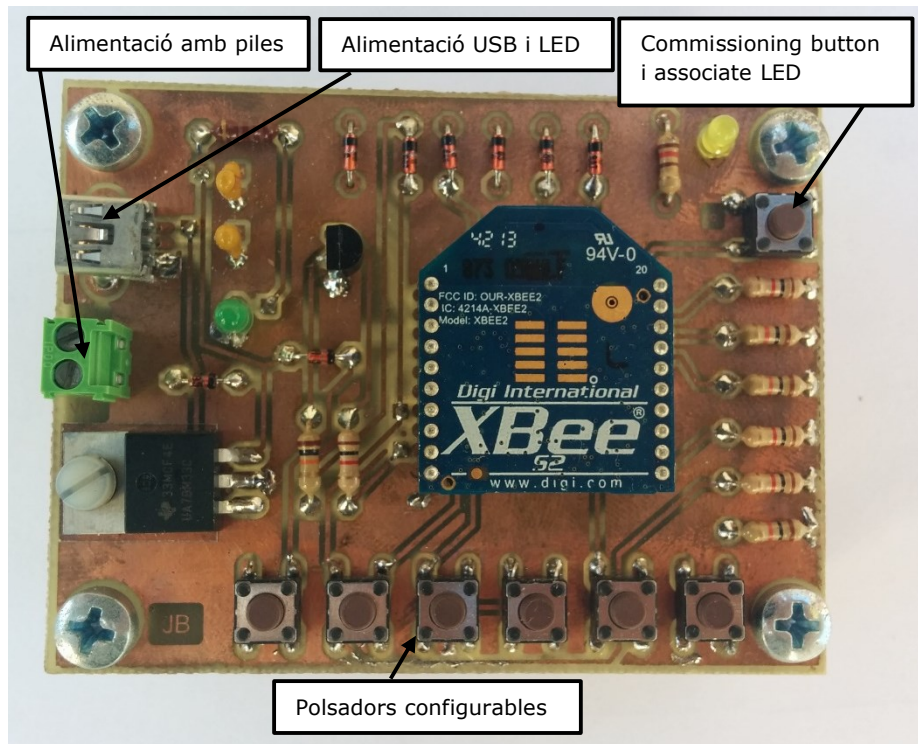


Figura 38. Mòdul teclat.

Aquest mòdul no incorpora cap element nou que no s'hagi explicat en el dispositiu anterior.

- Alimentació mitjançant USB:

Les especificacions de l'alimentació a través de USB són les mateixes que en el mòdul de control vist a l'apartat anterior.

- Alimentació mitjançant piles:

Les especificacions de l'alimentació mitjançant piles són les mateixes que en el mòdul de control vist a l'apartat anterior.

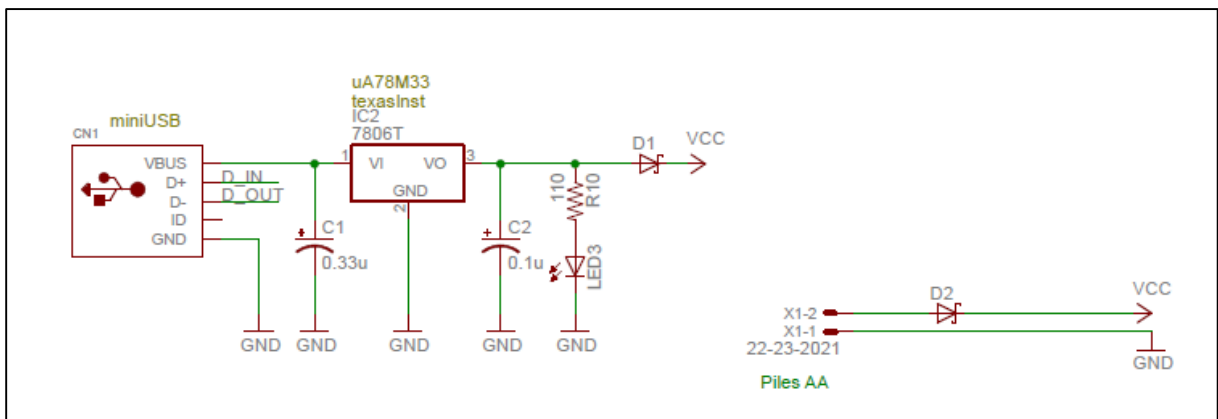


Figura 39. Alimentacions mòdul teclat.

- Commissioning button i Associate LED:

Les especificacions del Commissioning button i del Associate LED estan detallades en el mòdul de control vist a l'apartat anterior.

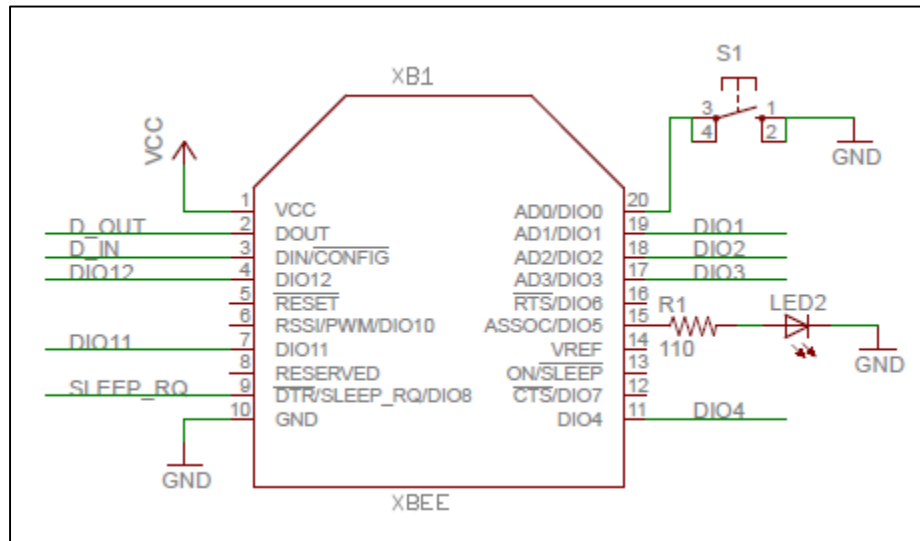


Figura 40. Entrades i sortides XBee mòdul teclat.

- Polsadors:

Les especificacions dels polsadors estan detallades en el mòdul de control de l'apartat anterior. L'única diferència és que en aquest cas n'hi ha dos més.

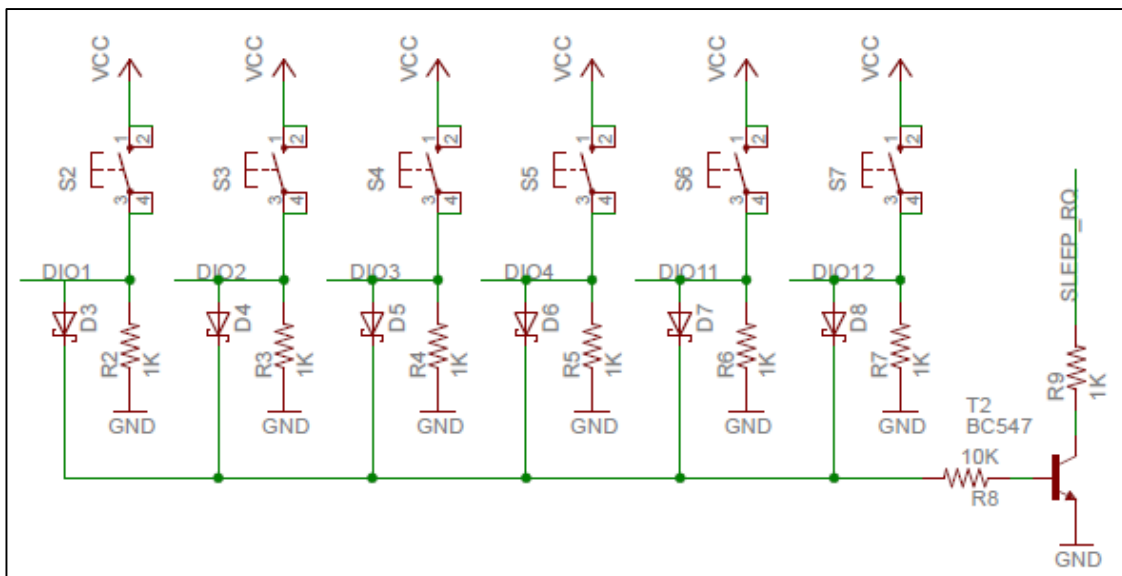


Figura 41. Polsadors mòdul teclat.

9.6.3. Paràmetres de configuració

Els paràmetres de configuració del mòdul XBee per configurar el dispositiu com a Teclat es detallen a l'annex 1, al capítol 2.

9.7. Control de consum

9.7.1. Introducció

El mòdul de control de consum serveix per conèixer el consum elèctric de l'habitatge en tot moment. Mitjançant una pinça no invasiva, col·locada al fil elèctric de l'escomesa, es mesura la intensitat elèctrica que circula pel conductor. El mòdul envia, sense fils, la lectura al dispositiu de control per poder analitzar les dades i emmagatzemar-les.

L'usuari, mitjançant el software de control, pot ajustar una sèrie de prioritats elèctriques per ajustar el consum de l'habitatge.

El mòdul, igual que en els dos casos anteriors, també funciona amb piles i la vida d'aquestes pot arribar als 2 anys. També disposa d'alimentació per USB per si es disposa d'endoll en el quadre principal de l'habitatge i així poder obtenir més freqüència de mesures.

9.7.2. Característiques

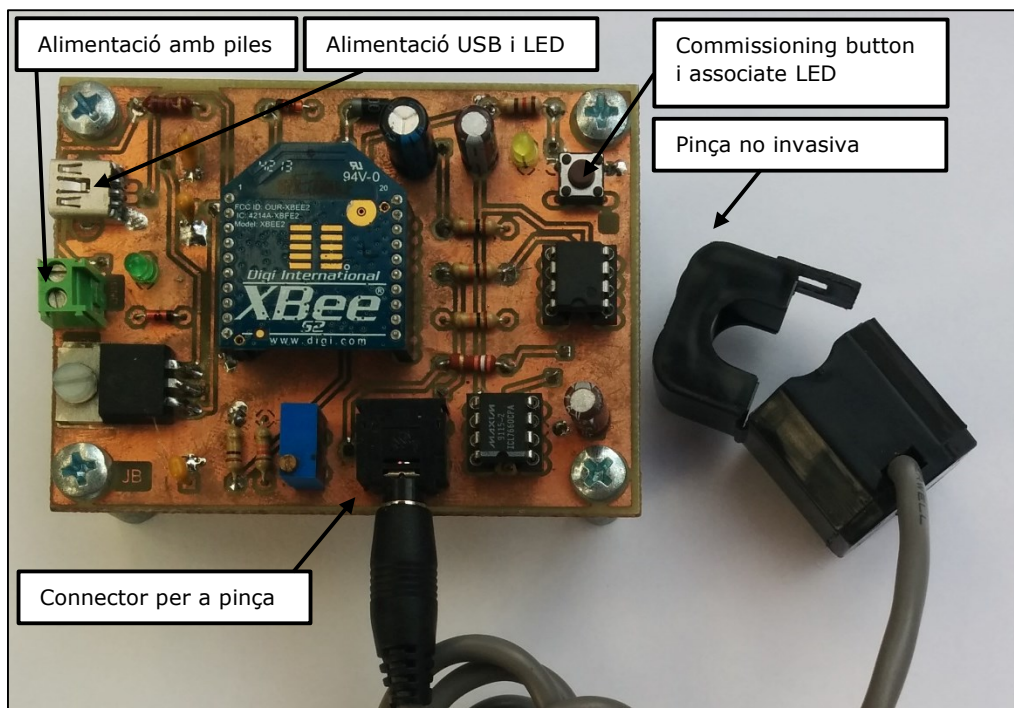


Figura 42. Mòdul de control de consum.

- Alimentació mitjançant USB:

Les especificacions de l'alimentació a través de USB són les mateixes que en el mòdul de control i el teclat vistes en apartats anteriors.

- Alimentació mitjançant piles:

Les especificacions de l'alimentació mitjançant piles són les mateixes que en el mòdul de control i el teclat vistes en apartats anteriors.

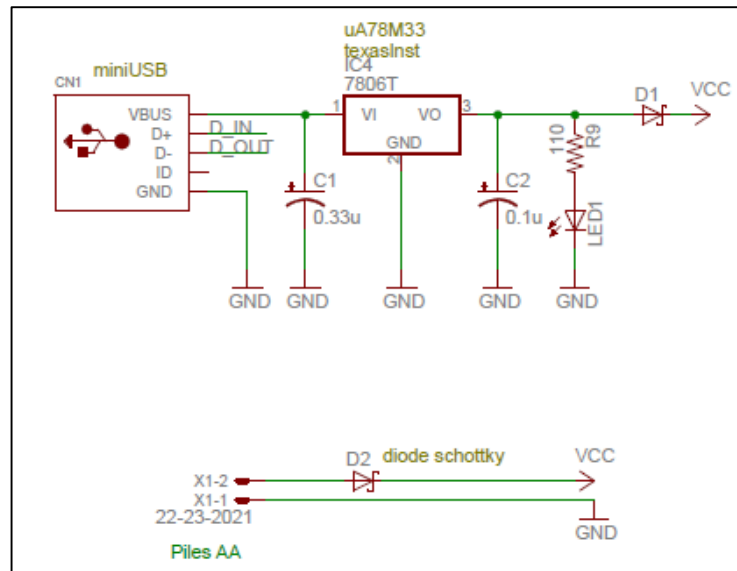


Figura 43. Alimentacions mòdul de control de consum.

- Commissioning button i Associate LED:

Les especificacions del Commissioning button i del Associate LED estan detallades en el mòdul de control i el teclat vistes en apartats anteriors.

- Sensor de corrent:

El sensor de corrent consta de tres parts: la pinça amperimètrica, el rectificador de precisió i l'amplificador.

El fabricant de la pinça amperimètrica proposa el valor de 12 Ω per a la resistència a la sortida del sensor.

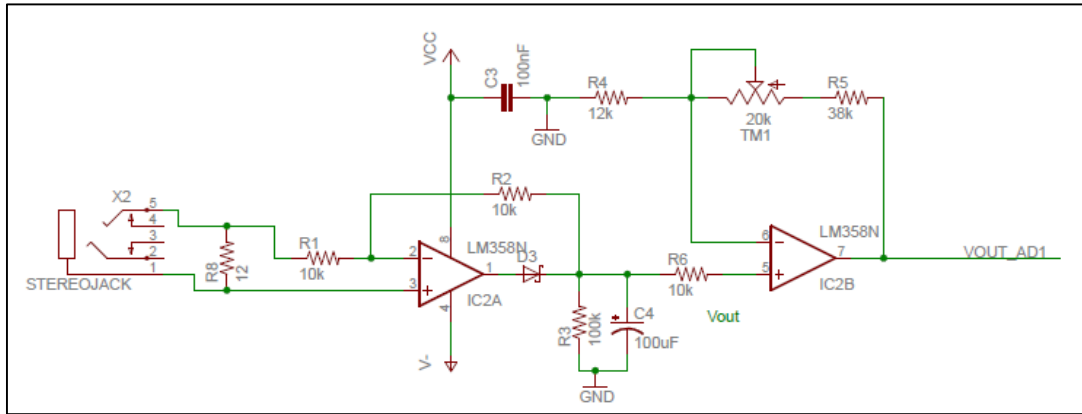


Figura 44. Sensor d'intensitat mòdul de control de consum.

La pinça amperimètrica proporciona una senyal proporcional a la intensitat que circula pel conductor on està col·locada. Aquesta senyal és una sinusoide amb la mateixa freqüència que la tensió de la xarxa, és a dir 50 Hz. Segons el datasheet, la intensitat màxima que pot mesurar és de 30 A, i en aquestes condicions genera una senyal sinusoidal de 150 mV de valor eficaç.

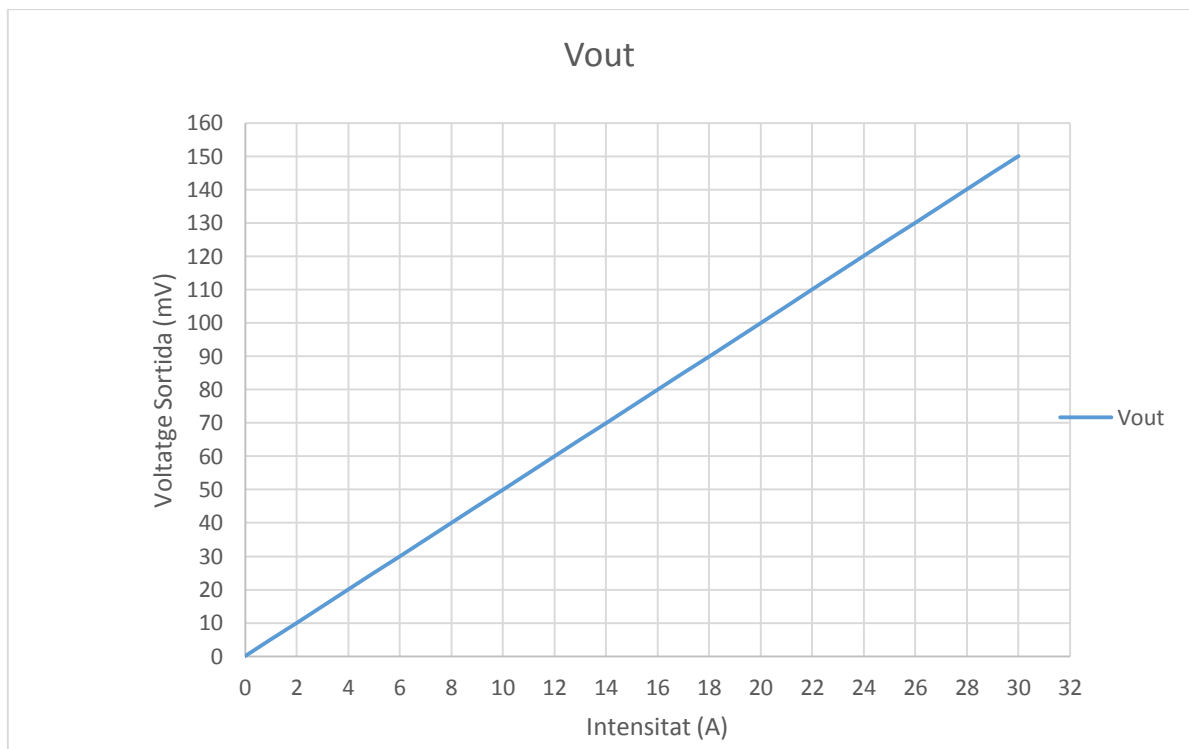


Figura 45. Resposta del sensor d'intensitat.

Per tant, a l'entrada del rectificador hi haurà una senyal sinusoidal de valor eficaç d'entre 0 i 150 mV. A la sortida del rectificador interessa que hi hagi el mateix valor però rectificat. Així el valor de les dues resistències, tenint en compte les condicions de màxima intensitat, ve donat per:

$$V_0(t) = -\left(\frac{R_2}{R_1}\right) \cdot V_{in}(t) \quad (33)$$

$$\frac{V_0(t)}{V_{in}(t)} = -\left(\frac{R_2}{R_1}\right); \frac{150}{-150} = -\left(\frac{R_2}{R_1}\right); \frac{R_2}{R_1} = 1 \quad (34)$$

Com que les dues resistències han de ser iguals, s'ha escollit el valor de 10 kΩ al tractar-se d'un valor típic.

A la sortida del rectificador hi ha una doble ona rectificada, el valor de pic de la qual ve donat per:

$$V_{pic} = V_{rms} \cdot \sqrt{2} = 0,15 \cdot \sqrt{2} = 0,212 \text{ V} \quad (35)$$

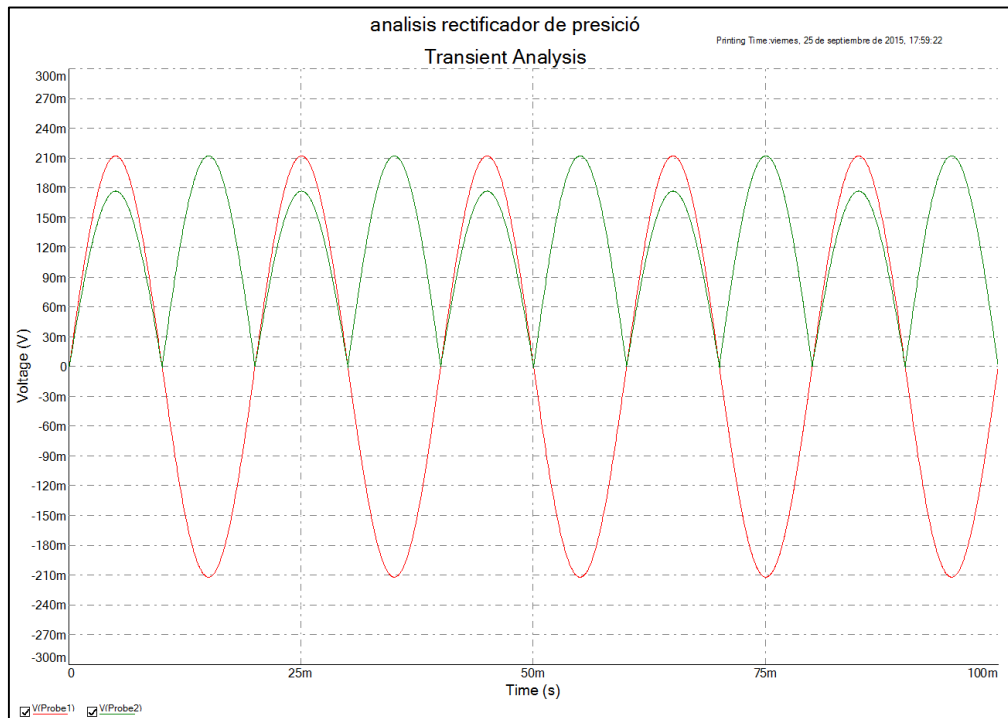


Figura 46. Resposta a la sortida de l'amplificador operacional.

Per tant, per fer el filtratge i aconseguir una tensió contínua s'incorpora un condensador electrolític. Tenint en compte que la intensitat màxima serà de 5 mA, la capacitat del condensador ve donada per:

$$C = \frac{I_{max}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot \Delta V_C} = \frac{0,005}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,212} = 75 \mu F \quad (36)$$

S'arrodoneix a l'alça al valor de 100 μF , per a més facilitat a l'hora de trobar els components.

Un cop la senyal és un nivell de contínua de 0 a 0,2 V, s'ha d'amplificar per adequar al nivell de tensió de l'entrada analògica del mòdul XBee, que va de 0 a 1,2 V.

S'utilitza un circuit amplificador no inversor amb un potenciòmetre per poder ajustar el valor de la lectura.

$$V_{out} = \frac{R_4 + (R_{TM1} + R_5)}{R_4} \cdot V_{in} \quad (37)$$

Si s'escull el valor de R_4 de 12 $\text{K}\Omega$;

$$R_{TM1} + R_5 = \left(\frac{V_{out}}{V_{in}} \cdot R_4 \right) - R_4 = 55924,53 \Omega \quad (38)$$

Per tant el valor de R_5 i del potenciòmetre ha de ser aproximadament 56 $\text{K}\Omega$.

S'agafen els valors de 38 $\text{K}\Omega$ per a la resistència fixa i de 20 $\text{K}\Omega$ per al potenciòmetre, quedant un valor total de 58 $\text{K}\Omega$ normalitzat.

Per calcular l'efecte del potenciòmetre, s'exclou del circuit. Així:

$$V_{out} = \frac{R_4 + R_5}{R_4} \cdot V_{in}; \quad V_{out} = \frac{12000 + 38000}{12000} \cdot 0.212 = 0,8834 \text{ V} \quad (39)$$

Per tant, l'ajust del potenciòmetre permet ajustar la lectura amb un marge de 0,32 V.

Per últim, la resolució de l'entrada analògica és de 10 bits, amb 1023 valors possibles. D'aquesta manera, la mínima diferència d'intensitat capaç de mesurar el sensor serà de:

$$Res = \frac{I_{max}}{bits} = \frac{30}{1023} = 0,0293 \text{ A} \approx 30 \text{ mA} \quad (40)$$

- Alimentació amplificador operacional.

Aquest element és un convertidor de tensió i proporciona una tensió negativa l'amplificador operacional perquè aquest treballi amb una tensió simètrica.

El fabricant especifica en el datasheet com s'ha de connectar l'amplificador i el valor dels condensadors pel correcte funcionament del circuit integrat.

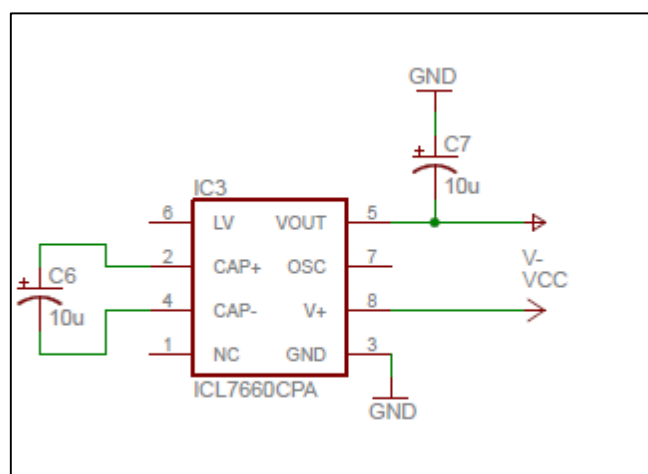


Figura 47. Convertidor de voltatge per alimentar l'amplificador operacional.

9.7.3. Paràmetres de configuració

Els paràmetres de configuració del mòdul XBee per configurar el dispositiu com a Mòdul de control de consum es detallen a l'annex 1, al capítol 2.

9.8. Driver endolls

9.8.1. *Introducció*

La funció d'aquest mòdul és poder controlar l'encesa i l'apagada d'aparells elèctrics connectats a la xarxa. Poden ser qualsevol tipus d'aparells amb un consum igual o inferior a 8 A, és a dir llums o petits electrodomèstics.

Mitjançant el software de control es pot controlar l'aparell endollat al mòdul, ja sigui mitjançant la programació horària o a través d'altres mòduls de la xarxa, com per exemple els polsadors.

Una altra característica que incorpora el mòdul és la lectura del consum de l'aparell controlat, d'aquesta manera es coneix el consum de l'element, motiu pel qual pot ser més interessant una programació horària o la desconexió quan no sigui necessari.

El mòdul disposa també d'un interruptor per connectar o desconectar l'aparell receptor de manera manual.

L'alimentació del mòdul és a través de la xarxa, per tant el mòdul actua com a router i sempre està despert. D'aquesta manera fa d'intermediari amb els end devices que estan fora de l'abast del coordinador i així es pot ampliar l'abast de la xarxa.

9.8.2. Característiques

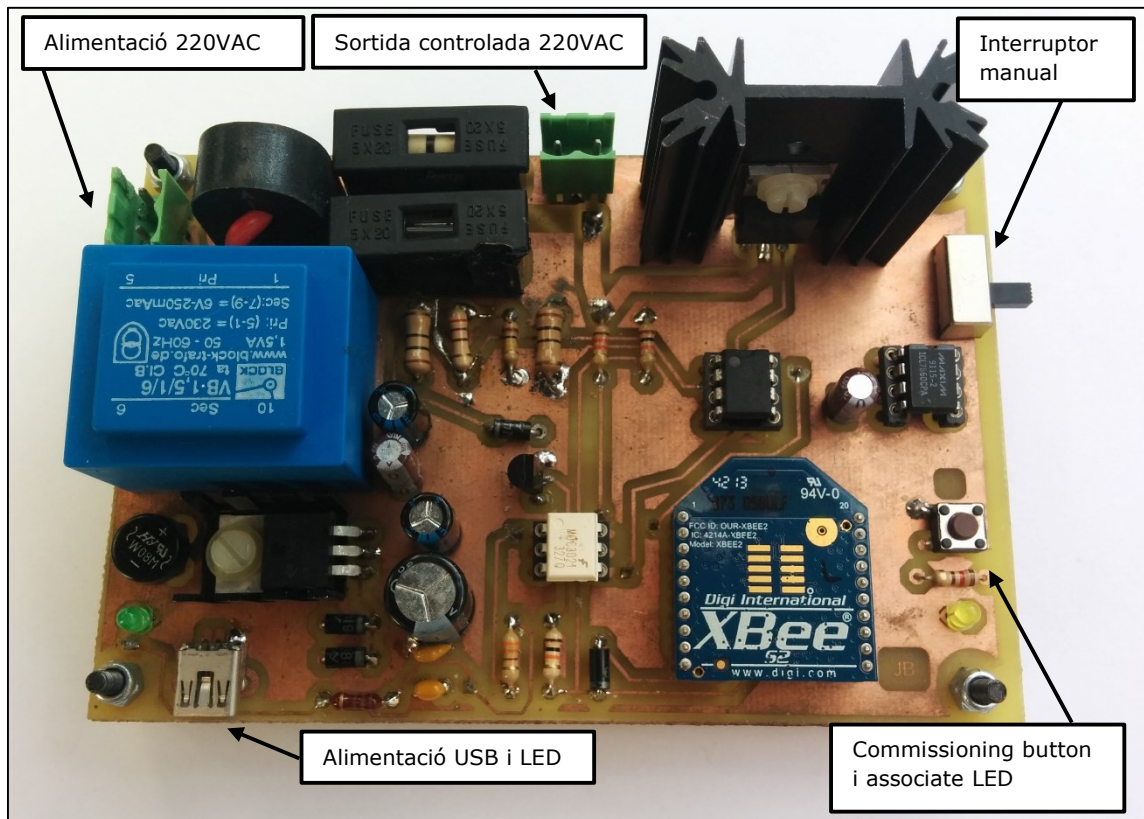


Figura 48. Driver endolls.

- Alimentació 220VAC

El mòdul es connecta a la xarxa elèctrica, de 240 VAC. El mateix connector alimenta al receptor de potència, i a l'electrònica de control amb les corresponents proteccions fusibles, una de 8 A per a la potència i una de 200 mA pel control.

Per adequar la senyal d'alimentació del mòdul, primer es redueix la tensió amb el transformador per passar de 240 VAC a 6 VAC, ja que el regulador de voltatge necessita com a mínim una tensió a l'entrada de 2 V superior a la tensió de sortida. En aquest cas la tensió de sortida del regulador és de 3,3 V, per això a l'entrada ha de ser com a mínim de 5,3 V. Per aquest motiu, s'ha escollit que el transformador sigui de 240 VAC a 6 VAC i de 250 mA.

Un cop reduïda la tensió, es rectifica amb el pont de díodes. S'ha escollit un model encapsulat amb intensitat màxima d'1,5 A.

Per filtrar la tensió rectificada i aconseguir un bon nivell de tensió contínua, s'incorpora un condensador electrolític, la capacitat del qual es calcula tenint en compte:

$$V_C = V_{picT} - V_{pD} - V_{inR} = (6 \cdot \sqrt{2}) - 1 - 5,3 = 2,2 \text{ V} \quad (41)$$

La I_{max} la marca el transformador, és la intensitat màxima que aquest pot suportar.

$$C = \frac{I_{max}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot \Delta V_C} = \frac{0,25}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 2,2} = 362 \mu F \quad (42)$$

S'escull el condensador de 470 μF , perquè és lleugerament superior al valor calculat i és més habitual de trobar.

El fabricant estableix el valor dels altres condensadors i recomana col·locar el condensador de la sortida per millorar la resposta als transitoris.

Pel càlcul del dissipador del regulador de tensió es tenen en compte les dades proporcionades pel fabricant: una resistència tèrmica d'unió-ambient de 19° C/W i una temperatura màxima d'unió de 125 °C. Per tant:

$$T_j - T_a = P \cdot R_{j-a} \quad (43)$$

La potència del circuit és;

$$V_{picT} = (V_{rmsT} \cdot \sqrt{2}) - V_d ; V_{picT} = (6 \cdot \sqrt{2}) - 1 = 7,48 V \quad (44)$$

$$V_{reg} = \frac{V_{picT}}{\sqrt{2}} = \frac{7,48}{\sqrt{2}} = 5,3 V \quad (45)$$

$$P = I_{max} \cdot (V_{reg} - V_{out}) ; P = 0,25 \cdot (5,3 - 3,3) = 0,5 W \quad (46)$$

Per tant, en aquestes condicions la temperatura de la unió serà:

$$T_j = (P \cdot R_{j-a}) - T_a ; T_j = (0,5 \cdot 19) + 25 = 34,5 ^\circ C \quad (47)$$

En aquestes condicions, la temperatura de la unió és molt inferior a la que pot suportar el regulador i per això no és necessari col·locar un dissipador de temperatura.

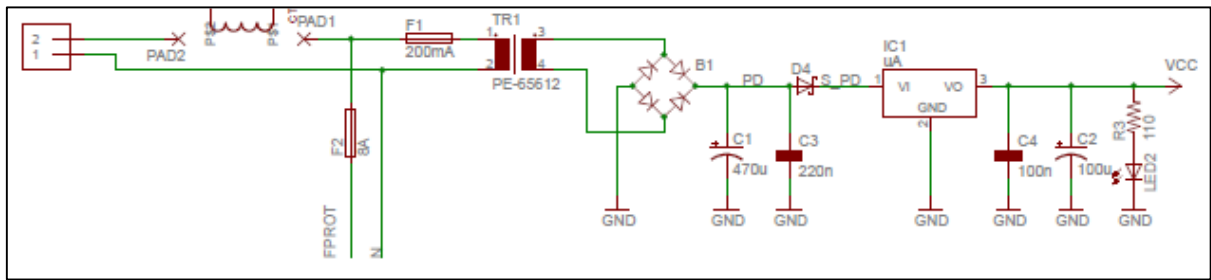


Figura 49. Alimentació de la xarxa mòdul driver endolls.

- Alimentació USB

El mòdul incorpora una connexió USB per alimentar l'electrònica del dispositiu. D'aquesta manera es pot configurar amb l'ordinador, utilitzant un adaptador de USB a Sèrie. Els díodes que incorpora tant l'USB com l'alimentador de la xarxa són per evitar conflictes si el dispositiu es connecta de les dues maneres a la vegada.

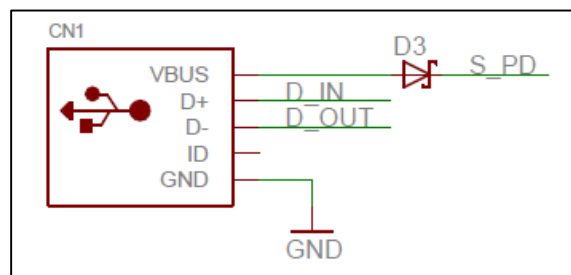


Figura 50. Alimentació per USB del mòdul endolls.

- Commissioning button i Associate LED

Les especificacions del Commissioning button i del Associate LED estan detallades en el mòdul de control vist a l'apartat anterior.

- Sensor de corrent

El sensor de corrent es realitza mitjançant un transformador de corrent que està col·locat al conductor que alimenta tot el circuit.

El procediment és el mateix que en mòdul de control de consum. El transformador de corrent genera una tensió sinusoidal proporcional a la intensitat que circula pel conductor. Per tant, aquesta ona sinusoidal s'ha de rectificar i ajustar al valor de la tensió de l'entrada analògica del mòdul XBee.

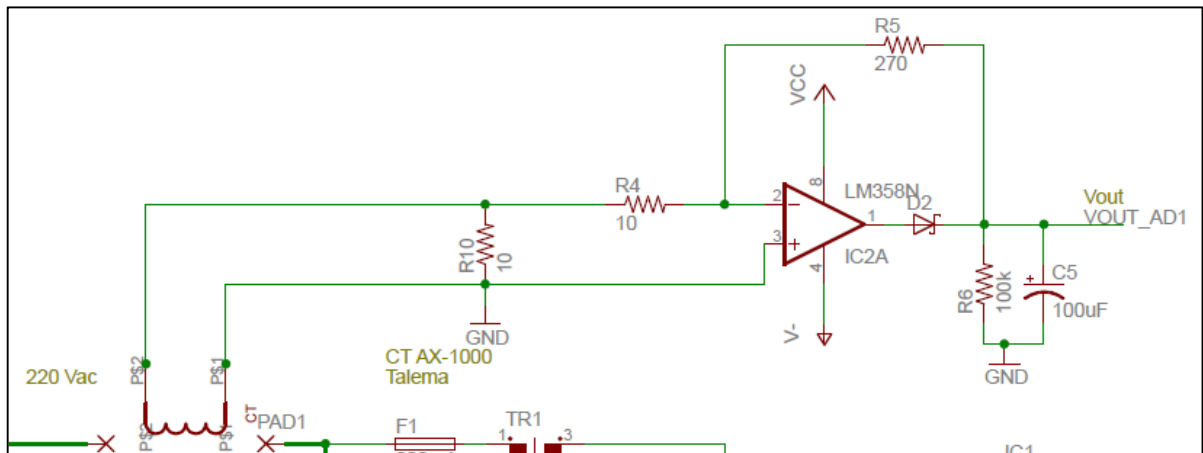


Figura 51. Sensor d'intensitat mòdul driver endolls.

La tensió a la sortida del transformador va de 0 a 0,8 V als 10 A. El transformador té una resistència interna de 240 Ω , per tant:

$$V_R = V_T \cdot \frac{R_{10}}{R_{10} + R_T} = 0,8 \cdot \frac{10}{10 + 240} = 32 \text{ mA} \quad (48)$$

I a la sortida del rectificador:

$$V_0(t) = -\left(\frac{R_5}{R_4}\right) \cdot V_{in}(t) \quad (49)$$

$$\frac{V_0(t)}{V_{in}(t)} = -\left(\frac{R_5}{R_4}\right); \frac{1,2/\sqrt{2}}{-0,032} = -\left(\frac{R_5}{R_4}\right); \frac{R_5}{R_4} = 26,5 \quad (50)$$

Si s'estableix el valor de R5 en 270 Ω :

$$R_4 = \frac{R_5}{26,5}; R_4 = \frac{270}{26,5} = 10,18 \Omega \quad (51)$$

El valor de R4 és de 10 Ω .

Al ser una entrada analògica de 10 bits, la resolució del sensor és de:

$$Res = \frac{I_{max}}{bits} = \frac{10}{1023} = 0,0098 \text{ A} \approx 10 \text{ mA} \quad (52)$$

- Alimentació Amplificador operacional

Aquest element ja s'ha detallat en l'element anterior, el mòdul de control de consum.

- Driver potència

El control del receptor de potència es realitza mitjançant un optotriac i un triac.

La sortida del mòdul XBee actua sobre un transistor. Quan aquest entra en saturació, a través de la resistència ja calculada en apartats anteriors, permet que circuli intensitat per l'optotriac, i aquest actua sobre el triac de potència permetent l'encesa de l'actuador.

La resistència per encendre el LED de l'optotriac es calcula tenint en compte els valors del fabricant, que estipula que la intensitat màxima que ha de circular és de 15 mA.

$$R_7 = \frac{V_{CC}}{I_{LED}} = \frac{3,3}{0,015} = 220 \Omega \quad (53)$$

Ja que la resistència màxima ha de ser de 220 Ω , i per no arribar als 15 mA màxims que marca el fabricant, s'escull un valor superior de 270 Ω . D'aquesta manera la intensitat que circularà per LED serà de 12 mA.

Si circula una intensitat superior a 0,5 mA pel triac, aquest entra en conducció. La resistència mínima del triac s'ha calculat de la següent manera:

$$R_2 = \frac{V_T}{I_{min}} = \frac{1,65}{0,5 \cdot 10^{-3}} = 3300 \Omega \quad (54)$$

La resistència ha de ser inferior a 3300 Ω . S'ha escollit el valor de 1200 Ω , amb una intensitat de:

$$I_T = \frac{V_T}{R_T} = \frac{1,65}{1200} = 1,375 \text{ mA} \quad (55)$$

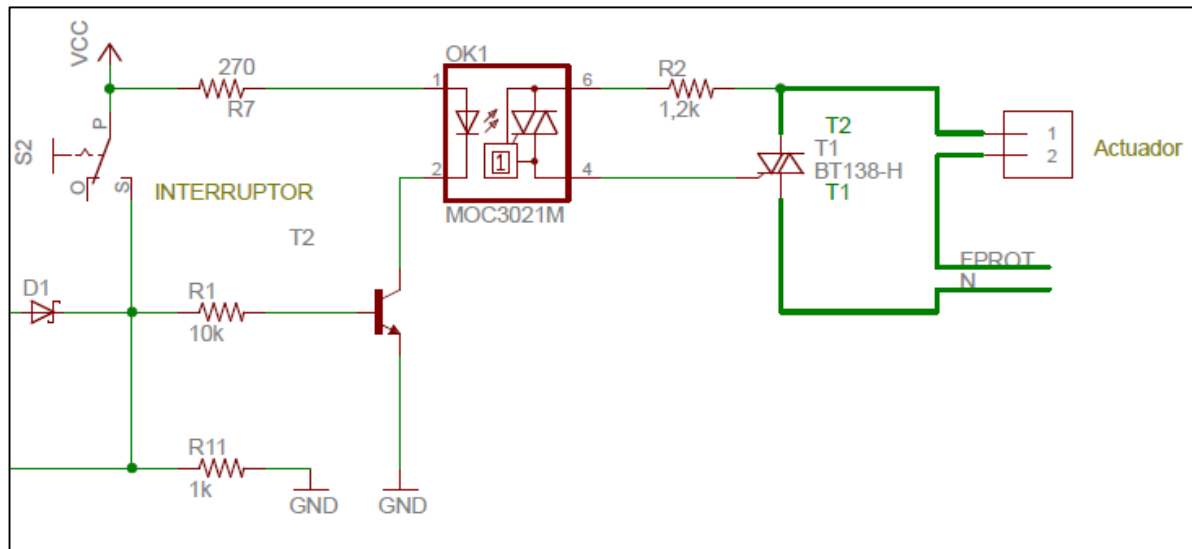


Figura 52. Control de potència driver endolls.

- Dissipador de calor

Amb les dades proporcionades pel fabricant, i tenint en compte que s'utilitza mica entre la unió i l'encapsulat, el dissipador es calcula així:

$$T_j = 125 \text{ °C} ; T_a = 25 \text{ °C} ; R_{j-c} = 1,5 \text{ °C/W} ; R_{c-d} = 1,5 \text{ °C/W} \quad (56)$$

$$T_j - T_a = P \cdot (R_{j-c} + R_{c-d} + R_{d-a}) \quad (57)$$

I la potència és, tenint en compte que la intensitat màxima la marca el fusible, que es de 8 A, la següent:

$$P_T = I_T \cdot V_T = 8 \cdot 1,65 = 13,2 \text{ W} \quad (58)$$

$$\left(\frac{T_j - T_a}{P}\right) - R_{j-c} - R_{c-d} = R_{d-a}; \left(\frac{125 - 25}{13,2}\right) - 1,5 - 1,5 = 4,57 \text{ °C/W} \quad (59)$$

Per tant el dissipador necessari per al circuit ha de ser de 4,57 °C/W o inferior.

9.8.3. Paràmetres de configuració

Els paràmetres de configuració del mòdul XBee per configurar el dispositiu com a driver per a endolls es detallen a l'annex 1, al capítol 2.

9.9. Dimmer

9.9.1. Introducció

La funció d'aquest mòdul és poder controlar la intensitat de llum d'una bombeta incandescent. D'aquesta manera es pot optimitzar la llum d'una estança, és a dir, ajustar la quantitat de llum segons la necessitat de l'usuari. Així, si les condicions no requereixen molta llum, es pot reduir la intensitat de la bombeta per estalviar consum.

El mòdul també incorpora un sensor de consum per saber en tot moment el consum de la il·luminació regulada i així poder ajustar el consum a través del software de control.

Per a més facilitat de control per part de l'usuari, el mòdul incorpora un interruptor manual per encendre totalment el llum. Si l'interruptor es desconnecta, la bombeta torna a l'estat marcat pel software de control. La intensitat de llum també es pot controlar a través del pulsador del mòdul, amb cada pulsació, la intensitat de llum passa a l'estat següent.

Igual que en mòdul de driver per a endolls, l'alimentació del mòdul és a través de la xarxa, per tant el mòdul actua com a router i sempre està despert. D'aquesta manera fa d'intermediari amb els end devices que estan fora de l'abast del coordinador i així es pot ampliar l'abast de la xarxa.

9.9.2. Característiques

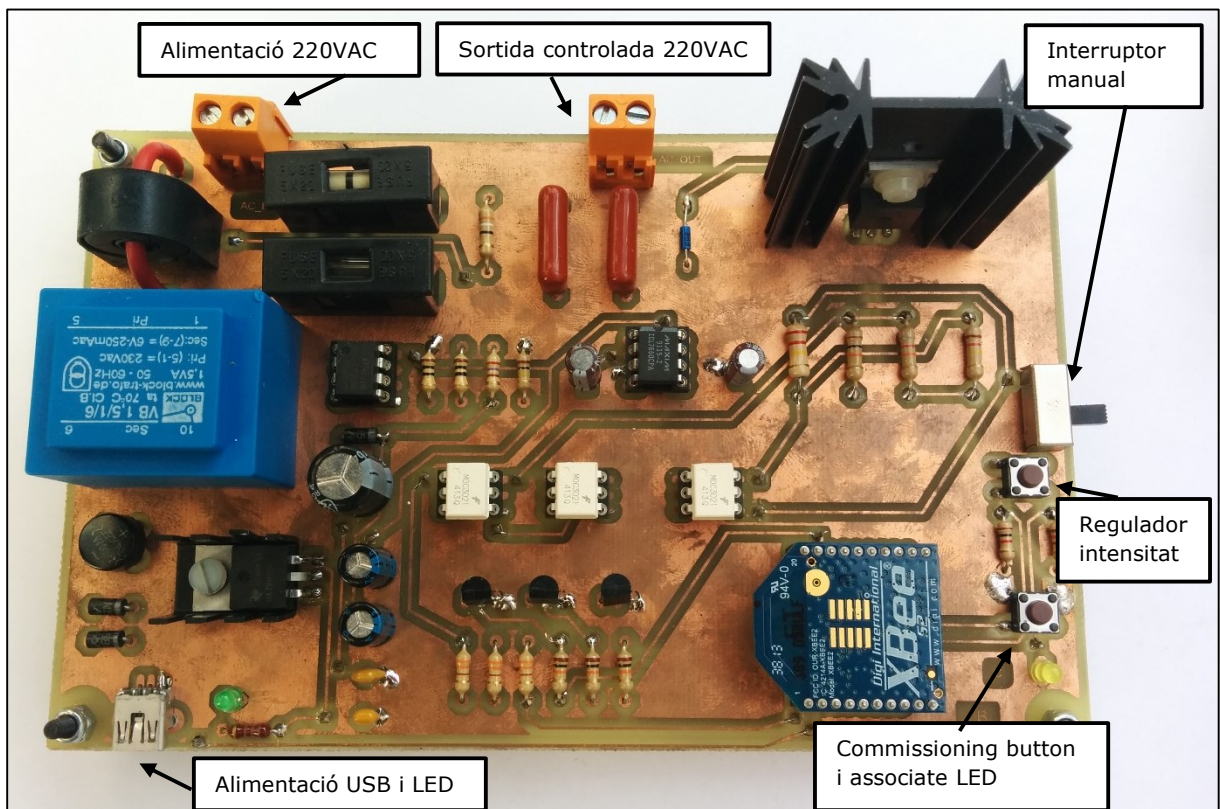


Figura 53. Mòdul dimmer.

La majoria de característiques d'aquest component s'han explicat en els apartats anteriors.

- Alimentació 220VAC

El disseny de la font d'alimentació és el mateix que al mòdul del driver per a endolls. Els components són els mateixos.

- Alimentació USB

La alimentació per USB es realitza de la mateixa manera que en el driver d'endolls.

- Commissioning button i Associate LED

Les especificacions del Commissioning button i del Associate LED estan detallades en els mòduls vistos en els apartats anteriors.

- Alimentació Amplificador operacional

Els components de l'alimentador de l'amplificador operacional estan detallats en el mòdul del driver per a endolls.

- Sensor de corrent

El sensor de corrent s'ha realitzat de la mateixa manera que en el driver per a endolls.

- Control d'encesa

La principal diferència amb el mòdul anterior és en aquest apartat. La quantitat de llum de la làmpada incandescent es regula a través d'un diac. Aquest component permet el pas d'intensitat a partir d'una determinada tensió. Segons el datasheet, aquesta tensió és de 28 V.

Mitjançant tres sortides del mòdul XBee es connecten o desconnecten tres optotriacs. En funció d'aquests optotriacs i les resistències que tenen associades, es varia la constant de càrrega del condensador. En funció d'aquesta constant, el temps de càrrega del condensador també varia. El diac té la mateixa tensió que el condensador, per tant un cop el condensador arriba a 28 V, el diac comença a conduir i posa en funcionament el triac de potència.

D'aquesta manera es varia l'angle d'encesa del llum incandescent, permetent amb tres resistències obtenir vuit nivells d'intensitat de llum diferents.

Taula 9. Nivells d'il·luminació en funció de les sortides.

ESTAT SORTIDES XBEE			NIVELL DE LLUM
R1	R2	R3	
0	0	0	Nivell 1 (apagat)
0	0	1	Nivell 2
0	1	0	Nivell 3
0	1	1	Nivell 4
1	0	0	Nivell 5
1	0	1	Nivell 6
1	1	0	Nivell 7
1	1	1	Nivell 8 (màxim)

Amb la simulació del circuit, s'han trobat els valors de les resistències pels diferents nivells d'intensitat de llum. Els temps d'encesa es mostren a continuació:

Taula 10. Temps d'encesa diac.

Nivell	t (ms)	Valor Resistencia (K Ω)
1	0,124052	10
2	1,116468	90
3	1,612676	130
4	2,605092	210
5	2,853196	230
6	3,845612	310
7	4,34182	350
8	5,334236	430

Les següents corbes mostren el retràs del temps d'encesa de cada nivell de llum. S'observa que amb totes les sortides del mòdul XBee desactivades (amb una resistència màxima de 430 k Ω) el valor d'encesa no s'aconsegueix mai. D'aquesta manera el diac no entra en conducció i la làmpada queda apagada.

Mitjançant l'interruptor manual es deshabiliten totes les resistències i d'aquesta manera la constant de càrrega del condensador és mínima i així l'encesa és màxima.

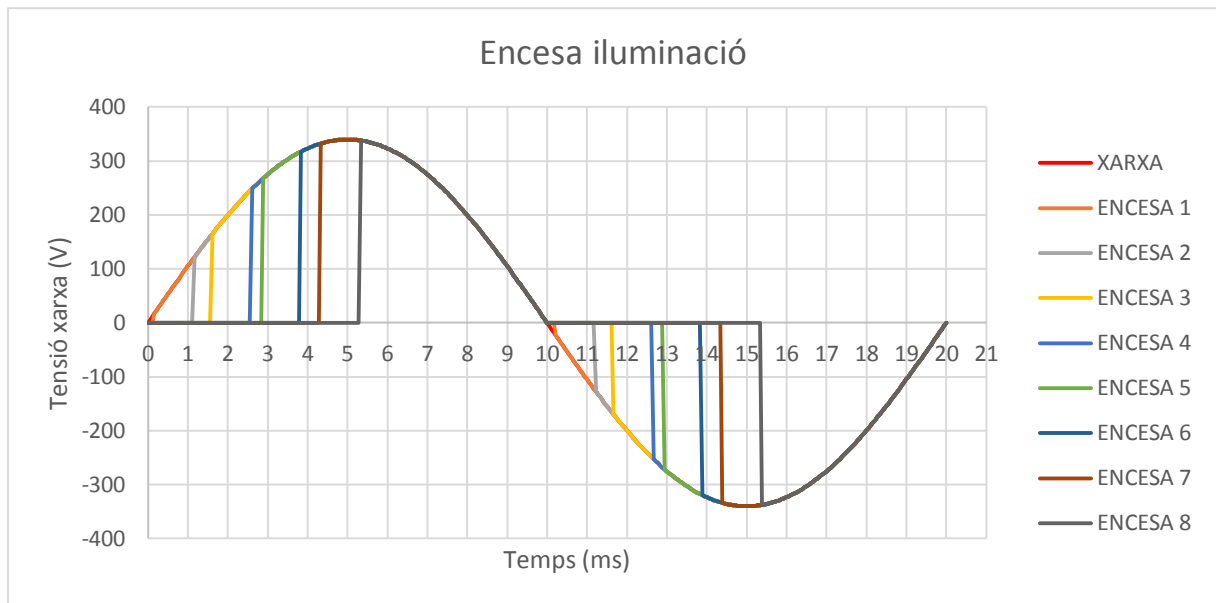


Figura 54. Resposta del diac.

- Driver potència

El driver de potència és el mateix que l'utilitzat en el mòdul anterior pel control dels endolls.

- Dissipador de calor

El dissipador de calor del regulador s'ha calculat de la mateixa manera que en el mòdul del driver per a endolls.

9.9.3. Paràmetres de configuració

Els paràmetres de configuració del mòdul XBee per configurar el dispositiu com a dimmer es detallen a l'annex 1, al capítol 2.

9.10. Altres opcions

Hi ha moltes altres opcions de mòduls pel control i monitorització de l'habitatge. Per exemple:

- Mòduls pel control de persianes.
 - Aquests mòduls podrien controlar la pujada i baixada de persianes. A l'estar controlats pel dispositiu de control, es podrien fer pujades i baixades automàtiques en funció d'horaris i del clima.

- Mòduls pel control de la calefacció i aparells d'aire condicionat.
 - Amb aquests mòduls es podria controlar la climatització de cada habitació.

- Mòduls per al control de sistemes de detecció d'incendis, inundació i alarmes.
 - Amb aquests mòduls es podrien connectar sensors de fums, d'inundació i altres. Amb el tipus d'alarma detectat es podrien prendre mesures com parar l'aigua general, desconnectar l'escomesa elèctrica, accionar mecanismes d'alarma i altres.

Al ser una solució sense fils, la flexibilitat és molt gran, i això permet crear mòduls a mida per a cada necessitat concreta. La xarxa no té limitació de components, per tant tots els dispositius de l'habitatge poden estar controlats a través d'aquest sistema.

Fins i tot si els fabricants dels electrodomèstics incorporessin mòduls ZigBee en els seus aparells, aquests es podrien incloure a la xarxa, permetent posar una rentadora o aspiradors intel·ligents des del mòbil o dispositius de control. Sembla que en un futur, l'Internet de les coses s'imposarà per tenir un control de tots els dispositius de l'entorn.

CAPÍTOL 10: INTERFÍCIE D'USUARI I ESTRUCTURA DEL PROGRAMA

10.1. Introducció

La interfície d'usuari s'ha dissenyat complint una sèrie de requisits per assolir els objectius d'aquest projecte.

Aquests requisits són:

- Ha de ser atractiva per a l'usuari, permetent navegar per l'aplicació de manera clara i ordenada.
- Ha de permetre crear la xarxa i poder adaptar-la sempre que sigui necessari. Si l'usuari vol incorporar o eliminar mòduls ho ha de poder fer sense dificultats i conservant les configuracions anteriors.
- S'han de poder controlar tots els dispositius que formen la xarxa, permetent així poder interactuar amb ells sempre que es desitgi. L'usuari ha de poder encendre i apagar els llums, endolls, així com veure les dades dels sensors.
- El software ha d'incorporar les funcions per a l'estalvi energètic. D'aquesta manera l'usuari ha de poder seleccionar les opcions que més li interessin i millorar l'eficiència energètica de l'habitatge.

10.2. Comunicació entre els mòduls i el controlador

La comunicació entre el controlador, en aquest cas una tauleta tàctil, i els mòduls es realitza amb el mode API. Aquest mètode de treball està explicat en detall en el subapartat 8.6.2 Mode API, i consisteix en l'enviament de trames entre el controlador i els mòduls per transmetre la informació o les funcions a realitzar.

Les trames poden ser de diversos tipus, els quals es poden veure a la taula 6 del subapartat indicat anteriorment. Els tipus de trames que s'han utilitzat són l'"AT Command" per consultar o especificar els valors del mòdul local, i el "Remote AT command request" per consultar o especificar valors dels mòduls XBee remots.

Per exemple, per canviar el valor del nom associat al mòdul coordinador, s'ha d'enviar pel port de comunicació sèrie del controlador la següent trama de dades:

```
"7E 00 0F 09 3D 4E 49 43 6F 6F 72 64 69 6E 61 64 6F 72 AE"
```

La trama s'ha d'enviar en codificació hexadecimal i s'analitza de la següent manera.

Taula 11. Format trama API nom del mòdul.

Valor	Detall
7E	Delimitador d'inici
00 0F	Llargada de la trama
09	Tipus de trama
3D	Identificador de la trama
4E 49	Comanda AT
43 6F 6F 72 64 69 6E 61 64 6F 72	Paràmetre de la comanda AT ("Coordinador")
AE	Checksum

Un cop el mòdul local rep aquesta trama, envia automàticament la resposta al cap de pocs milisegons.

En aquest cas, si l'entrega del paquet és correcta, la resposta és "7E 00 05 88 3D 4E 49 00 A3".

Les comandes AT remotes encara són més complexes, ja que a més dels paràmetres anteriors també inclouen la direcció de 64-bits i de 16-bits del destinatari i les opcions del destinatari. D'aquesta manera el paquet per canviar el nom associat al mòdul del teclat seria:

```
"7E 00 15 17 01 00 13 A2 00 40 BE 46 ED FF FE 02 4E 49 54 45 43 4C 41 54 94"
```

I correspondria:

Taula 12. *Format trama API remota nom del mòdul.*

Valor	Detall
7E	Delimitador d'inici
00 15	Llargada de la trama
17	Tipus de trama
01	Identificador de la trama
00 13 A2 00 40 BE 46 ED	Direcció de 64-bits
46 ED	Direcció de 16-bits
02	Opcions remotes
4E 49	Comanda AT
54 45 43 4C 41 54	Paràmetre de la comanda AT ("Teclat")
94	Checksum

Per tant, per interactuar amb els mòduls s'ha de fer ús d'aquest tipus de trames. Les trames serveixen per establir els valors alts i baixos de les sortides digitals, per consultar l'estat de les entrades, tant analògiques com digitals, per canviar els paràmetres de funcionament, com el nom, el tipus de mòdul, etc.

Hi ha fins a 98 comandes AT per a la comunicació amb els mòduls. Es poden veure totes elles a l'annex, en el capítol 1.

L'ús d'aquestes comandes permet obtenir i transmetre molta informació dels mòduls, però això presenta algunes dificultats. Una d'elles és el fet de treballar contínuament en la conversió de dades, ja que molts paràmetres s'estableixen en codi ASCII i s'han de transmetre en hexadecimal. De la mateixa manera, els paquets es reben en codi hexadecimal i s'han de convertir a codi ASCII per poder ser desxifrats. Per tant, abans d'enviar un paquet s'ha de codificar, i quan es rep un paquet també s'ha de codificar.

Un altre inconvenient molt significatiu és l'alt volum de dades que es transmeten. Cada cop que es polsa un polsador, o que els sensors envien una mesura, es generen dos paquets de dades: el paquet de transmissió i la resposta. Això implica que el canal sèrie ha de ser molt eficient a l'hora de rebre i enviar els paquets, ja que poden arribar pràcticament simultàniament.

Perquè el software sigui flexible i permeti crear i modificar xarxes ha de poder detectar el mòdul i saber de quin tipus de dispositiu es tracta. A més a de poder modificar els paràmetres més significatius per l'usuari, com el nom o l'identificador de la xarxa ZigBee. Això representa una dificultat afegida, ja que per obtenir i modificar aquesta informació, s'han d'enviar les trames corresponents al mòdul i esperar les respostes, que és on ve detallada aquesta informació.

Per poder entendre millor el funcionament del software, aquest s'anirà detallant a mesura que es mostri l'estructura de l'aplicació.

10.3. Estructura general del software

El software està dividit en dues parts clarament diferenciades.

Una d'elles és la part de configuració, des d'on es pot crear la xarxa ZigBee de l'habitatge amb la detecció dels diferents mòduls amb les seves característiques. Des de la configuració es poden canviar els noms dels mòduls, establir l'identificador de la xarxa ZigBee, conèixer les direccions dels mòduls, conèixer si són coordinadors, routers o end devices, etc.

Aquesta configuració queda desada, i no és necessari fer-la cada vegada. Un cop realitzada ja es pot posar en marxa la instal·lació.

La segona part és el control de tots els dispositius. Serveix per posar en marxa la instal·lació, ja que els mòduls necessiten el control del coordinador i del controlador per poder realitzar les seves funcions.

Els mòduls configurats apareixen en un sinòptic on a part de veure l'estat de les sortides i les lectures dels sensors, permet interactuar amb els elements, per exemple connectant el driver de potència, o regulant la intensitat de llum.

El següent diagrama mostra una visió general de l'estructura del software:

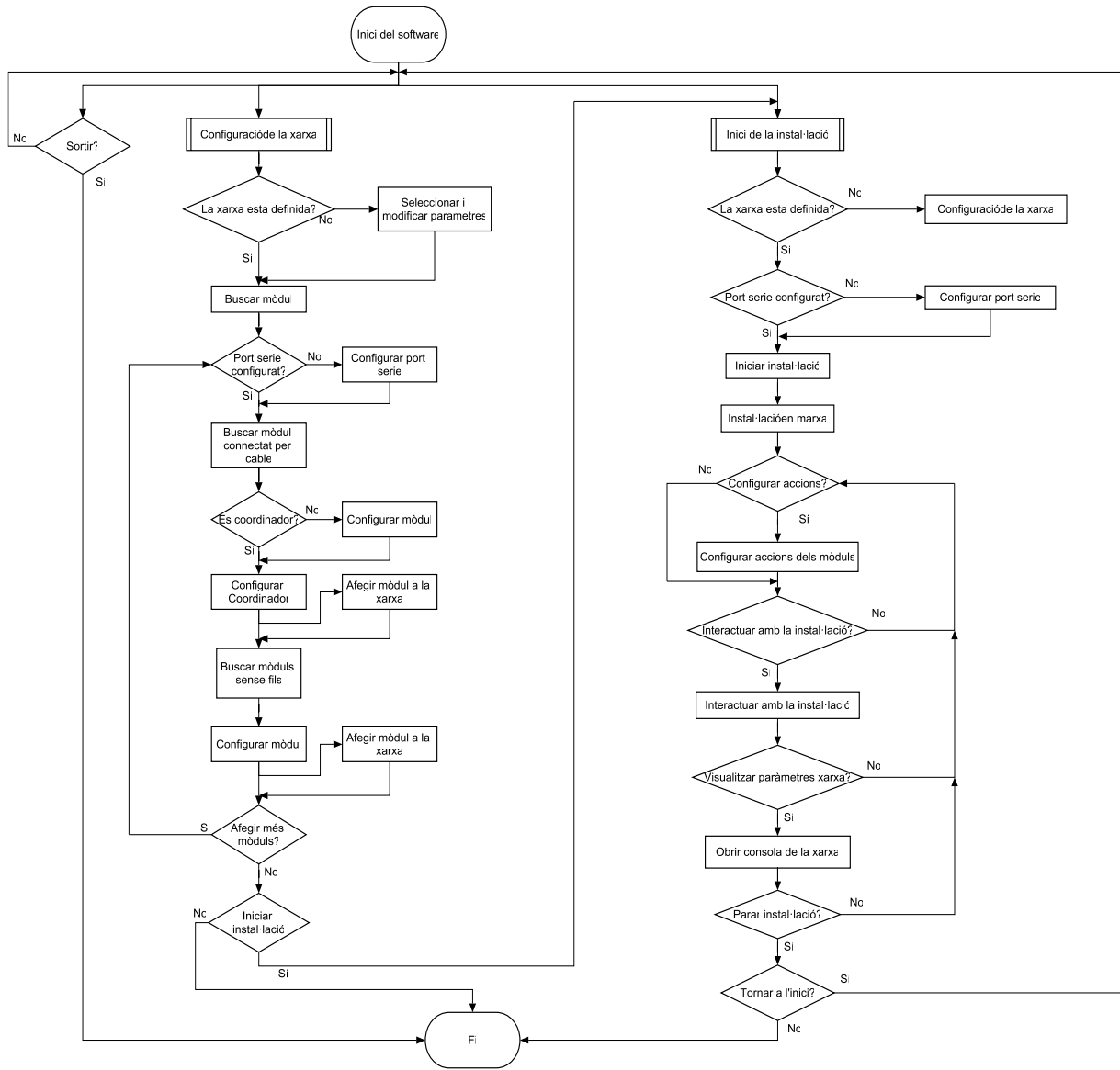


Figura 55. Estructura general del software.

10.4. Finestra inicial

La finestra inicial permet tres opcions: anar a configurar la xarxa i els dispositius, anar a la instal·lació per posar-la en marxa o sortir de l'aplicació.

És una manera ràpida d'accedir directament a la part del software que més interressi a l'usuari.

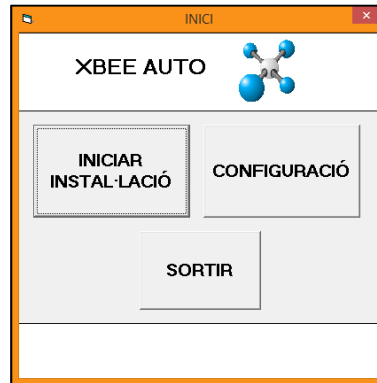


Figura 56. Finestra inicial XBEEAUTO.

10.5. Finestra de configuració de la xarxa

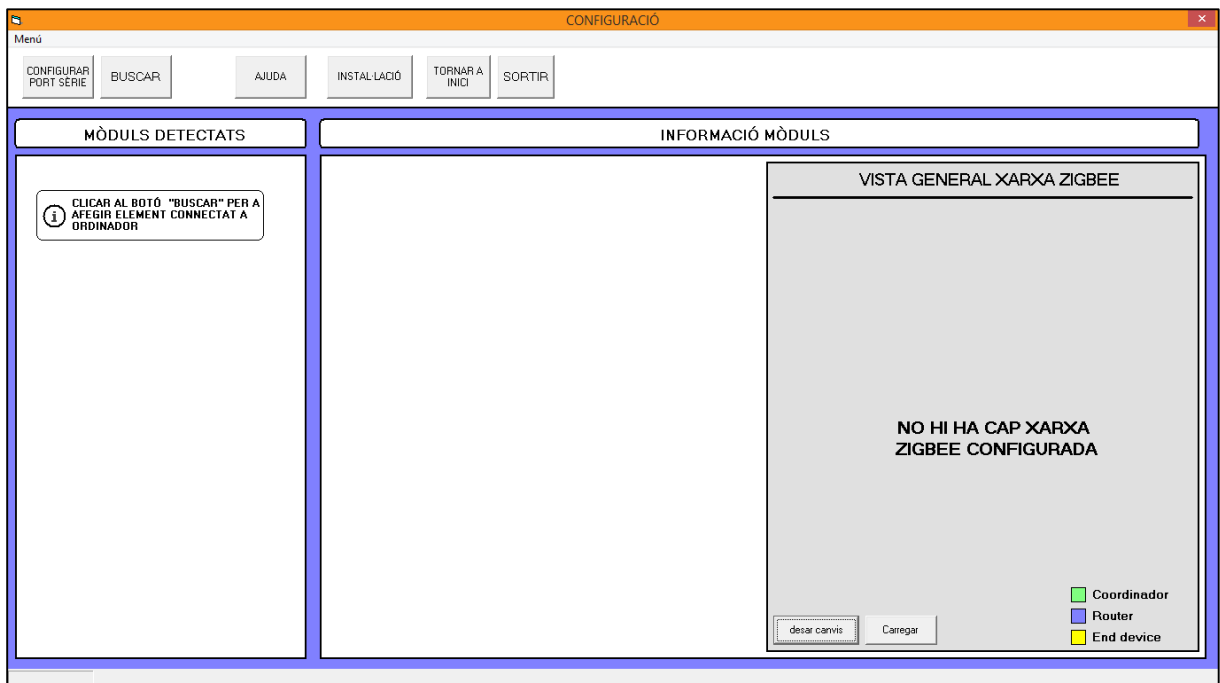


Figura 57. Finestra de configuració XBEEAUTO.

La finestra de configuració serveix per buscar els mòduls, tant els connectats de manera local com de manera remota, i poder configurar els seus paràmetres. També ofereix una vista general de la xarxa.

Mitjançant el botó de buscar, amb la prèvia configuració del port sèrie, el software busca el mòdul connectat amb cable.

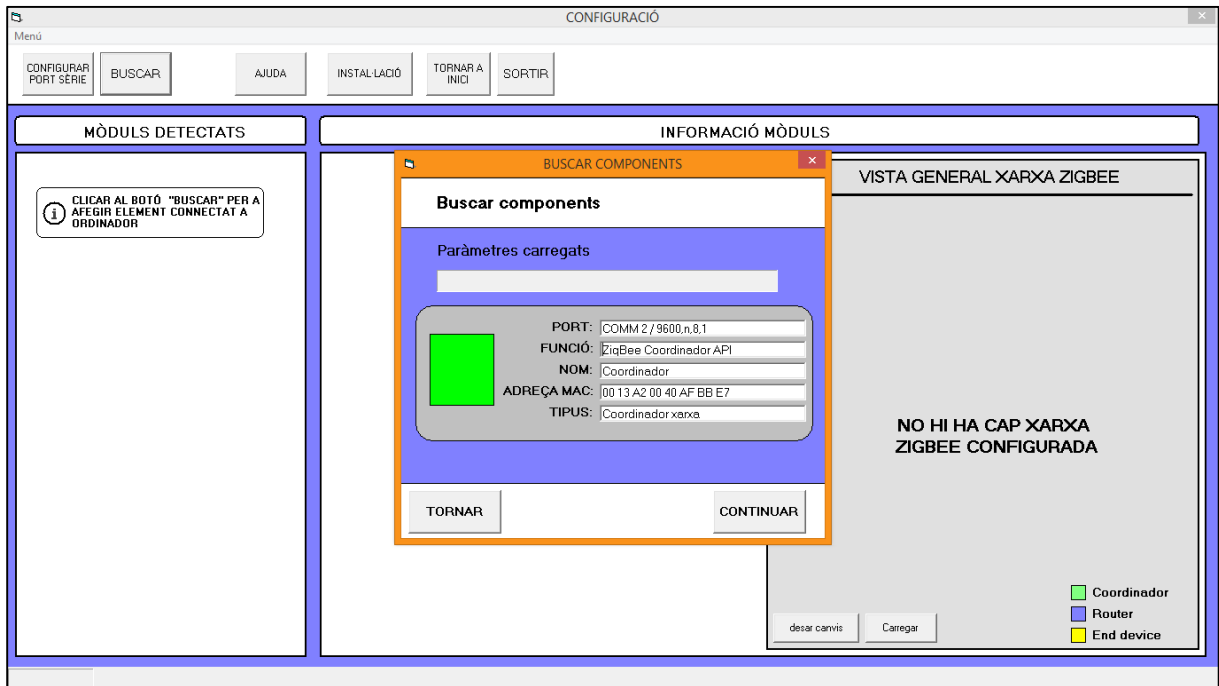


Figura 58. Finestra buscar coordinador XBEEAUTO.

Per adquirir els paràmetres del mòdul, el software té la següent estructura.

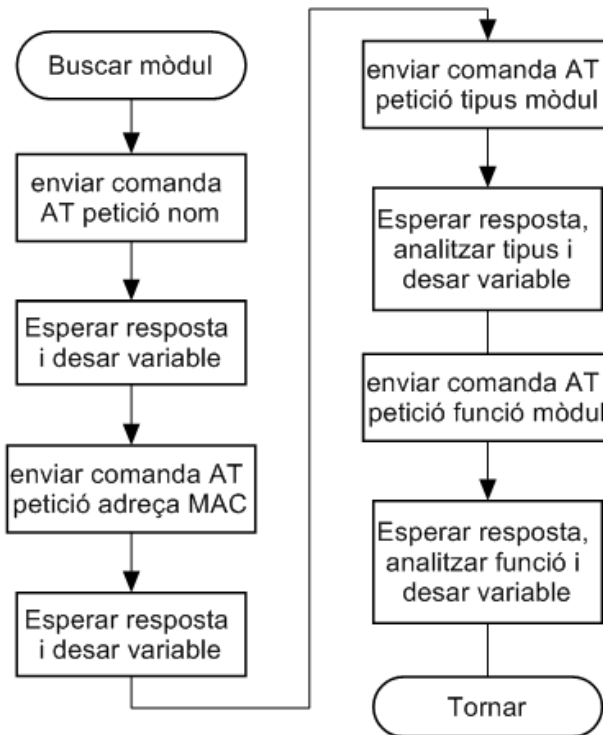


Figura 59. Estructura buscar mòdul.

Aquest procés serveix per a tots els tipus de mòduls, tanmateix es recomana realitzar la cerca amb el coordinador.

Un cop seleccionat el coordinador de la xarxa, aquest apareix a la part esquerra de la finestra de configuració. Per configurar els paràmetres del mòdul s'ha de prémer el botó de "CONF". Els paràmetres es carreguen a la part central de la vista de configuració. Apareixen cinc paràmetres, dels quals dos es poden canviar: el nom del mòdul i la xarxa ZigBee. Per canviar aquests valors, el software realitza la següent seqüència:

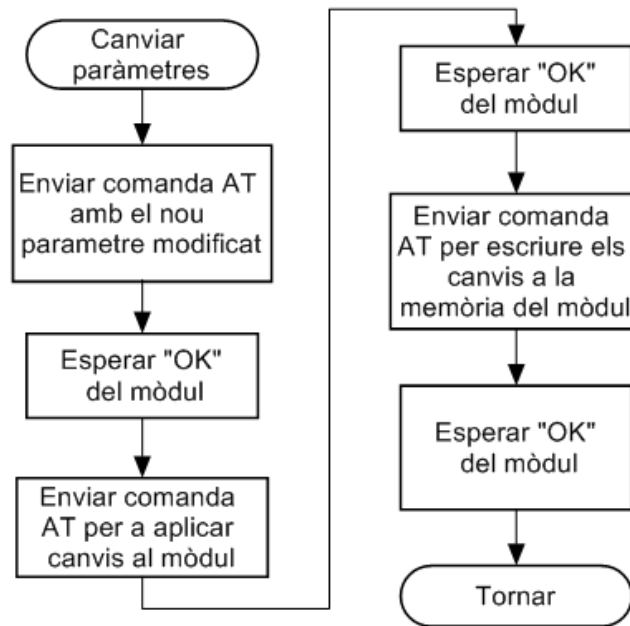


Figura 60. Estructura canviar paràmetres coordinador.

La seqüència és la mateixa pels dos valors, tant sols canvia la primera comanda AT enviada, ja sigui amb el nom o la xarxa per modificar.

Un cop configurat el coordinador, s'ha d'afegir a la xarxa amb el botó corresponent. D'aquesta manera es va creant la xarxa amb els diferents elements.

Per buscar la resta de mòduls que configuren la xarxa, el requadre del coordinador disposa d'un botó on posa "xarxa". A través d'aquest botó es cerquen tots els mòduls remots de la xarxa.

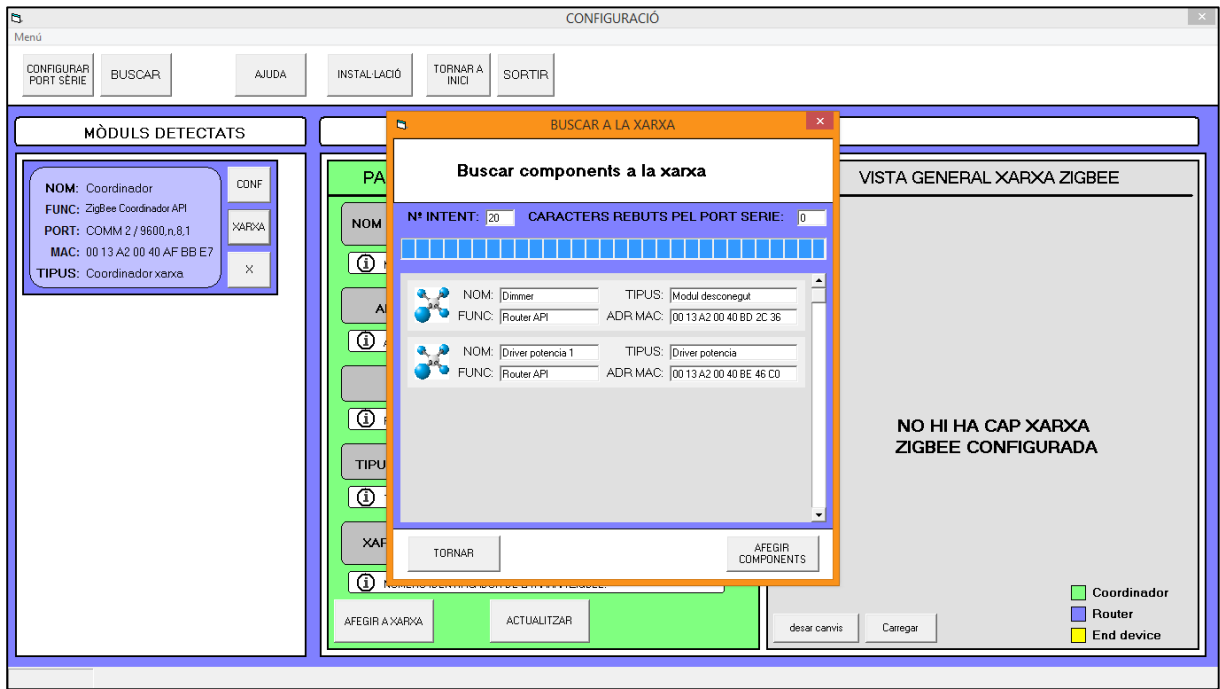


Figura 61. Finestra per buscar mòduls remots XBEEAUTO.

La manera de buscar els mòduls remots és encara més complexa que la del coordinador. El coordinador ha d'enviar una trama concreta perquè tots els mòduls responguin una altra trama amb tota la seva informació. Els mòduls han d'estar desperts per poder enviar la resposta, i entre ells es posen d'acord per no transmetre-la a la vegada. A continuació es descriu com es realitza aquest procés:

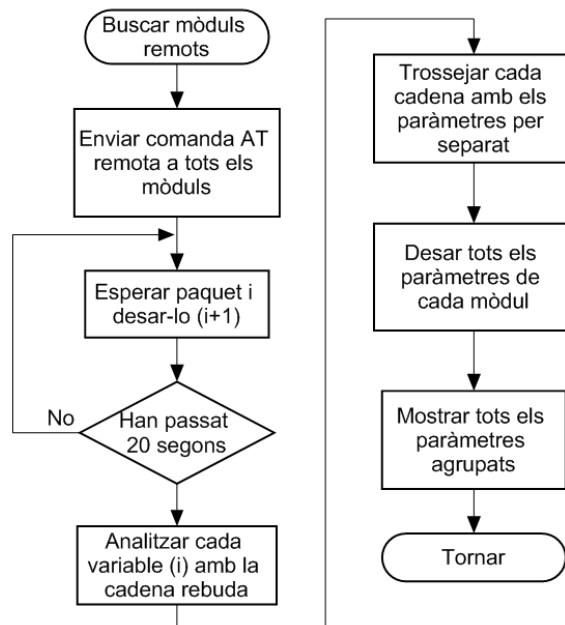


Figura 62. Estructura per buscar mòduls remots.

Un cop descoberts els mòduls remots, ja es poden configurar. El procés és el mateix que amb el mòdul local, l'única diferència és que les comandes enviades són del tipus comanda AT remota, amb les corresponents diferències en les trames.

Els mòduls es poden anar afegint a la xarxa ZigBee i d'aquesta manera es va confeccionant la estructura. El sinòptic mostra per colors el tipus de mòdul, per diferenciar si és el coordinador, un router o un end device. Un cop es defineix la xarxa, es poden desar els canvis. D'aquesta manera, cada cop que es s'iniciï el software no caldrà fer tot aquest procés.

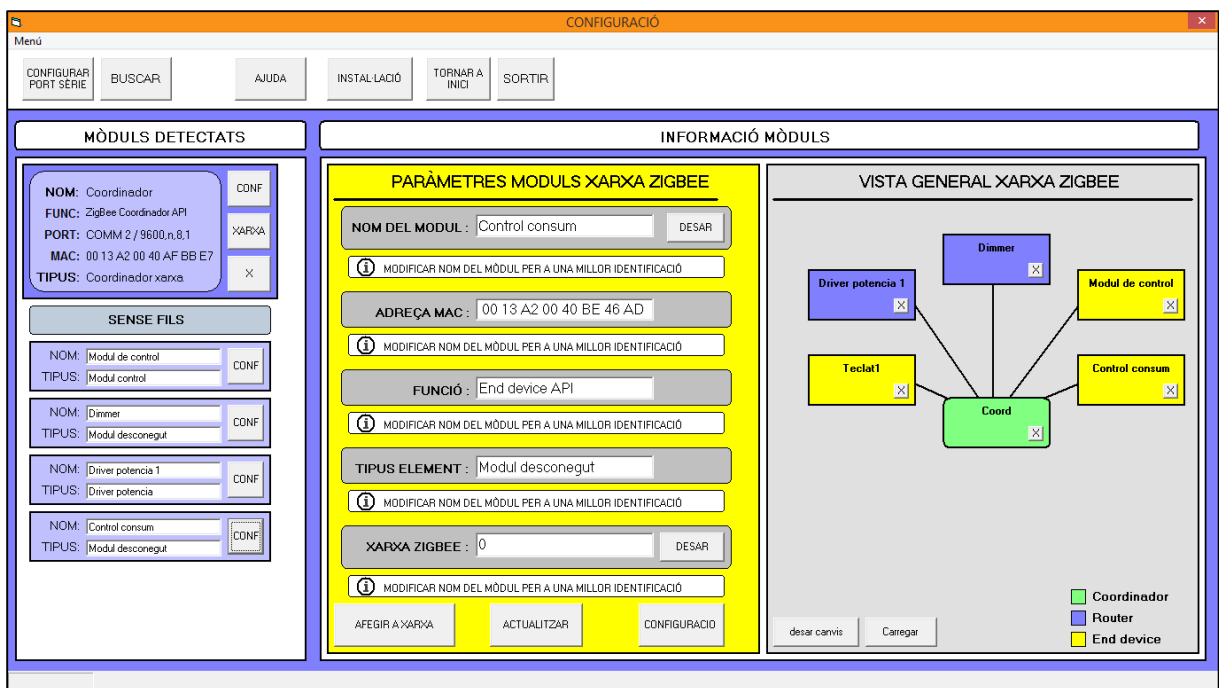


Figura 63. Finestra de configuració amb la xarxa formada.

10.6. Finestra de control instal·lació

Un cop està tota la xarxa definida amb els mòduls que la formen, es posa la instal·lació en funcionament. Es pot accedir a aquesta finestra directament des de l'inici si la xarxa ja està configurada.

Mitjançant un botó situat a la part superior esquerra es posa en funcionament la instal·lació. Si la instal·lació no es posa en marxa, el software no pot gestionar les dades i l'automatització del procés no estarà operativa.

El software detecta els mòduls configurats i els mostra en un sinòptic amb totes les funcions de cada un d'ells. Es poden controlar els mòduls, és a dir, activar el driver per a endoll i regular la intensitat de la llum. Es mostren les dades dels sensors: la temperatura, la intensitat de llum i els consums. També es pot veure l'estat de les piles en aquells mòduls dissenyats per a ser alimentats d'aquesta manera.

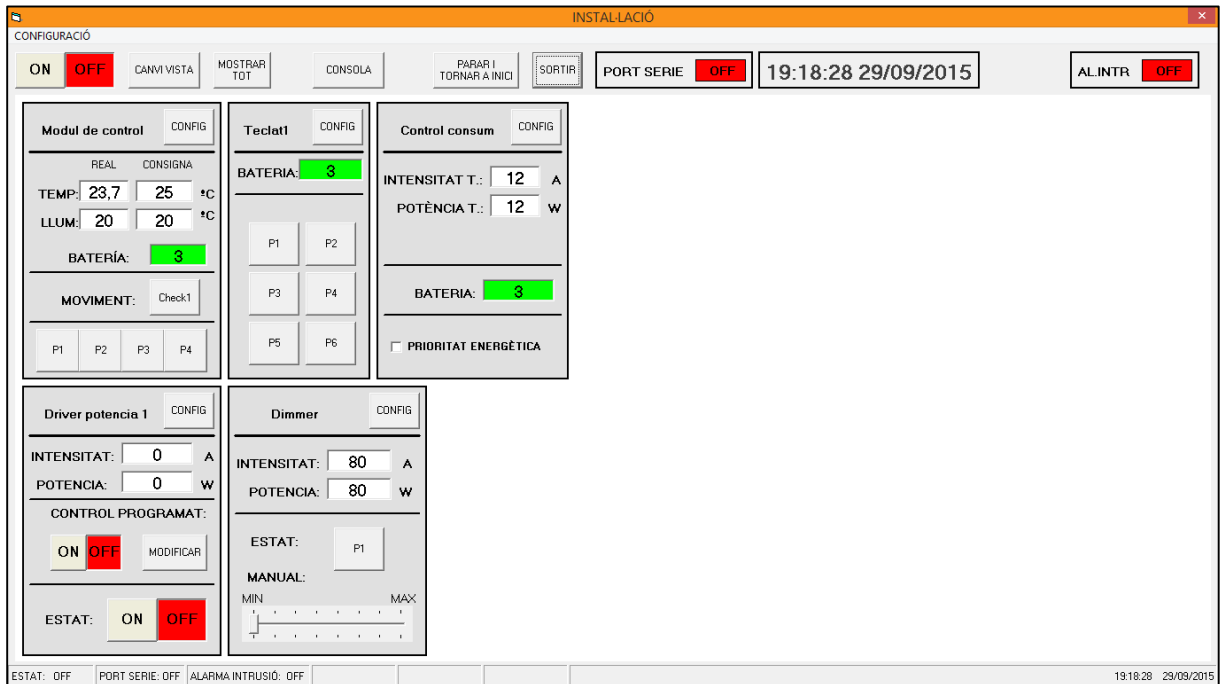


Figura 64. Finestra de control de la instal·lació XBEEAUTO.

Cada mòdul disposa de paràmetres configurables propis. A continuació es detallen tots ells.

- Mòdul de control
 - Es pot seleccionar la freqüència d'adquisició de dades dels sensors.
 - Es pot seleccionar si es volen emmagatzemar les dades dels sensors en un document de text.
 - Es poden seleccionar les funcions del detector de moviment.
 - Es poden seleccionar les funcions dels polsadors.

The screenshot shows a software configuration window titled 'CONFIGURAR MÓDUL' with a sub-header 'Modul de control'. It is divided into three main sections: 'DADES SENSORS', 'DETECTOR DE MOVIMENT', and 'FUNCIONS POLSADORS'.
1. 'DADES SENSORS': Includes a dropdown for 'FREQUÈNCIA ADQUISICIÓ' set to '12' (seconds), a 'DESAR' button, and a note: 'A més freqüència d'adquisició de dades, més consum de bateria.' Below are two checked checkboxes: 'EMMAGATZEMATGE DADES TEMPERATURA' and 'EMMAGATZEMATGE DADES LLUM', each with a corresponding text input field for file names ('TEMP MC 1' and 'LLUM MC 1').
2. 'DETECTOR DE MOVIMENT': Contains three checked checkboxes: 'ENCESA AUTOMÀTICA', 'VINCLAR AL SISTEMA D'ALARMA', and 'APAGAT AUTOMÀTIC'. Below is a dropdown for 'AL CAP DE:' set to '12'.
3. 'FUNCIONS POLSADORS': Lists four switches, all checked: 'POLSADOR 1: CONTROL LLUM', 'POLSADOR 2: DIMMER', 'POLSADOR 3: PUJAR PERSIANA', and 'POLSADOR 4: BAIXAR PERSIANA'.
At the bottom, there are two buttons: 'TORNAR' on the left and 'DESAR CANVIS I SORTIR' on the right.

Figura 65. Finestra configuració mòdul de control.

- Teclat
 - Es poden ajustar les funcions de cada polsador del mòdul.

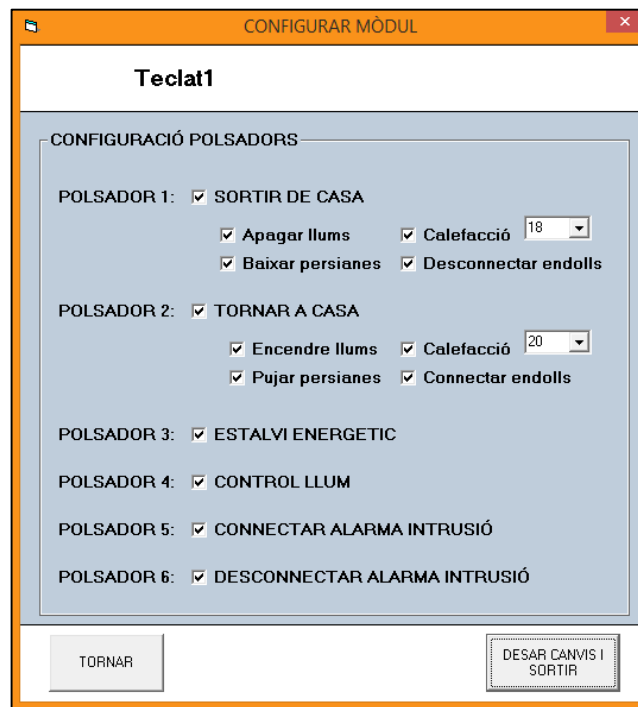


Figura 66. Finestra configuració teclat.

- Mòdul de control de consum
 - Es pot seleccionar la freqüència d'adquisició de dades del sensor.
 - Es pot seleccionar si es volen emmagatzemar les dades del sensor en un document de text.
 - Es pot establir una jerarquia de prioritats de consum energètic.

Figura 67. Finestra configuració mòdul de control de consum.

- Driver per a endolls
 - Es pot seleccionar la freqüència d'adquisició de dades del sensor.
 - Es pot seleccionar si es volen emmagatzemar les dades del sensor en un document de text.

Figura 68. Finestra configuració driver endolls.

- Dimmer
 - Es pot seleccionar la freqüència d'adquisició de dades del sensor.
 - Es pot seleccionar si es volen emmagatzemar les dades del sensor en un document de text.
 - Es pot seleccionar si es respecta la consigna marcada al mòdul de control.

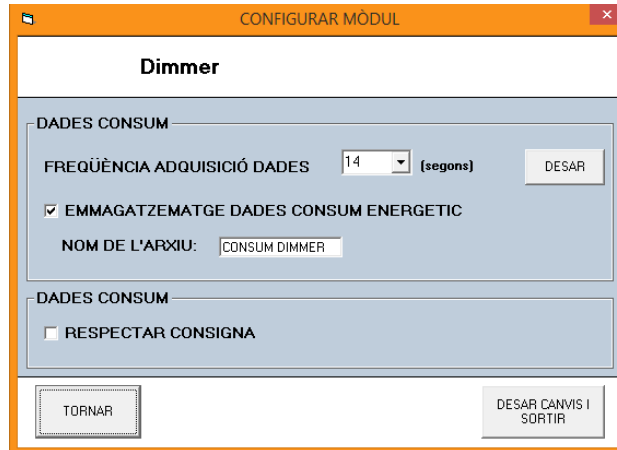


Figura 69. Finestra configuració dimmer.

Encara que només s'hagin dissenyat i prototipat cinc mòduls diferents en aquest projecte, el software mostra cinc mòduls més: dos mòduls de control, un mòdul de sensors i alarmes, un mòdul de clima i proteccions de seguretat i un mòdul d'il·luminació i persianes. De la mateixa manera que la resta de mòduls, aquests també disposen de paràmetres configurables.

- Clima i proteccions de seguretat
 - Es pot seleccionar la freqüència d'adquisició de dades del sensor.
 - Es pot seleccionar si es volen emmagatzemar les dades del sensor en un document de text.
 - Es pot seleccionar l'opció per tenir en compte la temperatura exterior.

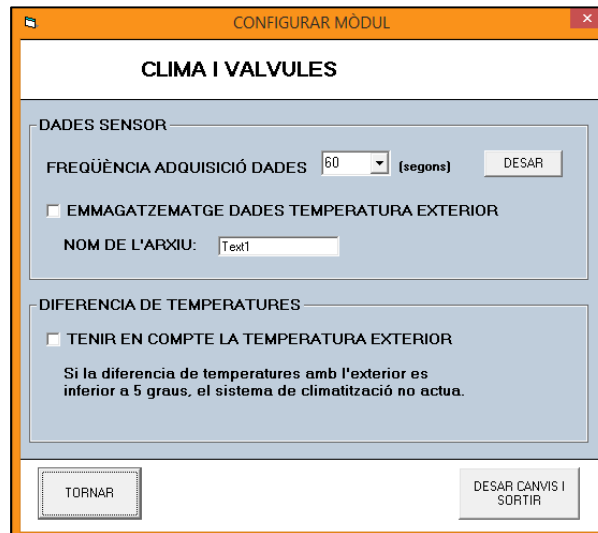


Figura 70. Finestra configuració clima i vàlvules.

- Sensors i alarmes
 - Aquest mòdul només disposa de la descripció de cada acció que es realitza en funció de la alarma activada. Aquestes accions no són configurables.

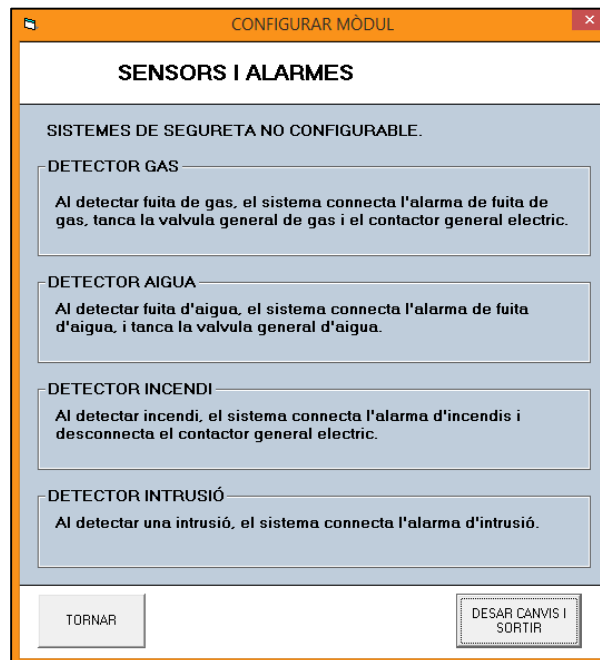


Figura 71. Finestra configuració sensors i alarmes.

- Il·luminació i persianes
 - Es pot seleccionar la freqüència d'adquisició de dades dels sensors.
 - Es pot seleccionar si es volen emmagatzemar les dades dels sensors en un document de text.

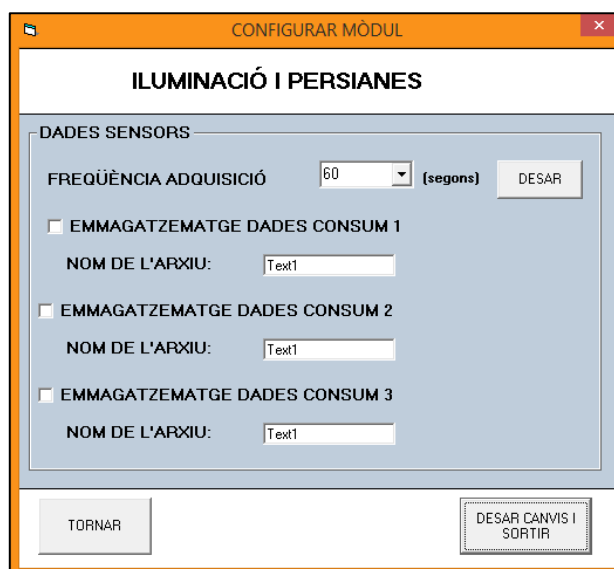


Figura 72. Finestra configuració il·luminació i persianes.

Al posar en marxa la instal·lació, s'obre el port sèrie i s'activen tots els processos.

El software disposa també d'una consola per poder veure tot el que s'està enviant i rebent pel port sèrie. Té la opció de veure-ho amb el format de les comandes AT o de manera comprensible per a l'usuari.

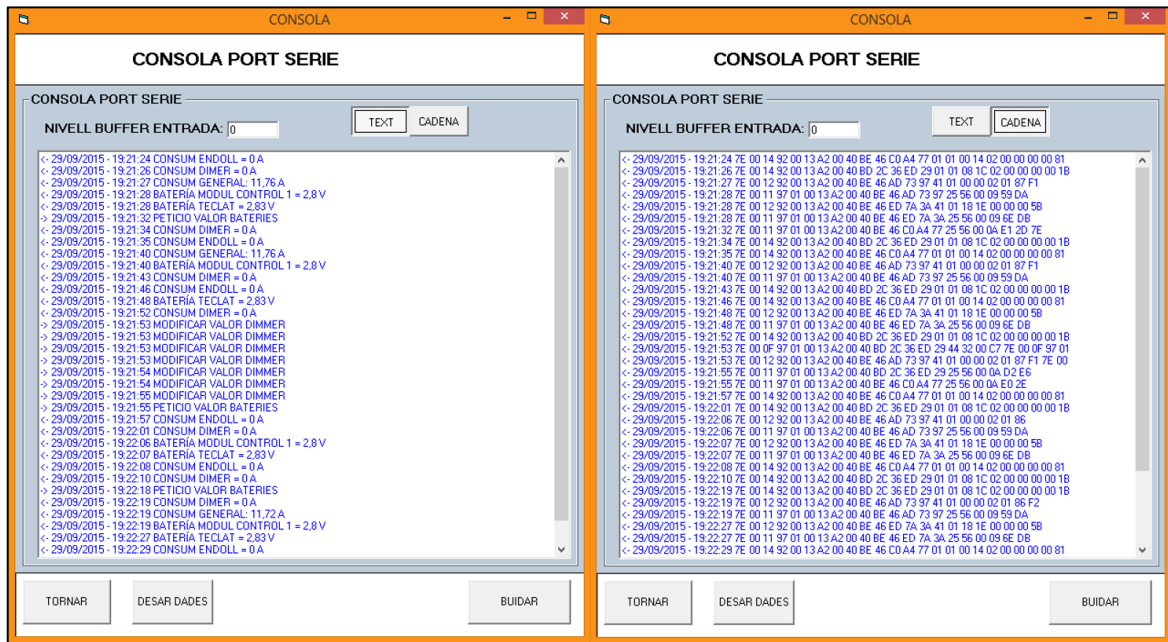


Figura 73. Finestra consola.

Amb tots els mòduls afegits i configurats, l'aplicació, estant en funcionament, queda de la següent manera:

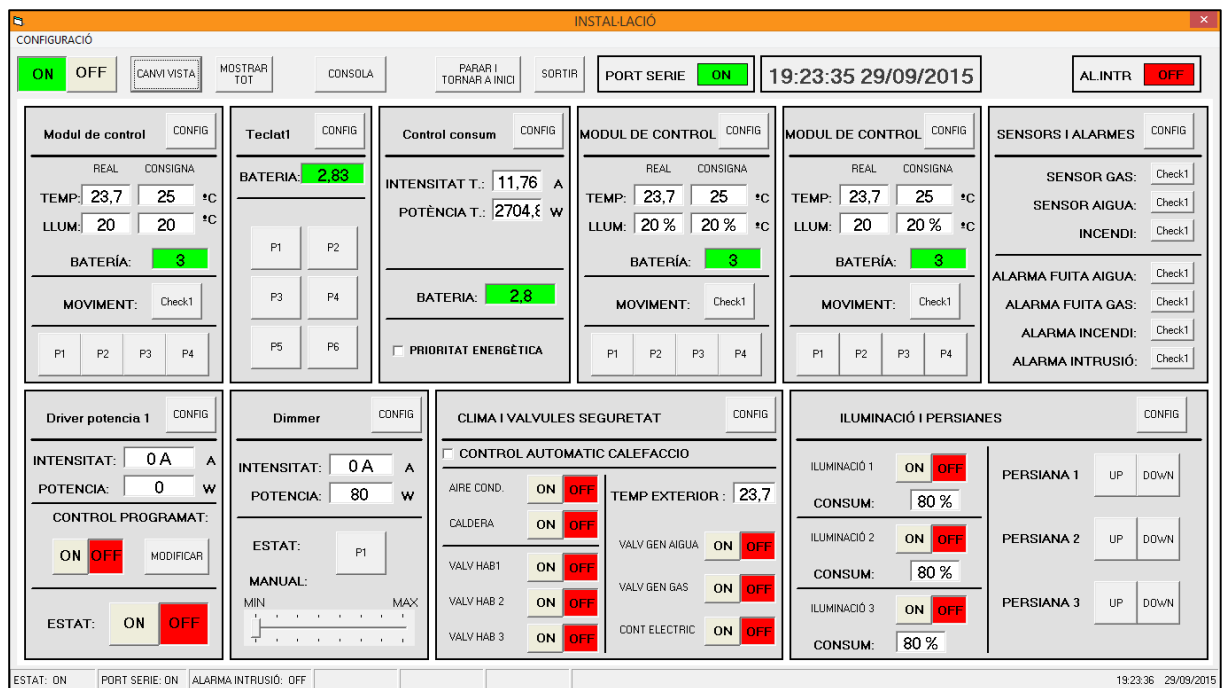


Figura 74. Finestra vista general control de la instal·lació.

Per poder entendre millor totes les accions que es realitzen, a continuació es mostren els diagrames corresponents, començant pel general:

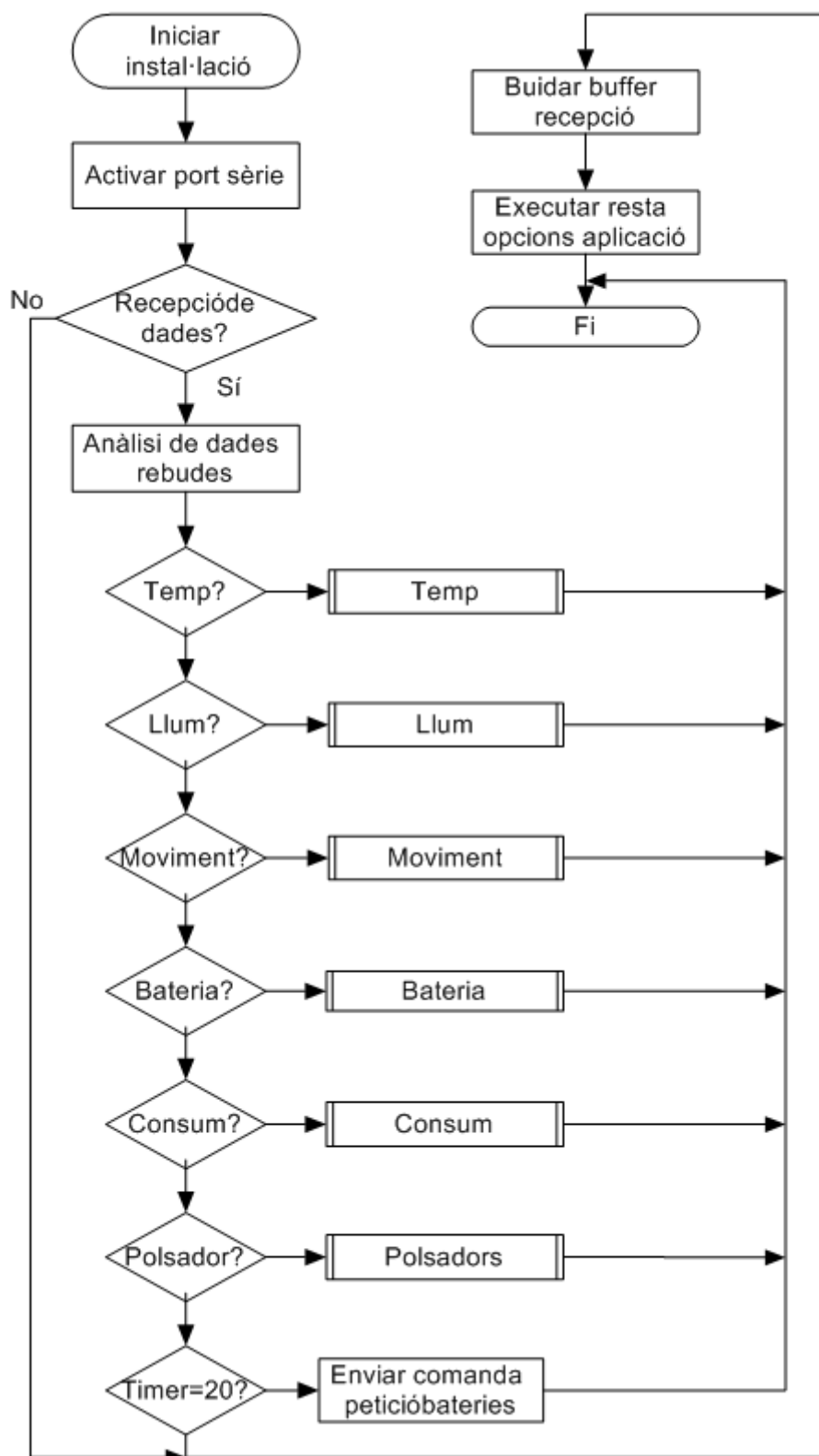


Figura 75. Estructura del software general de la finestra de control de la instal·lació.

Executar la resta d'opcions de l'aplicació es refereix a marcar les comandes enviades a la consola, actualitzar data i hora, actualitzar colors dels botons, conversió de dades hexadecimal a ASCII i a la inversa, verificar temps per a control horari, etc.

Un cop es rep la comanda AT amb la dada del sensor de temperatura, es calcula amb la corresponent equació per poder mostrar-la. En funció dels paràmetres establerts per al mòdul, varia el comportament un cop es rep la temperatura.

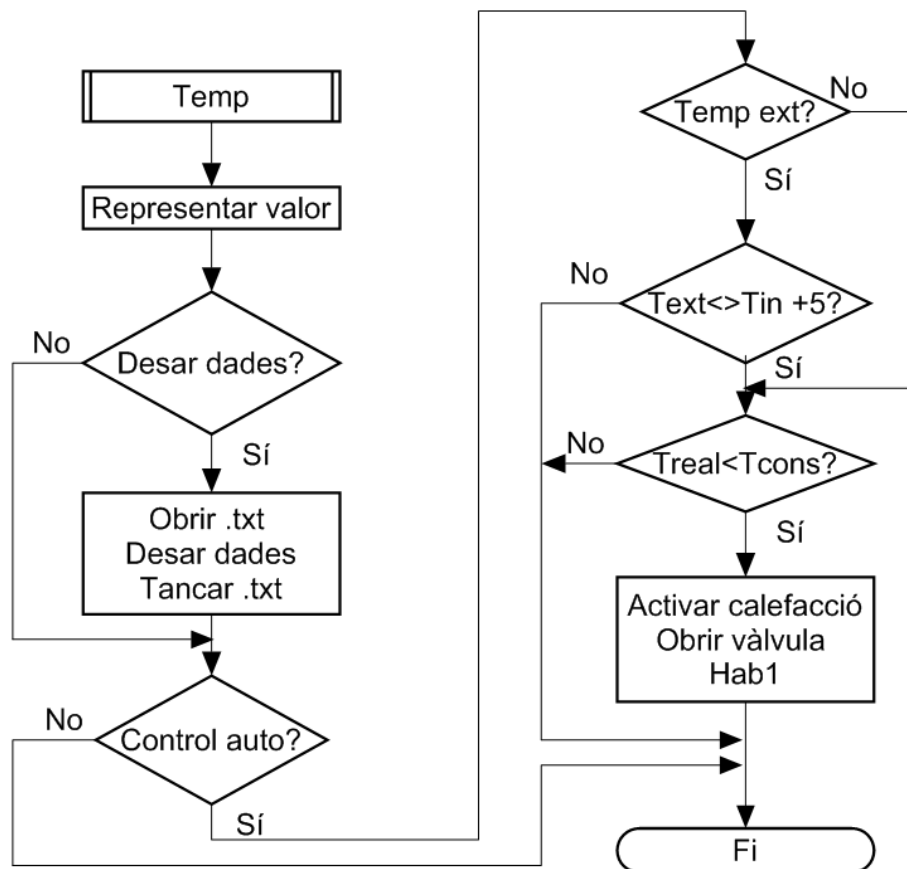


Figura 76. Estructura del software de la temperatura.

Igual que en el cas anterior, en funció dels paràmetres de configuració establerts, varien les accions realitzades per a cada mòdul.

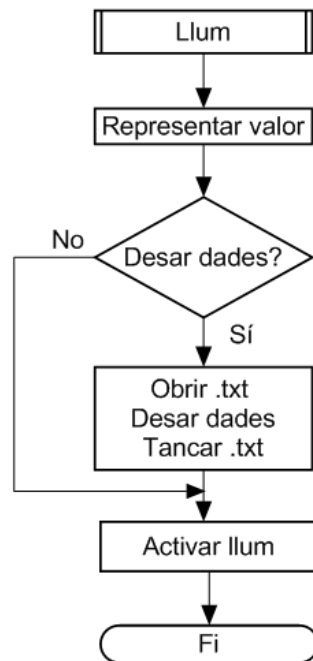


Figura 77. Estructura del software de llum.

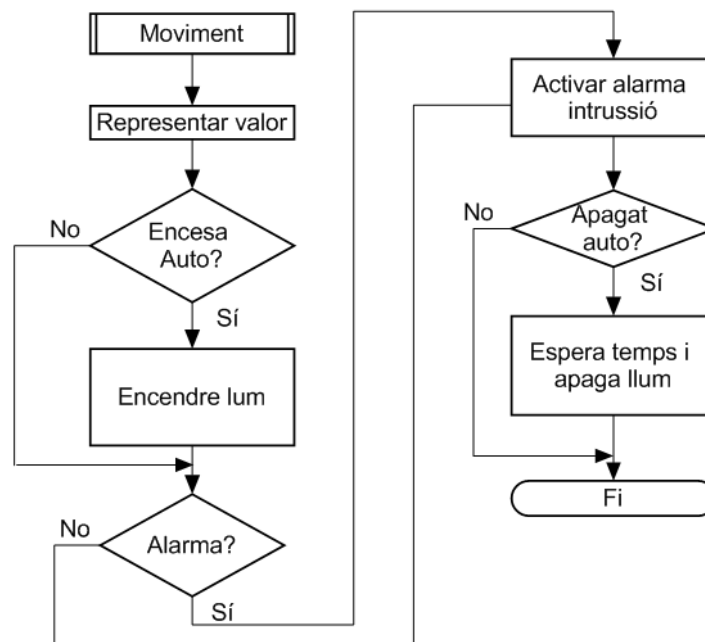


Figura 78. Estructura del software del detector de moviment.

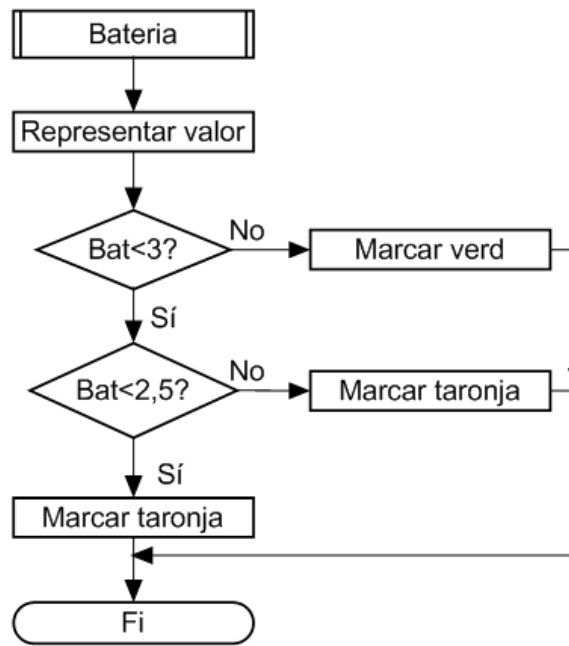


Figura 79. Estructura del software de les bateries.

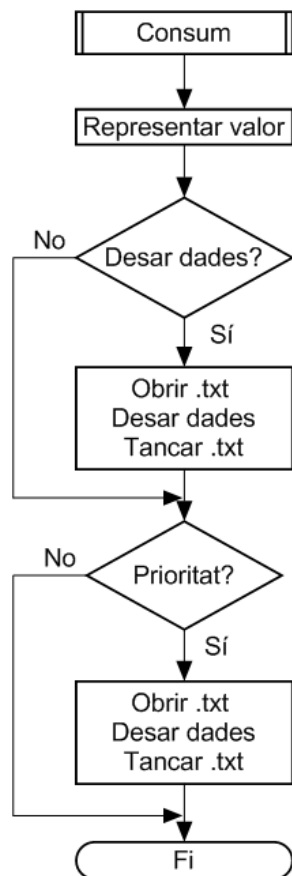


Figura 80. Estructura del software del consum.

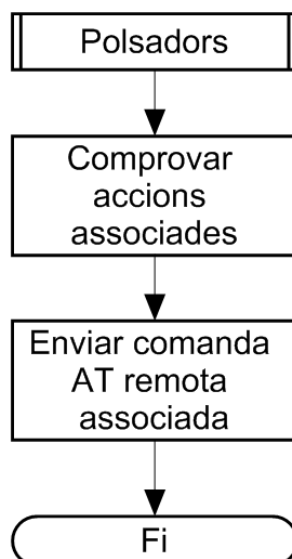


Figura 81. Estructura del software dels polsadors.

Aquest últim diagrama, el dels polsadors, tot i que sembli el més senzill de tots, resulta ser el més complex. S'ha representat de manera bàsica per la complexitat que compota, però a continuació es resumeix.

Hi ha 11 polsadors a la instal·lació, això vol dir que es reben 11 trames diferents en funció del posador premut. El primer que es fa, és desxifrar el missatge per saber l'adreça MAC de 64-bit del mòdul que ha enviat la trama. Un cop es descobreix el mòdul emissor, s'analitza la part de la trama corresponent a les entrades digitals per saber quin polsador s'ha polsat. Un cop se sap qui és l'emissor i de quin polsador es tracta, s'han d'analitzar quines accions té associades.

Per exemple, si és el polsador per augmentar el nivell del dimmer, primer es consulta el nivell actual, es mira si hi ha restriccions d'estalvi energètic o de consum i acte seguit s'envien les tres trames necessàries per augmentar el nivell del dimmer. El dimmer necessita tres trames ja que són tres les sortides que controlen el nivell de llum. Aquestes trames s'envien amb un retràs entre elles de 50 ms.

Un altre exemple és el del polsador d'alarma d'intrusió. Un cop s'analitza i es descobreix l'emissor i el polsador, es prepara el software perquè si rep la trama corresponent al detector de moviment, es connecti l'alarma i es duguin a terme les accions corresponents a la intrusió.

CAPÍTOL 11:

NORMATIVA

Pel que fa a la normativa aplicable en les instal·lacions i dispositius desenvolupats en aquest projecte, les disposicions de caràcter voluntari que afecten les instal·lacions domòtiques són les següents:

- Normes UNE-EN 50090 per a sistemes electrònics d'habitatges i edificis (HBES). Normalitzen les aplicacions de control de comunicació obert destinades a habitatges i edificis.
- Normes UNE-EN 50491 per a sistemes electrònics d'habitatges i edificis (HBES) i sistemes d'automatització i control d'edificis (BACS). Aquestes normes són independents del protocol de comunicacions. Afecten als requisits ambientals, de compatibilitat electromagnètica (CEM), seguretat elèctrica i seguretat funcional dels dispositius i sistemes HBES i BACS.
- Especificació tècnica nacional EA0026 per a instal·lacions de sistemes domòtics en habitatges. És un document de rang inferior a una norma i estableix els requisits mínims que ha de complir el sistema domòtic fixant les prescripcions generals d'instal·lació i avaluació, i els diferents nivells d'automatització a nivell residencial.
- Especificació tècnica a nivell europeu CLC/TR 50491-6-3 per a instal·lacions de sistemes domòtics a habitatges. Aquesta especificació inclou una classificació de nivells basada en l'especificació EA0026 i una classificació de classe que indica el factor d'estalvi energètic proporcionat pels sistemes domòtics.

La reglamentació d'obligat compliment per a les instal·lacions domòtiques queda recollida al reglament electrotècnic de baixa tensió (REBT) i a les següents directives.

- REBT estableix les condicions tècniques que ha de complir una instal·lació elèctrica de baixa tensió per assegurar la seguretat de les persones i béns, assegurar el funcionament de les instal·lacions i prevenir les pertorbacions a d'altres instal·lacions i contribuir a la fiabilitat tècnica i l'eficiència econòmica de les instal·lacions.
- ITC-BT 51 estableix els requisits mínims de la instal·lació dels sistemes domòtics.
- Reglament ICT, annex habitatge digital. És d'aplicació voluntària i té com a objectiu facilitar la incorporació de les funcions de l'habitatge digital.
- Directiva 2004/108/CE de compatibilitat electromagnètica. Defineix com han de treballar els aparells sense provocar pertorbacions electromagnètiques.
- Directiva 2002/96/CE sobre residus d'aparells elèctrics i electrònics. Aquesta directiva preveu la gestió dels residus d'aquests aparells.
- Directiva 2002/95/CE sobre restricció de substàncies perilloses RoHs. Aquesta directiva limita la utilització del mercuri, crom, plom, cadmi, PBB i PBDE.

CAPÍTOL 12:

PLANIFICACIÓ

Per a la realització d'aquest projecte, s'han planificat una sèrie de tasques per tal d'anar assolint els objectius progressivament. S'han dividit en grans blocs que contenen diverses tasques associades. A continuació s'expliquen aquestes tasques:

- Estudi inicial. Aquest bloc inclou la definició del projecte i dels requisits que ha de complir. Estudiar la viabilitat i buscar la solució tecnològica. Recopilar tota la informació bàsica per poder començar a dissenyar el prototip.
- Disseny de Hardware. Aquest bloc inclou el disseny dels circuits, el càlcul dels elements, la recopilació dels materials necessaris, la realització de proves funcionals amb la protoboard o simulacions. Dins d'aquest mateix bloc, també en forma part les proves de comunicacions dels mòduls. Mitjançant el software del fabricant, es proven totes les comunicacions per saber si responen com s'espera. Un cop està tot comprovat, es realitzen els prototips amb PCB.
- Disseny de software. En primer lloc, en aquest bloc s'han estudiat les diferents alternatives per a la programació del dispositiu de control. Un cop definit el llenguatge i la plataforma, es defineix a grans trets l'estructura del software. Un cop establertes la estructura, es realitza el software amb totes les funcions establertes.
- Documentació. Un cop el hardware és funcional i el software el gestiona correctament, es desenvolupa la documentació. La documentació la formen diversos documents: la memòria, la memòria econòmica, els plànols i l'annex.

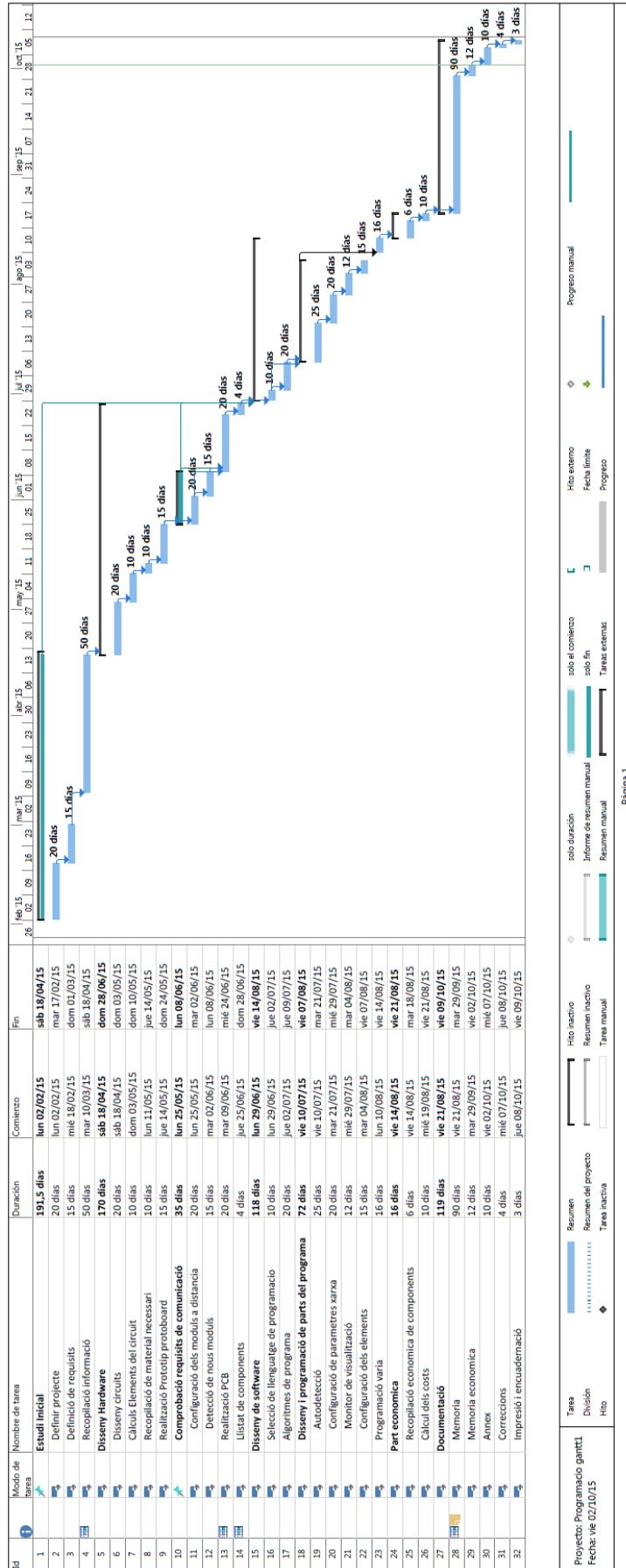


Figura 82. Diagrama Gantt del projecte.

CAPÍTOL 13:

POSSIBLES MILLORES

Hi ha diverses millores que s'han anat plantejant durant la realització del projecte. La principal seria substituir la unitat de control que incorpora el software per un controlador de baix consum, ja que ha d'estar sempre en funcionament, i de mida reduïda. Un exemple seria la Raspberry Pi, un ordinador de mida poc superior a una tarja de crèdit que incorpora tots els elements necessaris per poder fer funcionar una xarxa i un software com els que s'han desenvolupat en aquest projecte. Els avantatges que això significaria serien la reducció de consum del dispositiu i la facilitat d'ubicar un dispositiu d'aquestes característiques en qualsevol lloc de l'habitatge.

Una altra millora significativa seria perfeccionar el software de control. Es podrien fer moltes funcions addicionals al millorar el software com per exemple veure gràfics de les lectures dels sensors, connectar amb els mòduls en qualsevol moment, afegir funcions als mòduls per fer-los més flexibles, crear un sinòptic amb l'estructura de la casa, entre d'altres.

El software es podria fer més robust, protegint la perduda de dades amb l'arribada simultània de trames i millorant la interpretació de tots els paquets que arriben. Si la xarxa ha d'incloure molts dispositius, aquest aspecte és bàsic. La xarxa pot incorporar més de 65.535 dispositius, per tant, el software ha de ser robust i fiable per poder controlar-los tots.

Millorant la connectivitat del controlador, connectant-lo a internet, es podria accedir a molta més informació, per exemple al temps, i així poder baixar les persianes si ha de ploure, o ajustar els termòstats en funció de la temperatura exterior. A més, amb la connexió a internet es podria controlar els dispositius des de qualsevol lloc i rebre la informació en tot moment. Per exemple, rebre un missatge de text si es detecta intrusió o salta alguna alarma, i contactar amb els serveis de seguretat o vigilància.

Utilitzant el controlador com a servidor, es podria controlar els mòduls a través de telèfons mòbils amb les aplicacions corresponents, d'aquesta manera es podrien encendre i parar llums, pujar i baixar persianes, veure les temperatures i consums i accedir a tots els continguts de la xarxa domòtica.

En aquest projecte s'han desenvolupat cinc mòduls diferents amb accions bàsiques. Una altra millora seria crear més mòduls amb altres funcions com per exemple alarmes, sensors de fuites de fluids, persianes, etc.

Un mòdul a dissenyar molt interessant seria per controlar els radiadors de calefacció de la casa. Existeixen unes electrovàlvules alimentades amb piles, per instal·lar a cada radiador, per així poder separar-los per zones i controlar cada estança de manera independent. Incorporant un mòdul XBee a cada vàlvula, es podria controlar la temperatura de cada habitació de manera remota afegint-los al controlador.

Aquesta tecnologia no es limita únicament a la domòtica pot servir per a tot tipus de controls. L'avantatge és l'eliminació de fils per a la comunicació, per tant a llocs de difícil accés o per simplificar la instal·lació es poden utilitzar aquests sistemes.

CAPÍTOL 14:

BIBLIOGRAFIA

La bibliografia es divideix en dues parts: les referències bibliogràfiques que corresponen a les cites aparegudes al text i la bibliografia de consulta que correspon a aquelles obres no citades explícitament en el text.

14.1. Referències bibliogràfiques

- [1]. GUIA DE USUARIO XBEE. Tutoria XBEE series 1. [En línia]. [Consulta Març 2015]. Disponible a: <www.olimex.cl/pdf/Wireless/ZigBee/XBee-Guia_Usuario.pdf>.
- [2]. XBEE. Zigbee labs. [En línia]. [Consulta Març 2015]. Disponible a <<http://www.zigbe.net/>>.
- [3]. ECURED. ZigBee. [En línia]. [Consulta juliol 2015]. Disponible a <<http://www.ecured.cu/index.php/ZigBee>>.
- [4]. MONOGRAFIAS. ZigBee, el nuevo estándar global para domótica i inmótica. [En línia]. [Consulta Juliol 2015]. Disponible a: <<http://www.monografias.com/trabajos61/zigbee-estandar-domotico-inmotica/zigbee-estandar-domotico-inmotica2.shtml#xventaj>>.
- [5]. POSTGRADO. Redes y Seguridad. [En línia]. [Consulta Juny de 2015]. Disponible a: <http://postgrado.info.unlp.edu.ar/Carreras/Especializaciones/Redes_y_Seguridad/Trabajos_Finales/Dignanni_Jorge_Pablo.pdf>.
- [6]. CASADOMO. Marco legislativo de los sistemas domóticos e inmóticos. [En línia]. [Consulta Setembre 2015]. Disponible a: <<https://www.casadomo.com/comunicaciones/i-congreso-ei-marco-legislativo-de-los-sistemas-domoticos-e-inmoticos>>.

DIGI. Wireless connectivity kit. [En línia]. [Consulta Juny 2015]. Disponible a: < <https://docs.digi.com/display/WirelessConnectivityKit/Wireless+Connectivity+Kit> >.

WEBDELICIRE. Comenzando con ZigBee. [EN línia]. [Consulta Juny 2015]. Disponible a: < <http://webdelcire.com/wordpress/archives/1714>>.

14.2. Bibliografía de consulta

- [1]. DIGI. XBee and XBee PRO. ZigBee RF modules. [En línia]. [Consulta Març 2015]. Disponible a: < <http://www.digi.com/products/xbee-rf-solutions/modules/xbee-zigbee>>.
- [2]. DIVERTEKA. Control de consumo electrico con arduino. [En línia]. [Consulta Abril de 2015]. Disponible a: < <http://www.diverteka.com/?p=1966> >.
- [3]. PICFERNALIA. Medidor de ptencia. [En línia]. [Consulta Abril de 2015]. Disponible a: < <http://picfernalia.blogspot.com.es/2013/06/proyecto-medidor-de-potencia.html>>.
- [4]. ZIGBE. Bmotes dimmer controlable por XBEE. [En línia]. [Consulta Abril de 2015]. Disponible a: < <http://www.zigbe.net/archivos/964> >.
- [5]. BRICOGEEK. Video tutorial XBEE: Modo AT, API y nodos. [En línia]. [Consulta Febrer de 2015]. Disponible a: < <http://blog.bricogeek.com/noticias/electronica/video-tutorial-xbee-modo-at-api-y-nodos/> >.
- [6]. SPARKFUN. Products. [En línia]. [Consulta Març de 2015]. Disponible a: < <https://www.sparkfun.com/>>.
- [7]. Gámiz, Juan. – Tornil, Sebastián. Apunts d'informàtica industrial.
- [8]. Manzanares, Manolo. Apunts de Tecnologia Electrònica.
- [9]. Matínez, Herminio. Apunts d'Electrònica Analògica.