



Treball de Fi de Grau

GRAU D'ENGINYERIA INFORMÀTICA

Facultat de matemàtiques

**INTEGRACIÓ D'UNA XARXA DE SENSORS INTEL·LIGENT EN UNA
XARXA WIFI LAN ESTÀNDARD PER A LA MONITORITZACIÓ DE
LES CONDICIONS AMBIENTALS DE L'ENTORN DE TREBALL**

Barcelona, 22 de juny del 2015

Autor: Javier Martínez Espinar

Director: Manuel López de Miguel

Co – Director : Francisco Palacio

Realitzat a: Departament d'Electrònica. UB

Índex

1. INTRODUCCIÓ	4
1.1 Introducció	4
1.2 Objectiu	5
1.3 Estructura de la memòria	5
2. ANTECEDENTS	6
2.1 Antecedents	6
2.2 Estat de la situació.....	8
2.3 Desenvolupament i evolució de les WSN.....	9
2.4 Xarxes de comunicacions de dades sense fils de curt i mig abast	10
2.4.1 Bluetooth.....	10
2.4.2 Zigbee	11
2.4.4 WiMax	12
2.4.5 Wi-Fi	12
3. ENGINYERIA DE CONCEPCIÓ	14
3.1 Estudi de les solucions plausibles.....	14
3.2 Solució final	15
3.3 Esquema de la solució final	16
3.4 Disseny de la xarxa WLAN	18
3.4.1 Requisits per al disseny d'una xarxa WLAN	19
3.4.2 Topologia de la nostra xarxa: Topologia estrella	20
3.5 Xarxa WSN	20
3.5.1 Detecció dels nodes	20
3.5.2 Sincronisme entre dispositius	21
3.5.3 Petició de Dades	22
3.6 Interfície amb l'usuari: La Pàgina web	23
3.6.1 Llenguatges i llibreries per a la pagina web	23
3.7 Base de dades del servidor.....	24
3.7.1 Descripció de l'estructura de la base de dades.....	25
3.8 Aplicació al servidor	26
3.9 Descripció de la solució final. Integració dels conceptes previs	26
4. ENGINYERIA DE DETALL	28
4.1 Arquitectura de les comunicacions	28
4.1.1 Protocol de comunicació Motes - CC2520	28

4.1.2	Descripció de la trama del protocol 802.15.4	28
4.1.3	Protocol de comunicació CC2520- CC3200	29
4.1.4	Protocol de comunicació CC3200 – ordinador.....	30
4.2	Arquitectura del hardware.....	32
4.2.1	Placa CC3200 Launchpad.....	33
4.2.2	Dspositiu CC3200.....	35
4.2.3	Selecció del CC3200.....	36
4.2.4	Placa intermitja	37
4.2.5	Placa CC2520 – CC2591 EM.....	38
4.2.6	Motes	40
4.3	Arquitectura software	43
4.3.1	Programa servidor.....	43
4.3.2	Base de dades.....	43
4.3.3	Pagina web	44
4.3.4	Programació CC3200 – transceiver	46
4.3.5	Implementació de la trama 802.15.4 d’enviament.....	48
4.3.6	El canal SPI.....	50
4.3.7	Explicació de la comunicació CC3200 – Ordinadors.....	51
4.3.8	Explicació de la interrupció del transceiver (CC2520).....	52
4.3.9	Metode basicRfRxFrmDonelsr de la interrupció	52
4.3.10	Programació de les motes.....	53
5.	MILLORES POSSIBLES	55
6.	BIBLIOGRAFIA	56

1. INTRODUCCIÓ

1.1 Introducció

El desenvolupament de les xarxes de sensors sense fils (WSN) ha tingut un recorregut que ha anat en paral·lel amb el desenvolupament de les xarxes convencional de dades. Així, la tendència actual quan es vol implementar una xarxa d'àrea local (LAN) és col·locar un router WiFi amb més o menys mesures de seguretat i amb més o menys punts d'accés per tal de connectar la major part d'equips de forma senzilla i ràpida a la xarxa local. Aquest tipus de xarxa, coneguda com WiFi LAN és la més utilitzada avui dia en petits comerços, petites empreses i entorns domèstics. En paral·lel, el desenvolupament i la implementació de WSN ha anat en la línia de la minimització del consum, l'establiment de rutes que minimitzin el nombre de salts, si calen, i la utilització de un node coordinador que és qui sol enviar les dades al punt de recollida actuant de passarel·la, i transmetent les dades a través de GPRS o 3G.

El ràpid desenvolupament de les WSN en els darrers anys i l'aparició de nous components electrònics més econòmics i de menor consum, permeten ja que la interacció entre els dos mons sigui una realitat. Dispositius com el CC3200 permeten muntar de manera relativament senzilla i econòmicament rentable, una passarel·la entre el mon de les WSN i el mon de les WiFi-LAN.

Aquest és el marc del projecte, on s'ha integrat en una xarxa WiFi-LAN una WSN que monitoritza de manera transparent, les condicions de treball de una SOHO (Small Office Home Office). En aquest projecte mesurem a mode d'exemple les condicions ambientals: pressió, temperatura i humitat, però podrien monitoritzar-se tantes coses com sensors poguéssim integrar en la nostra xarxa.

El coordinador de la WSN actuarà de passarel·la, connectant els dos mons. Per tal d'analitzar les dades monitoritzades, s'ha desenvolupat una base de dades que pot consultar-se a través de una pàgina web especialment dissenyada per a aquest projecte.

1.2 Objectiu

L'objectiu d'aquest projecte serà desenvolupar un sistema de comunicacions híbrid SOHO on es tindrà (i) per una banda les comunicacions associades a una xarxa WiFi LAN estàndard, fent servir el protocol IEEE 802.11.n i (ii) per l'altra una xarxa de sensors que monitoritzarà les condicions de treball (pressió, temperatura i humitat) de forma transparent a l'usuari, fent servir el protocol IEEE 802.15.4. Aquesta darrera subxarxa incorporarà un node passarel·la que adaptarà els senyals de IEEE 802.15.4 a IEEE 802.11.n.

Les comunicacions WiFi estàndard accediran a Internet a través del proveïdor de servei contractat. Les comunicacions de sensors es connectaran amb una base de dades remota, també a través del proveïdor de servei, que es podrà consultar a través de una pàgina web.

1.3 Estructura de la memòria

- Introducció, on s'expliquen quin són els objectius del projecte i un tast del temari relacionat amb el projecte.
- Antecedents, on es fa un resum de l'estat de l'art de les tecnologies i els diferents projectes que hi ha relacionats avui en dia al mercat.
- Enginyeria de concepció, on es descriu la solució del projecte sense fer èmfasi en les explicacions.
 - Disseny de la xarxa WiFi - LAN
 - Disseny de la xarxa WSN més la comunicació amb WiFi (cc3200 i transceiver)
 - Disseny de la base de dades al servidor
 - Disseny de la pàgina web.
- Enginyeria de detall, on es descriu detalladament el projecte.
- Millores, es parla de les millores que es poden aplicar al projecte.
- Bibliografia.

2. ANTECEDENTS

2.1 Antecedents

Aquest projecte s'emmarca en la integració de xarxes de comunicacions de dades a nivell d'usuari amb xarxes de sensors que reporten característiques transparents a aquest usuari però que poden reportar sobre les condicions del seu lloc de treball, salut, benestar, etc. La primera xarxa correspon a la ben coneguda WiFi, basada en l'estàndard IEEE802.11.x. La segona integra un protocol de comunicacions de sensors sense fils, que tractem en els punts posteriors, i una passarel·la o gateway.

Les xarxes de sensors es fonamenten en la transmissió de dades entre sensors i els dispositius de control de forma automàtica, de forma transparent a l'usuari. Les xarxes de sensors pertanyen al grup de les xarxes de comunicacions sense fils. De forma genèrica, les xarxes sense fil (en anglès wireless) són aquelles que es comuniquen per un medi de transmissió no guiat (sense cables) mitjançant ones electromagnètiques. La transmissió i la recepció es realitza a través d'antenes.

Tenen avantatges com ara la ràpida i fàcil instal·lació de la xarxa sense la necessitat de tirar cablejat, permeten la mobilitat i tenen menys costos de manteniment que una xarxa convencional. Les xarxes sense fils han possibilitat la substitució dels cables per ones de ràdio. D'aquesta manera, s'eliminen els lligams i limitacions dels dispositius de connexió. En l'actualitat l'ús de xarxes sense fils, s'ha estès pels seus avantatges de mobilitat, flexibilitat i productivitat.

Per parlar de la història de les xarxes sense fils ens remuntarem al 1888 on el físic alemany Rudolf Hertz va realitzar la primera transmissió sense cables amb ones electromagnètiques mitjançant un oscil·lador que va usar com a emissor i un ressonador que feia el paper de receptor. Sis anys després, les ones de ràdio ja eren un mitjà de comunicació. El 1899 Guillem Marconi va aconseguir establir comunicacions sense fils a través del canal de la Mànega, entre Dover i Wilmereux i, el 1907, es transmetien els primers missatges complets a través de l'Atlàntic. Durant la Segona Guerra Mundial es van produir importants avenços en aquest camp. No va ser fins al 1971 quan un grup d'investigadors sota la direcció de Norman Abramson, a la Universitat de Hawaii, van crear el primer sistema de commutació de paquets mitjançant una xarxa de comunicació per ràdio, aquesta xarxa es diu ALOHA. Aquesta és la primera xarxa d'àrea local sense fils (WLAN), estava formada per 7 ordinadors situats en diferents illes que es podien comunicar amb un ordinador central al qual demanaven que realitzés càlculs.

Un dels primers problemes que van tenir i que té tot nou tipus de xarxa inventada, és el control d'accés al medi (MAC), és a dir, el protocol a seguir per evitar que les

diferents estacions solapin els missatges entre si. Al principi es va solucionar fent que l'estació central emetés un senyal intermitent en una freqüència diferent a la de la resta d'ordinadors mentre estigués lliure, de manera que quan una de les altres estacions es disposava a transmetre, abans "escoltava" i es cerciorava que la central estava emetent aquest senyal per llavors enviar el seu missatge, ho van anomenar CSMA (Carrier Sense Múltiple Access). Un any després Aloha es va connectar mitjançant ARPANET al continent americà. ARPANET és una xarxa d'ordinadors creada pel Departament de Defensa dels EUA com a mitjà de comunicació per als diferents organismes del país. Perquè les xarxes sense fil es poguessin expandir sense problemes de compatibilitat calia establir uns estàndards, per això IEEE va crear un grup de treball específic per a aquesta tasca anomenat 802.11, així doncs, es definiria amb aquest estàndard l'ús del nivell físic i d'enllaç de dades de la xarxa (on entra la MAC comentada anteriorment), especificant les seves normes de funcionament. D'aquesta manera l'únic que diferencia una xarxa sense fils d'una que no ho és, és com es transmeten els paquets de dades, la resta és idèntic. La conseqüència d'això és que el programari que vagi funcionar amb la xarxa, no ha de tenir en compte quin tipus de xarxa és i que tots dos tipus de xarxes són totalment compatibles.

Les xarxes sense fils venen especificades majoritàriament per especificacions del Institut d'enginers elèctrics i electrònics (IEEE) anomenades IEEE802.1x.y on la x defineix el protocol, així, 11 indica que estem parlant de les xarxes conegudes com WiFi, 15.1 correspon amb les capes inferiors de l'especificació Bluetooth, 15.4 amb les capes inferiors de Zigbee, i així successivament. És important notar que IEEE descriu tant sols les especificacions de les capes inferiors: la capa física i la capa inferior d'enllaç, el que es coneix com control d'accés al medi o MAC.

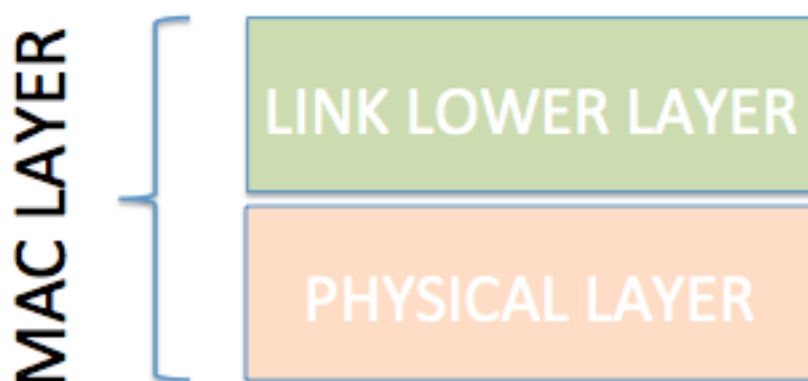


FIGURA 1. Estructura de capes definida al IEEE.

Normalment l'especificació del IEEE a nivell de capa física i encapsulament de dades en trames MAC es fa en transceivers dedicats. Un transceiver es un dispositiu transmissor

– receptor amb el que es comunica un dispositiu, normalment un microcontrol·lador, microprocessador o FPGA que implementa les capes superiors del protocol.

IEEE 802.1x defineix dos modes bàsics d'operació: ad-hoc i infraestructura. El primer es basa que els terminals es comuniquen lliurement entre si, se sol trobar en entorns militars, operacions d'emergència, xarxes de sensors, comunicació entre vehicles, etc. El segon i majoritari, en què els equips estan connectats amb un o més punts d'accés normalment connectats a una xarxa cablejada que s'encarreguen del control d'accés al medi, podem veure aquesta manera d'operació en llars, empreses i institucions públiques

2.2 Estat de la situació

Avui en dia podem dir que estem envoltats i fem servir dispositius que, sense conèixer exactament el seu funcionament, ens faciliten la vida en gran mesura. A mode d'exemple, les aplicacions de localització (Google Maps) que incorporen els nostres smartphones, sistemes que ens indiquen els diferents transports públics que podem fer servir per anar de una localització determinada a una altra (Moovit). Aquestes aplicacions utilitzen dispositius que treballen per nosaltres. Això fa uns anys, era impensable per culpa de la baixa capacitat de processament dels elements tècnics, l'elevat preu i de la necessitat de connexions amb cables.

Gracies a la evolució de les tecnologies actuals ja és possible implantar xarxes sense fils com les WSN (xarxes de sensors sense fils) i això ha produït una gran varietat d'aplicacions possibles, les quals tenen la finalitat de proporcionar informació de l'entorn a través de la mesura de moltes variables. Gracies a aquest fet s'han obert les portes a un nou camp anomenat Intel·ligència Ambiental, aquesta consisteix en crear entorns intel·ligents on l'entorn s'adapta a les persones. Un exemple és Bluetooth, implementat en la majoria de telèfons mòbils, que ens permet interconnectar dispositius, intercanviar dades i fer servir aplicacions de forma senzilla i ràpida.

Per altra banda el problema que hi ha en l'actualitat és la gran quantitat d'estàndards de comunicació que existeixen i el fet que cap d'ells s'hagi imposat sobre la resta, els fabricants intenten que els seus productes treballin entre ells amb la major quantitat d'equips que hi ha però és impossible incorporar Bluetooth, WiFi, ZigBee entre molts altres en un aparell i en cas de ser així el preu del hardware és molt elevat.

Per resoldre aquests problemes idealment seria necessari la creació d'un estàndard universal que sigui adoptat per tots els fabricants en tots els seus productes, i un protocol que està agafant aquesta posició és el ZigBee, gracies a les seves propietats de simplicitat i baix consum energètic. Vol dir això que la resta de protocols pot

desaparèixer? Res mes lluny d'això, el que es vol indicar és que, per la transferència de dades associades a sensors, aquest protocol és qui pren avantatge. La resta de protocols treballa en un nínxol diferent. La figura 2 mostra la distribució dels principals protocols sense fils en funció de la distància i l'ample de banda. A partir d'aquí, serà l'aplicació la que s'haurà d'adaptar a un protocol o un altre en funció d'aquests paràmetres.

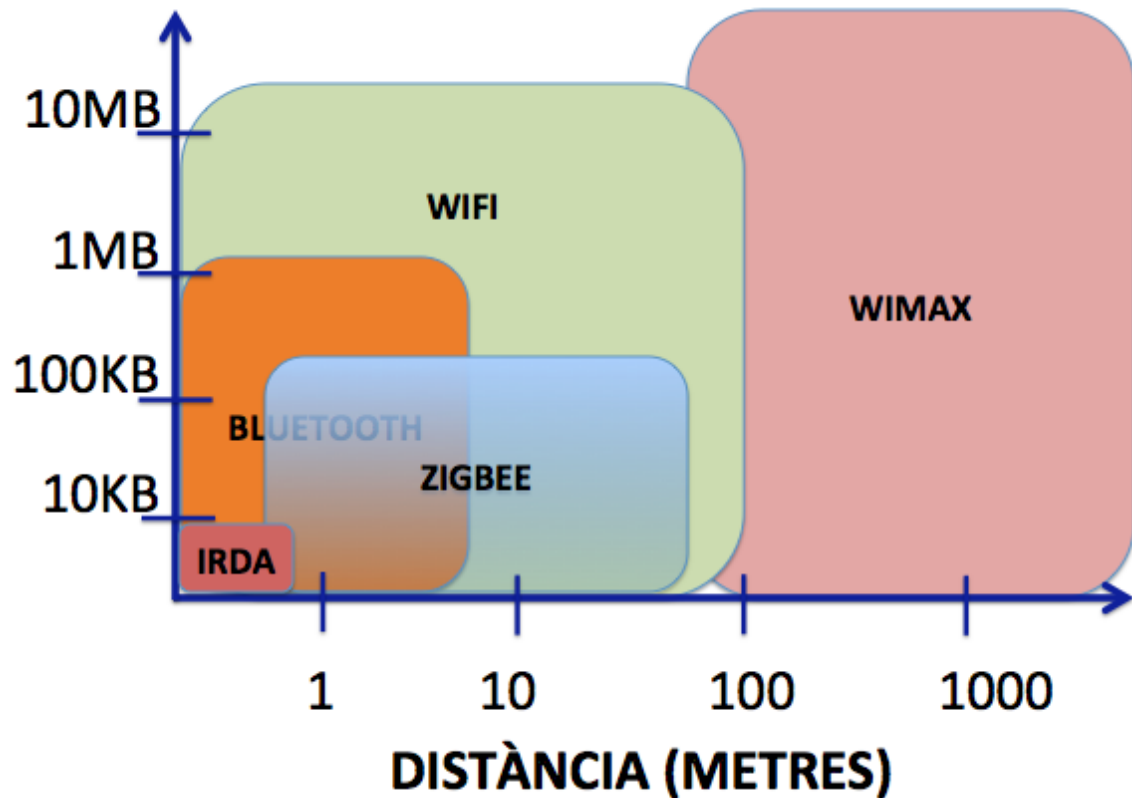


FIGURA 2. Distribució dels diferents protocols en funció de la distància i de l'ample de banda.

2.3 Desenvolupament i evolució de les WSN

Les tecnologies de WSN han tingut un ràpid desenvolupament en els darrers anys. S'ha passat en poc temps dels ja infrautilitzats *Irda* per a comunicacions punt a punt a les xarxes d'àrea personal de curt abast o WPAN. La figura 2 serveix per explicar la distribució de protocols en funció de l'ample de banda i la distància de cobertura.

Segons la grandària que té cada xarxa, és a dir, la seva cobertura, es poden classificar en diferents tipus:

WPAN (Wireless Personal Area Network, Wireless PAN)

En aquest tipus de xarxa de cobertura personal, hi ha tecnologies basades en HomeRF (estàndard per connectar tots els telèfons mòbils de la casa i els ordinadors mitjançant un aparell central); Bluetooth (protocol que segueix l'especificació IEEE 802.15.1); ZigBee (basat en l'especificació IEEE 802.15.4 i utilitzat en aplicacions com la domòtica, que requereixen comunicacions segures amb taxa d'enviament de dades baixa i maximització de la vida útil de les seves bateries, baix consum); RFID (sistema remot d'emmagatzematge i recuperació de dades amb el propòsit de transmetre la identitat d'un objecte (similar a un número de sèrie únic) mitjançant ones de ràdio).

WLAN (Wireless Local Area Network, Wireless LAN)

En les xarxes d'àrea local podem trobar tecnologies sense fils basades en HiperLAN (de l'anglès, High Performance Radio LAN), un estàndard del grup ETSI, o tecnologies basades en Wi-Fi (Wireless-Fidelity), que segueixen l'estàndard IEEE 802.11 amb diferents variants.

WMAN (Wireless Metropolitan Area Network, Wireless MAN)

Per xarxes d'àrea metropolitana trobem tecnologies basades en WiMax (Worldwide Interoperability for Microwave Access, és a dir, Interoperabilitat Mundial per Accés per Microones), un estàndard de comunicació sense fil basat en la norma IEEE 802.16. WiMax és un protocol semblant a Wi-Fi, però amb més cobertura i amplada de banda. També podem trobar altres sistemes de comunicació com LMDS (Local Multipoint Distribution Service).

WWAN (Wireless Wide Area Network, Wireless WAN)

En aquestes xarxes trobem tecnologies com UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), utilitzada amb els mòbils de tercera generació (3G) i successora de la tecnologia GSM (per mòbils 2G), o també la tecnologia digital per telèfons mòbils GPRS (General Packet Radio Service).

2.4 Xarxes de comunicacions de dades sense fils de curt i mig abast

2.4.1 Bluetooth

Bluetooth va ser desenvolupat l'any 1994 per dos treballadors del departament d'enginyeria d'Ericsson. L'any 1998 un conjunt d'empreses formen una organització privada sense ànim de lucre anomenada SIG (Special Interest Group) amb la finalitat de desenvolupar la tecnologia Bluetooth. Aquesta organització va començar amb cinc

empreses liderades per Ericsson i a dia d'avui ja en formen part més de vint mil. Bluetooth és un estàndard de comunicacions sense fils de curta distància i baix consum d'energia establert per la IEEE 802.15.1, funciona entre les freqüències 2400 i 2483,5 MHz i divideix les dades en paquets per enviar aquets per un dels 79 canals que te, on cada canal te 1MHz. aquest rang de freqüències pertany al grup ISM, freqüències no utilitzades pels proveïdors d'Internet i que queden alliberades per usos industrials, científics i mèdics. Bluetooth fa servir AFH (Adaptative Freqüenci Hopping) es tracta d'un sistema per evitar la pèrdua de paquets per culpa de les interferències. Una xarxa que es basa en aquesta tecnologia es pot comunicar amb un màxim de set esclaus en un piconet (xarxa informàtica que uneix un grup de dispositius) de forma **Master Slave** on tots fan servir el **clock** del **Master**. Per al que fa a la distància que proporciona Bluetooth depèn dels dispositius en els que es fa servir, però te una distància mínima de 10 metres i una màxima de 100 metres en condicions ideals i amb repetidors. Respecte a la velocitat de les dades, des de la versió 3.0 de Bluetooth (versió 3.0 +HS) es poden enviar dades a alta velocitat 24 Mbit/s.

2.4.2 Zigbee

Zigbee es basa en el nivell físic i MAC del estàndard IEEE 802.15.4 i la primera especificació va ser aprovada l'any 2004. Aquest estàndard fa servir la banda ISM, en particular opera a 868 MHz a Europa, 915MHz a EEUU i Japó i 2.4 GHz a tot el mon. El desenvolupament d'aquesta tecnologia es centra en el seu baix consum d'energia, les diferents topologies en que pot operar: estrella, arbre i malla, així com el cost econòmic molt inferior a la resta d'estàndards.

A diferència de Bluetooth, Zigbee pot treballar en mode **multimaster**, o també com a **master - slave**. Dona per tant major flexibilitat a l'usuari. Distingeix tres tipus de nodes: El coordinador, també anomenat **sink** en molts documents i articles, és qui forma la xarxa inicialment i a qui normalment van dirigits tots els paquets, els FFD o **full functional devices**, dispositius amb la capacitat d'encaminament, que poden treballar com a **routers** o dispositius finals, i finalment, els dispositius finals o RFD (**reduced functional devices**), són dispositius que no disposen de capacitat d'encaminament, i que s'encarreguen bàsicament de censar i recopilar dades que envien al coordinador a través dels FFD.

Al igual que Bluetooth, el rang de cobertura és fins a 100 metres, tot i que donada la limitació dels transceivers, la pèrdua de paquets comença a ser significativa a partir dels 40m. Això implica que per cobrir àrees més grans és necessari implementar l'encaminament a través de nodes intermitjos. En aquest cas, la topologia utilitzada és arbre.

2.4.3 Seguretat del protocol ZigBee

La seguretat en les xarxes ZigBee no està del tot resolta, ja que el fet de ser sense fils fa que pugui patir molts tipus d'atacs.

Per altra banda ZigBee fa servir l'encriptació AES de 128bits que permet l'autenticació i enciptació de les comunicacions, a més a més existeix un altre element anomenat Trust Center (centre de validació) que proporciona un mecanisme de seguretat en el que es fan servir dos claus de seguretat, la d'enllaç i la clau de xarxa amb això detecta l'entrada de nous nodes a la xarxa, i decideix si els incorpora o els rebutja.

2.4.4 WiMax

Es basa en el 802.16 i es molt similar al Wi-Fi però per a distàncies molt més grans. Treballa en les freqüències entre 2.3 i 2.5 GHz amb una cobertura de fins a 50 Km i pot ser de dos tipus 802.16d punt fixe o 802.16e que permet la mobilitat.

A diferència dels anteriors, WiMax és un estàndard dedicat a xarxes d'accés. Permet encapsular ADSL per tal que els proveïdors de serveis puguin subministrar servei de dades a llocs on l'accés és difícil. Els protocols anteriors estan dins del marc de les xarxes personals i d'àrea local. En aquest sentit, WiMax quedaria fora del marc d'aquest projecte.

2.4.5 Wi-Fi

És una tecnologia de xarxa local sense fils que permet a un dispositiu electrònic intercanviar dades o connectar amb internet ja sigui a 2.4 GHz o 5 GHz. El nom és una marca registrada, i acrònim de **wireless fidelity** ("fidelitat sense cable"). L'aliança Wi-Fi ho descriu com qualsevol "producte wifi de xarxa local basat en l'estàndard 802.11a/b/g/n/ac de la IEEE". Hi ha molts dispositius habilitats per utilitzar comunicació Wi-Fi: ordinadors, impressores, videoconsoles, **smartphones**, càmeres digitals, **tablets** i reproductors digitals multimèdia. Aquests es poden connectar a un recurs de xarxa com internet via un punt d'accés wifi. Aquest punt d'accés wifi té uns 20 metres en interior fins a alguns centenars en camp obert. La cobertura pot ser dins d'una habitació amb parets i obstacles que bloquegen el senyal, fins a diversos kilòmetres utilitzant punts d'accés intermedis amb antenes direccionals [Viquipèdia].

L'any 1999 un grup d'empreses es van unir per crear WECA, avui en dia conegut com a Wi-Fi Alliance amb l'objectiu de fomentar la tecnologia sense fils i la compatibilitat

entre ells. L'any 2000 treuen el IEEE 802.11b conegut com a Wi-Fi amb el que s'asseguren que tots els aparells que tinguin Wi-Fi poden treballar entre ells sense cap mena de problema. Avui en dia Wi-Fi es una de les tecnologies més utilitzades ja que permet la connexió entre dispositius sense fer servir cap mena de fil. El estàndard 802.11 va ser creat per substituir la capa MAC de la norma 802.3(Ethernet) fent així possible la compatibilitat entre una xarxa local sense fils 802.11 amb els servidors de xarxes locals(LAN) cablejades Ethernet.

En el cas del Wi-Fi existeixen diferents estàndards on les principals diferències són l'ample de banda i la velocitat de transmissió de les dades. Els estàndards més acceptats internacionalment són:

IEEE 802.11b

Es una modificació del 802.11 on s'amplia la transferència de dades a 11Mbps/s fent servir la mateixa banda de 2.4 GHz, també es va millorar els problemes que tenia per culpa de les interferències.

IEEE 802.11n

També esta basat en el 802.11 però van afegir la tecnologia MIMO on es fan servir varies antenes de transmissió i recepció per millorar el sistema i poder enviar més dades. També es va incorporar el **Channel Bonding** on es poden fer servir dos canals separats per enviar dades simultàniament.

IEEE 802.11ac

També conegut com a Wi-Fi 5G (ample de banda 5GHz) es una millora del 802.11n i es de l'any 2014. Consisteix en millorar la velocitat de transferència fins als 433Mbps/s per flux de dades, això permet la transferència de dades de 1.3 Gbit/s fent servir tres antenes.

3. ENGINYERIA DE CONCEPCIÓ

Aquest punt es descriu la solució que hem aplicat des d'un punt de vista funcional.

3.1 Estudi de les solucions plausibles

S'han considerat els possibles protocols que aportarien beneficis a l'objectiu d'aquest projecte i finalment s'ha decidit escollir el protocol 802.15.4 per les seves característiques.

En la Taula 2-1 es mostren alguns dels nodes per a xarxes de sensors més utilitzats amb les seves principals característiques. En aquest projecte es fa ús del segon i s'estudiarà amb més detall. Tmote Sky està fabricat per Moteix i després Sentilla, actualment també es pot aconseguir per Memsic o Advanticsys. A més a més els seus fitxers de disseny són públic permetent així que qualsevol pugui fabricar els seus propis nodes o fer modificacions d'aquests. Avui en dia IMote és una de les plataformes més potents quant a capacitat de computació ja que incorpora un processador ARM de 32 bits, i per tant un ús típic és com a gateway de una xarxa.

Pel que fa a microcontroladors, es poden observar tres famílies clarament definides: TI MSP430, ARM Atmel ATmega, on cal destacar TI MSP430 destaca pel seu baix consum d'energia, ARM per la seva potència de computació i Atmel ATmega pel seu ampli ús i suport.

Quant a transceivers destaca el CC2420 de Texas Instruments perquè permet comunicacions 802.15.4.

Nosaltres hem triat com a dispositiu final les plaques Tmote Sky i com a transceiver coordinador el CC2520 (Figura 3).



FIGURA 3. Imatge del dispositiu sensor Tmote SKY

Tabla 2-1: Comparativa entre motes.

	Procesador	Transceiver	Sensores
MICAz	Atmel AVR ATmega128L 128 kB Flash de programa, 4 kB RAM, 4 kB EEPROM	Chipcon CC2420 250 kbps 2.4 GHz	Módulos externos
Tmote Sky	TI MSP430F1611 8 MHz 10 kB SRAM, 48 kB Flash + 1024 kB	Chipcon CC2420 250 kbps 2.4 GHz	Humedad, temperatura y luz integrados
Waspnote	ATmega1281 14 MHz 8 kB SRAM, 128 kB Flash, 4 kB EEPROM	Modular (802.15.4, Bluetooth, wifi, 3G...)	Módulos externos
EyesIFX 1	TI MSP430F149 2 kB SRAM, 60 kB Flash	TDA5250 64 kbps 868 MHz	Temperatura, luz Módulos externos
IMote 1	ARM 7 TDMI 12 MHz 64 kB SRAM, 512 kB Flash	Bluetooth 2.4 GHz	
Iris mote	Atmel AVR ATmega1281 128 kB Flash de, 8 kB RAM	AT86RF230 2.4 GHz	Módulos externos
XYZ	ARM OKI ML67Q500x 57,6- 1,8 MHz 256 kB Flash, 32 kB RAM, 4 kB EEPROM, 2 Mb RAM externa	CC2420 250 kbps 2.4 GHz	Luz, temperatura, aceleración
Z1	TI MSP430F2617 16 MHz 8 kB RAM, 92 kB Flash	Chipcon CC2420 250 kbps 2.4 GHz	Temperatura, aceleración

Per a la comunicació fent servir el protocol WiFi s'han considerat dos possibilitats de maquinari que son les següents:

- Placa esp8266, basada en un mòdul WiFi que incorpora un processador 8051 per a la interconnexió sèrie entre el propi mòdul i el processador al qual connectar-se. Actualment s'utilitza molt per proporcionar connexió a internet a mòduls Arduino.
- Placa CC3200 Launchpad de Texas Instruments. Aquest dispositiu incorpora un processador molt més potent, un Cortex ARM que internament es connecta amb el mòdul WiFi. En aquest cas, per tant, no és necessari la introducció d'un processador master que envii comandes a l'altre processador.

Finalment es va decidir per la CC3200 Launchpad per que al Departament on s'ha desenvolupat el projecte disposava d'aquests equips i es volia testejar la seva funcionalitat. Es disposa també de molta documentació i ajudes relacionades amb el protocol WiFi.

3.2 Solució final

En aquest apartat és descriu l'arquitectura funcional de la solució. En aquest projecte és desenvolupa una aplicació que fa servir el protocol 802.15.4 i 802.11 per a transmissió de dades fent servir plaques de desenvolupament de Texas Instruments. Aquestes plaques són bàsicament la demoboard del CC3200, la TI's SimpleLink WiFi Family i les plaques de comunicacions *daughter board* basades en el component CC2520. La interconnexió de ambdues plaques dona lloc al dispositiu

coordinador/bridge que utilitzem per connectar per una banda amb la xarxa WiFi i per l'altra connectar-se a la xarxa de sensors WSN.

S'ha creat una aplicació a l'ordinador per a transmetre les dades rebudes des de el router a una base de dades dissenyada en Php. Finalment s'ha creat una pagina web on es mostren les dades emmagatzemades a la base de dades on l'usuari pot veure el resultat final.

Tal i com hem comentat anteriorment, el dispositiu coordinador incorpora les plaques que implementen el CC3200 Launchpad i CC2520 – CC2591 EM. Aquestes plaques són **demoboards** de Texas Instruments. El pin-out d'aquestes plaques no té res a veure, ja que inicialment estan pensades per aplicacions diferents. Per a la correcta comunicació entre les plaques CC2520 – CC2591 EM i CC3200 Launchpad s'ha creat una placa intermitja que fa de pont.

La xarxa de sensors pròpiament dita està formada per dispositius comercials: les Tmote Sky, que incorporen un microcontrolador MSP430F1611. Aquest dispositiu es connecta amb el transceiver de comunicacions CC2420 a través del port sèrie SPI, i enviar d'aquesta forma, les comandes i les dades necessàries per a la transmissió de dades. Les característiques principals del Tmote Sky són:

- Transceiver CC2420 de 250 Kbps a 2.4GHz basat en IEEE802.15.4
- Microcontrolador MSP430F1611 que treballa a 8MHz, amb 10Kb de RAM i 48 Kb de Flash
- ADC, DAC, supervisor de voltatge i controladora de DMA integrada
- Antena integrada en placa
- Sensors d'humitat, temperatura i llum
- Ràpid wake-up (<6usegons)
- Port d'expansió de 16 pins per connectar altres sensors

Per tal que l'aplicació tingui portabilitat s'ha fet servir llenguatges de programació com C i Java que són independents dels sistemes operatius on s'executi l'aplicació.

3.3 Esquema de la solució final

A la Figura 4 es mostra la solució final del projecte a nivell de diagrama de blocs. S'aprecien dues parts ben diferenciades, per una banda tenim la xarxa LAN pròpiament dita on tenim una subxarxa basada en Ethernet amb uns quants equips connectats. Paral·lelament tenim una subxarxa WiFi amb un punt d'accés que connecta aquesta subxarxa al switch general. Les dues subxarxes segueixen l'estàndard TIA/EIA 568 i 569. Tots els equips implementen el protocol DHCP, sent el router l'encarregat de distribuir les adreces IP als diferents equips. Les IP subministrades corresponen a IP privades classe C. És el router qui s'encarrega de fer el canvi de IP privada a IP pública implementant el protocol NAT.

Per altra banda tenim la xarxa de sensors (WSN). Aquesta xarxa segueix l'estàndard IEEE802.15.4 amb una topologia estrella on el node central o coordinador actua també com a Gateway WiFi. Aquest Gateway és el que es connecta al punt d'accés, obtenint la IP del router. Entre l'entrada de la LAN i el router col·loquem un Firewall per tal d'evitar atacs exteriors. Donat que la nostra xarxa WSN envia les dades a una base de dades accessible des de una pàgina web, necessitem un servidor web que col·loquem fora de la zona segura, el que es coneix com zona desmilitaritzada o DMZ.

La xarxa de sensors WSN i les xarxes LAN estan físicament juntes i compartint freqüència de portadora, tot i que el tipus de transmissió és diferent, en altres paraules, la zona de treball és la mateixa, però la transferència de dades és totalment diferent. La WSN transmet els valors dels sensors que té connectat, així com comandes de control. La mida d'aquestes trames és de uns quants bytes. Per altra banda la transmissió de dades a través de les xarxes LAN pot anar de uns quants KBytes a centenars de MBytes. L'esquema general de la solució és el següent:

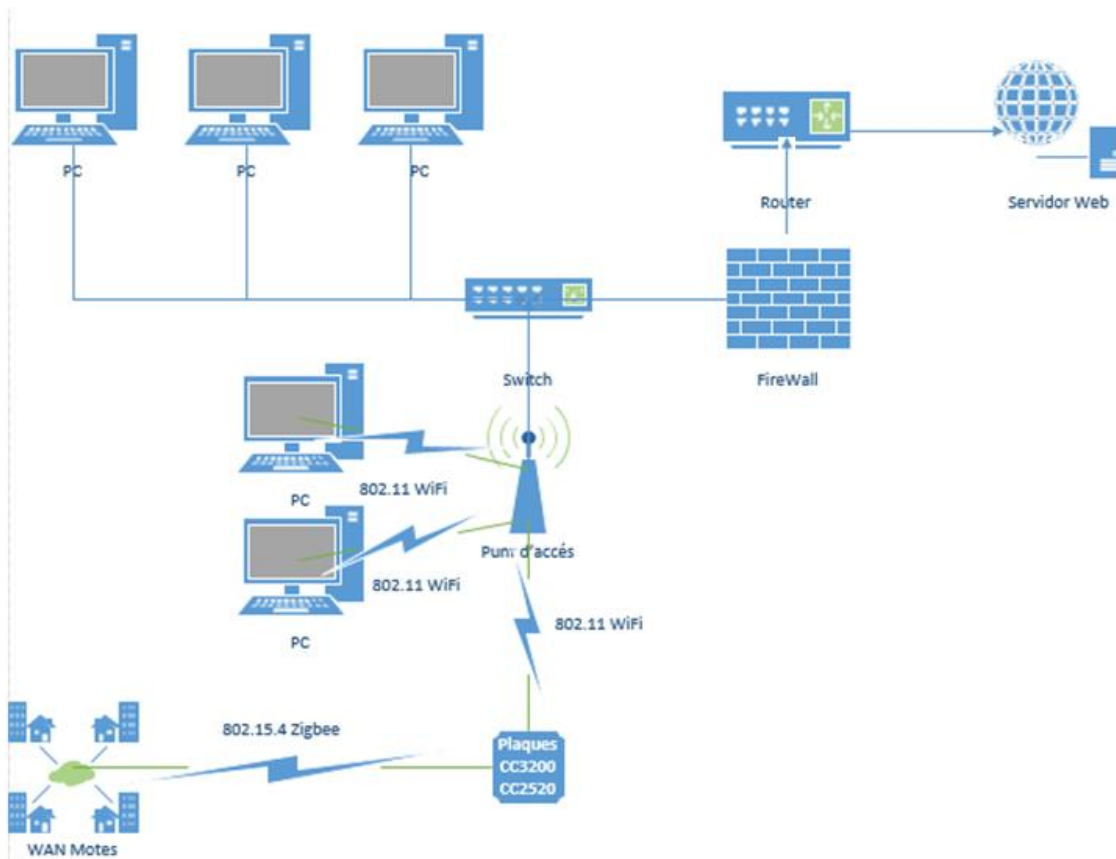


FIGURA 4. Esquema de la solució funcional del projecte

Components i anàlisi de blocs de les diferents parts

Els components de la solució final es detallen a nivell funcional segons on estan situats a nivell físic.

3.4 Disseny de la xarxa WLAN

Una xarxa d'àrea local sense fils (WLAN) es un sistema de comunicació flexible molt utilitzat per substituir les xarxes locals amb cables. Fan servir la tecnologia de radiofreqüència en bandes ISM. Actualment la més utilitzada es la centrada en la freqüència 2.4 GHz. La utilització d'aquest tipus de xarxes és la seva comoditat, i flexibilitat, en front a les xarxes cablejades. En contra tenim un menor ample de banda (fins a 54 Mb/s, tot i que els nous estàndards poden arribar a tasses superiors), la seva major vulnerabilitat, i els efectes d'atenuació que poden presentar-se. Tot i això, les xarxes WiFi cada cop més s'estan imposant per sobre de les clàssiques Ethernet. Les característiques principals de les WiFi són:

- La mobilitat que ofereixen al transmetre informació en temps real des de qualsevol punt dins del radi d'acció.

- La gran facilitat d'instal·lació que permet al no fer servir cables, ja que no s'han de modificar les estructures tal i com passaria amb els cables.
- La gran flexibilitat que proporciona, ja que pot arribar a llocs on un cable no o podria fer.

3.4.1 Requisits per al disseny d'una xarxa WLAN

- Un punt d'accés o AP(Acces Point), es el dispositiu que fa de pont entre la xarxa cablejada i la xarxa sense fils. Es pot dir que serà l'antena a la que ens connectarem. Cal dir que cada vegada més, els propis routers incorporen integrat el punt d'accés, cosa que fa que, per petites aplicacions, no calgui la implantació d'un punt d'accés extern.
- Accés Wi-Fi. La pràctica totalitat dels equips portàtils d'avui dia incorporen una NIC (Network Interconnect Card) WiFi que permet la connexió de l'equip amb el punt d'accés de forma (pràcticament i depenent del sistema operatiu amb el que es treballi) immediata. Els equips de sobretaula sovint no porten aquestes NIC, però existeixen USB-WiFi que permeten la connexió de l'equip al punt d'accés.
- Direcció IP, nombre que identifica inequívocament un dispositiu lògic connectat a la xarxa. Aquesta adreça ha de ser única. Una adreça IP es representa mitjançant un nombre binari de 32 bits (IPv4). Les adreces IP s'expressen com nombres de notació decimal: es divideixen els 32 bits de l'adreça en quatre octets (un octet és un grup de 8 bits). El valor decimal màxim de cada octet és 255 (el nombre binari de 8 bits més alt és 11111111, i aquests bits, de dreta a esquerra, tenen valors decimals d'1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 i 128, la suma dels quals és 255). Un exemple d'adreça IP podria ser 192.168.1.123. Aquest és un exemple típic d'IP en xarxa local. Poden ser IP públiques direcció que ens identifica a internet o ip privades que es la direcció que ens identifica a dins de la xarxa local.
- Mascara de subxarxa, es la xifra de 32 bits que especifica els bits d'una direcció IP que correspon a la xarxa, en el nostre cas, tenim adreces de classe C privades. En aquest cas, i donat que no apliquem *subnetting* el valor de la màscara és 255.255.255.0
- Porta d'enllaç que es la direcció IP privada del nostre router. El router s'encarregarà de traduir l'adreça privada en adreça pública, aplicant el protocol NAT. Entre router i switch central col·loquem el Firewall, implementat per software en el propi router

3.4.2 Topologia de la nostra xarxa: Topologia estrella

Tot i que aquest apartat podria considerar-se que ha d'anar dins de l'apartat anterior, donada la importància de la topologia i com es distribueixen els nodes, tant a nivell WiFi com a nivell WSN, considerem convenient explicar-ho com a punt apart. Cal dir que les dues subxarxes no interaccionen entre elles, tot i que els nodes poden estar barrejats (distribuïts físicament de forma aleatòria tot i que tenen un enllaç wireless clarament fixat). Fixem-nos que els dos protocols treballen a la mateixa freqüència de portadora: 2.4GHz, tot i això, la capa física és totalment diferent. Mentre que la WSN implementa una DSSS OQPSK a 250Kbps, WiFi modula en OFDM a 45Mbps, codificant en DSSS o FHSS.

Finalment, comentar que la topologia estrella consisteix bàsicament en connectar tots els dispositius a un node comú també conegut com a router o switch i totes les comunicacions estaran obligades a passar per aquest node. Els dispositius no estan connectats directament entre ells. Es fa servir sobretot per a xarxes locals ja que es molt senzill afegir nous dispositius i es molt simple la connexió, per altra banda en cas que el node principal pateixi problemes tota la xarxa fallarà.

3.5 Xarxa WSN

La xarxa de sensors WSN segueix una topologia tipus estrella, amb el node coordinador col·locat relativament a prop del punt d'accés sense fils i els nodes finals distribuïts al laboratori. Tenim un total de 5 nodes distribuïts, que mesuren la temperatura, la humitat i la llum, i que envien les dades al coordinador només quan aquest els hi demana. El protocol implementat es divideix en tres parts:

3.5.1 Detecció dels nodes

En aquesta primera fase s'inicia la comunicació des del coordinador cap a la resta de nodes de la xarxa. Com a primer pas el node coordinador enviarà una trama de reconeixement en mode broadcast amb l'adreça del coordinador com a dispositiu origen. En el camp de dades, s'inclou com a payload un 0xFF. Quan la resta de nodes reben aquest missatge, responen enviant en mode unicast (adreça origen la seva, adreça destí la del coordinador) i com a identificador de comanda 0x0F.

Aquesta fase finalitza amb l'enviament per part del coordinador, també en mode unicast de un ACK indicant que s'ha rebut l'adreça del node final, en cas que el node no rebí el ACK aquest tornara a enviar la trama. El coordinador guarda aquesta adreça en el seu banc d'adreces. La figura 5 mostra el diagrama d'aquesta comunicació.

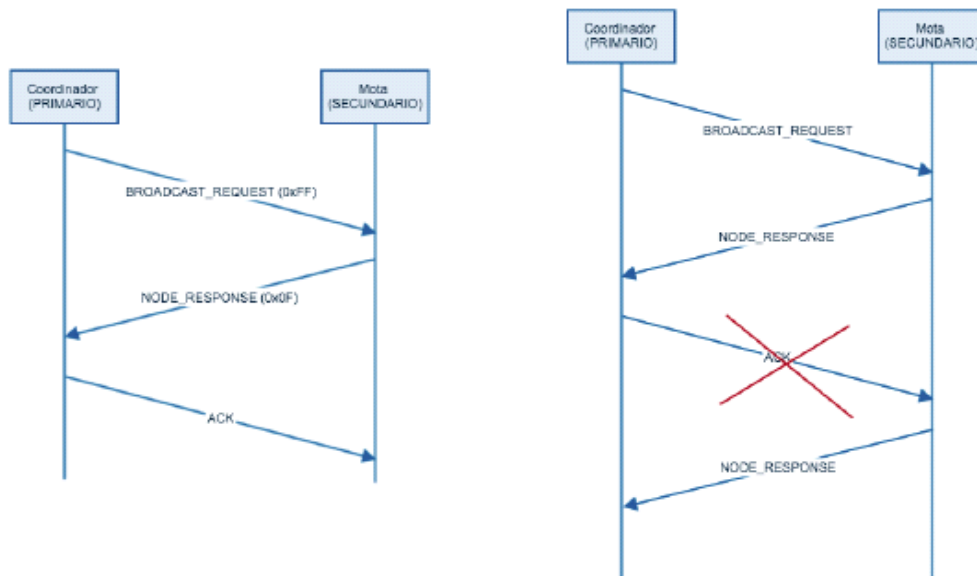


FIGURA 5. Fase de descobriment de nodes per part del coordinador de la WSN

3.5.2 Sincronisme entre dispositius

Un cop tots els dispositius estan degudament identificats, el coordinador envia una trama a cada un dels dispositius finals, l'objectiu de la qual és la minimització del seu consum. En aquest sentit, quan el node final rep aquesta trama, passa a un estat de mínim consum (SLEEP MODE), despertant-se només durant 100 msegons (Finestra d'escolta) i dormint durant els restants 900 msegons. Això produeix un duty cycle del 10%, es a dir, si el cicle de procés dura un segon, el dispositiu final només està despert durant 100 msegons.

La figura 6 mostra com el coordinador inicia aquesta fase enviant una trama amb la comanda START_VRT (0xAE). Obligatòriament el dispositiu secundari ha de respondre amb VRT_STARTED (0xAA) i executar aquest període cíclic de escolta (10% del temps) - dorm (90% del temps)

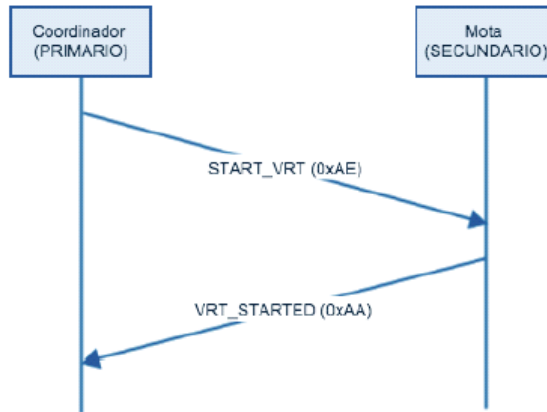


FIGURA 6. Inici del protocol de optimització del consum energètic de la xarxa WSN

3.5.3 Petició de Dades

Aquest serà el mode normal de treball. Quan el coordinador vol una dada d'un dispositiu final qualsevol, enviarà una petició de dades VRT_REQUEST i restarà a l'espera de la resposta per part del node secundari. Donat que aquest node només pot respondre durant el període d'activitat (10% del temps associat al duty cycle), si el coordinador no rep la resposta esperada, tornarà a enviar la comanda VRT_REQUEST fins que el node secundari passi a l'estat despert i envii la comanda VRT_RESPONSE. Si el procés s'allarga més de 1 segon, el coordinador donarà per suposat que la bateria del dispositiu s'ha acabat i eliminarà a aquest dispositiu de la seva base de dades.

La figura 7 mostra el diagrama de flux d'aquesta fase per el node coordinador i un dels nodes secundaris.

Finalment, el coordinador anirà guardant les dades que va capturant i les enviarà a la base de dades.

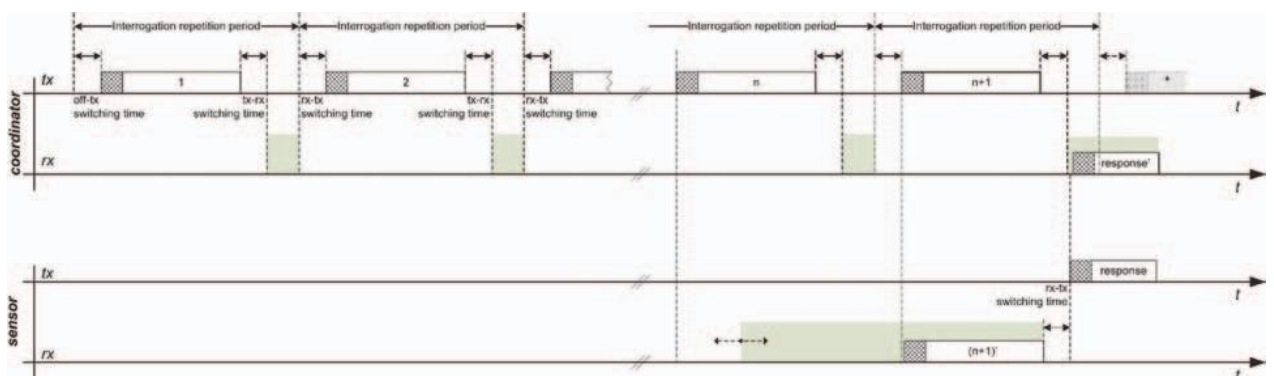


FIGURA 7. Diagrama de flux de sincronisme i interconnexió entre el coordinador i un node secundari.

3.6 Interfície amb l'usuari: La Pàgina web

Per donar una interfície gràfica a l'usuari de la visualització de dades s'ha creat una pàgina web que és independent de l'aplicació principal. Aquesta estat desenvolupada en html, css i php i utilitza una llibreria per a la visualització de gràfiques.

La pàgina web mostra com a pantalla principal un llistat d'universitats i en seleccionar una es mostren les dades d'aquesta, les dades s'agafen en temps real de la base de dades on estan emmagatzemades totes les dades rebudes des de la xarxa WSN.

3.6.1 Llenguatges i llibreries per a la pàgina web

Php Hypertext Preprocessor

Es un llenguatge de programació d'us general amb codi del costat del servidor. Originalment va ser dissenyat per al desenvolupament web amb contingut dinàmic. Suporta una gran quantitat de bases de dades com la que es fa servir per aquest projecte MySQL.

CSS (Cascading Style Sheets)

És un llenguatge que és fa servir per a definir i crear la presentació d'un document estructura en html. Es tracta de separar l'estructura d'un document de la seva presentació. La informació d'estil es pot definir tant en un document separat com en el mateix HTML.

HTML (HyperText Markup Language)

El llenguatge HTML es basa en la filosofia del desenvolupament basat en referències. Per afegir un element extern (imatge, vídeo, script) no es fa directament en el codi, sinó que es fa una referència a la ubicació d'aquest element mitjançant text. D'aquesta manera la pàgina web conté només text, i la feina recau en el navegador web que ha d'interpretar el codi i unir tots els elements per a la visualització de la pàgina web final.

Amcharts (Comparison of Adobe Flex charts)

Es una llibreria que ens ajuda en la visualització de gràfiques.

3.7 Base de dades del servidor

Eines per a la creació de la base de dades

Les eines que he fet servir per a la creació de la base de dades son les següents:

- Xampp
- MySQL
- PhpMyAdmin

XAMPP

És un paquet de programari lliure que conté el servidor HTTP Apache, base de dades de MySQL i eines necessàries per utilitzar el PHP.

MySQL

És un llenguatge de programació per a base de dades, una base de dades és una estructura de taules que contenen informació. l'he triat perquè es un llenguatge molt utilitzat i potent en el món de les bases de dades i amb el qual puc fer totes les consultes, insercions i eliminacions de dades.

PhpMyAdmin

És l'eina que utilitzo per crear la base de dades i en la qual es pot escriure en MySQL. Aquesta eina permet la creació, eliminació i modificació de bases de dades a través d'una pagina web fent servir internet.

3.7.1 Descripció de l'estructura de la base de dades

La base de dades esta formada per quatre taules, la primera taula tindrà la informació corresponent a la localització de les motes i estarà formada per dos camps on el primer camp tindrà un identificador únic (Primary Key) el segon camp una descripció (Figura 8). La segona taula conté les dades de la humitat que ha registrat una mota, aquesta segona taula te tres camps, el identificador, la humitat i la data en el moment de la mesura. La tercera taula te les dades de les temperatures, està formada per tres camps que son el identificador, la temperatura i la data de la mesura. Finalment la quarta taula té les dades de la pressió, esta formada per tres camps que són el id, la pressió i la data.

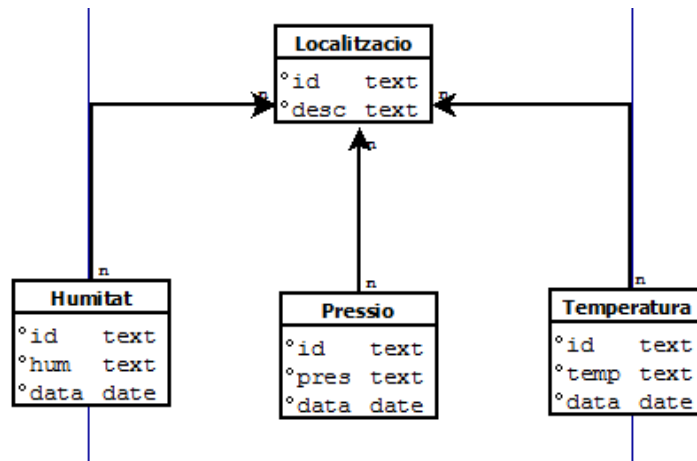


FIGURA 8. Mostra la relació de la base de dades

3.8 Aplicació al servidor

L'aplicació del servidor sempre es trobarà en execució per tal de rebre totes les dades i es divideix en tres parts.

- **Recollida de dades:** El programa selecciona un port predeterminat anteriorment i és posa a escoltar, en rebre una petició l'aplicació obre un socket pel qual llegeix les dades.
- **Tractament de dades:** L'aplicació llegeix tota la cadena de dades que rep del port i les tracta fent servir un protocol ja definit anteriorment. D'aquesta manera es tracten les dades rebudes depenent del seu contingut, també es comproven els possibles errors que hi ha pogut haver en la transmissió de les dades. Per pantalla es mostren els resultats de les dades ja tractades.
- **Enviament de dades:** En aquest punt ja tenim totes les dades i les afegim a la taula de la base de dades a la que corresponen.

3.9 Descripció de la solució final. Integració dels conceptes previs

L'arquitectura general de la solució prevista per implementar una aplicació sobre xarxes de sensors intel·ligents fent servir Zigbee en una xarxa wifi es la següent:

- S'executa el protocol descrit en l'apartat anterior per formar la WSN i executar la transmissió de les dades entre els diferents nodes finals, Tmote sky, basant-se en el protocol 802.15.4 i que comunica les dades amb el coordinador de la xarxa, la placa de TI que incorpora el CC3200 i que actua de coordinador de la WSN. Aquesta targeta incorpora una placa específica de adaptació per tal de poder connectar-li un transceiver per a la WSN constituït pel component CC2520. La placa incorpora a més un amplificador que permet augmentar el radi de cobertura i integra l'antena de comunicacions.
- La demoboard de TI que incorpora el CC3200 actua de passarel·la, recopilant les dades que rep des de la WSN a través de la seva interfície IEEE802.15.4 i formant la trama per tal d'enviar tota aquesta informació cap a la base de dades a través de un enllaç WiFi (802.11).
- En el servidor s'executa una aplicació que s'encarrega d'agafar les dades enviades per la placa CC3200 Launchpad i guardar-les a la base de dades específicament desenvolupada per aquest projecte.

- La pagina web finalment agafa les dades que es troben a la base de dades i les fa servir per mostrar a l'usuari final el valor dels paràmetres ambientals.

4. ENGINYERIA DE DETALL

4.1 Arquitectura de les comunicacions

4.1.1 Protocol de comunicació Motes - CC2520

El protocol que s'ha fet servir per a la comunicació entre les Motes i la placa CC2520 – CC2591 EM és el ja esmentat anteriorment en el punt "Xarxes de comunicacions de dades sense fils" 802.15.4. Aquest protocol ens aporta tot el necessari per a aquest projecte per les seves característiques. Els requeriments d'aquest protocol per les comunicacions són:

- Té una velocitat limitada de transferència de 250kbit/s que és superior a la que necessitem nosaltres.
- Permet la transferència de dades fent servir una freqüència de 2.4 GHz.
- La comunicació entre les motes i el coordinador, que incorpora la placa CC2520 – CC2591 EM està limitada per la distància, la potència de transmissió i la sensibilitat del receptor. Per altra banda també està influït pel tipus de propagació entre el receptor i el transmissor.

Tot aquest protocol està implementat tant en el coordinador com en les motes.

4.1.2 Descripció de la trama del protocol 802.15.4

Format general de la MAC

El format de la trama MAC està compost per un MAC Header o MHR, un payload de la MAC i un camp final o MFR que inclou la detecció d'errors. Els camps de la MHR (capçalera de la MAC) sempre apareixen en un ordre establert, en canvi els camps de l'encaminament pot ser que no estiguin inclosos en tots els marcs. De forma general la trama MAC té el format com el de la següent figura.

Octets:2	1	0/2	0/2/8	0/2	0/2/8	variable	2
Frame control	Sequence number	Destination PAN identifier	Destination address	Source PAN identifier	Source address	Frame payload	Frame check sequence
Addressing fields							
MAC header						MAC payload	MAC footer

FIGURA 9. Descripció dels diferents camps de la capçalera MAC del IEEE802.15.4

Frame de control

El camp de control de la trama esta format per un total de 16 bits i conte informació que defineix el tipus de trama. Coorespont amb el primer camp de la figura 9. A la figura 10 es pot veure el format del camp de control així com la funcionalitat dels diferents bits involucrats.

Bits: 0-2	3	4	5	6	7-9	10-11	12-13	14-15
Frame type	Security enabled	Frame pending	Ack. Req.	Intra PAN	Reserved	Dest. addressing mode	Reserved	Source addressing mode

FIGURA 10. Camp de control de la capçalera MAC constituït per 16 bits

Frame type

El camp Frame type esta format per 3 bits i te uns dels valors que es mostra en la següent taula depenent del tipus de missatge que volem enviar en la trama, aquets valors estan reservats (taula 2).

Valor del camp "type" b ₂ b ₁ b ₀	Descripció
000	Beacon
001	Dades
010	Ack
011	Comanda MAC
100-111	Reservat

Taula 2. Tipus de trama depenent del camp type inclòs en els primers tres bits del Frame control

4.1.3 Protocol de comunicació CC2520- CC3200

El CC3200 ha de comunicar-se amb el CC2520 mitjançant un dels busos que incorpora el dispositiu CC3200. Per aquests tipus de comunicacions, el bus més usualment utilitzat i que es recomana pel fabricant és el SPI (Serial Peripheral Interface), tot i que també s'ha tingut que modificar la GPIO (General Purpose Input/Output). El bus SPI és fa servir principalment per a la transferència de dades entre els dos circuits, aquest és un estàndard per a controlar qualsevol dispositiu que accepti flux de bits regulats pel

rellotge. El protocol té una línia de rellotge, una línia de dades entrants, una línia de dades sortints i una línia de xip select com es pot observar a la figura 11, que activa o desactiva el mòdul de comunicacions del dispositiu amb què es desitja comunicar-se.

Protocol SPI:

- Es un protocol master - slave
- Només el master es capaç de controlar la línia del rellotge
- No es poden transferir dades a menys que el master habiliti el clock
- L'eslave posa al bus les dades a transmetre al master només quan aquest habilita la línia de clock
- La línia de Slave Select indica a l'eslave quan el master vol iniciar una comunicació per a l'intercanvi de dades

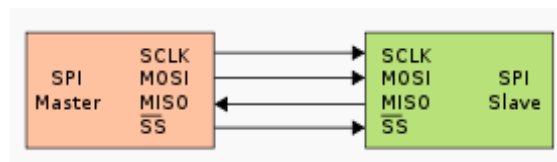


FIGURA 11 Bus SPI entre el master i l'eslave

4.1.4 Protocol de comunicació CC3200 – ordinador

Per a la comunicació entre la placa CC3200 Launchpad i el ordinador s'ha triat el protocol WiFi el qual ja s'ha descrit anteriorment en el punt "Xarxes de comunicacions de dades sense fils". Tot seguit es descriuen els requeriments que imposa aquest protocol pel que fa al disseny de les comunicacions.

Protocol WiFi 802.11 b:

- Té una velocitat màxima de transmissió d'11 Mbps, que és molt superior a la que es requereix per al projecte.
- Permet la transferència de dades a través de la interfície aèria fent servir una freqüència a la banda industrial, científica i mèdica (ICM) de 2,4 GHz.
- La comunicació entre l'ordinador i la placa CC3200 Launchpad està limitada per les mateixes característiques que les del protocol 802.15.4.

Tot aquest protocol està implementat en el codi del CC3200.

El format de la trama MAC és el que es pot observar a la Figura 12.

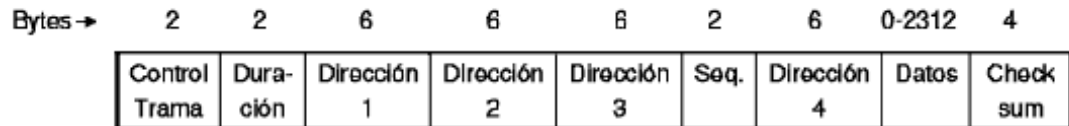


FIGURA 12. Format de la trama MAC del protocol 802.11

El camp de control de trama conte informació que defineix el tipus de trama. Es pot veure el format del camp de control en la Figura 13.

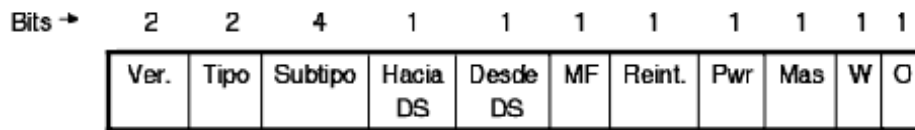


FIGURA 13. Format de la trama de control del protocol 802.11

4.2 Arquitectura del hardware

L'arquitectura del hardware esta formada pels següents components:

- Ordinadors (PC)
- Servidor (PC)
- Switch
- Router
- Placa CC3200 Launchpad
- Placa intermitja
- Placa CC2520 – CC2591 EM
- Motes (MPS430 - CC2420)

Maquinari dels ordinadors (PCS)

Es requereix un ordinador (PC) comú per a executar l'aplicació que fa la comunicació amb la placa CC3200 Launchpad a través del router. Un ordinador comú vol dir que els seus requeriments de memòria ram, disc dur, processador i els perifèrics que ha de tenir són els d'un ordinador que es comercialitza avui en dia.

Per establir aquesta comunicació és necessari que els ordinadors tinguin una interfície ethernet per tal de fer la comunicació amb el router. Avui en dia la gran majoria d'ordinadors disposen d'aquesta interfície. Per altra banda l'ordinador ha de poder executar la màquina virtual de Java per així poder executar el programa desenvolupat.

Maquinari del Servidor (PC)

El servidor al igual que els ordinadors d'escrits a l'apartat anterior a de ser un ordinador comú amb les mateixes característiques. A més a més el servidor a de tenir ja instal·lat MySQL i una base de dades amb un format ja establert prèviament per tal de emmagatzemar les dades que va rebent i per altra banda PhpMyAdmin per la configuració de la pagina web.

Switch

És l'aparell que permet connectar diversos equips (tants com línies d'interconnexió tingui) a la Ethernet. Normalment es connecta amb una de les línies al router a través del qual suministra les IP als dispositius. En aquest projecte treballarem amb DHCP.

Es requereix un switch comú però està obligat a tenir un punt d'accés WiFi, ja que s'era l'encarregat de fer les comunicacions entre la placa CC2520 – CC2591 EM, els ordinadors i el router.

Router

Ha de ser un router comú, el qual es comunicarà amb el switch i el servidor fent servir un cable ethernet. La configuració del router ha de preestablerta per tal que a l'hora de fer la comunicació amb el CC3200 aquest sàpiga el nom, la contrasenya i el tipus de seguretat que té. Donat que s'ha fet servir la infraestructura del Departament d'electrònica, el router i el switch utilitzats són gestionats pel personal responsable.

4.2.1 Placa CC3200 Launchpad

Com es pot observar a la figura 14 el dispositiu CC3200 incorpora un microprocessador ARM Cortex - M4 que s'encarrega de fer la comunicacions amb els perifèrics que conté el CC3200.

El subsistema d'aplicacions MCU conté un nucli estàndard ARM Cortex - M4 d'alt rendiment que funciona a 80 MHz. El dispositiu inclou una gran varietat de dispositius incloent la UART i el SPI. També inclou una memòria RAM flexible per a codi i dades i una ROM amb el gestor d'arrancada flash.

El subsistema de processador de xarxa WiFi se l'anomena com a Internet-on-a-Chip i conté una MCU ARM dedicada addicional. Aquest subsistema inclou el 802.11 b/g/n de radio i també inclou TCP /IP i altres protocols d'internet.

El subsistema d'administració d'energia integra un conversor DC-DC que suporta una ampla gama de tensions d'alimentació. Aquest subsistema permet els mode de consumo de baixa potencia, com la hibernació que fa servir menys de 4 µA de corrent.

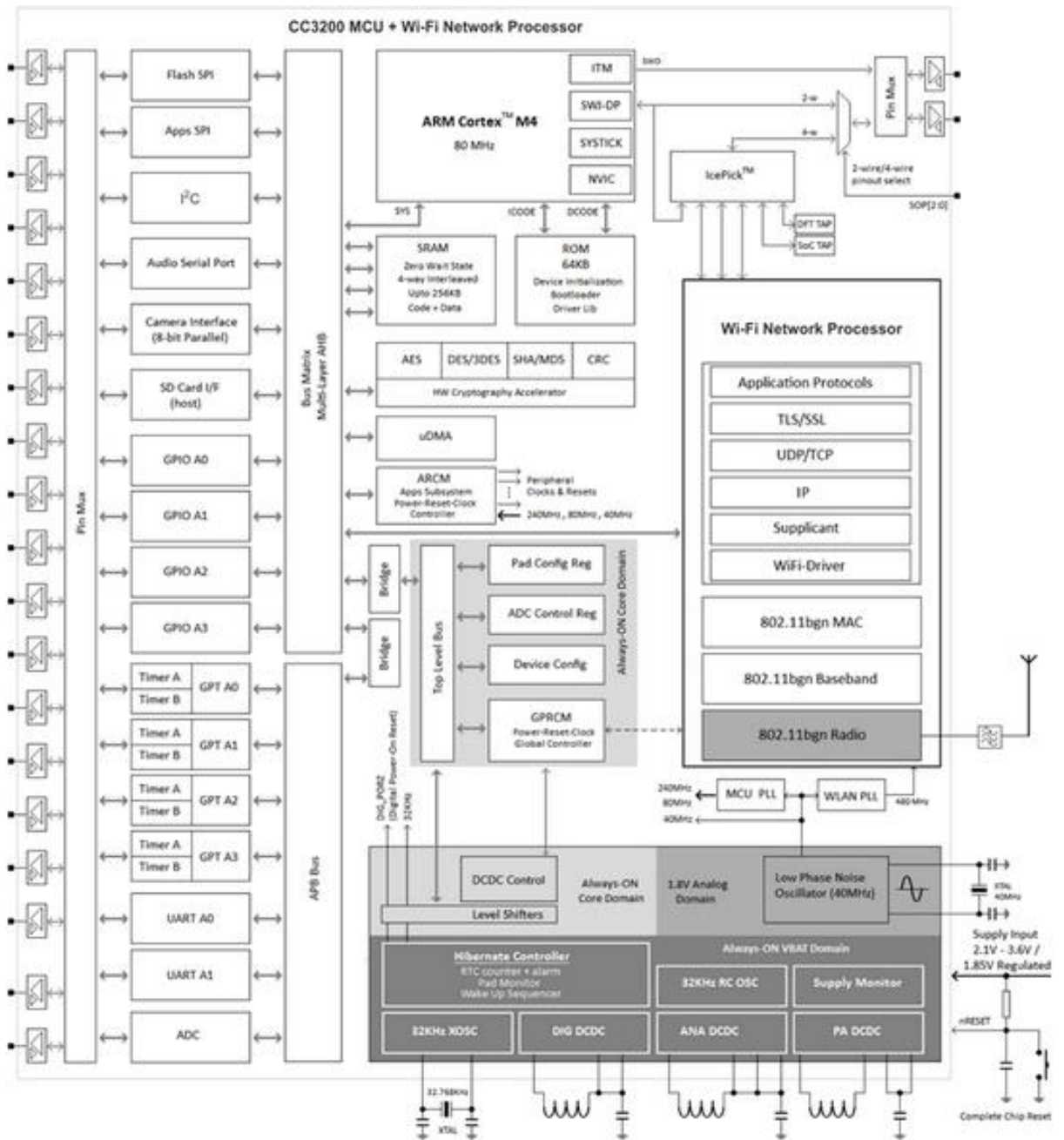


FIGURA 14. Diagrama de blocs del microcontrolador CC3200

La placa CC3200 Launchpad disposa dels següents components principals:

- Microcontrolador
- Connectors necessaris a la placa

4.2.2 Dspositiu CC3200

El component CC3200 és la peça més important de la solució i es la que permet la comunicació i configuració de la placa CC2520 – CC2591 EM i per altra banda l'enviament de dades amb el router.

El CC3200 esta format per 64 pins com es pot observar a la figura 15.

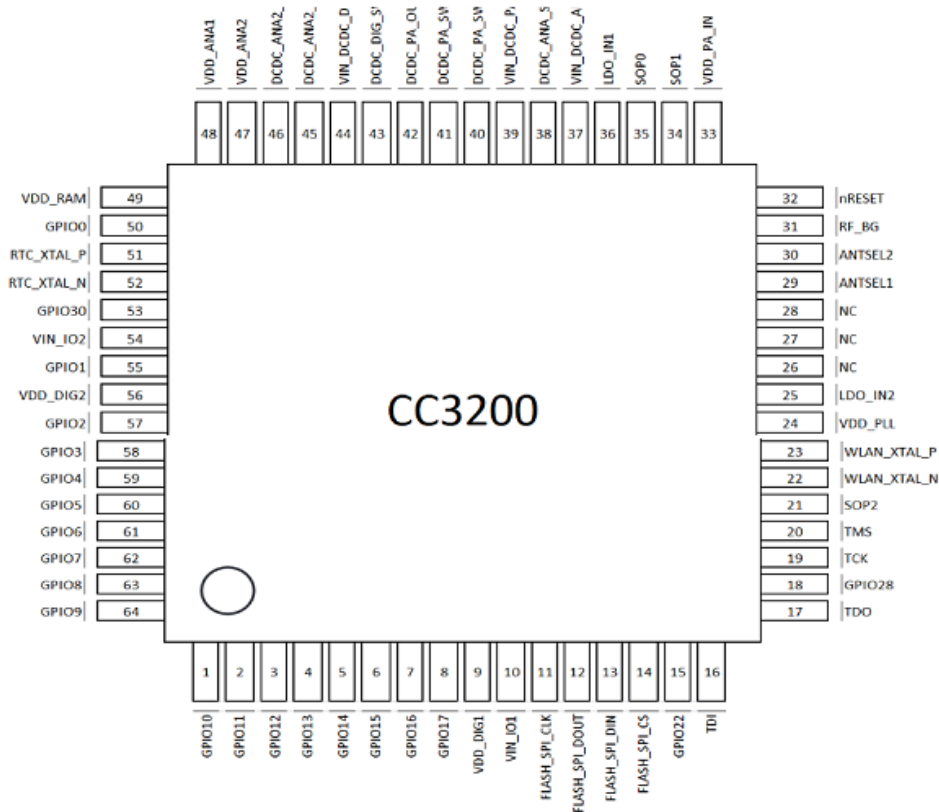


FIGURA 15 Esquema dels pins del CC3200

També cal destacar la importància dels pins de sortida de la placa ja que a tingut un paper important a l'hora de fer el projecte. En la figura 16 es poden veure els pins de sortida de la placa CC3200 Launchpad.

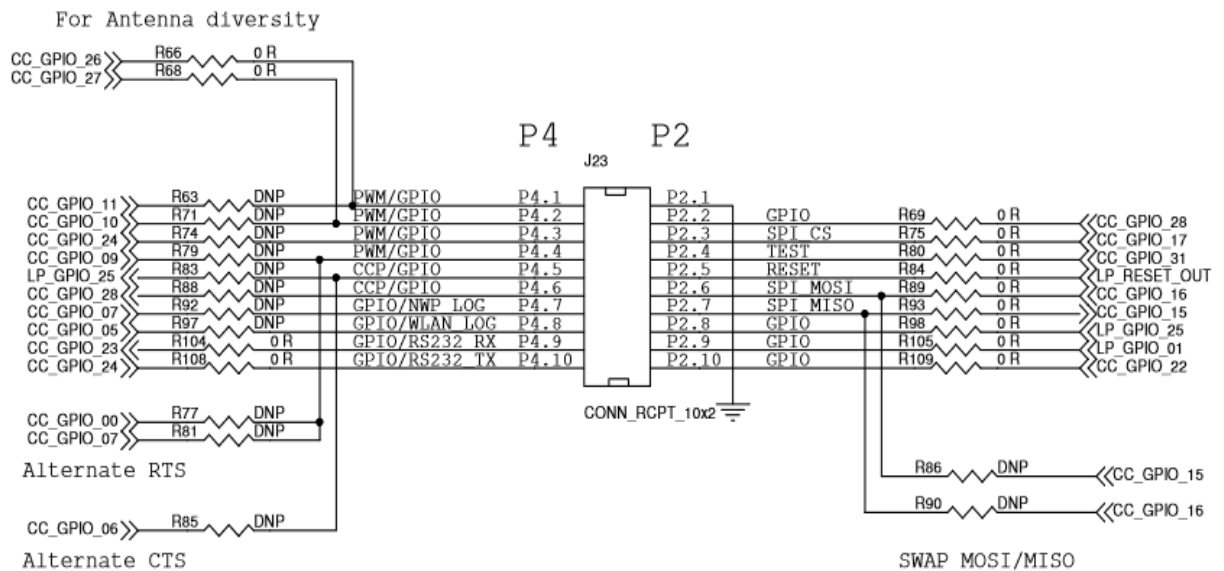
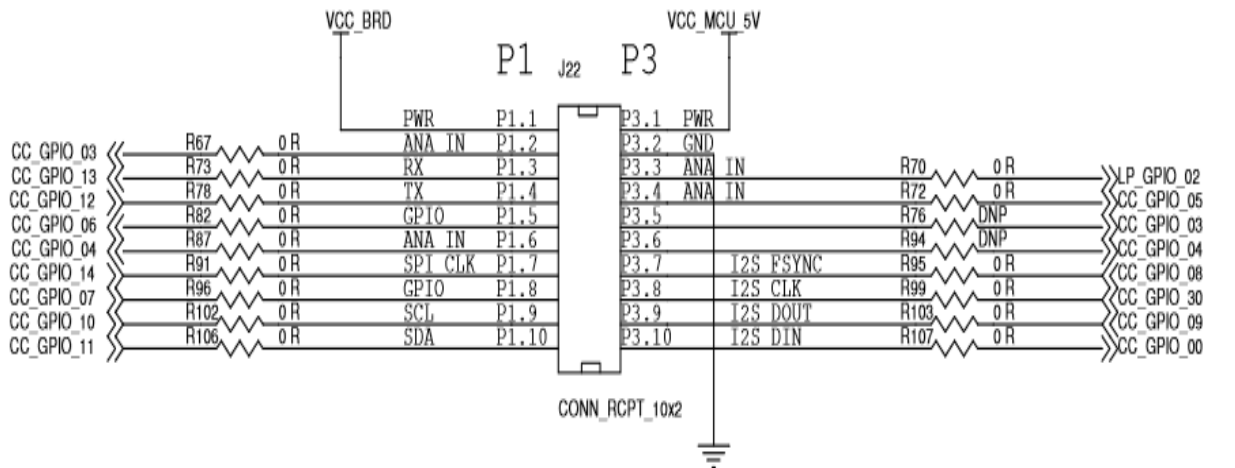


FIGURA 16. Pins de sortida de la placa CC3200 Launchpad

4.2.3 Selecció del CC3200

S'ha seleccionat el microcontrolador CC3200 degut a que compleix amb tots els requeriments funcionals i de detall, també perquè disposa de totes les eines necessàries de desenvolupament i programació en llenguatge C.

El CC3200 es molt utilitzat per les seves característiques de baix consum energètic, facilitats a l'hora de treballar amb WiFi, la gran documentació i el preu econòmic que te.

Característiques generals del CC3200:

- ARM Cortex-M4 Core at 80 MHz
- 32-Channel Direct Memory Access (μ DMA)
- Advanced Low-Power Modes
- Dedicated External SPI Interface for Serial Flash
- Wi-Fi Network Processor Subsystem
- Temperature Range: -40°C to 85°C

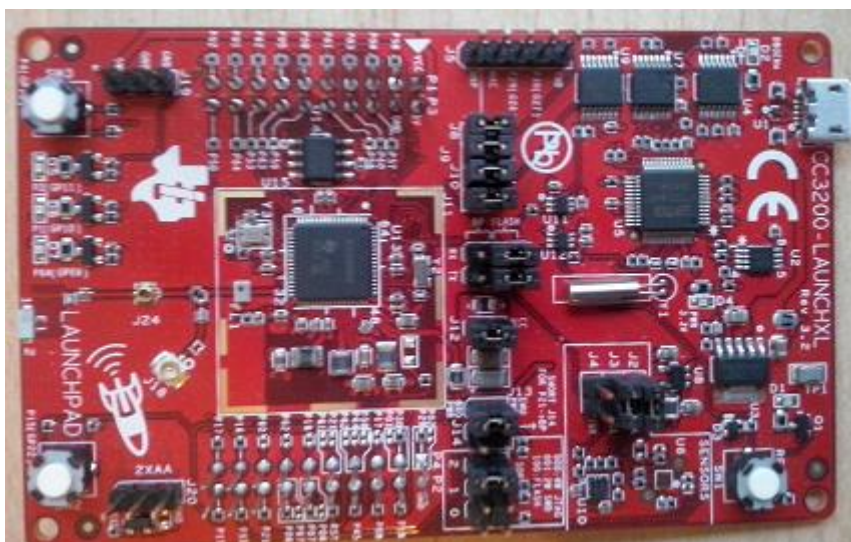


FIGURA 17. Placa CC3200 Launchpad

4.2.4 Placa intermitja

La figura 18 mostra el pin out de interconnexió que tenen les plaques del CC3200 Launchpad i la placa del CC2520 – CC2591 EM. Donat que els pins de sortida del CC3200 Launchpad no concordaven amb els de la placa CC2520 – CC2591 EM s'ha hagut de crear una placa intermitja que es pot observar a la figura 19 i que permet la comunicació entre les dos. En la figura 18 es pot observar el pins de la placa intermitja inicial, ja que en un moment del projecte més avançat es va tenir que modificar. En la part esquerra de la imatge esta el CC3200 Launchpad i en la part dreta el CC2520 – CC2591 EM. També es pot observar a la figura 19 la placa intermitja.

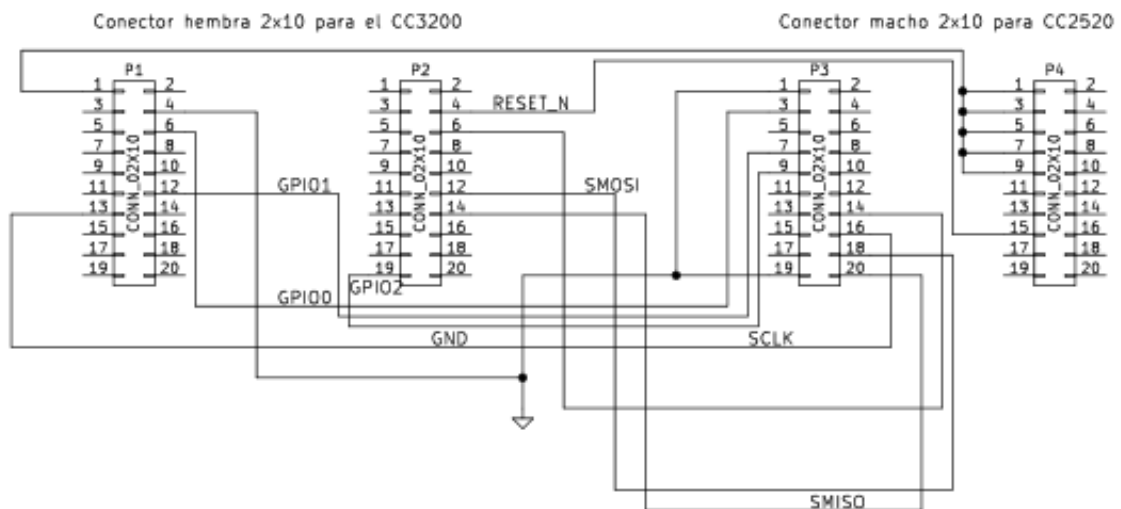


FIGURA 18. Pins de sortida de la placa intermitja

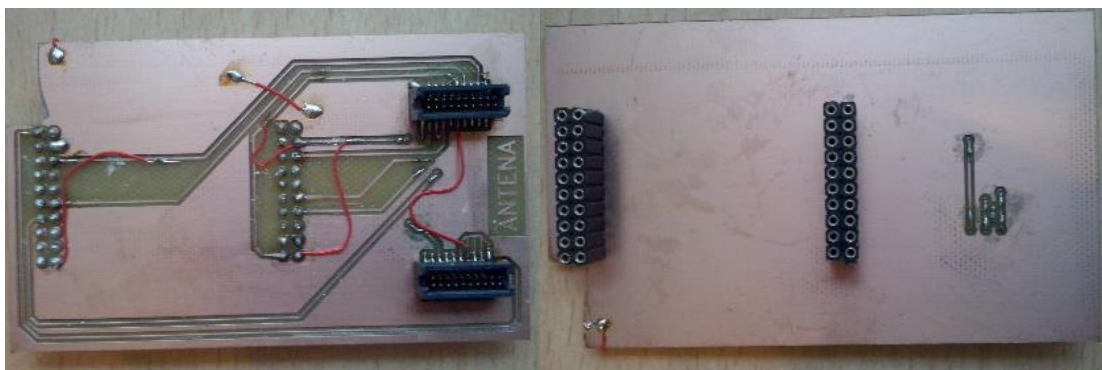


FIGURA19 Placa intermitja

4.2.5 Placa CC2520 - CC2591 EM

La placa CC2520 disposa dels següents components principals:

- Transceiver de comunicacions CC2520
- La part de radiofreqüència i l'antena

- Pins d'entrada en concordança amb els de la placa intermitja



Figura 20. Transceiver CC2520

Transceiver CC2520

Es la part principal d'aquesta placa. S'ha seleccionat el CC2520 de Texas Instruments ja que compleix amb tots els requeriments funcionals i disposa de suport per a la implementació del protocol 802.15.4, també per les seves eines de desenvolupament i la seva documentació. Aquest model és un dels més utilitzats juntament amb el CC2420 per a les solucions basades en el protocol 802.15.4. En la figura 20 és mostren els pins del CC2520.

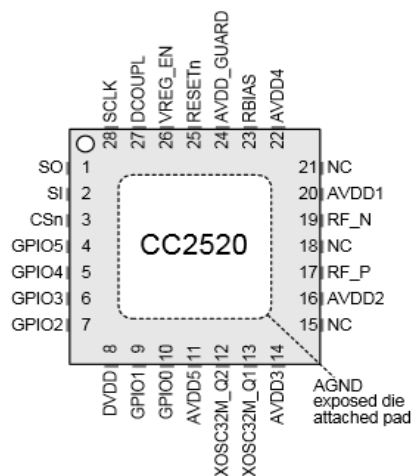


FIGURA 20. Pins del CC2520

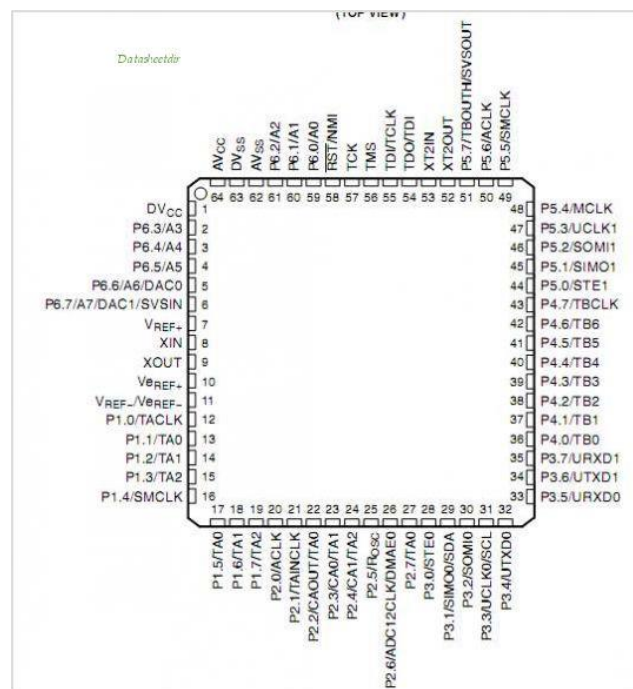
Característiques principals del CC2520:

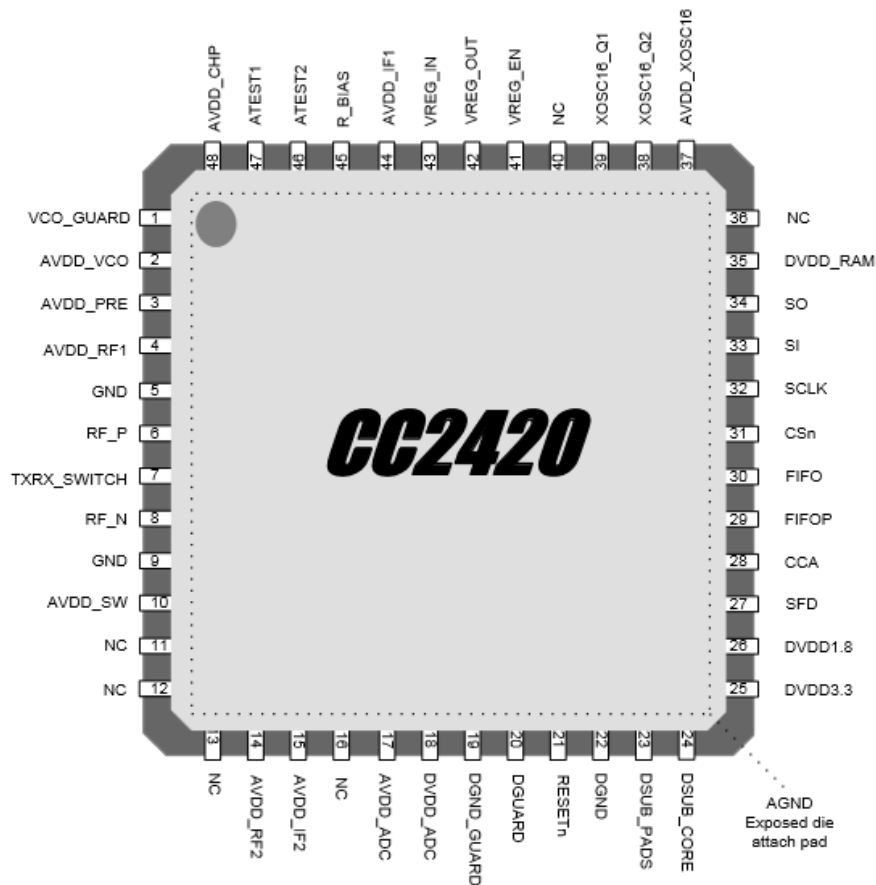
- Compleix el protocol 802.15.4 compatible amb la banda base DSS amb una velocitat de transmissió de dades de fins a 250 Kbps
- Consum de corrent molt baix (RX: 18.5 mA, TX: 25.8 mA)
- Interfície de configuració amb 4 fils per al SPI

El CC2520 pot treballar en la banda ICM de 2.4 GHz i compleix amb la regulació coberta per ETSI EN 300 328 i EN 300 440 class 2 (Europe), FCC CFR47 Part 15 (US) and ARIB STD-T66 (Japan) .

4.2.6 Notes

Les notes tenen com a part principal el microcontrolador MSP430F1611 i el transceiver de comunicacions CC2420, tots dos de Texas Instruments, s'han seleccionat les notes amb aquest microcontrolador perquè compleixen amb els necessitats que tenim en el projecte i és dona un gran suport per la implementació del protocol 802.15.4. En la figura 21 és mostren els pins dels dos dispositius: el MSP430F1611 i el CC2420.





(b)

FIFURA 21. Pin Out del MSP430F1611 i CC2420

Característiques principals del sistema TMOTE SKY:

- Compleix amb el protocol 802.15.4
- Consum de corrent baix (RX: 18.8 mA, TX: 17.4 mA)
- 128(RX) + 128(tx) byte de buffer per a les dades
- Interfície de configuració senzilla amb 4 fils per al SPI



FIGURA 22 . Tmote MSP430

4.3 Arquitectura software

4.3.1 Programa servidor

El programa del servidor el primer que fa es obrir el socket amb el numero de port que hem indicat.

```
serverSocket = new ServerSocket(portServidor)
```

Tot seguit el servidor (PC) espera a què un client (CC3200) envïi dades, i en rebre una petició es crida al mètode iniciarProtocol, aquest s'encarrega de mirar la capçalera de la trama en cas de correspondre's amb el protocol creat, s'accepta la trama i es continua llegint amb el mètode llegirTrama.

Aquest mètode primer de tot fa la connexió a la base de dades gracies a Java Database Connectivity més conegut com a JDBC, aquesta es una API que permet l'execució d'operacions sobre bases de dades des de java, independentment del sistema operatiu on s'executa o de la base de dades a la que s'accedeixi, fent servir SQL.

Un cop feta la connexió a la base de dades s'agafa la trama i es separa en diferents fragments per agafar els valor que volem. Tot seguit les parts separades son insertades a la base de dades a les seves taules respectives.

4.3.2 Base de dades

Primer de tot per a la creació de la base de dades com ja hem comentat en l'apartat "enginyeria de concepció" s'ha fet servir el Xampp per així treballar amb Apache i MySQL, es pot observar a la figura 23.

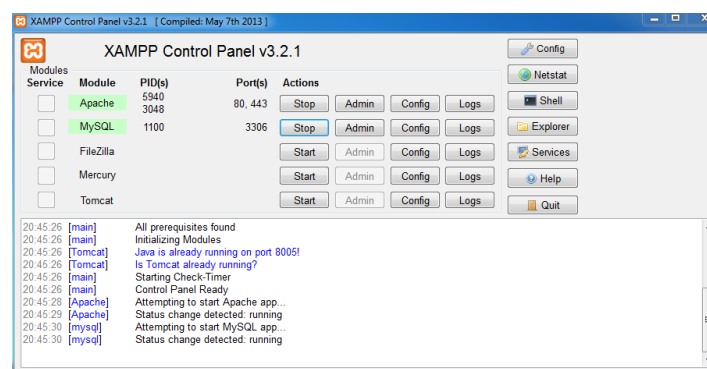


FIGURA 23. Visió de Xampp

Un cop executat, hem d'anar al navegador i posar localhost com a direcció URL per tal d'entrar al nostre servidor. Aquí sobre una pagina on apareix un menú i hem de seleccionar phpMyAdmin.

Un cop estem a phpMyAdmin seleccionem la opció de crear nova base de dades i en el nostre cas l'anomenem mydatabase. Ja creada, hem d'afegir les taules que tindrà la base de dades que en el nostre cas seran localització, humitat, pressió i temperatura. Al fer la creació de la taula se'ns demanen els camps que aquesta a de tenir, simplement s'han d'omplir amb les dades que nosaltres volem per al seu correcte funcionament. En la figura 24 s'observen els camps d'una taula sense complimentar encara per l'usuari.

Nombre	Tipo	Longitud/Valores	Predeterminado	Cotejamiento	Atributos	Nulo	Índice	A_I	Comentarios
	INT		Ninguno				...		
	INT		Ninguno				...		
	INT		Ninguno				...		
	INT		Ninguno				...		

FIGURA 24. Taules a omplir per l'usuari

Un cop tots els camps de la taula estan completats, es guarda la taula en la base de dades i així amb la resta de taules. Així finalment tindrem tota la base de dades ja completada com s'observa a la figura 25.

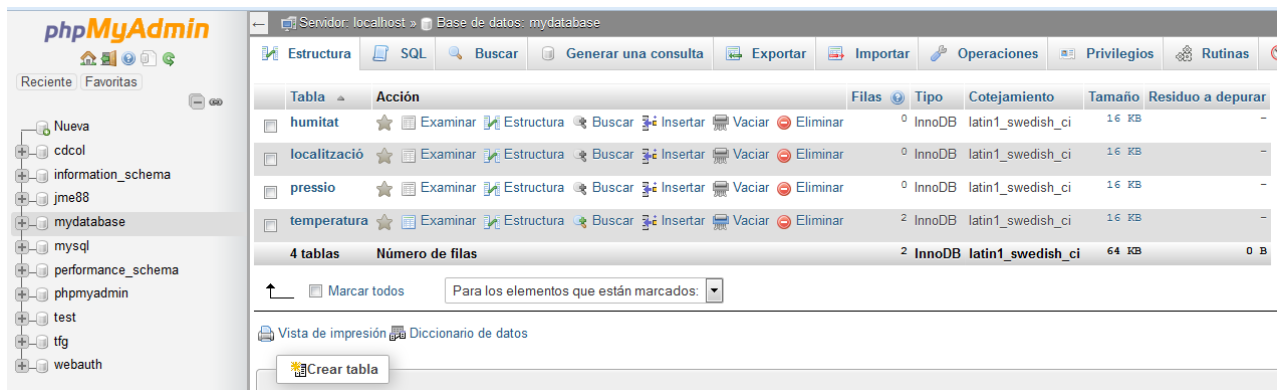


FIGURA 25. Base de dades completada per la nostra aplicació

4.3.3 Pagina web

La pagina web esta creada amb llenguatge HTML, PHP i CSS, en la pagina principal es mostra una taula d'imatges amb algunes universitats catalanes on estarien situats els dispositius que agafarien les dades ambientals. En el nostre cas només estan col·locades les motes de la UB. En la figura 26 es pot veure la pantalla principal de la pagina web. Aquesta te un disseny molt simple ja que no es tracta del tema principal del projecte i només es fa servir com interfície per a que l'usuari visualitzi les dades.



FIGURA 26. Pagina principal de la pagina web

L'usuari en seleccionar una de les imatges, entrara en una segona pantalla. Aquesta estarà formada per un conjunt de tres gràfiques (humitat, temperatura, pressió). Les gràfiques estaran actualitzades amb les dades agafades per les motes, d'aquesta forma tindrem la informació de l'ambient en temps real. La figura 27 mostra la segona pantalla de la pagina web.

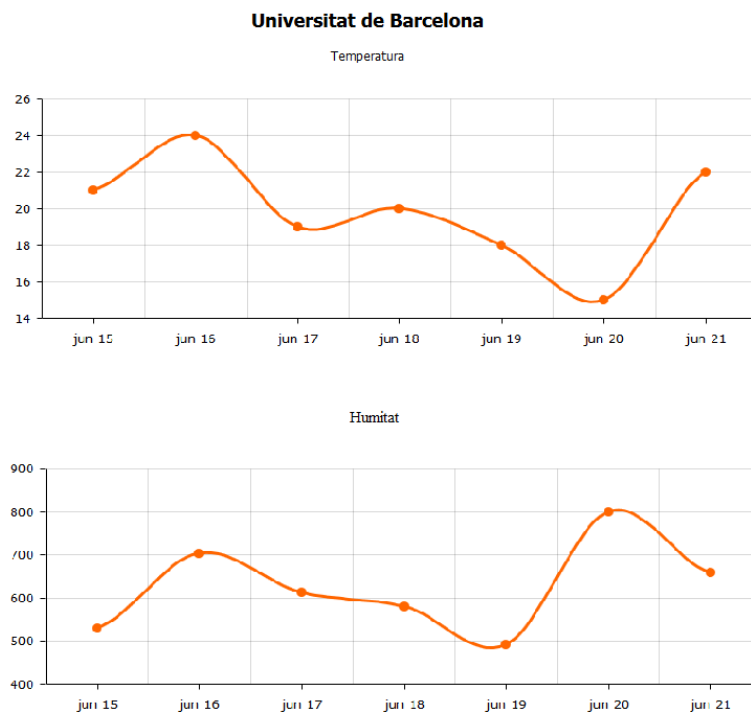


FIGURA 27. Pantalla amb les dades de les motes

4.3.4 Programació CC3200 – transceiver

El flux d'aquest programa és el que és mostra a la figura 28. Primer de tot es fan totes les inicialitzacions i configuracions necessàries. Un cop tot configurat fem la connexió amb el punt d'accés, en cas que aquesta es faci de forma correcta el programa continuara de forma normal i en cas contrari el programa finalitzara ja que no té sentit demanar les dades a les motes si aquesta informació després no es pot enviar a l'ordinador.

Al tenir ja feta la connexió amb el punt d'accés passem a enviar la trama Zigbee a les motes per tal que aquestes enviïn la informació que nosaltres volem, en cas que aquestes no responguin esperem un marge de temps i tornem a fer la petició, en cas de continuar sense rebre resposta finalitzem l'execució del programa i en cas de rebre la resposta, passem a tractar les dades rebudes i finalment les enviem al punt d'accés. Si s'envien de forma correcta repetirem el cicle a partir de l'enviament de dades del transceiver a les motes per continuar agafant la informació.

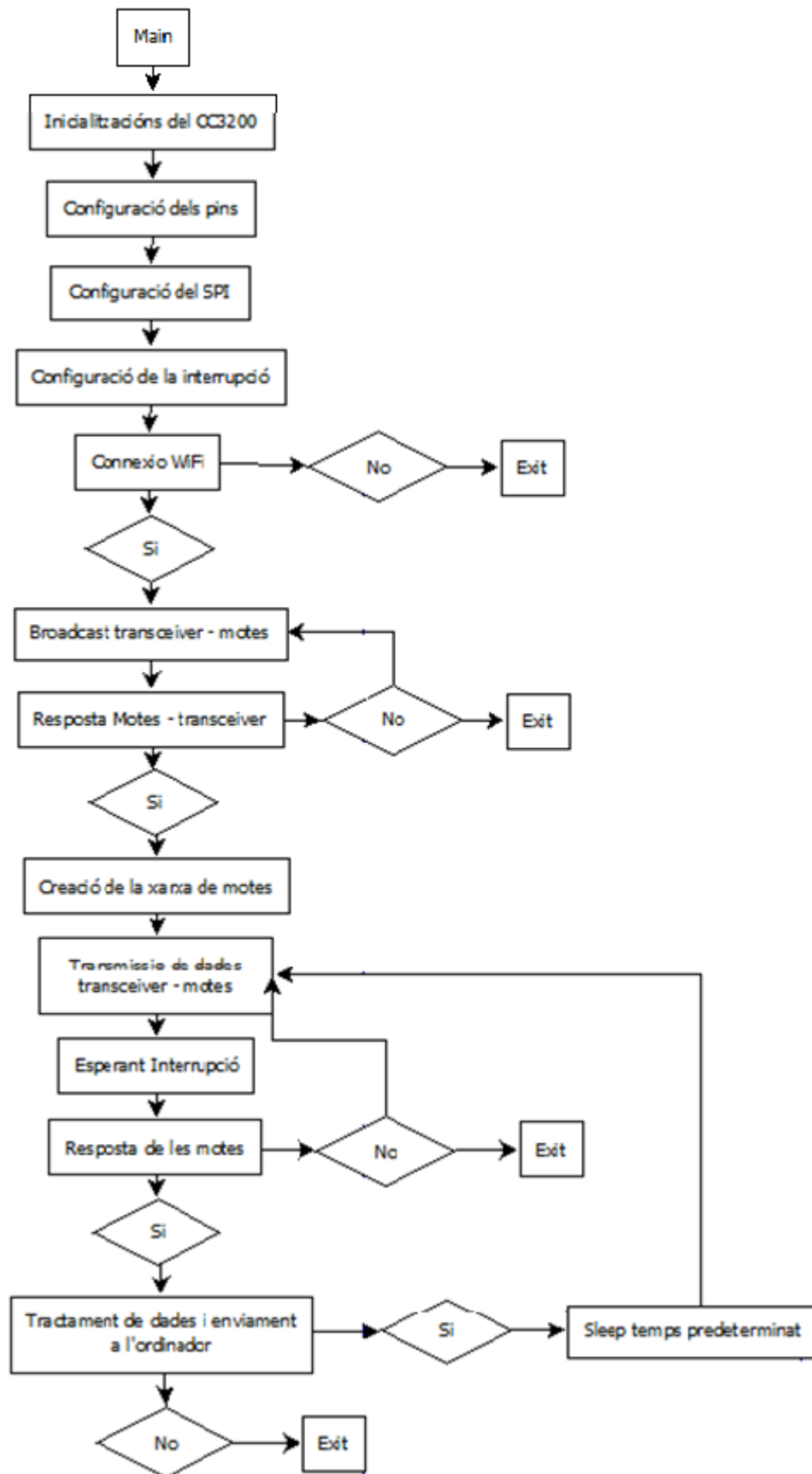


FIGURA 28 . Flux del programa CC3200 – transceiver

4.3.5 Implementació de la trama 802.15.4 d'enviament

En el mètode basicRfBuildHeader es crea la trama MAC (Wireless Medium Access) del protocol 802.15.4. Aquest mètode rep com a paràmetre d'entrada la mida màxima que pot tenir el MPDU (MAC protocol data unit), la direcció de destí i la mida del payload.

Per crear la trama s'han tingut que crear dos estructures de dades que son pConfig on és guardarà la configuració física i pHdr que s'era la configuració d'estructura del paquet. Les dos estructures tenen el següent format:

<u>Estructura del pConfig</u>	<u>Estructura del pHdr</u>
<pre>typedef struct { uint16_t myAddr; uint16_t panId; uint8_t channel; uint8_t ackRequest; } basicRfCfg_t;</pre>	<pre>typedef struct { uint8_t packetLength; uint8_t fcf0; uint8_t fcf1; uint8_t seqNumber; uint16_t panId; uint16_t destAddr; uint16_t srcAddr; } basicRfPktHdr_t;</pre>

L'estructura pConfig l'omplim nosaltres amb les dades físiques que volem que tingui (la nostra direcció, el canal, el panId i si a de tenir ack).

Abans de començar a explicar com omplim les dades de l'estructura del paquet cal dir que les dades enviades per SPI no poden ser més grans de 8 bits i per aquest motiu ens farà falta separar alguns camps de 16 bits com és el cas del camp de control.

El camp de control esta format per 16 bits, per posar un exemple en el cas que aquest tingues un valor de 0x8861 (1000 1000 0110 0001) el camp de control quedaria com el de la figura 29.

Bits: 0-2	3	4	5	6	7-9	10-11	12-13	14-15
Frame Type	Security Enabled	Frame Pending	AR	PAN ID Compression	Reserved	Dest. Addressing Mode	Frame Version	Source Addressing Mode
100	0	0	1	1	000	01	00	01

FIGURA 29. Camp de control amb valor 8861

Com hem comentat abans aquest camp es separa en dos parts Lfcf i Hfcf, per al Lfcf apliquem una mascara per agafar els últims 8 bits, i en Hfcf desplaçem 8 bits a la dreta per agafar la part alta dels 16 bits. Amb això ja tenim creat el camp de control.

```
Lfcf = 0x00FF & fcf;
```

```
Hfcf = (fcf >> 8);
```

```
pHdr->fcf0 = Lfcf;
```

```
pHdr->fcf1 = Hfcf;
```

Un cop tenim completat el camp de control, continuem omplint la resta de camps com els de la figura 30.

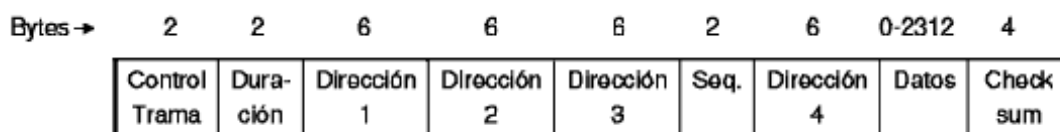


FIGURA 30*. Trama MAC del protocol Zigbee

Creació del camp Sequence number que te un total de 8 bits:

```
pHdr->seqNumber = txState.txSeqNumber;
```

Creació del camp destí pan id amb un total de 16 bits:

```
pHdr->panId = pConfig.panId;
```

L'adreça de destí de la nostra trama amb 16 bits:

```
pHdr->destAddr = destAddr;
```

I finalment l'adreça d'on prové la trama amb 16 bits:

```
pHdr->srcAddr = (pConfig.myAddr);
```

Una vegada esta creada tota la trama la enviem fent servir el protocol Zigbee a les notes. La següent imatge mostra la sortida d'un sniffer que registra la informació dels perifèrics i en ella es pot comprovar que l'enviament es correcte.

P.nbr. RX 185	Time (us) +17913 =3296714	Length 12	Frame control field Type Sec Pnd Ack.req PAN_compr DATA 0 0 1 1	Sequence number 0x00	Dest. PAN 0x2007	Dest. Address 0xBEEF	Source Address 0x2520	MAC payload 00	RSSI (dBm) -29	FCS OK
P.nbr. RX 186	Time (us) +17912 =3314626	Length 12	Frame control field Type Sec Pnd Ack.req PAN_compr DATA 0 0 1 1	Sequence number 0x00	Dest. PAN 0x2007	Dest. Address 0xBEEF	Source Address 0x2520	MAC payload 00	RSSI (dBm) -29	FCS OK
P.nbr. RX 187	Time (us) +17912 =3332538	Length 12	Frame control field Type Sec Pnd Ack.req PAN_compr DATA 0 0 1 1	Sequence number 0x00	Dest. PAN 0x2007	Dest. Address 0xBEEF	Source Address 0x2520	MAC payload 00	RSSI (dBm) -29	FCS OK
P.nbr. RX 188	Time (us) +17912 =3350451	Length 12	Frame control field Type Sec Pnd Ack.req PAN_compr DATA 0 0 1 1	Sequence number 0x00	Dest. PAN 0x2007	Dest. Address 0xBEEF	Source Address 0x2520	MAC payload 00	RSSI (dBm) -29	FCS OK
P.nbr. RX 189	Time (us) +17912 =3368363	Length 12	Frame control field Type Sec Pnd Ack.req PAN_compr DATA 0 0 1 1	Sequence number 0x00	Dest. PAN 0x2007	Dest. Address 0xBEEF	Source Address 0x2520	MAC payload 00	RSSI (dBm) -29	FCS OK

FIGURA 30. Sortida d'un sniffer de protocols Zigbee

4.3.6 El canal SPI

El canal SPI te una gran importància en el codi, aquest canal es el que s'utilitza per a la transmissió de dades entre el CC3200 i el transceiver (CC2520). La configuració del canal SPI es fa en el mètode Init2520() i consta de varies funcions.

Mètodes que actuen en la configuració del SPI

- MAP_PRCMPeripheralClkEnable(PRCM_GSPI,PRCM_RUN_MODE_CLK)
MAP_PRCMPeripheralReset(PRCM_GSPI)
- MAP_SPIReset(GSPI_BASE)
- MAP_SPIConfigSetExpClk(GSPI_BASE,MAP_PRCMPeripheralClockGet(PRCM_GSPI),
SPI_IF_BIT_RATE,SPI_MODE_MASTER,SPI_SUB_MODE_3,(SPI_SW_CTRL_CS|SPI_4PIN_MODE | SPI_TURBO_OFF | SPI_CS_ACTIVELOW | SPI_WL_8))
- MAP_SPIEnable(GSPI_BASE)

Just acabar de fer la configuració del SPI passem a fer la configuració del CC2520 fent servir el SPI.

Per a la configuració del CC2520, primer de tot creem una estructura que omplim amb les dades que trobem al datasheet del CC2520. Un cop tota l'estructura esta creada passem a enviarla a traves del SPI com es veu a continuació.

```
regVal_t *p;
p= regval;
while (p->reg!=0) {
    MEMWR2520(p->reg, p->val);
    p++;
}
```

Finalment definim seran els parametres del transceiver i tambe els emviem fent servir les següents funcions.

```
pConfig.myAddr= 0xBABA;
pConfig.panId= 0x2420;
pConfig.channel= 0x19;
```

```
pConfig.ackRequest= 1;

CC2520SetChanel(pConfig.channel);
CC2520SetAddress(pConfig.myAddr);
CC2520SetPanId(pConfig.panId);
```

4.3.7 Explicació de la comunicació CC3200 – Ordinadors

El CC3200 es connectarà a un punt d'accés AP i s'encarregarà d'enviar els paquets TCP amb les dades a una direcció de socket (mecanisme per a l'enviament de paquets de dades), numero de port i direcció IP.

Primer de tot es defineixen les variables amb les que es farà la connexió que són les següents:

- Nom SSID: L'SSID (Service Set Identifier) és un nom inclòs en tots los paquets d'una xarxa sense fils (Wi-Fi) per identificar-los com a part de la mateixa. El codi consisteix en un màxim de 32 caràcters que la majoria de cops són alfanumèrics (tot i que l'estàndard no ho especifica, així que pot consistir en qualsevol caràcter). Tots els dispositius sense fils que intenten comunicar-se entre si, han de compartir el mateix SSID.
- Adreça IP: És una etiqueta numèrica que identifica de manera lògica i jeràrquica una interfície d'un dispositiu (ordinador) dins de la xarxa que fa servir el protocol IP.
- Numero de port: És una interfície per a comunicar-se amb un programa a través de la xarxa. El numero del port s'indica amb una paraula de 16 bits, així que existeixen 65536 ports.
- Paquet TCP: És tracta d'un protocol per a l'enviament de dades, aquest s'encarrega d'agafar les dades del buffer i afegir una capçalera per acomplir amb el protocol a l'hora d'enviar les dades. En el nostre cas indiquem el número de paquets TCP que enviarem.

Aquestes variables poden tenir diferents valors depenent d'on es vulgui fer la connexió. En el meu cas el valor d'aquestes variables és el següent (classe common.h del codi):

- #define SSID_NAME "VodafoneF96E"
- #define IP_ADDR 0Xc0A800C1 (valor variable en el codi)
- #define PORT_NUM 5001
- #define TCP_PACKET_COUNT 1

També cal dir el tipus de seguretat que requereix el punt d'accés (router) i la contrasenya d'aquest:

- #define SECURITY_KEY "B82A7B7FF"
- #define SECURITY_TYPE "SL_SEC_TYPE_WPA"

Després de definir aquestes variables passem a fer la connexió WLAN AP a partir de les dades de seguretat del punt d'accés i el SSID. El mètode on és realitzada la connexió és el `WlanConnect`.

En cas de fer la connexió de forma correcta és crida a la funció `BsdTcpClient` (`usPort`). En aquesta funció primer de tot omplim el vector de dades `g_cBsdBuf` que serà la informació que enviarem a l'ordinador. Després s'omplen les dades del TCP socket i es fa la seva creació. Finalment s'envien les dades.

4.3.8 Explicació de la interrupció del transceiver (CC2520)

La interrupció és un senyal que indica que s'ha d'interrompre el curs d'execució actual i passar a executar codi específic per tractar aquesta situació. Una interrupció suposa una pausa en l'execució del programa, desant l'estat actual per passar a executar una subrutina.

En el nostre cas fem servir la interrupció per tal de detindre l'execució normal del transceiver quan una de les motes es vol comunicar amb ell. Per ser més exactes, el transceiver activa la interrupció quan rep un senyal pel port 0 de la GPIO 0. En la interrupció el mètode `IntRegister` indica el mètode al que és feta la crida quan s'activi la interrupció, que serà el `basicRfRxFrmDoneIsr`.

4.3.9 Mètode `basicRfRxFrmDoneIsr` de la interrupció

Aquest mètode és l'encarregat d'agafar les dades enviades per les motes (en activarse la interrupció).

Primer de tot es crea una estructura amb el format de les dades que rebrem seguint el protocol Zigbee. Tot seguit passem a llegir el primer bit de la trama, aquest indica la longitud de la trama. Per a la lectura del primer bit fem servir la funció que és mostrada a continuació.

```
unsigned char CC2520_RXBUF(uint8_t count, uint8_t *pData)
{
    unsigned char s;

    g_ucTxBuff[0] = CC2520_INS_RXBUF;

    for ( s = 1 ; s < (count + 1) ; s++)
    {
        g_ucTxBuff[s] = 0x00;
    }

    MAP_SPITransfer(GSPI_BASE, g_ucTxBuff, g_ucRxBuff, (count + 1),
                   SPI_CS_ENABLE | SPI_CS_DISABLE);

    for ( s = 0 ; s < (count) ; s++)
    {
        *pData = g_ucRxBuff[s+1];
    }
}
```

```

        pData++;
    }
    return s;
}

```

Si la longitud d'aquesta trama és d'un total de 5 bytes vol dir que aquesta és un ACK i la tractarem com a tal. En cas de ser diferent a 5 bytes implica que la trama és de dades.

En cas que la trama sigui de dades passem a llegir tants bytes com ens ha indicat el primer byte també fent servir la funció anterior. Un cop llegit totes les dades les guardem en una estructura i finalment agafaem els camps que ens interessa per enviarlos a l'ordinador.

4.3.10 Programació de les motes

Com es comenta en l'apartat "enginyeria de concepció" les motes tenen un funcionament força senzill, aquestes estan en mode "sleep" fins que reben una trama Zigbee del master (transceiver) en aquest moment s'activa una interrupció i s'agafen les dades de l'ambient, s'emmagatzemen i finalment s'envia una trama de resposta al master amb aquestes dades. Cal dir que la primera vegada que el master es comuniqui amb les motes aquestes li donaran la seva adreça per després saber amb qui està comunicant, però aquesta comunicació només es farà una vegada.

Quan les motes es reinicien, s'inicialitzen el ports i s'habiliten les interrupcions. En particular ens centrem en la interrupció de recepció SPI ja que ens ha d'indicar l'adreça del coordinador per tal d'iniciar el protocol de comunicacions. Un cop rebuda la petició d'identificació s'inicia el protocol, es transmet el ACK i s'envia l'adreça de la mota a l'espera de rebre la petició d'anar al mode de treball definit pel duty cycle implementat.

El programa principal simplement el que fa es enviar la mota a dormir, despertant-se tant sols durant 100 mseg. Escoltem el canal i esperem la interrupció de dades. Quan es detecta, es verifica l'adreça destí i en cas que el paquet sigui per la mota en qüestió, enviem les dades (Temperatura, humitat i pressió) i tornem a dormir.

S'ha implementat una interrupció cada segon (clock) per tal de muntar el duty cycle necessari per la nostra aplicació. Les funcions implementades son

Sleep() -> Apaguem tots els LEDs que incorpora la mota per veure visualment que hem entrat en aquest mode. Durant aquest procés, deshabilitem les interrupcions i passem al mode de baix consum executant la instrucció que implementa el MSP430: LPM3. Habilitem el flag sleeping.

Wake_up() -> Consisteix en implementar un contador que fa que sortim del mode de baix consum quan arribem a la finestra temporal definida. En aquest moment deshabilitem el flag de sleeping. Habilitem les interrupcions i escoltem el canal SPI per

tal de veure si arriba alguna trama del coordinador. Si no arriba tornem al mode Sleep(). Si arriba una trama passem a la funció Verify()

Verify()-> Aquesta funció simplement compara l'adreça destí de la trama rebuda amb la nostra trama. Si coincideixen vol dir que la trama és per nosaltres. Si no, tornem a la funció Wake_up()

Send_data() -> En cas que l'adreça destí coincideixi amb l'adreça de la mota, entrem en aquesta funció. Capturem les dades dels sensors i les encapsulem en una trama de dades del 802.15.4 i les enviem a través del port SPI cap al CC2420.

5. MILLORES POSSIBLES

Programació

- Una interfície d'usuari per al programa del servidor, per tal que l'usuari pugui interactuar amb el programa i vegi simplement la sortida de les dades.
- La pagina web podria tenir un disseny molt més apurat on l'usuari pogues gudar dades de certes dates per aplicar posteriorment estudis al respecte.
- Aplicar seguretat a les trames enviades en el protocol Zigbee per tal d'evitar atacs informatics.
- Una gran millora podria ser la modificació d'algun sistema o maquinari com a resposta a les dades que hem obtingut. Per exemple en el cas d'estar un sensor en un laboratori on es primordial que la temperatura mai sigui superior a 20 graus i el sensor detecti que la temperatura s'aproxima al llindar, programar tota la comunicació a l'inversa per tal d'ajustar aquesta temperatura a la que nosaltres volem de forma intel·ligent.

Maquinari

- Es podria unificar les tres plaques que fem servir perquè quedes una.

6. BIBLIOGRAFIA

[1] Plana web on hi ha el datasheet i més informació respecte les motes (tmote sky MSP430).

<http://www.eecs.harvard.edu/~konrad/projects/shimmer/references/tmote-sky-datasheet.pdf>

[2] Plana web de Texas Instruments on esta el datasheet i més documentació del CC2520.

<http://www.ti.com/product/CC2520/technicaldocuments>

[3] Plana web de Texas Instruments on esta el datasheet del CC3200.

http://www.ti.com/ww/en/simplelink_embedded_wi-fi/cc3200.html

[4] Plana web on hi ha exemples de funcionament de diferents programes creats per al seu funcionament en el CC3200 Launchpad

<http://processors.wiki.ti.com/index.php/CC32xx%20SDK%20Sample%20Applications?DCMP=cc31-32-launch&HQS=CC3200sampleapps>

[5] Plana web on s'explica la integració entre WSN i xarxes TCP/IP.

http://www.um.edu.uy/docs/5_estudio_de_la_integracion_entre_WSN_redes%20TCP_IP.pdf

[6] Plana web on s'explica d'etalladament les xarxes WSN.

<http://www.mfbarcell.es/>

[7] Plana web on hi ha informació respectiva a la creació de xarxes WLAN.

<http://www.cisco.com/web/LA/soluciones/la/wlan/index.html>

[8] Plana web on estan les especificacions del protocol Zigbee.

<http://home.deib.polimi.it/cesana/teaching/loT/papers/ZigBee/ZigBeeSpec.pdf>

[9] Plana web centrada en la domotica i la utilització de WSN.

<https://www.casadomo.com/>

[10] Plana web on s'explica la utilització del protocol Zigbee en domotica.

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

[11] Plana web d'Oracle per a mirar els requeriments de les maquines i el funcionament dels programes instal·lats.

<http://www.oracle.com/technetwork/java/index.html>

[12] Plana web w3schools.com per a la programació de la pagina web. En aquesta és mostra com fer la creació de la pagina web, com fer el disseny i l'estructura i també com fer crides a una base de dades i recuperar-les.

<http://www.w3schools.com/>

[13] Plana web on s'explica la utilització de amcharts per al disseny de grafiques en la pagina web.

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

[14] Plana web de Xampp, on s'explica com fer la instal·lació i configuració del Xampp.

<https://www.apachefriends.org/es/index.html>

[15] Plana web on s'explica la configuració i utilització de Code Composer.

<http://www.ti.com/tool/ccstudio>

[16] Plana web on s'explica la utilització de JDBC en java.

<http://www.adictosaltrabajo.com/tutoriales/tutorial-basico-jdbc/>

[17] Plana web on s'explica la creació d'un servidor TCP/IP.

<http://www.redeszone.net/2010/11/20/taller-de-practicas-cliente-y-servidor-tcp-en-java/>

[18] Plana web centrada en Wi-Fi i protocols relacionats.

http://www.dip-badajoz.es/agenda/tablon/jornadaWIFI/doc/tecnologias_wifi_wmax.pdf

[19] Plana web on s'explica el protocol 802.15 i les seves extensions.

https://es.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.15

[20] Plana web on s'explica l'obertura tancament i utilització dels sockets.

<https://docs.oracle.com/javase/tutorial/networking/sockets/>

[21] Plana web per a la construcció d'una xarxa Wi-Fi.

http://www.pdaexpertos.com/Tutoriales/Comunicaciones/como_montar_una_red_wi-fi_en_casa.shtml

[21] Llibre EQUISBI Desarrollo de aplicaciones con comunicación remota basadas en módulos Zigbee y 802.15.4 del autor Sergio R.Caprile