

Treball final de grau

Estudi: Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica

Títol: Desenvolupament d'un node sensor wireless per a pràctiques d'electrònica

Document: 1. Memòria

Alumne: Adrià Tort Serra

Tutor: Carles Pous Sabadí

Departament: Enginyeria Elèctrica, Electrònica i Automàtica

Àrea: Enginyeria de Sistemes i Automàtica

Convocatòria (mes/any) febrer / 2021

ÍNDEX

1.	INTRODUCCIÓ	5
1.1.	Antecedents	6
1.2.	Objecte	7
1.3.	Especificacions i abast.....	7
2.	NODE SENSOR LIBELIUM WASPMOTE.....	8
2.1.	Hardware i aspectes generals de Waspnote.....	8
2.1.1.	Microcontrolador	9
2.1.2.	Entrades, sortides i comunicacions.....	9
2.1.3.	Components built-in d'interfície d'usuari	9
2.1.4.	Perifèria al voltant del microcontrolador	10
2.2.	Alimentació elèctrica de la placa PCB.....	11
2.2.1.	Alimentació per connector USB	11
2.2.2.	Alimentació per panell solar i bateria	11
2.2.3.	Regulador de tensió i consums.....	12
2.3.	Arquitectura modular externa	12
2.3.1.	Mòduls Sensors	13
2.3.2.	Tecnologies i mòduls de comunicacions.....	13
2.3.3.	Software IDE de programació i mètodes	17
2.3.4.	Gateway, servei de cloud i de base de dades	18
3.	ESTUDI D'ALTERNATIVES	19
3.1.	Advanticsys XM1000.....	19
3.1.1.	Mote XM1000.....	19
3.1.2.	Gateway i concentrador de nodes sensors SG1000.....	20
3.1.3.	Núvol d'emmagatzematge de dades Concordia	20
3.2.	Texas Instruments SimpleLink LPSTK-CC1352R.....	21
3.2.1.	Mote SimpleLink LPSTK-CC1352R	21
3.2.2.	Gateway i accés a Internet.....	22
3.2.3.	Accés al núvol i emmagatzematge de dades.....	22

3.3.	Microchip pic IoT-WA	23
3.3.1.	Mote Pic-IoT WG.....	23
3.3.2.	Gateway i accés a Internet.....	24
3.3.3.	Accés al núvol i emmagatzematge de dades.....	24
3.4.	Maxim Integrated MAX32630FTHR	24
3.4.1.	Mote MAX32630FTHR.....	24
3.4.2.	Encaminador i accés a Internet.....	25
3.4.3.	Accés al núvol i emmagatzematge de dades.....	25
3.5.	Comparació motes	26
3.5.1.	Entrades i sortides	26
3.5.2.	Comunicacions cablejades i sense fils.....	27
3.5.3.	Consum.....	27
3.5.4.	Programació i núvol	27
3.5.5.	Conclusions.....	28
4.	DISSENY D'UN NODE SENSOR WIRELESS	29
4.1.	Planificació hardware node sensor	30
4.2.	Bloc del microcontrolador.....	31
4.2.1.	Microcontrolador ESP-32-WROOM-32.....	31
4.2.2.	Disseny del bloc Microcontrolador	32
4.3.	Bloc de comunicació i alimentació USB	34
4.3.1.	Comunicacions UART	35
4.3.2.	Bridge USB a UART.....	37
4.3.3.	Comunicacions USB	38
4.3.4.	Alimentació elèctrica mitjançant USB	40
4.3.5.	Disseny del bloc d'alimentació i comunicació USB	42
4.4.	Bloc BMS.....	47
4.4.1.	Estudi de bateries	47
4.4.2.	Carrega de bateries de Liti.....	50
4.4.3.	Protecció de bateries de Liti.....	52

4.4.4.	Descàrrega i ús de les bateries de Liti	53
4.4.5.	Disseny del circuit de càrrega de la bateria	55
4.4.6.	Disseny del circuit de protecció de la bateria	55
4.5.	Bloc regulador DC	57
4.5.1.	Estudi de reguladors	58
4.5.2.	Disseny del circuit regulador DC	59
5.	DISSENY, FABRICACIÓ I ASSEMBLATGE DEL CIRCUIT IMPRÈS	62
5.1.	Disseny de la PCB	62
5.1.1.	Layout de la PCB	62
5.1.2.	Traçat de pistes	63
5.2.	Fabricació de la PCB	66
5.3.	Assemblatge PCB	67
5.4.	Tests PCB	69
6.	TESTS I VALIDACIONS DEL NODE SENSOR	70
6.1.	Entorn de programació	71
6.2.	Programació i testos node sensor	75
6.2.1.	Programa Hello World	75
6.2.2.	Programa intermitència led built-in	75
6.2.3.	Programa interrupcions sensor PIR i led	76
6.2.4.	Programa light sleep loop	77
6.2.5.	Programa despertar light sleep per interrupció externa	78
6.2.6.	Programa despertar deep sleep per timer	79
6.2.7.	Programa servidor Wi-Fi	79
6.2.8.	Programa servidor Bluetooth	80
6.2.9.	Programa comunicacions XBee	81
6.2.10.	Programa comunicació Google Cloud MQTT	82
7.	RESUM DEL PRESSUPOST	88
8.	CONCLUSIONS	89
9.	RELACIÓ DE DOCUMENTS	90

10. BIBLIOGRAFIA.....	91
11. GLOSSARI	96
A. CÀLCULS CARREGADOR DE BATERIES BQ24012DRCR.....	101
B. CÀLCUL BMS.....	103
B.1. Circuit integrat de protecció BQ2700DSET	103
B.2. Circuit integrat monitorització tensió TPS3710	105
C. CÀLCUL BLOC REGULADOR DC TPS63021.....	111
D. CONFIGURACIÓ D'ENTORN ARDUINO IDE	113
E. CODI PROGRAMES	115
E.1. Programa Hello World	115
E.2. Programa intermitència led built-in.....	115
E.3. Programa interrupcions sensor PIR i led	115
E.4. Programa light sleep loop.....	116
E.5. Programa despertar light sleep per interrupció externa	117
E.6. Programa despertar deep sleep per timer.....	118
E.7. Programa servidor Wi-Fi	119
E.8. Programa servidor Bluetooth.....	121
E.9. Programa comunicacions XBee	121
E.10. Programa comunicació Google Cloud MQTT.....	123

1. INTRODUCCIÓ

Una xarxa WSN (Wireless sensor network), es compon de dispositius autònoms i compactes anomenats nodes sensors. Aquestes xarxes tenen un enorme potencial en infinitat de camps, com per exemple en les grans ciutats. El seu objectiu principal, és recollir tot tipus de dades, com per exemple temperatura, presència, nivells de la qualitat de l'aire, monitorització del trànsit, entre molts altres usos. Les WSN, també s'apliquen en altres camps, com l'enginyeria, amb finalitats tals com monitoritzar estructures d'edificis o ponts, usos ambientals per obtenir dades dels oceans o de la contaminació de l'aire, usos agrícoles i de ramaderia, per analitzar nivells de composició del sòl, o rendiment de les parcel·les, controlar i monitoritzar explotacions ramaderes, i fins i tot biomedicina per la mesura i monitorització de constants vitals de les persones.

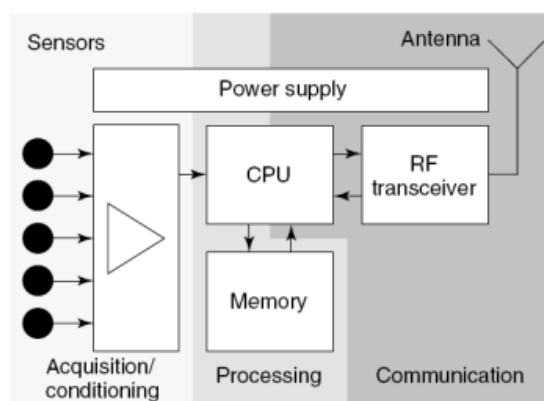


Figura 1. Diagrama de blocs típic d'un node sensor

Un node sensor, es caracteritza, per diversos, elements, entre ells, l'alimentació elèctrica mitjançant l'ús de bateries, o panells solars. Gràcies a això, s'aconsegueix l'autonomia elèctrica parcial o total. Aquesta tècnica juntament, amb un bon disseny electrònic, que prioritzi el baix consum, permet la instal·lació d'aquests a qualsevol indret remot.

El nucli de tot node sensor, és la seva unitat de processament. L'ús de microcontroladors o microprocessadors permet controlar i sincronitzar totes les tasques de processament de senyals, així com les comunicacions amb la xarxa. En conjunció amb el nucli trobem els sensors. Els sensors, són els components o dispositius, encarregats de generar una resposta mesurable a un canvi físic, provocat a l'entorn. Un exemple en seria la humitat o la temperatura, on mitjançant l'ús de sensors adients, aquests generen un senyal elèctric, mesurable per el node sensor.

Un cop tractats els senyals i processades, s'empaqueten en forma de dades, que s'han de poder enviar remotament, per tal de ser analitzades i tractades. Per dur a terme aquesta tasca, s'usen diferents canals de comunicació, que permeten establir un mitjà de transmissió de les dades de cada node individual, cap a xarxes locals o remotes. En alguns casos concrets, també es permet el control remot de diversos elements del node sensor, per part d'aquestes xarxes remotes. La majoria d'aquests canals de comunicació són a través de comunicacions de radiofreqüència, com Wi-Fi, LoRa, ZigBee etc.

1.1. Antecedents

La placa Libelium Waspote, és l'actual node sensor de pràctiques per alumnes de diversos graus d'enginyeria de la Universitat de Girona. Es tracta d'una eina molt útil en el camp de la docència, ja que incorpora interfície d'entrades i sortides, tant analògiques com digitals, que permeten als alumnes interactuar amb els diferents sensors i mòduls de les diferents pràctiques. Destacar també, els diferents estàndards de comunicació que incorpora, molts d'ells propis de la placa Waspote, o afegits mitjançant l'ús de mòduls externs. Alguns exemples en són l'SPI, l' I2C, el Wi-Fi, el LoRa, entre molts d'altres.

Waspote resulta una eina molt versàtil. Tot gràcies a l'enorme varietat de mòduls i sensors externs, que permeten afegir funcionalitats extra a la placa principal. A més a més, disposa d'un entorn de programació, o IDE, propi, anomenat Waspote Pro IDE, i que resulta ser molt adequat pels estudiants, i persones que s'estan iniciant en el món de la programació de sistemes encastats, sense posar en compromís la pèrdua de funcionalitats i prestacions de programació per a usuaris més avançats. El node sensor Waspote, permet ser programat, mitjançant l'ús d'un cable USB o bé per OTA, sense fils i de forma remota, d'aquesta manera, es pot actualitzar la versió del programa, sense estar present físicament amb la placa.

Libelium, també ofereix als seus clients, l'anomenat Meshlium. Meshlium és un dispositiu gateway, que permet dissenyar la xarxa de nodes sensors Waspote, i comunicar-se amb ells mitjançant radio, amb protocols sense fils tals com Wi-Fi o LoRa i a la vegada facilitar connexió a internet. Paral·lelament, a les comunicacions entre el gateway i els nodes sensors, Meshlium, també permet enviar i rebre, les dades a un servei de núvol, o servidor remot, per a ser tractades i analitzades posteriorment per l'usuari destinatari.

Com hem vist fins ara, Libelium, ofereix un ampli ventall de productes amb moltíssimes possibilitats, i sense, posar-ho en dubte és tracta d' una gran eina d'ajuda per al professorat, per tal de traslladar els conceptes teòrics, a la pràctica. Malgrat tot, Waspote, no és un node

sensor perfecte, i també té algun inconvenient, com ara, el seu elevat preu d'adquisició. Lligat al preu, també existeix un segon inconvenient, i es que, els productes Libelium, ràpidament queden desfasats, amb l'afegit, que no totes les versions dels nous productes, són compatibles amb versions anteriors. Per aquests motius sorgeix la necessitat d'explorar i desenvolupar noves alternatives que permetin adaptar i substituir, els productes de Libelium adquirits per la Universitat de Girona, amb la finalitat d'abaratir costos, sense perdre funcionalitats i seguint essent igual de pràctic tant per el nou alumnat com per el professorat.

1.2. **Objecte**

La finalitat d'aquest projecte, és el desenvolupament d'un node sensor wireless, que permetrà reduir els costos, que suposa Libelium Waspote. Aquest node sensor, estarà dotat de comunicacions tals com, Wi-Fi, Bluetooth, USB, i2C, entre altres. Aquest nou disseny permetrà la connexió dels diversos mòduls i sensors tant digitals com analògics, àmpliament utilitzats durant la realització de les pràctiques de diferents graus d'enginyeria. També serà capaç d'actuar enfront a esdeveniments interns i externs, així com es facilitarà el seu ús en qualsevol lloc, gràcies a l'ús de bateries amb combinació de bones tècniques, per aconseguir un disseny de baix consum elèctric.

1.3. **Especificacions i abast**

Es dissenyaran i verificaran, els esquemes, formats per components electrònics per complir amb els objectius del projecte, de reduir costos, prioritzar el baix consum, permetre l'alimentació per bateria, facilitar les comunicacions, o permetre l'ús de sensors entre altres. Aquests esquemes, es compondran per elements tals com el regulador d'alimentació de la placa, els connectors i pins que permetran als usuaris, comunicar-se i afegir mòduls i sensors addicionals. Un cop dissenyats els esquemes electrònics, i escollits tots els components necessaris, es procedirà a la creació de la placa PCB prototip, que servirà per testejar totes les funcions proposades en el present projecte, i servirà per validar, que el disseny escollit compleix amb els requeriments proposats.

2. NODE SENSOR LIBELIUM WASPMOTE

Els nodes sensors, o també conegut com a motes, són dispositius que trobem a les conegudes WSN. La funció d'aquests nodes sensors, és monitoritzar i interactuar de forma remota, amb el món físic, de forma autònoma. Gràcies al gran potencial d'aquests dispositius, es poden recollir i enviar una enorme quantitat de dades, des de pràcticament qualsevol lloc, útils per l'anàlisi avançat mitjançant computadors.

A continuació, es realitza un estudi, on es detallen totes les característiques i funcionalitats, de l'actual placa utilitzada per a les pràctiques d'enginyeria a la Universitat de Girona, la Libelium Waspote. L'objectiu d'aquet breu estudi, consisteix en establir unes característiques i uns requeriments bàsics, amb els quals, en posteriors apartats, es tindran en compte, de cares al disseny del nou prototip.

Libelium és l'empresa espanyola creadora de la placa node sensor Waspote. Aquesta empresa, va ser fundada l'any 2006 a Saragossa, i es dedica al disseny i fabricació de sistemes per a IoT, com kits de desenvolupament, solucions per la indústria, serveis de núvol, entre molts altres productes. Waspote és un dels productes que més destaquen, i tal com hem comentat amb anterioritat, consisteix en un node sensor de baix consum, amb una extensa llista de funcionalitats.

2.1. Hardware i aspectes generals de Waspote

Per poder, facilitar l'explicació a nivell de hardware de Libelium Waspote, a continuació es mostra el seu diagrama de blocs, precedit d'una breu explicació de cada bloc.

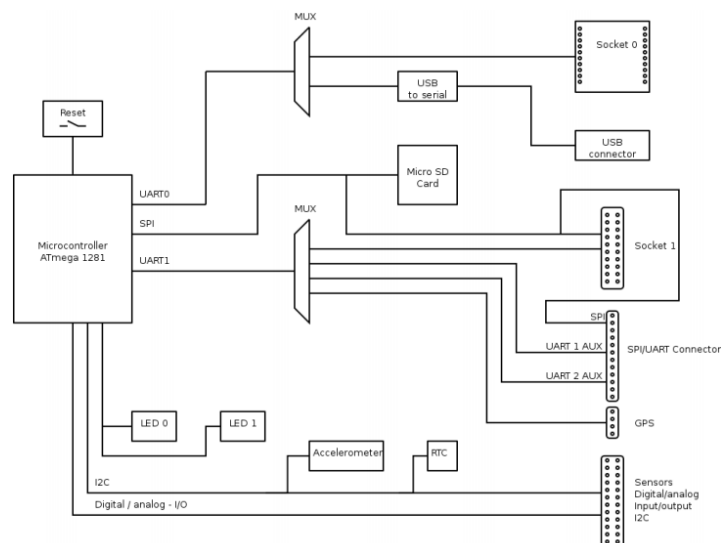


Figura 2. Diagrama de blocs Libelium Waspote

2.1.1. Microcontrolador

El microcontrolador, processa les instruccions del programa d'usuari, sincronitzant les diverses tasques i les executa de forma ordenada. Libelium Waspote, incorpora és un microcontrolador ATmega1281 AVR de 8 bits del fabricant americà Microchip. Pot treballar a un màxim de 16 MHz. Disposa de 128KB de memòria flash, 8KB de memòria SRAM, 4KB de memòria EEPROM, 54 entrades i sortides d'ús general, 32 registres de treball d'ús general, comptadors a temps real, 6 comptadors temporitzadors amb diversos modes de treball, sortides PWM, 2 ports de comunicació USART's, 16 entrades analògiques de 10 bits de resolució, interfície JTAG per realitzar depuració de programa, i funciona amb un voltatge de treball de 2.7-5.5 v.



Figura 3. Microcontrolador ATmega1281

2.1.2. Entrades, sortides i comunicacions

La Waspote disposa d'un total de 8 pins programables com a entrades o sortides digitals, 7 pins programables, com a entrades o sortides tan analògiques com digitals, i diversos pins d'alimentació i massa per poder alimentar sensors o circuits externs. D'altra banda, hi han diversos sòcols amb pins de comunicacions com SPI, I2C, UART, entre altres.

2.1.3. Components built-in d'interfície d'usuari

La finalitat dels components built-in, és la d'interactuar amb l'usuari, així com oferir funcionalitats extra a la placa base. Es tracta d'elements tals com pulsadors, botons i led's que venen integrats a la pròpia placa PCB, i que permeten a l'usuari interactuar i visualitzar, estats o esdeveniments de programa. Waspote, no és cap excepció, i disposa d'un pulsador, per a reiniciar el programa del microcontrolador, un interruptor d'alimentació per encendre o parar la placa, i dos selectors, un per escollir modes de baix consum, i l'altre per activar l'anomenat Watchdog, que permet detectar i evitar que el programa d'usuari quedi aturat durant l'execució. A més a més, té 2 led's a la cara superior de la PCB, que permeten ser programats de forma lliure per part de l'usuari, per exemple per indicar l'estat del programa, indicar comunicacions o l'estat de la bateria.

2.1.4. Perifèria al voltant del microcontrolador

Moltes vegades el microcontrolador, per si sol, no disposa de totes les funcions necessàries que requereixen les especificacions del disseny. Un clar exemple, és la multiplexació dels ports sèrie o UART a Waspnote. El microcontrolador ATmega1281, únicament disposa de 2 ports UART, els quals són insuficients per comunicar-se amb tots els elements de la placa PCB, que es comuniquen per UART. La multiplexació mitjançant circuits integrats, juntament amb l'ús de bones tècniques de programació, permeten augmentar el nombre de dispositius que es comuniquen per els port sèrie del microcontrolador.

A més a més, Waspnote, disposa d'un circuit integrat anomenat RTC, el DS3231SN del fabricant Màxim Integrated, localitzat a la part posterior de la PCB, encarregat d'emmagatzemar i proveir al microcontrolador de data i hora, alarmes, interrupcions i fins i tot temperatura. Libelium també va decidir incorporar un acceleròmetre encapsulat a la part frontal, d'aquesta manera es poden mesurar les acceleracions, calcular velocitats, posicions i rotacions del node sensor, en cas que no es trobi instal·lat de forma estàtica.

Tal i com s'ha mostrat a l'apartat 2.1.1, el microcontrolador, disposa de memòria flash interna. Moltes vegades en els sistemes IoT, es capturen grans quantitats de dades que poden sobrepassar la capacitat d'emmagatzematge del Microcontrolador. La solució a aquest problema, es resol a la placa Waspnote utilitzant emmagatzematge extern, mitjançant un adaptador per a targetes micro-SD fins a 16 GB. A través del protocol d'SPI, el microcontrolador es comunica amb la targeta micro-SD, permetent-li navegar, escriure i llegir dins la targeta SD.

Per acabar els elements, perifèrics, destacar també, el circuit integrat convertidor, de UART a USB. Gracies a aquest circuit perifèric, es permet bolcar el programa d'usuari a el microcontrolador, des de el nostre ordinador, mitjançant un cable USB. Aquesta connexió també permet realitzar monitoritzacions sèrie del programa d'usuari, entre altres. Cal destacar però, que aquest mateix port UART, corresponent al UART0 està compartit amb el sòcol ràdio, de manera que suposa un desavantatge poder programar la placa si es treballa amb els mòduls ràdio, ja que cada vegada que es canvia el programa, s'ha de retirar el mòdul ràdio per poder enviar el programa la microcontrolador, i després tornar-lo a col·locar per treballar amb ell.

2.2. Alimentació elèctrica de la placa PCB

Un aspecte clau de tot node sensor, i que s'ha de dedicar especial atenció, n'és la seva alimentació elèctrica. Aquesta s'ha de dimensionar correctament, per tal d'alimentar de forma suficient tots els elements de la placa, sense oblidar el compromís d'un disseny de baix consum quan la placa s'alimenta mitjançant bateries. A continuació es mostra un diagrama de blocs, i els posteriors apartats, amb explicacions detallades, que permeten entendre, l'alimentació elèctrica de la placa Waspote.

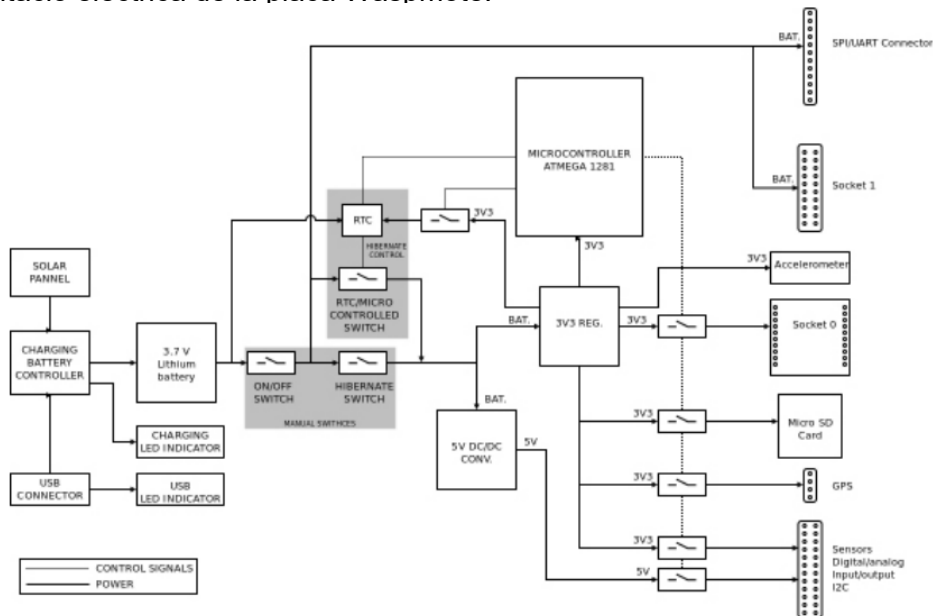


Figura 4. Diagrama d'alimentació elèctrica Libelium Waspote

2.2.1. Alimentació per connector USB

Avui en dia és molt difícil no trobar un aparell electrònic portable sense connector USB. L'estès ús d'aquesta tecnologia, no és excepció i també la trobem a Waspote, permeten alimentar la placa amb qualsevol dispositiu que tingui un port USB, ja sigui un ordinador, un adaptador de paret etc. Aquesta connexió USB, apart de proporcionar l'alimentació a la placa, així com la comunicació sèrie, també permet la càrrega de la Bateria de Liti.

2.2.2. Alimentació per panell solar i bateria

Waspote també pot ser alimentada mitjançant panells solars, en combinació de Bateria. Això permet una completa autonomia de la placa en gairebé qualsevol indret. Amb un voltatge entre 6-12 V i un corrent màxim de 280 mA, és suficient per permetre a la bateria de liti de 3.7 V carregar-se. Tot això és possible gràcies a la implementació d'un circuit integrat de tipus BMS. En el cas de Waspote, es tracta del BU2532BMA6C4 i s'encarrega de supervisar en tot moment, la càrrega, la descàrrega, la sobrecàrrega i la sobre descàrrega de la bateria, amb l'objectiu, d'allargar el màxim la seva vida, i fer-la funcionar en condicions òptimes.

2.2.3. Regulador de tensió i consums

El regulador de tensió és un element clau, en tota placa electrònica. Desenvolupa una funció imprescindible que és alimentar de forma eficient tots els components electrònics per a que puguin funcionar de forma ininterrompuda i segura. A l'hora d'escollir-lo s'ha de tenir en compte els diferents consum dels components del circuit, però sense perdre de vista les pèrdues derivades dels consums residuals elevats, ja siguin en el propi en el regulador o en els diferents components. En el cas de Waspote s'usa un regulador de 3.3 V que alimenta a el microcontrolador, l'RTC, l'acceleròmetre i als sòcols per permetre connectar sensors o mòduls externs a la placa Waspote.

Molt relacionat amb el tema del baix consum, son els diferents modes de treball de la placa. A Waspote trobem els modes de Sleep, Deep Sleep, Hibernate etc. Tal com s'ha explicat en anteriors apartats, Waspote disposa d'un RTC que sempre està alimentat elèctricament. D'aquesta manera, això permet optimitzar, i reduir els consums de tot el conjunt de la placa de manera dràstica, ja que l'RTC, s'encarrega de despertar el microcontrolador de forma periòdica, perquè aquest realitzi les seves tasques, i un cop acabades, aquest torni en mode baix consum. Per a tasques amb períodes d'sleep relativament curts, inferiors a 8 s també es disposa del Watchdog que permet despertar el microcontrolador, sense intervenció de l'RTC.

A la següent imatge, podem veure els consums que el fabricant Libelium assegura que té el seu producte, Waspote.

Consumption	On	9 mA
	Sleep	62 uA
	Deep sleep	62 uA
	Hibernate	0.7 uA

Taula 1. Consums elèctrics Libelium Waspote

2.3. Arquitectura modular externa

Un mòdul, o també anomenat shield en anglès, és una placa PCB amb connectors específics, per a poder encaixar, i connectar-se a una placa principal, i expandir així les funcionalitats d'aquesta. Com hem vist fins ara, Waspote disposa de tots els elements necessaris, per poder capturar i processar dades. No obstant, per si sola la placa no disposa de la capacitat d'enviar aquestes dades a un servidor o núvol remot. Per poder fer això, Waspote s'ajuda de l'ús dels mòduls externs. En aquest subapartat, tractarem els mòduls i sensors que funcionen amb Libelium Waspote..

2.3.1. Mòduls Sensors

Els mòduls sensors, consisteixen en diverses plaques PCB, dissenyades específicament per a poder encaixar amb Waspote. Aquestes incorporen diferents tipus de sensors, juntament amb tota l'electrònica d'acondicionament de senyal necessària, per a poder, mesurar i tractar el senyal a la placa principal Waspote. Libelium ofereix un extens catàleg de plaques de sensors per a Waspote, amb la finalitat d'especialitzar Waspote en àmbits concrets. Seguidament es mostren algunes d'elles.

Gases PRO permet mesurar i analitzar l'aire en entorns com grans ciutats, granges, hivernacles, processos químics industrials, boscos.

La placa d'esdeveniments permet detectar presència, vibracions, nivells, impactes entre altres.

Smart agriculture s'encarrega d'obtenir dades com la humitat de la terra i fulles, radiació solar, temperatura.

Smart Water i Smart Water Ions, obren les portes a l'anàlisi químic de l'aigua en usos com aigua potable, agricultura, piscines, aigües residuals etc.

2.3.2. Tecnologies i mòduls de comunicacions

Els mòduls de comunicacions, al igual que els modes sensors, obren les portes a Waspote, permetent-li de comunicar-se, amb altres dispositius com ara, altres plaques Waspote, dispositius mòbils, servidors, ordinadors, entre molts altres elements.

Mòdul 802.15.4 / ZigBee. ZigBee és un estàndard, que defineix diversos protocols de comunicació sense fils, àmpliament usat en domòtica i IoT, i clarament enfocat, al baix consum de dispositius que funcionen a bateries, i que transmeten quantitats molt petites de dades. ZigBee, es basa en l'estàndard IEEE 802.15.4 juntament amb la seva capa física, i protocols d'accés al medi (MAC). Els dispositius ZigBee operen a freqüències de 868 MHz, 915 MHz i 2.4 GHz, amb una velocitat de transmissió de dades màxima de 250 Kbits per segon, i abast típic d'entre 30 i 100m.

Mòdul Sigfox. Sigfox es va desenvolupar a Tolouse, França l'any 2010. És una xarxa a nivell mundial amb presència a més de 70 països, dedicada a la IoT i enfocada a comunicar dispositius de baix consum punta a punt. Sigfox opera a la banda ISM a diferents freqüències

(433 868 i 915 MHz). La topologia de xarxa Sigfox és de tipus estrella, i gràcies al tipus de modulació tipus BPSK, permet eliminar en gran majoria les interferències, permetent comunicar dispositius Sigfox, sobre grans distàncies de fins a 10Km en zones urbanes, i fins a 40Km en zones rurals.

Mòdul LoRa. LoRa és l'acrònim de Long Range. Es tracta d'una tècnica de modulació per transmetre petites quantitats de dades, a través de grans distàncies. Paral·lelament amb LoRa també existeix LoRaWAN, aquest està basat en la modulació LoRa, amb l'afegit del protocol LPWAN, amb l'objectiu de fer arribar internet, a dispositius alimentats per bateria. LoRa, funciona a la banda lliure ISM, a les freqüències de 433MHz, 868MHz i 915MHz, la seva tipologia de xarxa és de tipus estrella. L'arquitectura de xarxa consisteix en dues parts. Una és el servidor, on es guarden les dades dels dispositius i sensors, i l'altre part consisteix de la porta d'enllaç o gateway, per proveir aquestes dades als usuaris destinataris. La distància que permet cobrir LoRa pot arribar fins a 10Km a una velocitat màxima de 50 Kbps en aquestes condicions.

Mòdul Wi-Fi. Wi-Fi significa Wireless Fidelity. Durant la dècada dels anys 90, l'institut d'enginyers elèctrics i electrònics (IEEE), va estar dissenyant i discutint, fins que finalment, l'any 1997 es va ratificar el protocol 802.11. Amb el pas dels anys es va anar corregint i actualitzant fins arribar a la versió més recent la 802.11.ax o Wi-Fi 6.

El mòdul Wi-Fi de Libelium està basat en la versió 802.11b. La freqüència de treball de radio és situa a la banda lliure ISM de 2.4GHz cobrint un rang entre (2.400-2.485GHz), i inclou 11 canals, dels quals es permet un solapament, de fins a 3 canals diferents. La distància que pot cobrir és d'uns 30 m en l'interior d'edificis i fins a un màxim d'uns 300 m en instal·lacions exteriors, tot i que amb l'ús d'antenes especialitzades es pot augmentar notòriament la cobertura de la xarxa. La velocitat màxima del protocol 802.11b és de 11Mbps, en les millors condicions.

4G Mòdul 4G. Els sistemes de primera generació o també coneguts com 1G, eren populars als anys 80. Bàsicament eren dispositius analògics clarament enfocats a la comunicació telefònica per veu dels usuaris. Amb el pas dels anys, a la dècada dels 90, va sorgir la segona generació, el 2G, molt enfocada encara en la comunicació per veu dels usuaris, i amb l'avantatge d'incloure avanços tecnològics com l'estàndard GSM, entre altres tecnologies.

Mantenint-nos a la dècada dels 90, va començar a sorgir els serveis de dades, juntament amb l'aparició de noves generacions de telèfons que els usaven, juntament amb la comunicació de veu. Amb aquests precursors, es va començar a desenvolupar la tercera generació el 3G, amb l'objectiu d'unificar i globalitzar aquestes noves tecnologies. Aquesta va sorgir l'any 1999 també coneguda com 3G WCDMA. La societat cada vegada s'anava acostumant més i més a l'ús dels dispositius mòbils, empenyent a el 3G a reduir les latències i a augmentar les velocitats de les dades. A mitjans de la dècada del 2000 es va començar a discutir i dissenyar el conegut 4G, clarament enfocada a transmetre paquets de dades, i per deixar enrere la comunicació per veu, a través de la commutació de circuits entre molts altres avenços com l'aparició de la tecnologia LTE, que pretenia unificar diverses tecnologies, reduir costos, i globalitzar-se.

Les primeres proves de la tecnologia 4G es van iniciar a l'any 2010. Aquesta tecnologia permet velocitats de transmissió de fins a 301Mbps. Gràcies a la seva convergència, permet comunicar tan dispositius sense fils com dispositius cablejats arreu del planeta, mitjançant diverses xarxes que usen la tecnologia 4G, com ara LTE, HSPA+, WCDMA etc.

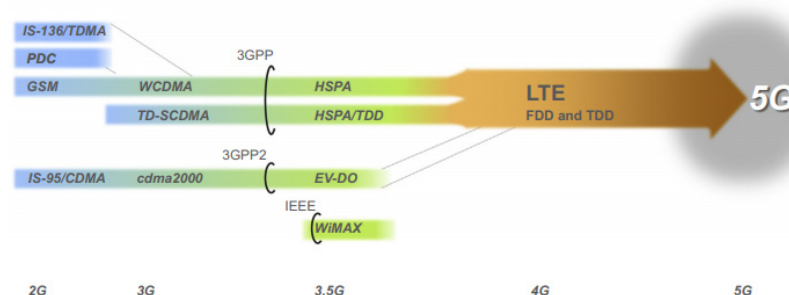


Figura 5. Evolució i generacions de les tecnologies mòbils

Mòdul NB-IoT / Cat-M Nb-IoT significa Narrowband Internet of Things. NB-IoT es tracta d'una nova tecnologia de radio, específicament dissenyada per el món de l'IoT, i enfocada a la comunicació de petites quantitats de dades, donant prioritat així al baix consum i a la reducció de costos. Nb-IoT és suportada per les xarxes GSM i per la LTE, presents a la tecnologia 5G.

	Sigfox 868 MHz	LoRaWAN 868 MHz	NB-IoT 800 MHz
Modulation	BPSK	CSS	QPSK
Frequency	Unlicensed ISM bands (868 MHz in Europe, 915 MHz in North America, and 433 MHz in Asia)	Unlicensed ISM bands (868 MHz in Europe, 915 MHz in North America, and 433 MHz in Asia)	Licensed LTE frequency bands
Bandwidth	100 Hz 400 orthogonal 100 Hz channels	250 kHz and 125 kHz	200 kHz
Maximum data rate	100 bps	50 kbps	200 kbps
Bidirectional	Limited / Half-duplex	Yes / Half-duplex	Yes / Half-duplex
Maximum messages/day	140 (UL), 4 (DL)	Unlimited	Unlimited
Maximum payload length	12 bytes (UL), 8 bytes (DL)	243 bytes	1600 bytes
Range	10 km (urban), 40 km (rural)	5 km (urban), 20 km (rural)	1 km (urban), 10 km (rural)
Interference immunity	Very high	Very high	Low
Authentication & encryption	Not supported	Yes (AES 128b)	Yes (LTE encryption)
Adaptive data rate	No	Yes	No
Handover	End-devices do not join a single base station	End-devices do not join a single base station	End-devices join a single base station
Localization	Yes (RSSI)	Yes (TDOA)	No (under specification)
Allow private network	No	Yes	No
Standardization	Sigfox company is collaborating with ETSI on the standardization of Sigfox-based network	LoRa-Alliance	3GPP

Taula 2. Taula comparativa tecnologies radio

Nb-lot s'estableix a la xarxa LTE (xarxa privada), però de forma més simplificada, per aconseguir reduir el consum i augmentar-ne l'eficiència. La xarxa NB-IoT ocupa un ample de banda de 180 KHz, corresponent a un dels blocs de recursos de la xarxa LTE, i permet una velocitat de transmissió de dades de fins a 200 Mbps, amb una distància màxima entre dispositius de l'ordre de desenes de Km.

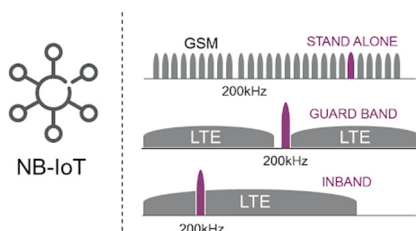


Figura 6. Ample de banda Nb-lot

Modul Bluetooth PRO i Bluetooth low energy 4.0. El Bluetooth low energy o BLE, forma part de l'evolució del Bluetooth 4.0. És una tecnologia de comunicació sense fils, idònia per dispositius que funcionen amb bateries i per aplicacions IoT. Actualment la versió més recent del Bluetooth és la 5.2.

A nivell físic, el Bluetooth funciona a través de radio, operant 40 canals dins la banda dels 2.4 GHz. D'aquests 40 canals, s'organitzen en 3 canals de transmissió global (publicitat) i 37 canals de dades. La velocitat màxima aproximada del Bluetooth low energy és de 1 Mbps. La velocitat i la distància són paràmetres que varien en funció de les diferents tipologies de xarxa, que veurem a continuació.

El tipus de connexió més coneguda és la punt a punt entre dispositius, un cop establerta, un dels dispositius actua com a Master gestionant la connexió, i l'altre de Slave.

La segona, és la connexió de transmissió de dades o broadcast. Un dispositiu transmet les seves dades de forma lliure a qualsevol altre dispositiu interessat, que estigui dintre del rang de connexió. Es tracta d'un tipus de connexió unidireccional, molt usada en serveis de punts d'informació i navegació, orientació i domòtica.

La tercera tipologia de connexió, és la de tipus xarxa. Permet la creació d'una complexa xarxa de dispositius a gran escala. S'usa principalment en aplicacions de monitorització, control i automatització de sistemes, amb presència de centenars o milers de dispositius requereixen una connexió fiable i segura amb altres dispositius Bluetooth. Gracies a aquest tipus de topologia, es pot ampliar el rang de cobertura del Bluetooth, permetent superar obstacles com parets i objectes físics.

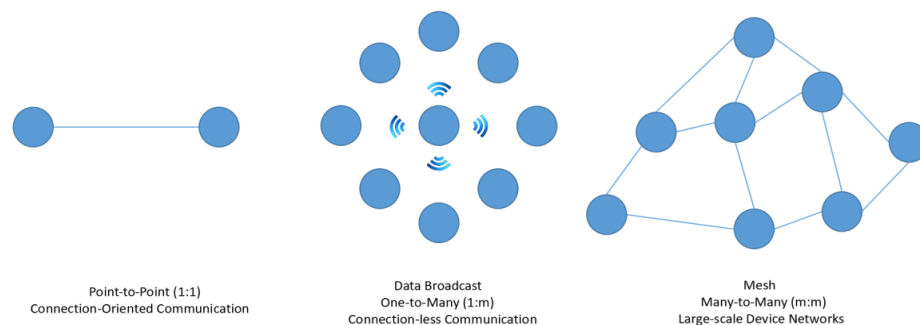


Figura 7. Tipologies de connexió Bluetooth

2.3.3. Software IDE de programació i mètodes

Libelium, no només ens proporciona la part de Hardware Waspote, sinó també el software necessari per a poder programar els seus productes. Aquest inclou tot un conjunt d'eines que permeten a l'usuari desenvolupar, testejar i prototipar els programes que desenvolupa.

En el cas de Libelium aquest s'anomena Waspote Pro IDE, i permet programar, verificar errors, compilar i carregar el programa d'usuari, a les diverses plaques que ofereix Libelium. Permet programar en C o C++, i amb l'ús de les llibreries, es simplifica la programació. A més a més inclou funcionalitats tals com la programació, no només via USB sinó també per OTA, usant 4G, GPRS, Wi-Fi mitjançant el servidor FTP.

2.3.4. Gateway, servei de cloud i de base de dades

En el món de la IoT, un element imprescindible de la cadena, és l'accés a internet i la sincronització i control dels dispositius. Aquest gateway es pot crear a partir d'un servidor i amb l'ajuda de mòduls i tenint els suficients coneixements de programació i comunicacions. La solució que ofereix Libelium, és el seu encaminador Meshlium. Meshlium es tracta d'un dispositiu molt versàtil, ja que es capaç de comunicar-se amb els diferents mòduls de comunicacions de Waspote, a través de les diferents tecnologies i protocols radio anteriorment esmentades. Al mateix temps, també permet comunicar-se de forma local i remota amb l'exterior, permetent desar, visualitzar i controlar les dades que provenen dels dispositius Waspote.

El servei de cloud de Libelium, complementa tota aquesta cadena de comunicació i permet a l'usuari programar de forma remota els nodes sensors, gestionar-ne les llicències i enllaçar-los a bases de dades i serveis IoT com Microsoft Azure, IBM Cloud, MQTT, AWS, IoT entre altres.

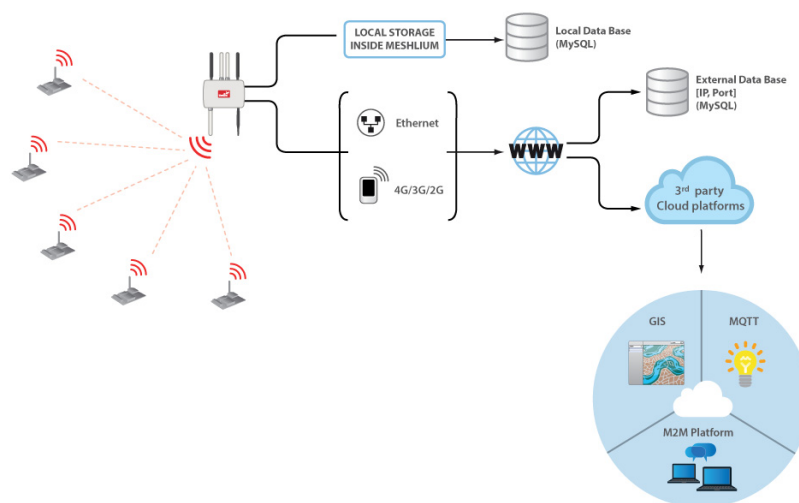


Figura 8. Estructura núvol Meshlium

3. ESTUDI D'ALTERNATIVES

Al segon apartat, hem pogut veure de forma ràpida i resumida, les principals característiques de Libelium Waspote amb els seus accessoris, juntament amb els serveis que ofereix Libelium, per completar tot l'entorn IoT de Waspote. En aquest apartat primerament, es realitzarà de forma breu, un estudi de comparació dels diferents dispositius escollits per verificar si compleixen els requisits, no tan sols de característiques i funcionalitats, sinó també del cost i de la compatibilitat amb l'objectiu del projecte.

3.1. Advanticsys XM1000

Advanticsys és una empresa fundada l'any 2009 i especialitzada en el camp de la monitorització de sistemes. Principalment tracten temes tals com l'eficiència energètica, medi ambient i monitorització de processos d'automatització. La Advanticsys XM1000, bàsicament és un node sensor compatible amb la IEEE 802.15.4 (Wi-Fi), basada en la Telos B, de lliure llicència i distribució, dissenyada i desenvolupada per la universitat de Califòrnia.



Figura 9. Mote Advanticsys XM1000

3.1.1. Mote XM1000

La XM1000, incorpora elements built-in tals com polsadors de reset i d'usuari, selector de mode sleep, sensors de temperatura, llum i humitat relativa, així com un total de 3 led's smd per indicar comunicacions, o per ser programats per l'usuari. El nucli de la XM1000 és el microcontrolador MSP430F2618 de Texas Instruments, disposa de 116 Kb de memòria de flash de programa, 8 Kb de memòria RAM i 1 Mb de memòria Flash. Les comunicacions sense fils, són gestionades per el xip de ràdio CC2420 també de Texas Instruments, que pot gestionar comunicacions Wi-Fi o ZigBee, gràcies a l'ús d'una potent antena de fins a 5dBi. En quan a entrades i sortides, existeix un total de 8 canals analògics d'entrada amb una resolució de 12 bits per a poder realitzar lectures de sensors externs. En el tema de les comunicacions cablejades, es poden usar protocols tals com UART, SPI, I2C i USB. En quan a la programació, cal destacar la compatibilitat de sistemes operatius com TinyOS 2.x i ContikiOS. Un aspecte clau a tenir en compte, és el consum elèctric global de la placa. Segons Advanticsys, en mode Sleep s'aconsegueix reduir fins a 1 μ A. L'alimentació en aquest model

en concret, es duu a terme, a la part posterior, on incorpora un suport per a dues piles AA. El preu de venda de la Advanticsys XM1000 és de 95,00€ I.V.A inclòs

3.1.2. Gateway i concentrador de nodes sensors SG1000

L'SG1000 és un concentrador de nodes sensors, que obre les portes, a tota la xarxa local de sensors, a poder-se comunicar, tant de forma local per radio, com de forma remota per ethernet. Inclou una base de dades, accessible a través d'una interfície web, on amb aquesta, podem modificar, desar i consultar els nodes sensors i els seus registres de valors. El preu del gateway és de 389,00€ I.V.A inclòs.



Figura 10. Gateway Advanticsys SG1000

3.1.3. Núvol d'emmagatzematge de dades Concordia

Concordia és el servei de núvol de Advanticsys, suporta diferents protocols, tant industrials com d'IoT i permet als seus usuaris dissenyar la interfície gràfica, per monitoritzar i controlar els nodes sensors, connectats a aquesta. Altres funcionalitats en són l'anàlisi, exportació de dades a altres aplicacions.



Figura 11. Núvol Advanticsys Concordia

3.2. Texas Instruments SimpleLink LPSTK-CC1352R

Texas Instruments és un referent de l'electrònica, reconegut arreu del món, dedicat al desenvolupament de tot tipus de components electrònics, com ara microcontroladors, amplificadors, sensors entre molts altres. Amb l'actual cursa del desenvolupament de solucions per IoT, Texas Instruments no s'ha quedat enrere, i ha desenvolupat diverses plataformes per a poder desenvolupar projectes competents en l'entorn de l'IoT.

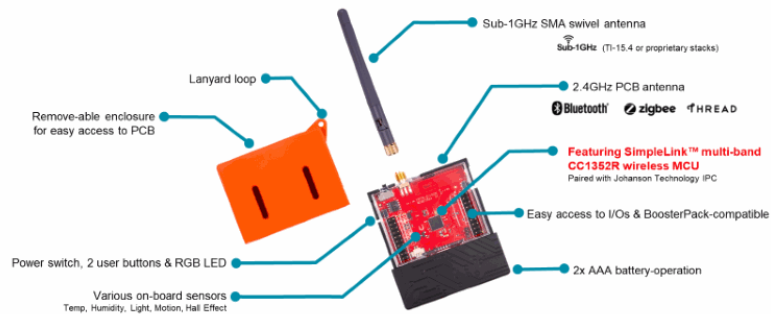


Figura 12. Mote Texas Instruments SimpleLink

3.2.1. Mote SimpleLink LPSTK-CC1352R

La gama SimpleLink ofereix diverses variants, en funció de les necessitats del projecte. Una de les més completes, i enfocades al desenvolupament IoT, és la LPSTK-CC1352R. Consisteix en un node sensor, capaç de comunicar-se a través de protocols com el Wi-Fi, Bluetooth Low Energy, Sub-1 Ghz, Thread, Zigbee. Incorpora un microcontrolador ARM Cortex M4F funcionant a una freqüència de 48 MHz, amb 352 Kb de memòria flash de programa, 256 Kb de memòria ROM i 8 Kb de memòria SRAM. Disposa d'un total de 28 pins GPIO, dels quals 8 es poden ser usats com a pins d'entrades i sortides analògiques amb una resolució de 12 bits. A més a més, la combinació de pins específics, permeten les comunicacions cablejades a través de UART, SPI, I2C, I2S.

En quan a perifèria, la SimpleLink porta varis sensors entre ells: un sensor magnètic d'efecte hall, un acceleròmetre, un termòmetre i higròmetre i finalment un sensor de lluminositat. També conté elements perquè l'usuari pugui interactuar amb la placa com ara, un selector per posar en marxa i aturar la placa, led's d'indicació i un connector de 10 pins JTAG per realitzar depuracions de programa, permeten monitoritzar i aturar i resumir el curs del programa.

Texas Instruments, ha posat un gran èmfasi en la reducció de consums elèctrics de la placa, i en la portabilitat d'aquesta, gràcies a la possibilitat d'alimentació amb piles o bateries. En

mode sleep pot arribar a reduir el consum, fins als 0.85 μ A, mantenint l'RTC en marxa per tornar al mode actiu, i restringint la CPU i la memòria RAM.

La placa pot ser alimentada des de 1.8 V fins a 3.8 V ja que incorpora un regulador DC/DC Buck per ajustar el voltatge, permetent diverses opcions d'alimentació.

En quant al llenguatge de programació, es permet el llenguatge C com en C++ gràcies a l'entorn de programació que ofereix Texas Instruments, el SimpleLink SDK. Aquest paquet software ofereix un entorn de programació simplificat, on hi ha disposició de totes les eines necessàries, tals com divers, sistemes operatius (Ti RTOS), i aplicacions i plugins, per simplificar les tasques de programació. El preu del de la SimpleLink LPSTK-CC1352R és de 33,00€ I.V.A inclòs.

3.2.2. Gateway i accés a Internet

El microcontrolador CC1352R, consisteix en un microcontrolador amb la capacitat de comunicació per radio, gràcies a diversos protocols. Disposant d'un encaminador amb accés a internet, a través del protocol Wi-Fi, la placa SimpleLink és capaç d'enviar i rebre dades d'un servidor o núvol.

3.2.3. Accés al núvol i emmagatzematge de dades

Tota la Gama de SimpleLink, ha estat desenvolupada per facilitar la connexió a múltiples plataformes de servei de núvol, com per exemple Amazon Web Services (AWS), Microsoft Azure, Google cloud platform etc. Tot això és possible gràcies al suport i desenvolupament que ofereix el software de programació, ja que facilita i simplifica la programació de les comunicacions amb les diverses plataformes.

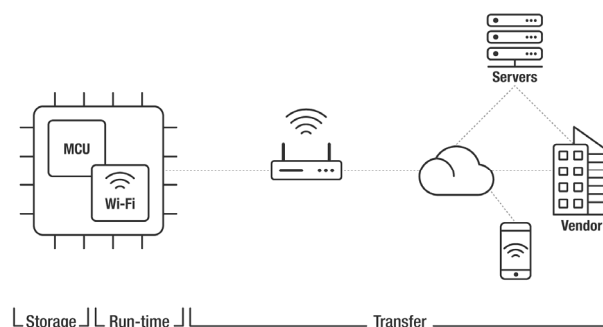


Figura 13. Connexió al núvol T.I SimpleLink

3.3. Microchip pic IoT-WA

L'empresa Nord-Americana Microchip porta més de 30 anys en la indústria dels semiconductors. Arreu coneguda pel disseny i fabricació de microcontroladors com els famosos PIC, segueix essent avui en dia tot un referent de l'electrònica, amb presència arreu del món. Com molts altres fabricants, Microchip també s'ha unit a la cursa de l'IoT i ens ofereix múltiples opcions.

3.3.1. Mote Pic-IoT WG

La placa de Sam-IoT WG, és una de les més versàtils que ens ofereix Microchip, dins de tota la gama d'eines de desenvolupament i avaluació per a projectes d'IoT. Tota la gestió de programa, és duta a terme gràcies al microcontrolador PIC24FJ128GA705, que disposa de 128 Kb de memòria flash i 16 Kb de memòria SRAM. El microcontrolador, pot ser programat amb llenguatge C/C++, gràcies a l'entorn de programació MPLAB X IDE, i com hem vist anteriorment, també podem depurar el seu programa. La placa inclou elements built-in com ara 2 pulsadors, sensor de temperatura, d'humitat, llum connector de depuració, i un total de 4 led's. A diferència d'altres plaques, aquesta no disposa de pins GPIO. A canvi ofereix pins de comunicacions per SPI, UART, I2C i 2 pins d'interruptió, PWM, i alimentació per a sensors, que amb la seva distribució concreta, conformen l'anomenat mikroBUS. Mitjançant mikroBUS, es poden connectar més de 450 plaques d'expansió diferents, a la placa principal Sam-IoT WG. Des de plaques amb pins GPIO, fins mòduls ràdio LoRa, plaques amb sensors variats, entre molts altres. El preu de la Pic-IoT WG és de 24,53€ I.V.A inclòs.

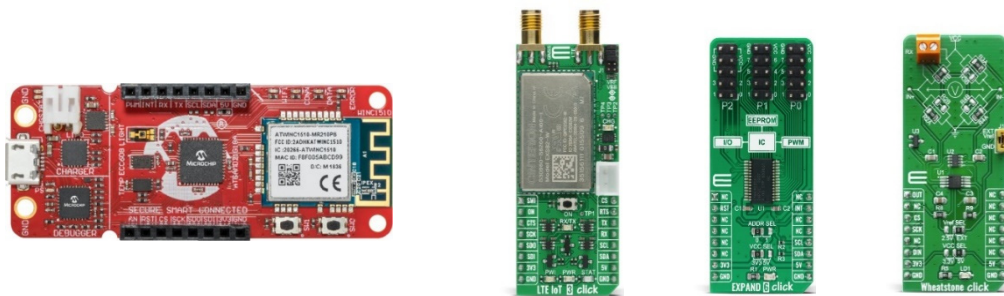


Figura 14. Pic IoT Wa i mòduls d'expansió mikroBus

Es faciliten dues opcions d'alimentació de la placa, tant per el connector USB, com per el connector per a bateries de polímer de Liti. A més a més, en combinació, es permet la càrrega de la bateria de Liti mitjançant el cable USB

3.3.2. Gateway i accés a Internet

A diferència d'altres plaques mote, aquesta no requereix un encaminador específic de la seva marca. Amb un punt d'accés sense fils a internet (Wi-Fi), i en coordinació amb el mòdul Wi-Fi ATWINC1510, i el mòdul de cripto-autenticació ATECC608A, s'obra l'accés als recursos que ofereix internet.

3.3.3. Accés al núvol i emmagatzematge de dades

La placa Pic IoT-WG s'ha desenvolupat per facilitar l'accés a les plataformes específiques de Google Cloud IoT i Amazon Web Services. Microchip proporciona documentació detallada de com realitzar la comunicació des de el dispositiu mote, fins al núvol on es reben i es visualitzen les dades a través de la API dissenyada per l'usuari.

3.4. Maxim Integrated MAX32630FTHR

Maxim Integrated, es va fundar l'any 1983, entrant a la indústria del semiconductor i circuits integrats. Avui en dia, després de gairebé 40 anys, s'ha convertit en un fabricant d'una àmplia varietat de components electrònics, amb un reconeixement mundial. Sense perdre el temps, també ofereixen solucions per el món de l'IoT, com ara la placa MAX32630FTHR, per a poder desenvolupar prototips i testos

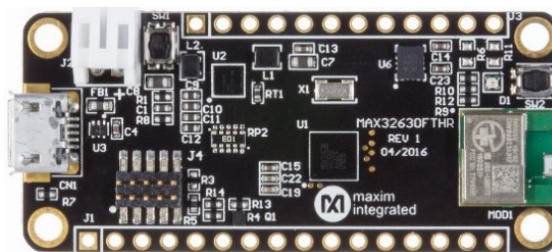


Figura 15. Maxim Integrated Max32630FTHR

3.4.1. Mote MAX32630FTHR

El mote MAX32630FTHR és l'actual plataforma de desenvolupament, i consisteix en una placa principal, i que es pot expandir amb plaques perifèries per tal d'augmentar les funcionalitats de la principal. La placa principal incorpora un microcontrolador MAX32630 ARM Cortex M4F, que disposa de 2048 kb de memòria flash, 512 kb de memòria SRAM. Al voltant del microcontrolador, disposem d'elements built-in com ara led's RGB, polsadors d'usuari, lector de targetes micro-SD, i un acceleròmetre de 6 eixos. Les comunicacions cablejades disponibles són SPI, UART, I2C i 1-Wire. En quant a les comunicacions sense fils, únicament disposa de comunicació dual Bluetooth. Per la interacció amb elements externs, hi ha a

disposició un total de 4 pins d'entrades i sortides analògiques, i 16 pins d'entrades i sortides digitals, amb funcions de comunicacions cablejades, en determinats pins. L'entorn de programació i depuració estàndard, és Mbed i el llenguatge és el C++, tot i que addicionalment també es pot programar amb l'entorn d'Arduino. Per a poder carregar el programa al microcontrolador, és necessari l'ús d'una placa programadora específica. En l'àmbit de consum elèctric, no es disposa d'informació de consums, normals o en mode sleep. Només es detalla la possibilitat d'usar bateries per alimentar tot el sistema.

Amb l'objectiu d'expandir les funcions de la placa principal, Maxim Integrated, al igual que molts altres fabricants, també ofereix diferents mòduls d'expansió per a la placa principal, entre ells un mòdul d'expansió d'entrades i sortides mixtes, (analògiques i digitals), un mòdul biomèdic amb connectors específics per sensors mèdics i un mòdul de mesura de temperatura. Alternativament, gràcies a la disposició dels pins, es possible la connexió de mòduls d'expansió de la marca Adafruit. El preu del controlador MAX32630FTHR, juntament amb el programador és de 31,34€ I.V.A inclòs.

3.4.2. Encaminador i accés a Internet

El MAX32630FTHR només disposa de comunicacions sense fils Bluetooth, per tant, de forma directa, no és capaç d'enviar les dades a un núvol. Seria necessari un element intermediari, per a poder comunicar-se amb el mote i amb la base de dades.

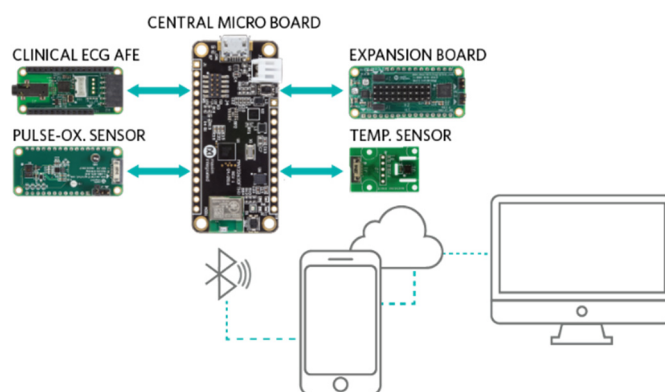


Figura 16. Estructura accés al núvol Maxim Integrated 32630

3.4.3. Accés al núvol i emmagatzematge de dades

Maxim Integrated en aquest àmbit, no ofereix un núvol propi, o ofereix informació detallada de com es pot comunicar el seu mote amb un núvol. Tot i així existeixen serveis de núvol multi plataforma com Google cloud entre altres, que amb l'adequada programació, permetrien afegir aquesta característica.

3.5. Comparació notes

A continuació es discutirà de forma breu, els pros i els contres de cada mote respecte Libelium Wasmote. Per poder-los comparar s'han escollit diversos punts clau, relacionats amb característiques i funcionalitats que es consideren imprescindibles, per a poder desenvolupar les tasques d'ensenyament a la universitat. La següent taula mostra les característiques dels diferents notes estudiats en apartats anteriors.

Característiques	Wasmote	XM1000	TI SimpleLink	PIC-IoT WA	MAX32630FTHR
Pins Digitals + Analògics	16	8	28	No	20
Comunicacions cablejades	SPI, I2C,UART,USB	SPI, I2C,UART,USB	SPI, I2C,I2S,UART	SPI, I2C,UART	SPI, I2C,UART,One Wire
Comunicacions sense fils	ZigBee, LoRa, Sigfox, WiFi, Nb-IoT, 4G, Bluetooth, RFID /	ZigBee, WiFi	WiFi,Bluetooth, ZigBee, Sub-1 GhZ	WiFi,Bluetooth, ZigBee,5G,LoRa,etc	Bluetooth dual
Elements builtin	Polsadors, Leds, Acceleròmetre, RTC, Adaptador SD	Temperatura, Llum, Humitat, Leds, Polsadors	Hall, Acceleròmetre, Temperatura, Humitat,	Temperatura, Lluminositat, Polsadors i Leds	Acceleròmetre, Polsadors i Leds RGB, Lector Micro-SD
Mòduls sensors	Si, Mòduls Events, Gasos,Agricultura, Smart Cities, Water	No	No	Si mòduls MikroBus Comunicacions, Sensors, Audio,	Si mòduls GPIO, Temperatura, Biomèdics, i Adafruit
Consum	Fins a 7 ua	Fins a 0,85 uA	Fins a 0,85 uA	N/A	N/A
Gateway i Núvol	Meshlium	SG1000	No	No	No
Popularitat i recursos	Alta	Baixa	Intermitja	Intermitja	Intermitja
Preu	200,00 €	95,00 €	30,00 €	24,53 €	31,34 €

Taula 3. Comparació nodes sensors

3.5.1. Entrades i sortides

Un dels primers aspectes dels quals es consideren essencials, és el nombre de d'entrades i sortides, tant digitals com analògiques. Aquesta característica és clau per a poder connectar sensors i components electrònics que interactuen directament amb la placa. Al ser una característica imprescindible, la placa de Microchip quedaria descartada, ja que no disposa de pins d'entrades i sortides a la seva placa principal. També descartaríem la placa d'AdvanticsSys perquè no disposa d'un nombre suficient de pins, amb l'afegit que no en té d'analògics.

3.5.2. Comunicacions cablejades i sense fils

En quant a comunicacions cablejades i sense fils, la guanyadora segueix essent la Waspote. Disposa d'un extens ventall de mòduls de comunicacions, que desfasa directament la resta de plaques mote, exceptuant el cas de la placa de Microchip que gràcies als mòduls de de MikroElectronica i mitjançant la connexió MikroBus, també resulta ser molt competent en aquest àmbit.

3.5.3. Consum

El consum, no és una característica realment imprescindible, per l'ús de pràctiques que està destinada la placa. Waspote està concebuda per a funcionar amb alimentació a través d'un adaptador de paret, a través d'USB, amb bateries o fins i tot amb panell solar. Les plaques AdvanticSys, la SimpleLink i MicroChip i Maxim Integrated, totes quatre poden ser alimentades tan per USB com per bateries, de manera que no divergeixen tant en aquest punt respecte la placa de Libelium. Cal remarcar que cap d'aquestes plaques, incloent Waspote, ofereixen la possibilitat, o faciliten l'accés, a la mesura del consum elèctric, suposant així un inconvenient, ja que obliguen a l'usuari a modificar la pròpia placa, així com el cablejat per a realitzar la mesura.

3.5.4. Programació i núvol

El servei de núvol i bases de dades, gestionats per Libelium són una eina molt útil. L'inconvenient que tenen aquests serveis, és la obligatorietat de pagament, encara que sigui per un ús mínim, com resulten ser les pràctiques.

L'alternativa als serveis propis de cada fabricant, és la utilització de serveis de cloud d'ús gratuït temporal, com ara Amazon Web Services, o Google Cloud. El principal avantatge és la possibilitat de realitzar proves gratuïtes, essent idoni per a les pràctiques, però a contrapartida, aquests requereixen d'un cert nivell de coneixement, i de programació, per a poder ser usats de forma eficient i exitosa.

En la programació i la informàtica, la popularitat en pàgines web com fòrums, tan oficials com no oficials, també es un element fonamental. Disposar d'una gran comunitat al darrere ajuda molt a facilitar la resolució de dubtes i problemes que sorgeixen durant la programació, i utilització dels nodes sensors. Libelium, SimpleLink i Microchip i Maxim Integrated, disposen de fòrums oficials, amb ajuda directe de personal de l'empresa, per tant suposaria un punt a favor d'aquestes, en aquest àmbit.

3.5.5. Conclusions

Per acabar, fins ara Waspote hem vist que és un candidat molt bo, però com s'ha comentat, té els inconvenients de la no compatibilitat entre les diferents versions de Waspote, com la necessitat gairebé obligatòria de la compra del gateway, o crear-se una solució pròpia i adaptada, per poder-se comunicar amb el núvol.

També destacar la necessitat dels mòduls d'expansió i comunicacions per completar les funcions, no incloses a la placa principal. Vinculat a l'anterior punt, tenir en compte, es el seu elevat preu en comparació amb els altres nodes sensors vistos amb anterioritat.

Com a conclusió final d'aquest estudi, remarcar que tot i la gran diversitat de marques que ofereix el mercat actual, cap de les solucions anteriorment explicades, s'acaba d'adaptar a la necessitat actual. Per aquest motiu, i tenint en compte les mancances d'alguns nodes sensors explicats, i els requeriments necessaris a cobrir, s'obren les portes a desenvolupar una solució adaptada per a la Universitat de Girona.

4. DISSENY D'UN NODE SENSOR WIRELESS

En l'anterior apartat, s'han estudiat els possibles candidats, per a trobar una possible solució, per satisfer les necessitats exposades anteriorment a l'inici d'aquest document. Finalment, s'ha acabat veient, que cap acabava d'encaixar perfectament amb els requeriments, ja sigui en aspectes tals com comunicacions, entrades i sortides, o preu, i s'ha optat per la via de crear, un disseny nou i completament adaptat als requeriments.

Bàsicament, un node sensor, consisteix en una placa electrònica, on hi coexisteixen tota una sèrie de components, com per exemple, microcontroladors, elements radio-transmissors, unitats de memòria, alimentació elèctrica, bateries, sensors, també elements passius i actius com resistències, inductàncies, condensadors, circuits integrats entre altres. Tots aquests elements, han estat específicament escollits i dimensionats, tenint en compte els requeriments de l'aplicació que hauran de servir, amb el clar objectiu d'obtenir els millors resultats, de forma duradora i fiable, sense suposar un sobre-cost. Abans d'embarcar-nos a la tria de components, sempre va bé recordar els nostres requeriments, per no perdre de vista el nostre objectiu.

La solució final que es persegueix amb la realització d'aquest projecte, consisteix en la construcció d'un node sensor dotat de comunicacions Wi-Fi, Bluetooth, USB, i2C. Haurà de permetre connectar mòduls, i sensors tant analògics com digitals, disposar de resposta a esdeveniments interns i externs, i ser capaç de funcionar de forma autònoma gràcies a l'ús de bateries en combinació amb un disseny de baix consum, i ser més econòmic que la placa Libelium Waspnote. Les característiques d'aquest, seran la base de referència, per a la construcció del nou node sensor.

Al llarg dels següents apartats s'explica el disseny i l'elecció de components, així com es mostren els càlculs referents als diferents circuits encarregats de desenvolupar les diverses funcions, acord amb els requeriments de disseny. El programa escollit per realitzar el disseny del node sensor és l'Altium Designer 20. Ens permet dissenyar els circuits amb components reals de part dels fabricants, i té infinitat de funcionalitats que assisteixen al disseny electrònic, i faciliten i simplifiquen la tasca dels dissenys electrònics.

4.1. Planificació hardware node sensor

La planificació, és un element essencial, en la part inicial de qualsevol projecte, per tal d'aclarir les tasques a realitzar i prendre les decisions adients per optimitzar el temps i els recursos. Aplicant aquesta premissa, al disseny del nou node sensor, es pot desglossar tota la placa, en el conjunt de blocs funcionals interconnectats, mostrat a la següent figura.

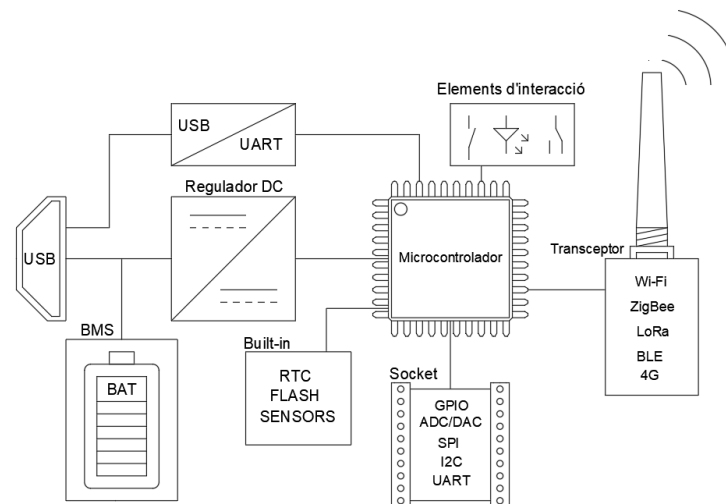


Figura 17. Diagrama de blocs node sensor

Ajudant-nos del diagrama mostrat a l'anterior figura, podem veure que el connector USB, és l'element principal d'alimentació del node sensor. Aquest, tindrà la funció de comunicar-se amb el microcontrolador, mitjançant el convertidor USB a UART. També ens permetrà alimentar de forma directa el sistema, i en cas que hi hagi presència de bateria, gràcies al bloc BMS, es disposarà de la capacitat per a poder carregar-la. El bloc regulador DC, sempre donarà prioritat al connector USB per proporcionar alimentació elèctrica als diferents elements de la placa. En cas que d'absència d'USB, i amb presència d'una bateria de Liti o Lipo, es podrà alimentar tot el sistema, permetent un funcionament completament autònom de la placa. El bloc regulador DC, s'encarregarà d'alimentar el microcontrolador juntament amb la perifèria del seu voltant, com ara sensors o mòduls. El bloc del microcontrolador, gestionarà tot el programa d'usuari, així com les comunicacions, els pins GPIO etc. També es disposarà de pins en format sòcol, per a poder acoblar tota mena de components, com sensors, led's i mòduls externs, per ampliar les funcionalitats de la placa principal. Finalment també hi haurà un bloc transceptor per poder enviar i rebre dades a través de protocols tals com Wi-Fi i BLE

4.2.

4.2. Bloc del microcontrolador

Un cop planificada, l'estructura bàsica de blocs del nou node sensor, s'ha d'escollir el hardware que desenvoluparà les funcions i tasques necessàries, per a complir amb els requeriments del disseny estipulats. Començarem per el bloc del microcontrolador

4.2.1. Microcontrolador ESP-32-WROOM-32

El microcontrolador és la part central de tot node sensor. Aquest executa la seqüència d'instruccions del programa d'usuari, on es poden realitzar tasques tals com, llegir o escriure valors digitals o analògics, provinents de tota mena de components, com ara sensors, contactes, pulsadors, que estan elèctricament connectats, a pins específics del microcontrolador. La funció d'aquests pins és realitzar tasques de lectura o escriptura, així com tasques de comunicació amb altres circuits integrats, mitjançant protocols com SPI, I2C, UART, amb l'objectiu d'obtenir dades, o controlar i configurar dispositius perifèrics. La comunicació, però, no s'acaba aquí, seguint la línia d'loT, un important aspecte és també la capacitat de comunicar-se sense fils, utilitzant tecnologies de comunicació radio com el Wi-Fi, el Bluetooth, ZigBee, LoRa, entre altres.

El microcontrolador escollit per el desenvolupament del nou node sensor, és l'ESP-32-WROOM-32, fabricat per l'empresa Espressif Systems. Aquest model en concret, no només consisteix en el famós microcontrolador ESP-32, sinó que es tracta d'un mòdul encapsulat SMD, que agrupa diverses funcionalitats en un sol mòdul, tal i com podem veure a la imatge que es mostra a continuació. El preu d'adquisició també és un element fonamental ja que ronda al voltat de 3~4€, i qualitat preu és imbatible, avui en dia, no té rival.

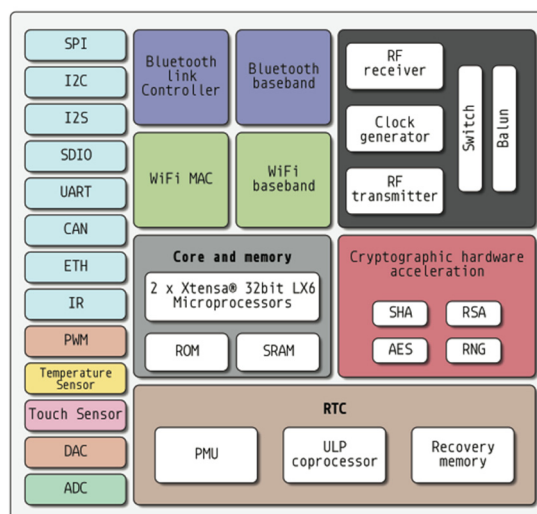


Figura 18. Diagrama ESP-32-WROOM-32

Dins d'aquest encapsulat alimentat entre 2.3 a 3.6 V, hi trobem diferents elements. El més important és el micro-processador de doble nucli Tensillica Xtensa LX6 de 32 bits d'ultra baix consum, capaç de funcionar de 80 a 240 MHz. El mòdul ESP-32-WROOM-32 incorpora un cristall oscil·lador de 40 MHz. Però això no és tot, l'ESP-32 és famós, per poder-se comunicar sense fils, gràcies a l'antena PCB de ràdio, amb el conjunt d'amplificador i filtres per la recepció i transmissió de comunicacions per ràdio, juntament amb la implementació de capes com 802.11 Wi-Fi, Bluetooth i Bluetooth low energy. Incorpora també 448 Kb de memòria interna ROM, 520 Kb de memòria SRAM, 4 Mb FLASH i suport de fins a 16 Mb de memòria FLASH externa. Respecte a les interfícies, disposa de 34 GPIO, que poden ser usats com a sortides PWM. D'aquests 34 pins GPIO, 16 poden ser configurats com a entrades analògiques, amb una resolució de fins a 12 bits, i 2 poden ser configurats com a sortides analògiques amb una resolució de 8 bits. Els pins GPIO, també es poden com a comptador de polsos, o per a comunicacions, estant a disposició 2 ports I2C, 3 ports UART, CAN 2.0, 4 ports SPI, 2 ports i2S. Inclou funcions extra com un port JTAG per realitzar depuracions de programa, interfície per a targetes SD, i suport per a memòria flash externa a través d'SPI. El consum en condicions normals, ronda els 80 mA aproximadament i el màxim al que pot arribar és d'uns 500 mA quan s'activen les sortides i es fan servir les comunicacions per ràdio. Gràcies a les funcions de sleep, es permet reduir el consum fins als 5 μ A, idoni en aplicacions que funcionen amb bateria. En quant a temporització disposa de 4 temporitzadors interns amb una resolució de 64 bits, així com un RTC perifèric amb clock programable.



Figura 19. ESP-32-WROOM-32

4.2.2. Disseny del bloc Microcontrolador

El microcontrolador per si sol no és capaç de funcionar. És per això que requereix de tota una electrònica al seu voltant per a poder ser alimentat i comunicat amb l'exterior, tant amb l'ordinador com a través dels diferents pins que disposa.

Els pins EN i IO0 es reserven per poder iniciar el mode bootloader el microcontrolador. La IO02 al igual que les plaques de desenvolupament basades en aquest microcontrolador, s'ha decidit deixar com a sortida per al led built-in LD1. Finalment els pins CLK, CMD, SD0, SD1, SD2, SD3 no es connecten, ja que s'usen internament per la comunicació SPI0 i SPI1 servint per, comunicar-se amb la memòria flash interna del mòdul. La resta de pins són GPIO normals o amb funcions addicionals com comunicacions, sortides o entrades analògiques, funcions del RTC entre altres.

La utilització dels diferents pins s'ha concebut seguint els esquemes recomanats, i les guies d'aplicació del fabricant, l'esquema de connexions amb el microcontrolador ESP-32-WROOM-32 és el següent:

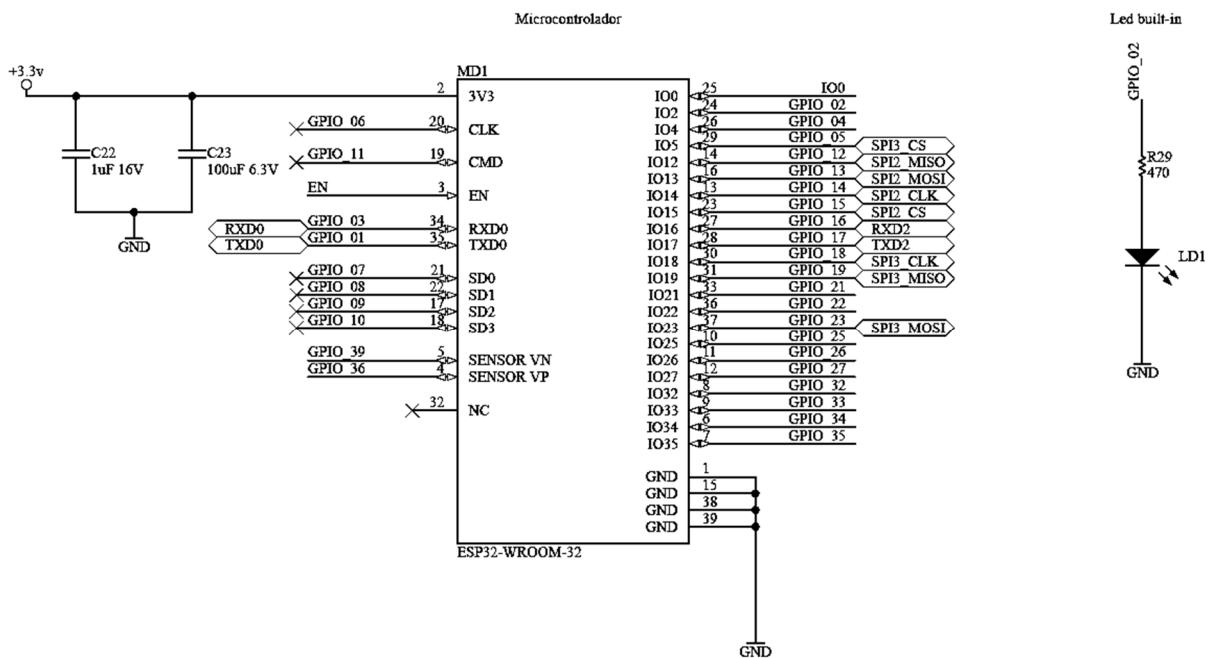


Figura 20. Connexions microcontrolador

Un cop s'han decidit els pins que s'utilitzen, el següent pas és distribuir-los de forma estratègica per formar el sòcol. Seguint l'estil de la majoria de nodes sensors, s'ha optat per un disseny basat en la utilització dels típics sòcols femella, per poder acoblar tota mena de plaques d'expansió, així com connectar cablejat i sensors de forma ràpida, per facilitar el prototipatge.

La distribució utilitzada, es basa en la dels mòduls XBee, en quan a dimensions mecàniques i a pinout, essent equivalent sòcol ràdio de Wasmote, i per tant a la majoria de mòduls d'expansió de ràdio que ofereix Libelium.

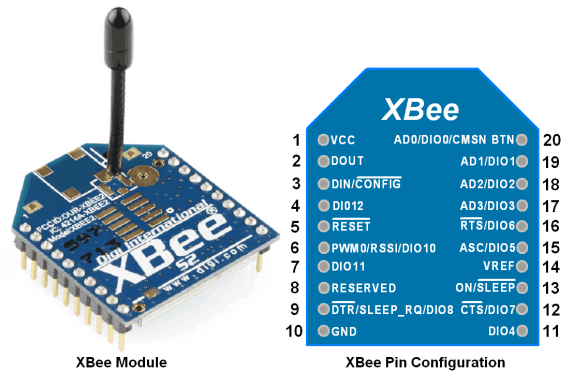


Figura 21. Pinout mòduls XBee

La següent figura mostra l'esquema de la distribució dels diferents pins amb el sòcol

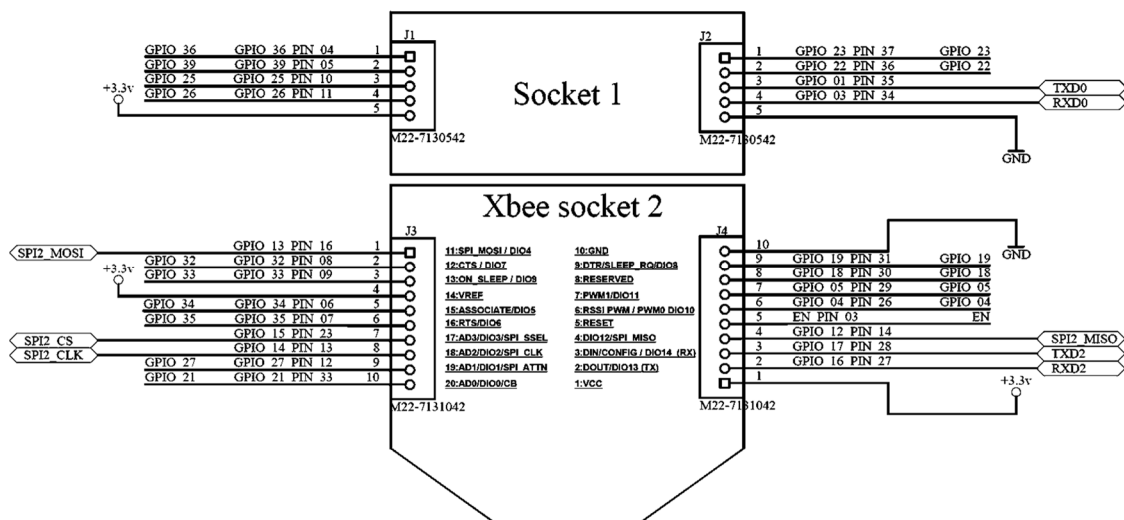


Figura 22. Sòcols node sensor

4.3. Bloc de comunicació i alimentació USB

Abans d'entrar en detall sobre les comunicacions per USB, primerament es tractarà el tema del hardware per dur a terme l'alimentació elèctrica de la placa, per USB.

El primer component d'aquest bloc, és el connector USB. Actualment n'hi ha una gran varietat, de diferents mides i pins, al llarg de totes les seves versions. S'ha optat per treballar, amb conegut connector Micro-USB-B, capaç de suportar corrents de fins a 1.8 A per aplicacions de càrrega i de reduïdes dimensions.

Abans que el bus USB es convertís en tot un referent a nivell global, existien altres protocols de comunicació sèrie com l'RS-232 / 485. La imposició del bus USB, ha suposat un gran avantatge per facilitar la comunicació amb tota mena de dispositius. Malauradament el microcontrolador escollit, l'ESP-32, no permet una connexió directa per USB amb un ordinador, però sí que la permet a través de UART. La solució, recau en l'ús dels coneguts Bridges, que ens permetran convertir la comunicació USB a UART, i comunicar directament l'ordinador amb el microcontrolador, amb la finalitat de carregar el programa d'usuari, o realitzar tasques de monitorització.

Un altre aspecte que hem de tenir en compte quan utilitzem una connexió, USB, és l'alimentació elèctrica. El node sensor que es dissenya, no només està concebut per realitzar la programació per USB, sinó també per alimentar elèctricament, la placa de forma directa, sense la presència de la bateria. L'USB, també ens ha de permetre carregar la bateria de Liti de forma segura, tot això mentre podem estar programant i realitzant proves amb la placa.

L'USB com a tal en les seves diverses versions, ha anat patint canvis, i és important dissenyar una electrònica, que permeti, mitjançant el compliment de l'estàndard USB-IF, no danyar el dispositiu que l'alimenta, respectant els seus límits de voltatge i corrent que ens ofereix, independentment del port USB on connectem la placa, ja sigui un adaptador de paret, un ordinador, o un carregador.

4.3.1. Comunicacions UART

Anteriorment, s'ha detallat que el microcontrolador escollit, l'ESP-32, es comunica via UART amb altres dispositius. A continuació es detalla el funcionament bàsic d'aquest tipus de comunicació, per disposar de les nocions bàsiques de cares a poder implementar la comunicació de l'ESP-32 amb un port USB d'un ordinador.

UART, per si sol, no es un protocol de comunicació. El seu acrònim significa, Universal Asynchronous Receiver Transmitter. Va sorgir a la dècada dels 60, i originalment es va crear per gestionar les comunicacions sèrie dels ordinadors. Quan es parla d'UART es fa referència a un circuit integrat, capaç, d'enviar o rebre dades a través del port sèrie.

Les dades que es volen enviar, per sèrie, arriben al circuit UART en paral·lel, sovint provinents d'un microcontrolador. Gràcies a un registre de desplaçament intern, UART, les converteix de paral·lel, a bits sèrie, les introdueix a una trama i les envia. En el procés de recepció de dades,

succeeix el mateix, però a la inversa, les dades rebudes per sèrie es reconstrueixen, i es retornen en paral·lel al destinatari.

Una comunicació sèrie UART, a nivell físic, es duu a terme amb un mínim de dos fils, que transmeten senyals lògics, d'entre 3 a 5 V, i que uneixen de forma directa dos dispositius UART, permetent-los comunicar-se, en símplex, half-fuplex o full-duplex. Aquests fils són TX (Transmitter) i RX (Receiver). Si volem una major robustesa i control d'aquest tipus de comunicació, també hi ha disponibilitat dels pins CTS (Clear to send), RTS (Request to send), entre altres, que permeten la implementació d'un flux de control de dades. Ja sigui per hardware o per software.

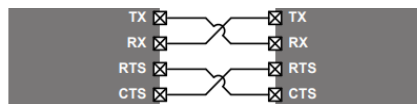


Figura 23. Connexions UART

UART transmet les dades de forma asíncrona, de manera que no hi ha cap senyal de clock, que sincronitzi els dos dispositius en el moment en que es realitza la comunicació. En substitució al senyal de clock, s'usen bits de control, per indicar al receptor que s'estan transferint dades. Aquests bits, defineixen l'inici i el final d'un paquet de dades, amb la finalitat d'indicar al receptor quan ha de començar o parar de llegir. Addicionalment també hi ha un bit de paritat, que permet al receptor verificar la integritat de les dades rebudes. A continuació es mostra l'estructura d'un paquet.

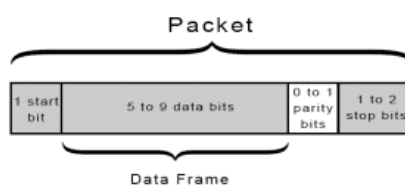


Figura 24. Estructura paquet dades en UART

El receptor normalment està en espera, fins que rep l'anomenat bit, a continuació, aquest comença a llegir els bits entrants a una freqüència concreta, coneguda com a baud rate. El baud rate, mesura la velocitat de transmissió o recepció de les dades, en bits per segon. Per a que la comunicació es produeixi de forma exitosa, és imprescindible que els dos dispositius tinguin configurats el mateix baud rate.

4.3.2. Bridge USB a UART

Quan es tracta de desenvolupar un sistema encastat és imprescindible, disposar d'un mitjà de comunicació entre un host (ordinador) i el sistema, per poder així realitzar monitoritzacions i proves de tot tipus. Durant el procés de disseny del sistema encastat, s'han de prendre moltes decisions, una d'elles es escollir el microcontrolador de la placa. Moltes vegades, el que s'acaba triant, no disposa de totes les característiques que un dissenyador voldria, ja sigui per memòria, nombre de pins o interfícies de comunicació. És el cas de l'ESP-32, és molt versàtil, però no disposa la capacitat, de poder-se connectar a ell de forma directa per USB. Nosaltres, al no ser els dissenyadors del mòdul ESP-32, tenim una alternativa, i és l'ús d'un Bridge USB a UART.

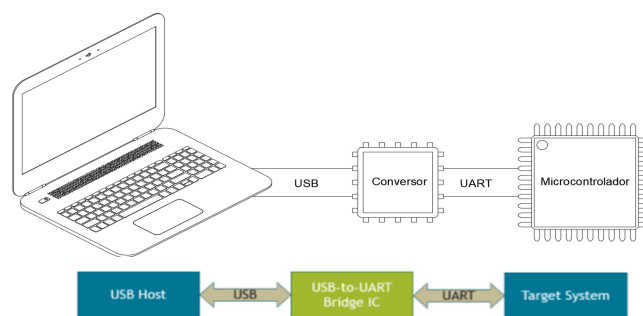


Figura 25. Bridge USB a UART

Un bridge no deixa de ser un circuit, que per una banda gestiona tota la comunicació USB amb l'ordinador, tant de configuració com de comunicació, i per l'altre, actua com a dispositiu sèrie UART, podent també ser configurat. Tot això mentre controla i converteix les dades d'un costat a l'altre.

Des de el punt de vista de l'ordinador, el bridge és identificat com un port sèrie virtual, mentre que per el microcontrolador, el bridge actua com un dispositiu sèrie UART. Els elements bàsics i característics son diversos. Per una banda disposa d'un controlador UART amb els pins bàsics TX, RX, així com també pins addicionals CTS i RTS, per poder realitzar el control de flux d'aquesta comunicació. Per l'altre banda, la de l'USB, disposa d'un controlador i transceptor que gestionen tot el protocol amb el dispositiu host.

La conversió d'un costat a l'altre es realitzada per una unitat de control, normalment un microcontrolador, que gestiona el flux de dades, així com les configuracions de les dues comunicacions. A vegades aquest també proporciona pins digitals, d' entrada i sortida, per poder interactuar amb altres elements.

4.3.3. Comunicacions USB

L'USB, es tracta d' un estàndard de comunicació establert des de l'any 1996. El seu acrònim significa, Universal serial bus, es va dissenyar originalment per dur a terme la comunicació entre ordinadors i perifèrics, en l'àmbit industrial. Amb el pas dels anys, s'ha acabat convertint en un dels estàndards més versàtils i exitosos de comunicació, arreu coneguts avui en dia.

L'USB es una forma fàcil, segura i eficaç per transmetre dades. Ja sigui la versió 1.0, 2.0, 3.0 o fins i tot la 4.0, el mètode de transmissió de les dades ha de seguir un format estàndard. Per aconseguir això, s'han definit elements com el protocol de transferència, o el format dels paquets de dades entre altres. Però no tant sols això, el bus USB també s'ha concebut perquè diversos dispositius s'hi puguin connectar de forma simultània, independentment de la capa física. Tot i que amb el pas dels anys l'estàndard USB s'ha anat actualitzant, des de la versió 1.0 fins la més recent la 4.0, les operacions bàsiques, el protocol, els senyals i modes de transferència, el format dels paquets de dades, bàsicament segueixen essent els mateixos.

Les xarxes USB, són de tipologia estrella, i funcionen per nivells. Només hi ha un sol host, o mestre, que és l'únic que pot iniciar les comunicacions, i diversos o varis dispositius o esclaus. El host, sempre proporciona un punt de connexió, el hub arrel. Una xarxa USB pot consistir d'un màxim de 127 nodes externs, i només es pot expandir fins a un màxim de 7 nivells en total. Un nivell per el host, i 6 nivells per hubs i dispositius.

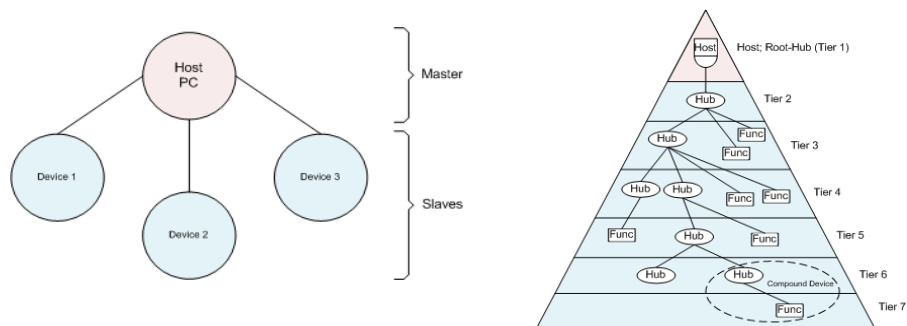


Figura 26. Tipologia de les xarxes USB

Per les versions d'USB 1.0 i 2.0, es sol utilitzar un sistema de 4 fils, alimentació, massa, i un parell trenat, amb impedància característica de 90Ω , per transferència de dades en mode diferencial, amb l'objectiu de reduir les interferències externes, així com els bucles de massa. La designació dels fils és D+, D-, per les versions 1.0 i 2.0. Tractant-se així d'una comunicació half dúplex.

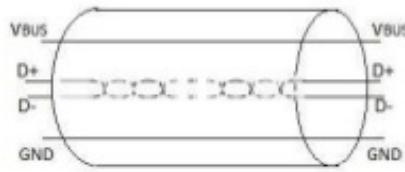


Figura 27. Conductors cable USB 2.0

Amb la aparició de la versió 3.0, es van introduir nous parells trenats, als ja existents, concretament es designen com, TX1+ i TX1-, TX2+ i TX2- per cobrir les dades transmeses, i RX1+ i RX1-, RX2+ i RX2-, per cobrir les dades rebudes, i esdevenint una comunicació de tipus full dúplex.

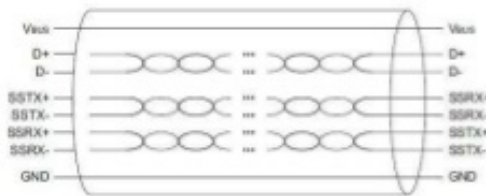


Figura 28. Conductors cable USB 3.0

Els connectors també han estat objecte de canvis, al llarg de les versions d'USB, per poder anar acomodant els canvis produïts a nivell de calbejat. L'objectiu de tots aquests canvis, a nivell de hardware, al llarg de les diferents versions, era essencialment augmentar les velocitats de transferència. Seguidament es mostra una imatge amb les diferents versions d'USB, juntament amb la seva corresponent velocitat de transferència, i els seus connectors.

USB 1.0 12mbps	USB 2.0 480mbps	USB 3.2 Gen 1 (Previously 3.0, then 3.1 Gen 1)	USB 3.2 Gen 2 (Previously 3.1 Gen 2)	USB 3.2 Gen 2x2 (Previously 3.2)
12mbps	480mbps	5gbps	10gbps	20gbps
Type A 	Type A Type B Mini-A Mini-B Micro A Micro B 	Type A Type B Micro-B 	Type A Type B Micro-B Type-C 	Type-C

*Many of these connectors are designed to be backward compatible. For example, the type C connector will function even at USB 1.0 speeds. What has been represented here is when one might normally find a connector and the speed it was designed to support.

Figura 29. Evolució i característiques de l'USB

4.3.4. Alimentació elèctrica mitjançant USB

Inicialment, la majoria de dispositius que s'alimentaven elèctricament per USB, requerien del seu corresponent cable i el seu adaptador, per poder complir amb els requeriments de corrent. Un clar avantatge de l'evolució, ha estat l'aparició de cables i adaptadors intercanviables, per a carregar i alimentar tota mena de dispositius portàtils, amb característiques diferents.

Al llarg de les diverses generacions d'USB, s'han anat variant diverses de les seves característiques, entre elles, també les de potència, les dos primeres versions, l'USB, la 1.0 i la 2.0 concretament, podien entregar com a màxim 5 V 500 mA i 5V 100 mA respectivament, per alimentar els dispositius connectats. L'intent inicial d'aquestes dos primeres versions d'USB, era alimentar dispositius perifèrics de petita potència, com ara teclats o ratolins, i no per a carregar dispositius. Amb el pas del temps, finalment, aquesta limitació, va motivar a crear una nova especificació suplementària, de l'estàndard USB, amb l'objectiu d'incloure aplicacions de càrrega a través d'USB. Aquesta modificació es tracta de la BC1.1, Battery charging, revisada el 04/05/2009 i reconeix l'ús de l'USB per a carregar bateries, i n' augmenta l'amperatge de les fonts USB fins als 1.5 A. Actualment, existeix la revisió BC1.2, que va ser publicada el 07/12/2010.

La revisió BC1.1, anava més enllà de l'especificació USB 2.0, parlant en termes de potència, ja que definia tres tipus de fonts d'alimentació addicionals, per a carregar bateries. Amb la revisió BC1.2, algunes de les característiques d'aquests ports han canviat, mantenint la compatibilitat de la primera revisió.

Aquestes són, la SDP Standard downstream port. Consisteix en el mateix tipus de port USB definit per la especificació USB 2.0. El podem trobar en ordinadors de sobre taula i portàtils. La màxima càrrega dels dispositius connectats, són 2.5 mA en estat suspended, 100 mA en estat actiu, i 500 mA també en estat actiu i amb la corresponent configuració de corrent. La identificació per part d'un dispositiu, d'un port USB de tipus SDP, es realitza per hardware, detectant les que les línies per transmetre dades, D+ i D-, estan posades a massa de forma separada a través d'una resistència de 15 k Ω , tot i això el dispositiu també ha de ser enumerat per complir amb la especificació de l'USB 2.0. Avui en dia però, trobem molts dispositius que, consumeixen corrent dels ports USB, sense ser enumerats, i saltant-se la norma completament.

També ens podem trobar amb els DCP o Dedicated Charging Ports. Aquests són ports descrits com a fonts d'alimentació, o adaptadors AC de paret. Es caracteritzen per no

enumerar el dispositiu connectat, i sense pràcticament comunicació. Aquests ports poden donar més d'1.5 A, i la identificació d'aquests, per part del dispositiu es duu a terme també per hardware, detectant un curt-circuit entre les línies de dades D+ i D-. Aquest tipus de ports, els trobarem acompanyats de cables USB especials per a tals fins.

Finalment, també existeixen els CDP o Charging Downstream Ports. Aquests tipus ports USB, tenen major capacitat d'entrega de corrent, per ordinadors, portàtils, entre més hardware. Aquests tipus ports poden donar fins a 1.5 A. Això va esdevenir un requeriment de partida, per a l'USB 2.0, ja que aquest corrent es pot proporcionar sense enumeració inicial del dispositiu. La identificació d'un port CDP es du a terme mitjançant un handshake a nivell de hardware, implementat la manipulació i monitorització de les línies D+ i D-. Primerament es realitza aquesta detecció de hardware, i un cop acabada es deixen les línies lliures per els transceptors, encarregats d'enviar i rebre dades de forma normal. Aquest tipus de port té una gran avantatge ja que es pot alimentar amb un nivell raonable de corrent, així com transmetre dades USB mini o micro, per a carregar pràcticament la majoria de dispositius.

És imprescindible, que quan un dispositiu es connecta per USB, ja sigui per alimentar-se a si mateix, o per carregar una bateria, aquest ha de tenir coneixement, de quanta corrent disposa per part del port. Imaginem, un dispositiu que intentar consumir 1 A de corrent, d'una font o port USB pot donar 500 mA, això pot resultar en un desastre, amb conseqüències greus com sobrecàrregues al port, aturades i mal funcionament, o fins i tot que es pugui arribar a cremar un fusible entre altres danys. Tot i així els dissenys tenen tres opcions. Limitar només el corrent de consum del dispositiu USB sense identificar-se amb ell port. Utilitzar un sistema de detecció i identificació del tipus de port USB,. No limitar ni detectar, i simplement consumir corrent del port, confiant que aquest ja limitarà el consum.

Per els motius anteriorment exposats, i per complir degudament la especificació BC1.2, es mandatari incloure al disseny, un sistema de detecció, capaç de distingir entre els diferents ports USB, l'SDP, CDP i el DCP, al qual el nostre dispositiu es podrà connectar, i poder-ne adaptar els requeriments de consum. Aquestes identificacions de port es poden implementar de diverses maneres, seguidament s'explica com.

Podem trobar dispositius on s'utilitzi el propi software, un circuit integrat, dedicat que interactuï amb les línies D+ i D-. Això depèn molt del disseny, si per exemple, aquest ja incorpora un microcontrolador per realitzar la gestió de potència, també es pot utilitzar per realitzar la detecció del tipus de port USB, basant-se en els resultats de configuració i enumeració.

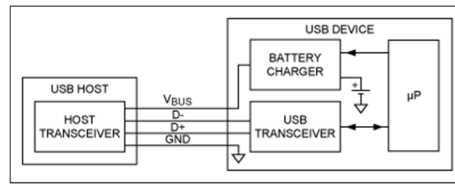


Figura 30. Dispositiu USB amb transceptor i carregador de bateria

Altres tipus de dispositius, poden no estar concebuts per comunicar-se per USB, i l'únic que necessiten és l'alimentació de l'USB. Aquests tipus de muntatges, són més simples en quant a disseny, tant de hardware com de software. Com el sistema no s'enumera, la millor opció és la auto-enumeració del circuit integrat carregador. Aquest gestionarà tota la protecció i càrrega de la bateria, sense requerir ajuda externa del sistema.

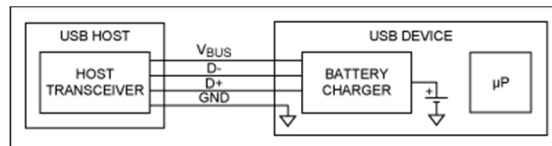


Figura 31. Dispositiu alimentat directament per USB

4.3.5. Disseny del bloc d'alimentació i comunicació USB

Abans d'entrar en detall sobre les comunicacions per USB, primerament es tractarà el tema del hardware per dur a terme l'alimentació elèctrica de la placa, per USB.

El primer component d'aquest bloc, és el connector USB. Actualment n'hi ha una gran varietat, de diferents mides i pins, al llarg de totes les seves versions. S'ha optat per treballar, amb conegut connector Micro-USB-B, capaç de suportar corrents de fins a 1.8 A per aplicacions de càrrega i de reduïdes dimensions.

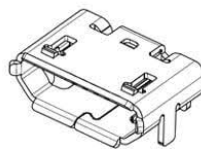


Figura 32. Connector femella micro-USB

Seguint amb el disseny del hardware USB, i tenint present diverses pautes i recomanacions bàsiques per protegir, i fer segur el circuit electrònic, el primer element de protecció que ens trobem, són els díodes TVS. Aquests components, protegeixen les tres línies Vbus, D+, i D-, de possibles descàrregues electroestàtiques de l'ordre de KV.

En funció del tipus de cable USB que connectem a la placa, podem trobar-nos amb el tipus FS Full speed. Aquests porten una malla a mode d'apantallament, i hem de tenir certes precaucions a l'hora de connectar-la amb la nostra placa, ja que el cable actua com una antena. Per resoldre això s'utilitza un filtre RC, per reduir aquests efectes no desitjats, sobre el nostre circuit.

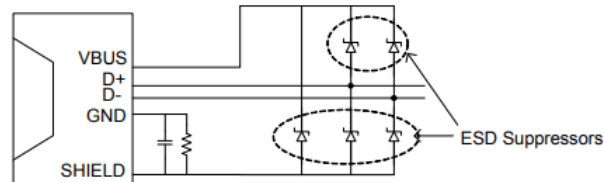


Figura 33. Esquema díodes TVS

Altres efectes no desitjats són el soroll i interferències electromagnètiques, presents en l'alimentació. Per reduir-los es fa us d'un filtre EMI, compost per condensadors, i bobines amb nucli de ferrita. Quan components AC d'alta freqüència incideixen al circuit, el bloc de filtratge els atenua, impedit que pertorbin el funcionament del circuit.

El connector Micro-USB-B escollit, té una única posició d'encaix. Aquest ha estat concebut, per encaixar en una única posició, que ens assegura que mai es podria connectar amb la polaritat invertida, ocasionant danys al circuit. De totes maneres, mai ens hem de confiar, ja que l'usuari sempre pot manipular els cables, ja sigui per mesurar, o realitzar diverses proves, i això suposaria un risc per la placa. Per aquest motiu s'utilitzen elements de polaritat inversa, com transistors mosfet canal P.

Aquests transistors, condueixen quan la tensió V_{gs} és negativa. Inicialment, esta bloquejant, però gràcies al díode paràsit, comença a circular cert corrent. Aquesta circulació, fa aparèixer un voltatge al sortidor, que respecte la porta és negatiu, fent que el transistor condueixi i faci un bypass al díode paràsit. Quan està en conducció completa, i amb la polaritat correcta, les pèrdues són mínimes, al tractar-se d'un mosfet. El moment en que connectem la polaritat al revés, la tensió V_{gs} , és positiva i aquest mai conduirà, impedit que el corrent invers pugui circular per el circuit, i consegüentment protegint-lo.

Un element bàsic, que podem trobar a la majoria de circuits són els fusibles. Quan es produeix un curt-circuit els corrents poden arribar a ser molt elevats, en funció de la font d'alimentació, és per això que em de disposar de la forma de limitar-los i protegir el circuit. La solució adoptada és l'ús d'un fusible de 3A amb auto-rearmament. Aquest permet corrents de

funcionament normals de fins 1.5 A, però en cas que es produeixi un curt-circuit, on els corrents augmenten exageradament, el moment que es superin els 3 A, aquest s'escalfa i actua tallant de forma ràpida i eficaç el curt-circuit produït.

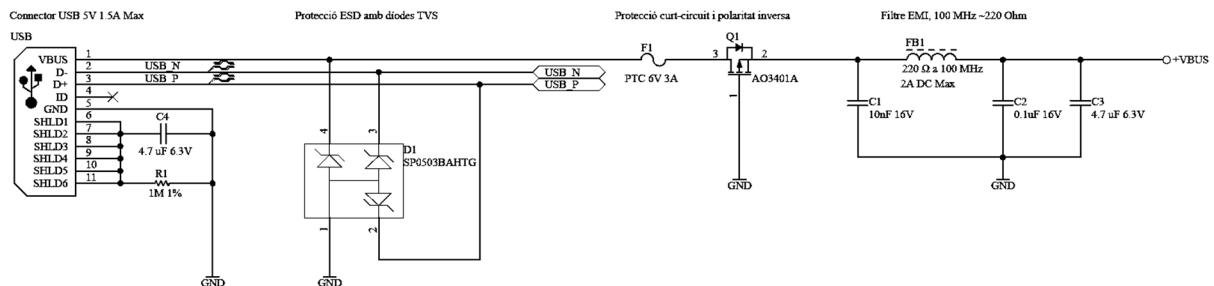


Figura 34. Bloc d'alimentació elèctrica USB

En els anteriors apartats, s'ha detallat i explicat la base teòrica sobre comunicacions UART, el protocol USB i les seves restriccions d'alimentació, i de l'existència de circuits integrats bridge, per traduir les comunicacions. A continuació es detalla el disseny electrònic, que s'ha optat i que permet finalment, comunicar via USB, el mòdul ESP-32, així com alimentar-lo correctament.

L'actual oferta de circuits integrats bridge, d'USB a UART, és molt gran i diversa. Hi ha molts fabricants com FTDI, Cypress, Maxim Integrated, Silicon Labs. La gran majoria són circuits bridge i prou. N'hi ha un en concret però, que és una excepció, i que ofereix unes característiques ideals per poder implementar al disseny del node sensor.

Es tracta del CP2102N del fabricant Silicon Labs, concretament la versió SMD en 28 pins QFN, la CP2102N-A01-GQFN28R. Aquesta variant en concret, apart de la funció principal de bridge, entre USB 2.0 full speed i UART o RS-232/485, disposa de la capacitat de detectar el tipus de port USB al qual aquest es connecta, ja sigui SDP, CDP, o DCP i mitjançant pins digitals de sortida, indicar el corrent màxim disponible del port complint la especificació USB BC1.2. Com la majoria de circuits bridge d'avui en dia, aquest també ofereix fins a 7 pins digitals per funcions addicionals, així com els corresponents divers, que permeten configurar paràmetres de la comunicació USB entre altres. Una altra característica que el fa molt atractiu, és el fet que la banda d'USB, treballa amb els voltatges nominals de 5 V mentre que a la banda d'UART, els voltatges són de 3.3 V, essent ideal perquè coincideixen amb els voltatges de treball de l'UART de l'ESP-32.



Figura 35. Bridge Silicon Labs CP2102N QFN28

L'esquema d'aplicació del circuit integrat, s'ha realitzat seguint el muntatge recomanat per part del fabricant. Primerament destacar, que s'ha optat per la variant, que permet a l'integrat alimentar-se del bus USB, permetent així reduir el consum global de la placa, quan aquesta està desconnectada de l'USB i funcionant de forma autònoma, a partir de la bateria de Liti. Gràcies al regulador lineal intern, el circuit s'alimenta amb els 5 V del bus USB, i també proporciona 3.3 V, per els senyals de la banda d'UART, així com alimentació d'elements externs addicionals, com són els led's que indiquen moviment en les comunicacions.

Cal destacar la funcionalitat de detecció del tipus de port USB, permetent al circuit indicar mitjançant els pins CHREN, CHR0, i CHR1 el corrent del port, 100 mA, 500 mA o fins 1.5 A respectivament. Aprofitant aquests senyals lògics, i amb l'ajuda d'electrònica addicional, es limita el consum de corrent de tot el circuit, habilitant i deshabilitant la càrrega de la bateria externa. Només es permet la càrrega de la bateria, per a ports USB capaços de subministrar fins a 1.5 A, corrent més que suficient per alimentar tota la placa, i carregar la bateria amb el seu corrent màxim.

En aquest muntatge, també s'utilitzen els senyals de RTS i DTR de la comunicació UART, per realitzar tasques addicionals, com l'automatització de la programació de l'ESP-32.

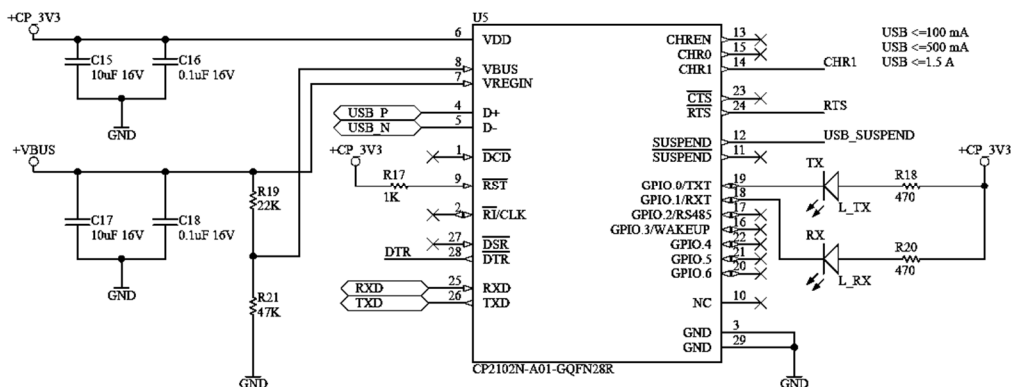


Figura 36. Esquema bridge USB a UART

Per poder carregar el programa a l'ESP-32, s'ha de seguir un procediment especial indicat pel fabricant Espressif. Aquest, ofereix diversos programes de desenvolupament. Esptools, és un conjunt d'eines que s'encarreguen de realitzar diverses tasques, entre elles la d'enviar el programa a través del bridge. L'ESP-32 disposa de varis pins, anomenats strapping pins. Accionant aquests pins amb una certa seqüència proporcionada per el fabricant, permet configurar certes opcions prèvies al funcionament del microcontrolador, com ara el voltatge del regulador intern, entrar en mode bootloader per carregar el programa, entre altres.

Per iniciar seqüència de càrrega de programa, s'han de produir dos esdeveniments precedits un de l'altre. El primer és provocar un reset de l'ESP-32. Existeixen dues maneres de provocar-lo, un és treure l'alimentació i tornar-la a aplicar, i l'altre és un flanc de pujada al pin EN. Un cop entra a la seqüència de reset, aquest realitza un mostreig del voltatge als strapping pins. Si es detecta que el pin IO0, esta en estat baix, això significa que entri en mode bootloader per UART. A continuació aquest espera l'enviament del programa en format (.bin) per UART.

Tota aquesta procediment, es pot realitzar de forma manual mitjançant l'ús de polsadors, i requerint del coneixement de la seqüència per part de l'usuari. Existeix però una alternativa que automatitza el procés, i és l'ús dels pins DTR i RTS del bridge. El moment en que el programa s'envia fent servir Esptools, aquest primerament, activa una seqüència lògica als pins DTR i RTS que gràcies a l'ús d'electrònica addicional, permet controlar els pins EN i IO0 perquè s'accionin automàticament. Un cop els ha accionat, Esptools, procedeix amb la càrrega del programa per UART.

La majoria de terminals sèrie dels ordinadors, quan s'usen activen les funcions de control de flux de dades DTR i RTS d'UART. Això portaria problemes, de cares a realitzar una monitorització per el port sèrie amb l'ESP-32, perquè activarien de forma no desitjada els pins EN i IO0 causant un mal funcionament. Per solucionar aquest problema, es fa servir una xarxa de dos transistors bipolars, connectats d'una forma determinada, i que eviten l'accionament simultani dels 2 senyals EN i IO0.

DTR	RTS	EN	IO0
1	1	1	1
0	0	1	1
1	0	0	1
0	1	1	0

Taula 4. Taula auto-programació DTR RTS

A continuació es mostra l'esquema que permet tant la programació manual amb polsadors, com la automatitzada amb transistors. En ambdós casos, s'usen resistències per limitar els corrents dels pins digitals i dels transistors. També es fa ús de condensadors per provocar una desfasament de temps entre els senyals d'accionament de l'auto programació, i d'aquesta manera assegurar, que l'ESP-32, entra correctament en el mode bootloader.

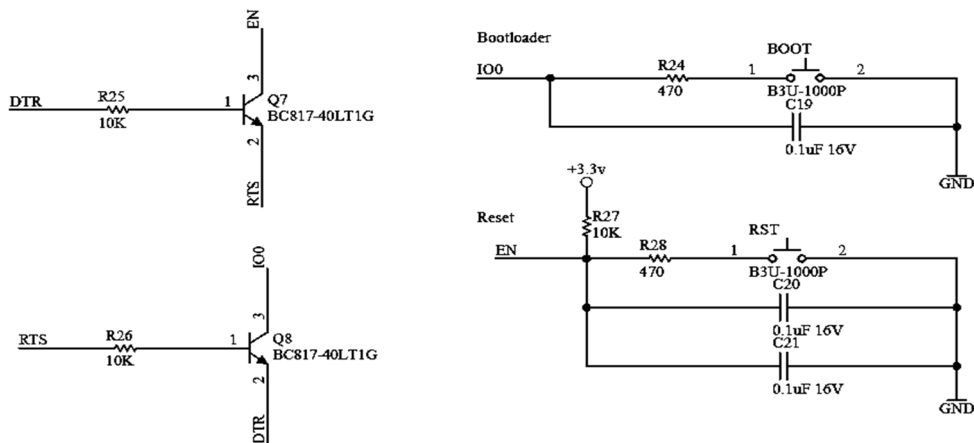


Figura 37. Programació automàtica i manual microcontrolador

4.4. Bloc BMS

L'acrònim BMS prové de l'anglès i significa Battery management system,. La funció d'aquest bloc funcional, és carregar de forma adequada i eficient, la bateria que alimentarà el sistema, quan el node sensor no es trobi alimentat per USB. Abans de poder dissenyar el bloc de protecció i gestió de bateria, s'ha de tenir clar el tipus de bateria i les seves característiques, per a poder adaptar el disseny dels circuits electrònics de gestió. Existeixen una gran varietat, en el mercat de les bateries recarregables, en funció de la seva química interna, com ara bateries d'àcid-plom, de Niquel o Liti, entre altres. A continuació es detalla de forma breu, les característiques generals, de les bateries més esteses actualment a nivell comercial.

4.4.1. Estudi de bateries

Bateries de Nickel-Cadium (NiCd). Són bateries mundialment conegudes. Es va començar a investigar la seva química a principis del segle XX, però fins la dècada dels 50, no es van començar a comercialitzar. Es tracta de bateries amb una baixa densitat d'energia, de llarga duració, alta capacitat de descàrrega, i de baix preu. Es solen usar en aparells electrònics com ràdios, equipament biomèdic, càmeres de fotos, i tota mena d'eines elèctriques.



Figura 38. Bateria NiCd

Bateries d'Àcid-Plom. Són el tipus de bateries més econòmiques conegudes arreu. Es van començar a estudiar a mitjans del segle XIX, però no es van comercialitzar fins als anys 70, on la finalitat d'aquestes era per la indústria de l'automoció. Es caracteritzen per el seu elevat pes, però alhora per la seva gran capacitat d'emmagatzematge i entrega d'energia. Les trobarem majoritàriament a tota mena de vehicles, sistemes d'alimentació ininterrompuda, instal·lacions solars fotovoltaïques etc.



Figura 39. Bateria àcid plom

Bateries híbrides de Níquel. (NiMH). Són bateries molt similars a les NiCd. Comparades amb aquestes, tenen una major densitat energètica, i una major capacitat d'entrega d'energia a canvi d'una menor vida útil. Es van començar a desenvolupar les primeres proves, a mitjans de la dècada dels 60, i no es van estendre fins els anys 90. Les trobarem a tota mena de dispositius electrònics com ordinadors, telèfons mòbils entre altres.



Figura 40. Bateria NiMH

Bateries d'Ió de Liti. Es tracta del tipus de bateria que més ràpid s'ha estès avui en dia. Els primers prototips d'aquest tipus de bateries, van començar a sorgir a finals del segle XX, i àmpliament comercialitzades a inici del segle XXI. Es tracta de bateries amb una molt alta densitat d'energia, sense posar en compromís el pes d'aquesta. Es caracteritzen per ser bateries mecànicament fràgils, i que requereixen d'una electrònica de protecció addicional, per tal de fer-les segures. Les podem trobar a la majoria de dispositius portàtils, com ara ordinadors, telefonia, eines de bricolatge etc.



Figura 41. Bateria de Liti

Bateries de polímer de Liti. És molt similar a la bateria de Liti, comparteixen pràcticament la mateixa història, desenvolupades a finals del segle XX. Aquest tipus de bateries, disposen de l'avantatge d'una geometria i empaquetaments molt més reduïts, respecte les bateries d'ió de Liti. Les trobarem majoritàriament en joguines, aeromodelisme, telefonia etc.



Figura 42. Bateria Lipo

Seguidament es mostra una taula, que ens permetrà comparar, les característiques de les diferents bateries esmentades anteriorment, amb la finalitat d'escollir la més adequada per satisfer les necessitats del nostre node sensor.

	NiCd	NiMH	Lead Acid	Li-ion	Li-ion polymer
Gravimetric Energy Density (Wh/kg)	45-80	60-120	30-50	110-160	100-130
Internal Resistance (includes peripheral circuits) in mΩ	100 to 200 ¹ 6V pack	200 to 300 ¹ 6V pack	<100 ¹ 12V pack	150 to 250 ¹ 7.2V pack	200 to 300 ¹ 7.2V pack
Cycle Life (to 80% of initial capacity)	1500 ²	300 to 500 ^{2,3}	200 to 300 ²	500 to 1000 ³	300 to 500
Fast Charge Time	1h typical	2-4h	8-16h	2-4h	2-4h
Overcharge Tolerance	moderate	low	high	very low	low
Self-discharge / Month (room temperature)	20% ⁴	30% ⁴	5%	10% ⁵	~10% ⁵
Cell Voltage (nominal)	1.25V ⁶	1.25V ⁶	2V	3.6V	3.6V
Load Current					
- peak	20C	5C	5C ⁷	>2C	>2C
- best result	1C	0.5C or lower	0.2C	1C or lower	1C or lower
Operating Temperature (discharge only)	-40 to 60°C	-20 to 60°C	-20 to 60°C	-20 to 60°C	0 to 60°C
Maintenance Requirement	30 to 60 days	60 to 90 days	3 to 6 months ⁹	not req.	not req.
Typical Battery Cost (US\$, reference only)	\$50 (7.2V)	\$50 (7.2V)	\$25 (6V)	\$100 (7.2V)	\$100 (7.2V)
Cost per Cycle (US\$) ¹¹	\$0.04	\$0.12	\$0.10	\$0.14	\$0.29
Commercial use since	1950	1990	1970 (sealed lead acid)	1991	1999

Taula 5. Característiques de diferents bateries

El tipus de bateries que més s'ajusta a l'aplicació que necessitem, són les de Liti, ja siguin la de ió de liti o la de polímer de liti, ja que comparteixen característiques molt similars. Una de les característiques clau, és el voltatge de treball de les cel·les. És molt comú en bateries de Liti voltatges de 3.7 V. Essent ideals per a l'aplicació del node sensor, ja que és un valor de voltatge molt proper al de treball del microcontrolador ESP-32-WROOM-32, i de cares al circuit regulador, resulta un avantatge ja la conversió de voltatge serà mínima, fent que sigui un procés molt més eficient.

Les bateries de Liti disposen d'una alta densitat energètica, oferint una gran capacitat en relació al seu petit pes. Tot i que la prioritat en el disseny del node sensor, és el baix consum, el seu cicle de vida no és una característica realment imprescindible, ja que es busca una bateria que ofereixi una llarga autonomia, i que no es pretén carregar sovint. Són bateries que no requereixen manteniment, i tenen un cicle de vida mitjà, respecte les altres bateries, que va de 500 a 1000 cicles de càrrega, combinat amb un temps de càrrega relativament baix que va de 2 a 4 h aproximadament i una pèrdua mensual del 10% de la càrrega, força acceptable en comparació amb els altres tipus de bateries. No tot són avantatges, hi ha inconvenients com per exemple la fragilitat de la bateria, a causa de la baixa tolerància a sobre-voltatges durant la càrrega, la debilitat en front a les altes temperatures, i el seu elevat preu en comparació amb les altres bateries. Sense perdre de vista l'objectiu del treball, d'aprofitar mòduls i sensors de Libelium Waspote, s'utilitzaran les existents bateries de polímer de Liti de Libelium, amb un rang de treball de 3.3 V a 4.2 V, voltatge de cel·la de 3.7 V, corrent màxim de càrrega de 480 mA i capacitat de 6600mAh.

4.4.2. Càrrega de bateries de Liti

Degut al fet que el node sensor s'alimentarà a partir de bateries de Liti, és molt interessant disposar de la possibilitat de carregar les bateries, a través de la mateixa placa electrònica. Primer però hem d'entendre com funciona el procediment de càrrega i descàrrega de les bateries de Liti.

Quan una bateria de liti està connectada elèctricament a una càrrega, internament es produeix una reacció química d'oxidació, que allibera l'energia química acumulada. Aquesta reacció s'inicia a l'ànode de l'interior de la bateria, alliberant ions de Liti que circulen a través de l'electròlit, cap al càtode. Aquest moviment d'ions intern, provoca un moviment d'electrons a l'exterior de la bateria, que es tradueix en la circulació del corrent elèctric a través de la càrrega connectada. Durant el procés de càrrega de la bateria, la reacció es produeix a la inversa, els ions són alliberats internament per el càtode i circulen en a través de l'electròlit, i en direcció

cap a l'ànode, i el moviment d'electrons circula en el sentit oposat, traduint-se en la càrrega de la bateria de Liti.

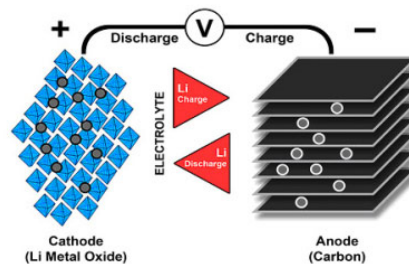


Figura 43. Química de la càrrega de les bateries de Liti

La càrrega de les bateries de Liti es duu a terme amb dispositius que limiten el voltatge i corrent, i monitoritzen la temperatura de la bateria, en diferents fases de la càrrega de la bateria. El rang de voltatge d'aquestes bateries va de 3.3 V fins a 4.2 V, qualsevol valor de voltatge fora d'aquests rangs pot danyar la bateria i afectar-ne la seva capacitat, ja sigui per sobre voltatge durant el procediment de càrrega, o per sota voltatge durant la descàrrega. També es poden fer malbé si es superen els valors de màxim corrent durant la càrrega o màxim corrent de durant la descàrrega.

El procés de càrrega s'inicia per la fase de C.C (Constant Current) . La bateria es carrega a través d'una font de corrent constant, amb el corrent limitat aproximadament a un valor que oscil·la entre 0.5 ~ 0.7 vegades la capacitat nominal de la bateria (C). Aquesta fase acaba quan el voltatge de cel·la arriba als 4.2 V, que suposaria un valor de càrrega del 70 al 80%. Seguidament s'inicia la fase de C.V (Constant Voltage). Aquesta fase el carregador actua com una font de voltatge constant, amb el voltatge limitat. La bateria es manté als 4.2 V mentre que el corrent de càrrega, va poc a poc disminuint, fins que arribar a un valor entre el 10 i el 3% de la capacitat de la bateria. En aquest moment es considera que la bateria esta completament carregada.

Es recomana, no carregar mai les bateries al 100%, ja que l'alt voltatge, provoca estres a les cel·les de la bateria, fent que es degradin i redueixin dràsticament la seva vida útil. Avui en dia però, es prefereix oferir llargues autonomies, abans que una llarga vida útil, i la majoria de carregadors, persegueixen arribar a carregar al màxim les bateries.

La següent figura mostra, un gràfic de la càrrega d'una bateria de Liti amb les seves fases característiques.

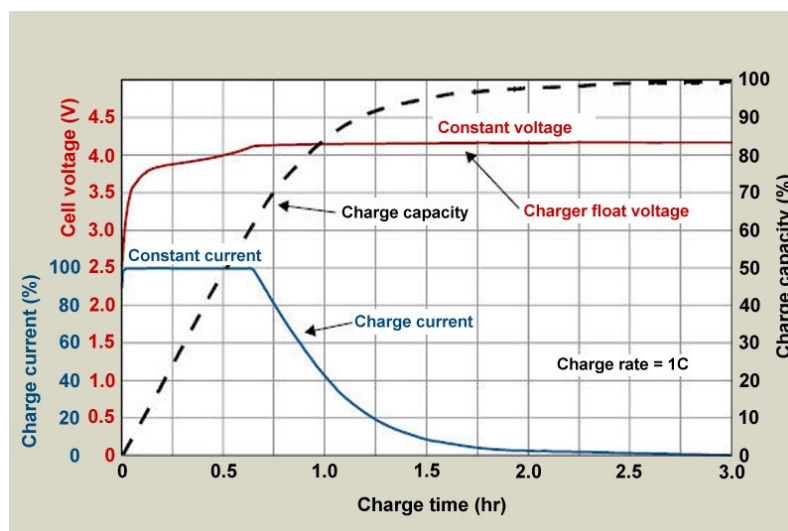


Figura 44. Gràfic de càrrega de les bateries de Liti

4.4.3. Protecció de bateries de Liti

Les bateries de Liti són conegudes per la seva elevada densitat energètica. Aquesta gran característica també fa que siguin molt perilloses, si no es protegeixen degudament, ja que poden arribar a explotar en les condicions més extremes. La norma IEC 62133 és la que regula els requeriments de seguretat en les bateries i acumuladors de Liti, d'equips electrònics portables.

Hi ha diferents elements de protecció. Alguns d'aquests requeriments, en l'interior de les bateries, són per exemple, l'ús de sensors PTC de temperatura, ús de circuits d'interrupció, en cas que les cel·les de la bateria estiguin sotmeses a pressió, vàlvules de seguretat per alliberar sobrepresions de gasos, a l'interior de la bateria, ús de separadors entre cel·les entre altres mètodes per assegurar la seguretat.

De forma addicional, a la part exterior de la bateria de Liti, s'usen circuits electrònics de protecció per a cada cel·la, que realitzen funcions, com ara, la protecció de sobre voltatges de càrrega de les cel·les, evitant que aquestes mai superin els 4.3 V, també trobem proteccions tèrmiques, que tallen el corrent de sortida de la bateria, si s'eleva la temperatura per sobre dels 90°C, i elements de protecció de sobre descàrrega, que tallen la circulació de corrent, si alguna de les cel·les, disminueix per sota de 2.2 V.

La majoria de bateries de Liti que es comercialitzen, disposen d'aquests circuits electrònics de protecció, integrats a la pròpia bateria, però tal i com hem explicat anteriorment, protegeixen la bateria per evitar la seva destrucció, però en cap cas, tenen perquè complir la funció de protegir la bateria, de curtcircuits, de nivells de voltatge erronis, que escurçarien la

vida de la bateria de forma dràstica. Per aquest motiu, sempre s'ha de tenir en compte els valors de funcionament indicats per el fabricant de la bateria, i usar circuits de protecció addicionals que assegurin el bon funcionament de la bateria.

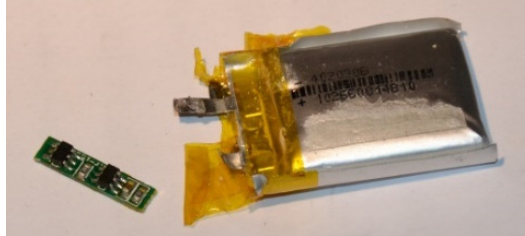


Figura 45. Circuit de protecció bateries de Liti

4.4.4. Descàrrega i ús de les bateries de Liti

Durant la descàrrega de la bateria, també s'han de seguir certes pautes, per assegurar la seguretat i allargar al màxim la seva vida útil. Actualment, existeixen dos tipus de bateries de Liti. Les anomenades Power Cell i les Energy Cell. Les diferències entre aquests dos tipus de bateries de liti, recauen en la capacitat d'emmagatzematge i el corrent màxim que poden donar al a càrrega.

Les bateries de tipus Energy Cell, ofereixen una capacitat notòriament més gran, per assegurar autonomies més llargues. Si durant la descàrrega la ratio de corrent de descàrrega (C), és gran, causarà que, al voltatge de tall de 3V, la bateria donarà un corrent inferior al nominal.

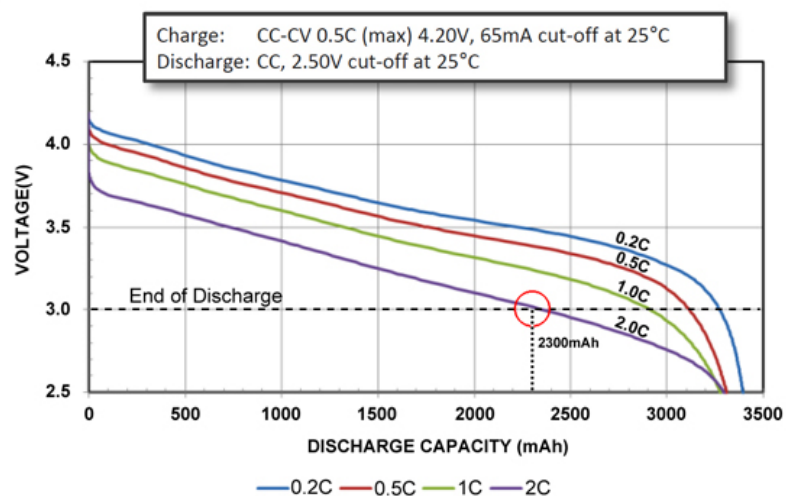


Figura 46. Descàrrega bateria de Liti tipus Energy Cell

Les bateries de tipus Power Cell, ofereixen una entrega continua de corrent amb ratios de descàrrega (C), molt grans, fins a 10C, sense posar en compromís l'entrega de corrent de la bateria, a la capacitat que resta en el voltatge de tall de 3V. Aquesta serà capaç de seguir donant un elevat corrent.

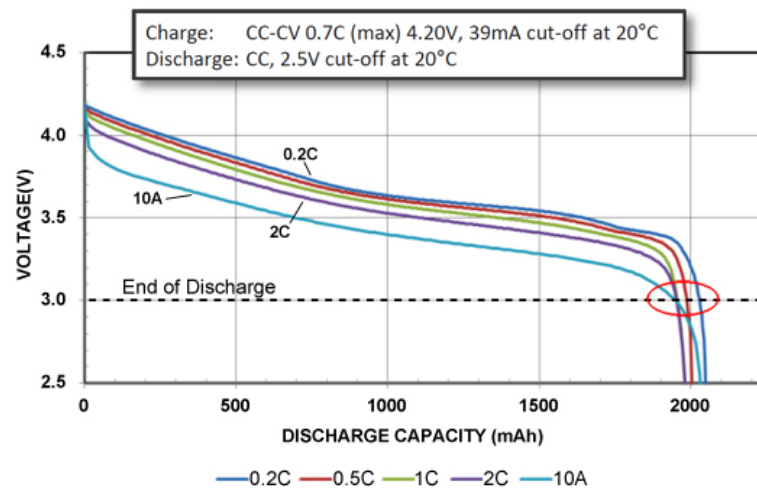


Figura 47. Descàrrega bateria de Liti tipus Power Cell

Un aspecte que també haurem de tenir en compte, és el fet que la bateria amb el pas del temps, i l'ús, anirà perdent capacitat a cada cicle de càrrega. Aquesta pèrdua de capacitat, s'accentua, per a relacions de descàrrega (C) elevades. A la següent figura, podem apreciar aquest efecte.

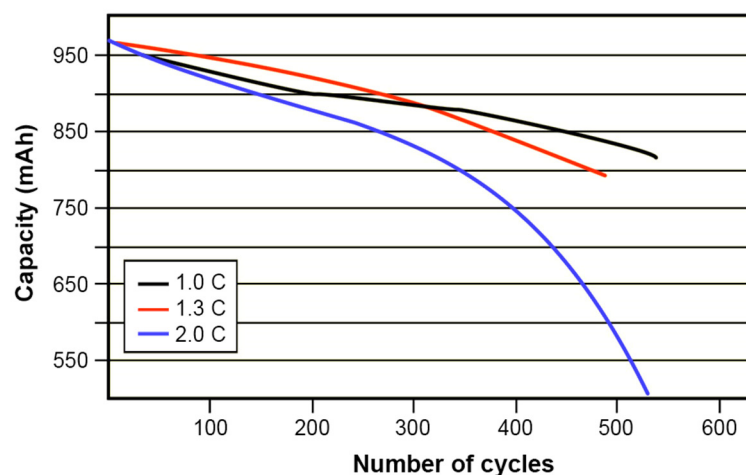


Figura 48. Capacitat respecte cicles de descàrrega en bateries de Liti

4.4.5. Disseny del circuit de càrrega de la bateria

Existeixen moltes formes de dissenyar carregadors de bateries de Liti. Seguint la Teoria anteriorment explicada, la càrrega es produeix en 2 fases. S'inicia a la fase de corrent constant, seguida per la de voltatge constant, tot això mentre es monitoritza el corrent i el voltatge per no excedir els nivells recomanats per el fabricant. Actualment els fabricants de semiconductors ofereixen una gran varietat de circuits integrats, entre ells hi trobem circuits de càrrega de bateries.

El circuit integrat escollit per la nostra aplicació és el BQ24012DRCR del fabricant Americà Texas Instruments. Aquest circuit integrat, consisteix en un carregador lineal de bateries de Liti d'una sola cel·la, amb encapsulat QFN. Les seves característiques són: Alimentació del circuit entre 3 i 16.5 V, apte per a bateries amb voltatge de càrrega de 4.2 V, i amb precisió de regulació de voltatge del 0.5%, corrent de càrrega de bateria fins a 1 A, protecció de curtcircuits, temporitzadors de seguretat, sortides digitals per indicar l'estat de la càrrega, procés de càrrega per 3 fases: preconditionament de la bateria, corrent constant i voltatge constant, funció sleep, entre moltes altres característiques.

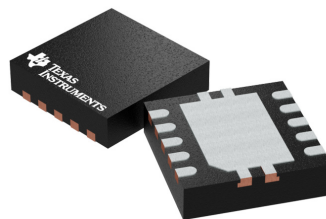


Figura 49. Texas Instruments BQ24012DRCR

El circuit s'alimenta a partir del voltatge provinent del port USB. Mitjançant el pin CE (Charge Enable), sempre que el circuit integrat detecti una bateria correctament connectada, aquest carregarà la bateria seguint les diferents fases de càrrega. El corrent de càrrega és programable a partir de la resistència situada a el pin ISET.

Els càlculs referents al dimensionament dels diferents components per al funcionament, estan inclosos de forma detallada a l'Annex A.

4.4.6. Disseny del circuit de protecció de la bateria

Els diversos paràmetres bàsics, que s'han de tenir en compte quant es vol protegir una bateria. Són els següents: Overcurrent protection, (OCP), Overcharge protection, (OVP), Over-

discharge protection, (UVP), Charge overcurrent detection (OCC), Discharge overcurrent detection (OCD), Load short-circuit detection (SCP).

El circuit integrat BQ29700DSET del fabricant Americà Texas Instruments, consisteix en un protector de bateries de Liti d'una sola cel·la, que ofereix múltiples característiques de protecció de bateries, en un sol circuit integrat, amb encapsulat SMD de tipus DSE. Aquest integrat s'alimenta amb la pròpia bateria, amb un voltatge i consums màxims de 8 V i 5.5 μ A respectivament. Addicionalment també disposa d'un mode d'sleep, on s'arriba als 0.1 μ A de consum elèctric. A continuació es mostra una taula amb les característiques de protecció.

PART NUMBER ⁽¹⁾	OVP (V)	OVP DELAY (s)	UVP (V)	UVP DELAY (ms)	OCC (V)	OCC DELAY (ms)	OCD (V)	OCD DELAY (ms)	SCD (V)	SCD DELAY (μ s)
BQ29700	4.275	1.25	2.800	144	-0.100	8	0.100	20	0.5	250

Taula 6. Característiques BQ29700DSET



Figura 50. Texas Instruments BQ29700DSET

El funcionament del bloc de protecció de la bateria comença per la monitorització de la bateria per part del BQ29700DSET, si es produeix un defecte, en termes de voltatge o corrent, que supera els valors límit de protecció preestablerts d'aquest circuit integrat, aquest intervé actuant sobre les dues sortides que disposa, que actuen com a driver, per accionar dos transistors mosfet externs, al circuit integrat, i que permeten obrir el circuit i desconectar la bateria, evitant danys permanents en aquesta, o en el circuit. Els dos mosfets canal n de maniobra, es troben dins l'integrat FDS6990AS. Els drenadors dels dos mosfets estan units de manera que el corrent port circular en els dos sentits, tant cap a dins la bateria, durant la càrrega, com cap a fora, durant la descàrrega, sempre i quan no es produeixi un defecte, i les sortides de maniobra del BQ29700DSET, estiguin habilitades.

El circuit integrat BQ29700DSET, només protegeix de sota voltatges inferiors als 2.8V. És essencial, seguint la teoria sobre les bateries de Liti, assegurar que el voltatge mai disminuirà per sota del valor dels 3.3V, per tal d'allargar-ne la vida útil.

La solució recau amb l'ús del circuit TPS3710DDCR, de Texas Instruments, que consisteix en un integrat que monitoritza el voltatge que proporciona la bateria, mitjançant un divisor de tensió, i en permet el seu ús, mitjançant l'accionament d'un transistor mosfet canal-p extern, si el voltatge és superior al valor mínim establert de 3.3V.

El TPS3710DDCR consisteix en un integrat SMD d' SOT-6 de Texas Instruments, especialitzat en la monitorització, d'un ampli rang de voltatges d'entrada, des de 1.8 fins a 18 V.

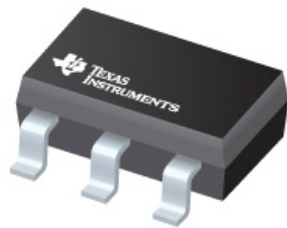


Figura 51. Circuit integrat TPS3710

El funcionament del TPS3710 és molt simple, bàsicament consisteix en un circuit comparador de voltatge, que mitjançant un divisor de tensió, monitoritza el voltatge d'entrada i el compara amb un valor de referència intern. L'integrat, disposa d'un pin de drenador obert, de manera que quan el voltatge mesurat, està per sobre del valor llindar, la sortida es connecta a massa. En el cas contrari, que el voltatge sigui inferior al valor llindar, aquesta es desconnecta de massa. Combinant la lògica de funcionament del TPS3710 amb un transistor mosfet de canal N, s'obté un control precís sobre el voltatge descàrrega de la bateria.

Tots els càlculs referents a l'electrònica de perifèria al circuit integrat TPS3710 es poden trobar a l'annex B apartat B.2 d'aquest document.

4.5. Bloc regulador DC

El bloc regulador DC, és una peça essencial en tot el disseny del node sensor, s'encarrega de proporcionar una alimentació de 3.3V estable al microcontrolador ESP-32 i als elements perifèrics que ho requereixin, com ara sensors, mòduls externs entre altres. Amb l'objectiu marcat de dissenyar un node sensor de baix consum, el regulador juga un paper importantíssim, al tractar-se un component que sempre està treballant per proporcionar l'alimentació al microcontrolador, independentment de si aquest està en sleep, o en mode actiu, consumint més o menys corrent. El regulador també es un element que ha de suportar

un variat rang de voltatges d'entrada, ja sigui alimentat per l'USB, o per la bateria, i proporcionar una alimentació de sortida estable e.

4.5.1. Estudi de reguladors

Els reguladors lineals, són per excel·lència els més estesos en tota mena d'aplicacions d'electrònica, a causa de la seva facilitat d'aplicació, el seu baix cost i la seva fiabilitat. Proporcionen tant valors fixes, com valors ajustables de tensió de sortida, en un rang de corrent molt ampli per tota mena d'aplicacions.

Tot i haver diferents tipologies de reguladors lineals, en termes generals de funcionament, aquests requereixen d' un voltatge d'entrada major que el de sortida. La diferència de tensió entre l'entrada i la sortida es perd dissipant-se en forma de calor. Aquest és un dels seus inconvenients, que no són gaire eficients, també fins i tot, quan la càrrega consumeix petits corrents, ja que el seu corrent quiescent és relativament elevat, de l'ordre de mA.



Figura 52. Regulador Lineal AMS1117

En els casos on l'alimentació d'entrada i la de sortida són valors molt propers, s'usen els LDO Low dropout regulators. Aquests poden funcionar amb voltatges més petits, on un regulador lineal normal, no podria ja que requereixen de cert valor mínim de tensió d'alimentació per funcionar. Els Low drop-out, treballen amb diferències menors entre l'entrada i la sortida, per minimitzar les pèrdues.

Paral·lelament als reguladors lineals, existeixen els convertidors DC/DC, que són bàsicament circuits encarregats de canviar el nivell de tensió, ja sigui elevar boost, reduir buck, elevar-reduir buck-boost. Podem trobar aquests convertidors bàsicament a tot arreu, fonts d'alimentació, carregadors, telèfons mòbils, etc. Es tracten de muntatges d'alta eficiència, i de reduïdes dimensions, però amb el compromís d'una major complexitat.

El seu funcionament es basa en trossejar el senyal de caràcter continu de l'entrada, amb un element commutador com un transistor. Mitjançant l'ús de diferents topologies s'eleva o es redueix el voltatge, gràcies a l'ús d'inductàncies que treballen en conducció contínua. Finalment l'últim pas es el filtratge d'aquest senyal per retornar el caràcter continu. El seu funcionament requereix d'una electrònica més elaborada. De forma simplificada, el seu funcionament es basa en un llaç de control que contínuament monitoritza el voltatge a la sortida, i ajusta el cicle de treball de la commutació, per mantenir-lo estable.

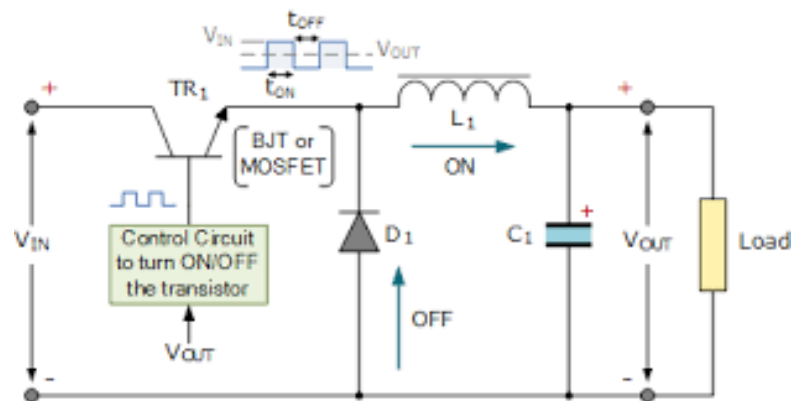


Figura 53. Esquemàtic convertidor Buck Boost

Entre els seus avantatges destaquen el baix corrent quiescent, de l'ordre de μA , les baixes pèrdues en forma de calor, amb l'ús de transistors mosfet i díodes shocky, així com la gran integració, de gairebé tot el convertidor en un sol encapsulat, havent d'afegir pocs components externs, com ara resistències inductàncies i condensadors.

4.5.2. Disseny del circuit regulador DC

Durant el disseny d'un bloc de regulació de tensió DC, s'han de tenir clars varis paràmetres de disseny, entre ells el rang de tensions d'entrada de sortida, així com els corresponents corrents màxims per alimentar la càrrega, el consum en estat quiescent. Seguidament es detalla l'elecció escollida per complir amb les necessitats d'alimentació del node sensor.

L'encapsulat escollit és el TPS63021DSJR de Texas Instruments. Es tracta d'un regulador d'alta eficiència de tipus buck-boost, recomanat per ser alimentat per bateries, on el rang de voltatges d'entrada és variable, i pot estar tant per sobre com per sota del voltatge de sortida. El TPS63021DSJR accepta voltatges d'entrada de 1.8 V a 5.5 V, amb voltatge de sortida fixe a 3.3 V i un corrent màxim de 2 A. El mínim corrent quiescent és molt baix, de 25 μA . A més a més disposa de funcions de protecció pròpies per sobre temperatura, sobrevoltatge,

limitador de corrent, així com la funció d'estalvi d'energia, que s'activen automàticament quan la càrrega requereix poc corrent, mínim 100 mA.

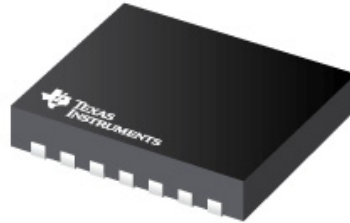


Figura 54. Texas Instruments TPS63021DSJR

El convertidor DC/DC TPS63021DSJR, es posa en funcionament, quan li proporcionem un voltatge d'entrada superior a 1.8 V. Inicialment es posa en funcionament amb una etapa d'arrancada suau, que evita sobre-pics, i al mateix temps detecta curtcircuits a la càrrega. Durant el funcionament normal de forma automàtica, realitza les transicions entre buck i boost, basant-se en un llaç de control, encarregat de mantenir sempre un corrent fixe sobre la inductància. Per fer-ho mesura els voltatges d'entrada i sortida, i en base aquests, ajusta el cicle de treball del modulador de 2.4 MHz, encarregat d'accionar els transistors que commuten la inductància.

S'ha detallat en anteriors apartats, que la placa es pot alimentar directament amb un cable USB, o a través de la bateria, o de formà simultània, que suposaria la càrrega de la bateria i el funcionament de la placa de forma directa. Tenint present la possibilitat que l'usuari final, pot connectar dues fonts de voltatge en paral·lel de forma simultània, dona peu al disseny d'algun element, o circuit de protecció, per evitar corrents inverses entre les fonts de diferent nivell de voltatge. Una forma molt senzilla de fer-ho és utilitzar una xarxa de transistors mosfet P i N, juntament amb l'ajuda d'un díode shocky.

El cas en que tenim la bateria connectada, i l'alimentació per USB desconnectada, el transistor Q4, inicialment comença a conduir a causa del díode paràsit, poc a poc la seva tensió VGS, comença a ser negativa, i el díode deixa de conduir, deixant pas a la conducció per el canal creat. Alhora el díode D2, esta polaritzat inversament, i bloqueja el corrent en el sentit invers, cal destacar que aquest díode, es caracteritza per tenir una fuga de corrent invers molt baixa, de l'ordre de pocs μA , essent ideal per quan la placa funcioni alimentada per bateries.

El cas en que tenim únicament l'alimentació per USB connectada, i amb la presència o no de la bateria, el primer que ens fixem és en el transistor Q6, de tipus P. Si l'USB esta en estat actiu, la porta de Q6 estarà referenciada a massa, i per tant la tensió VGS serà negativa, i suficient perquè aquest condueixi l'alimentació USB, cap al nus central. Quan al nus central tenim tensió, la porta del transistor Q4, estarà sotmesa a tensió positiva. Simultàniament, el díode D2 conduirà, provocant una petita caiguda de la tensió USB, d'uns 400 mV, i sotmetent a tensió el sortidor de Q4, de manera que la tensió VGS d'aquest mai serà negativa per a que condueixi. Addicionalment, en aquesta situació, el díode paràsit de Q4 està inversament polaritzat i bloqueja la circulació de corrent invers cap a la bateria.

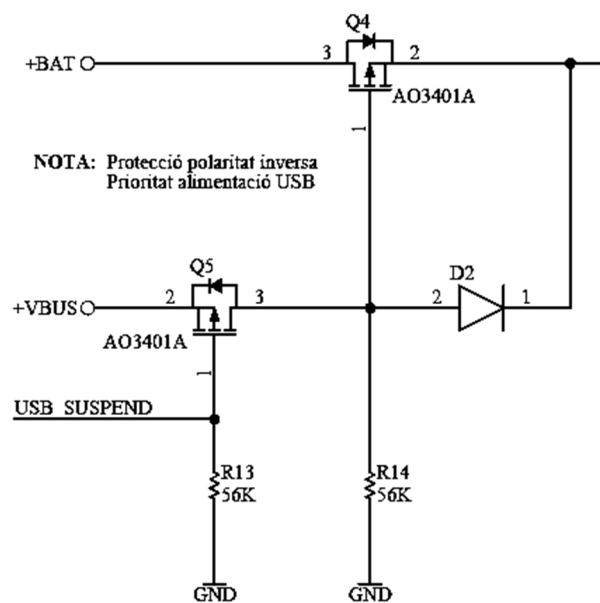


Figura 55. Esquema gestió font d'alimentació

Tots els càlculs referents a l'electrònica de perifèria al circuit integrat TPS63021 es poden trobar a l'annex C d'aquest document

5. DISSENY, FABRICACIÓ I ASSEMBLATGE DEL CIRCUIT IMPRÈS

Tal i com es pot veure a l'apartat quatre, s'ha desenvolupat el disseny dels esquemes dels diferents blocs funcionals plantejats anteriorment, mitjançant el software Altium Designer. El següent pas és la creació de la placa del circuit imprès. Aquesta es basa completament en els esquemes elèctrics anteriorment dissenyats.

De forma simplificada, una placa de circuit imprès consisteix en un conjunt de diverses capes apilades, de material conductor, com ara coure, i de material aïllant o dielèctric. Les capes amb coure, contenen les anomenades pistes, que són les unions entre els diferents components del circuit. Les diferents pistes es poden connectar entre elles mitjançant les anomenades vies, que connecten les pistes de les diferents capes. Els diversos components com resistències, condensadors, circuits integrats entre altres, van soldats, a la part superior o inferior del circuit electrònic, ja siguin components de forat passant THT, o de muntatge superficial SMT. A continuació es mostra una imatge de la secció d'una placa PCB, on es veuen les diferents capes amb els diferents materials.

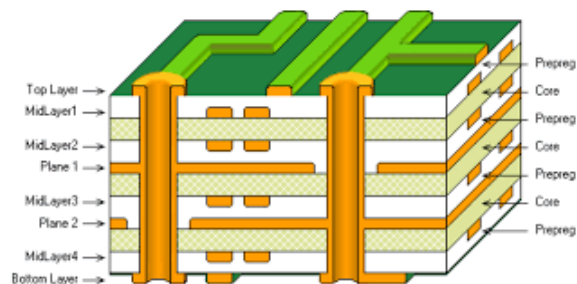


Figura 56. Apilat de capes d'una placa PCB

5.1. Disseny de la PCB

El procés de disseny d'una PCB, compren diferents fases, entre elles, les podem subdividir entre la fase de distribució de components o de layout, on es tracta de planificar les dimensions de la PCB i distribuir els components sobre la PCB, i la fase de traçat de pistes, on es realitzen totes les connexions entre els components.

5.1.1. Layout de la PCB

En funció de l'aplicació final de la placa PCB, les dimensions d'aquesta, poden ser una restricció a tenir en compte, ja que poden existir requeriments concrets per realitzar el muntatge mecànic, com tenir una forma específica per encabir dins d'una caixa, forats de muntatge entre altres. En el cas del disseny del node sensor, no suposaria un problema, i per tant, si que es tindrà en compte, el fet de mantenir les dimensions el més reduïdes possible.

Quan utilitzem programes, per a realitzar dissenys d'esquemes electrònics i PCB's, aquests solen tenir l'anomenat netlist. El netlist, bàsicament és un llistat que ens indica com es connecten els diferents components del disseny entre si. Aquest, apart del format de llista, també es sol mostrar de forma gràfica en línies, per que l'usuari pugui veure quina és la rotació, o disposició física, més òptima de cada component dins la placa PCB. Sempre es recomanable dedicar tot el temps que sigui necessari, per col·locar tots els components el més propers entre ells possible, per posteriorment traçar pistes curtes, minimitzant els creuaments i facilitant el disseny en general.

Moltes vegades als fulls de característiques dels components trobarem exemples de layouts, per part dels fabricants, de com distribuir els components de la forma més eficient, i per evitar problemes d'interferències, i assegurar el funcionament òptim del seu component. El procés de col·locar els components, moltes vegades no acaba de ser l'òptim i normalment, de forma constant, es van realitzant canvis i modificacions, durant la fase de traçat de pistes.

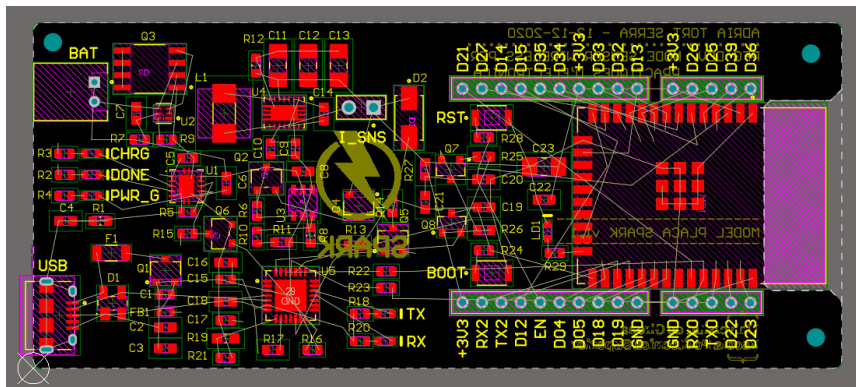


Figura 57. Distribució de components i netlist

5.1.2. Traçat de pistes

Un cop tenim les dimensions aproximades de la placa, i una distribució de components òptima, serà el moment de planificar el nombre de capes i seleccionar el fabricant adient, encarregat de fabricar la PCB. Aquest procés és molt important, ja que en funció del nombre de capes que utilitzem, el fabricant ens oferirà diversos materials, així com diverses toleràncies i precisions de fabricació, com ara separacions i mida de les pistes, mides de forats i pads de components, entre altres paràmetres.

Aquestes restriccions es poden introduir al nostre programa de disseny, i d'aquesta manera assegurarem, que durat el disseny de la PCB, no cometem cap error de disseny, i que la placa serà físicament realitzable per part del fabricant.

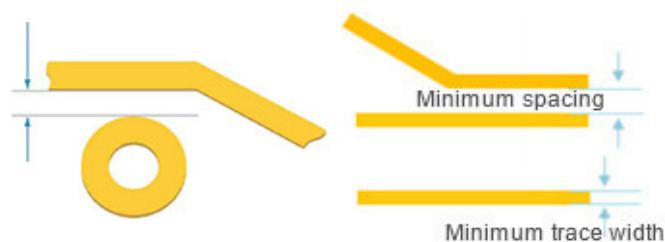


Figura 58. Distàncies de fabricació mínimes

També hem de tenir en compte la presència dels senyals que requereixen control d'impedància, com ara radiofreqüència, comunicacions d'alta velocitat, senyals diferencials entre altres. Tot aquest tipus de senyals, són delicats de transmetre, i sense seguir certes pautes, es poden transmetre de forma errònia, o ineficient, i fins i tot afectar, senyals d'altres circuits.

Es aquí on entren en joc els tipus de materials utilitzats per la fabricació de la PCB, com ara les constants dielèctriques del material aïllant, així com la separació i gruix de les pistes, la proximitat amb altres senyals, entre molts altres factors. Per aquests motius, és de vital importància configurar correctament el programa de disseny de la PCB, especificant de forma precisa, totes aquestes constants, perquè el programa les tingui en compte, i en pugui assistir, a traçar les pistes adients per aquests senyals, en termes de dimensions, longituds i separacions.

#	Name	Material	Type	Weight	Thickness	Dk	Df
	Top Overlay		Overlay				
	Top Solder	Solder Resist	Solder Mask		0.5mil	3.8	
1	Top Layer		Signal	1oz	1.378mil		
	Dielectric 2	PP-006	Prepreg		7.874mil	4.6	0.02
2	Layer 2	CF-004	Signal	1oz	0.689mil		
	Core	FR-4	Dielectric		41.929mil	4.6	
3	Layer 3	CF-004	Signal	1oz	0.689mil		
	Dielectric 3	PP-006	Prepreg		7.874mil	4.6	0.02
4	Bottom Layer		Signal	1oz	1.378mil		
	Bottom Solder	Solder Resist	Solder Mask		0.5mil	3.8	
	Bottom Overlay		Overlay				

Figura 59. Apilament de capes node sensor

Un cop el programa esta completament configurat, iniciarem el traç de les pistes de senyals, utilitzant el camí més curt, fent servir colzes de 45°, mantenint certa separació entre les pistes de diferents senyals, prioritant l'ús de pistes amples sempre que sigui possible, per reduir els efectes resistius d'aquestes i evitar atenuar el senyal el màxim, i utilitzar el mínim nombre de vies.

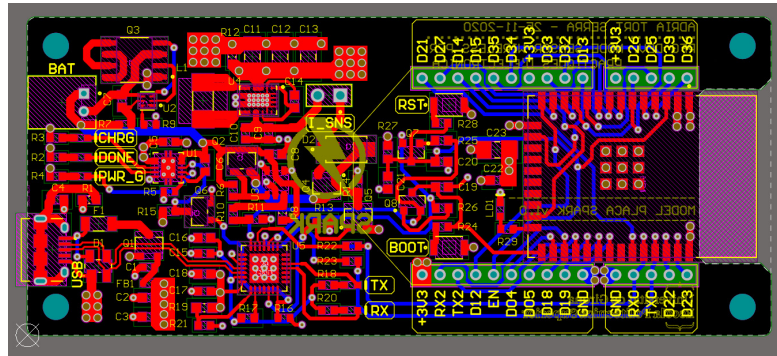


Figura 60. Pistes capes superior i inferior PCB

El disseny consisteix de quatre capes. Les capes de senyals anteriorment traçades corresponen a la capa 1 i 4. Les capes 2 i 3 corresponen a alimentació i pla de massa. El fet de disposar de capes dedicades, a transmetre l'alimentació i massa, a diferents punts del circuit ens aporta dos avantatges. El primer l'efecte condensador entre les dues capes, ja que col·labora a filtrar el soroll que es pot introduir a l'alimentació. El segon, la simplificació i facilitat del disseny ja que simplement, utilitzant vies, disposem d'una connexió directa a massa, o alimentació, sense sobre-complicar de forma notòria el disseny global, i evitant haver-nos de preocupar, d'anar distribuint alimentació i massa al llarg de tot el circuit, en forma de connexió d'estrella.

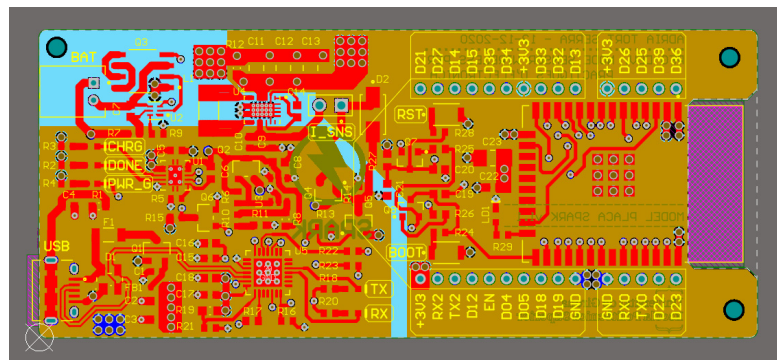


Figura 61. Pistes i plans d'alimentació placa PCB

Per acabar, es conclou l'apartat, amb la definició final de les mides de la placa, així com la col·locació dels forats de muntatge i o fixació mecànica, els possibles fresats o talls que la placa pot requerir, i la serigrafia que permetrà a l'usuari identificar de forma fàcil i ràpida els diferents elements de la placa, com led's, pins o connectors.

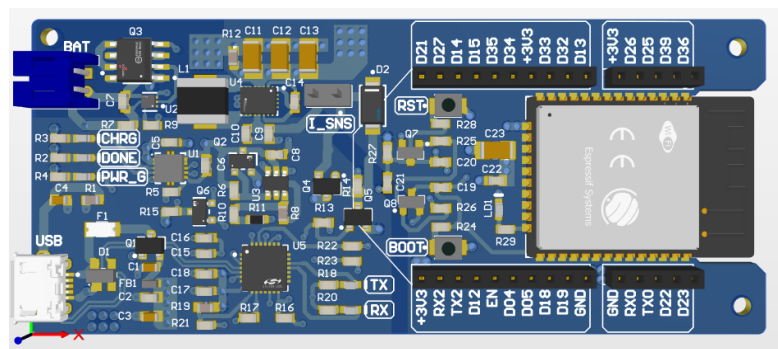


Figura 62. Vista superior placa PCB

5.2. Fabricació de la PCB

La fabricació de la placa PCB, es realitza per part de l'empresa xinesa JLC-PCB, dedicada a la ràpida producció, de prototipatges i petites sèries de PCB's. Per poder ser produïda s'han de generar els arxius de fabricació en format GERBER RS274X. Aquest es tracta d'un format estàndard de fabricació per a PCB's, que descriu mitjançant coordenades i vectors, tota mena d'informació referent a la placa PCB, des de pistes, forats, capes etc.

Un cop el fabricant disposa dels arxius de fabricació i verifica que físicament, es podran produir les plaques sense problemes, s'inicien els diferents processos de producció, començant per la insolació de les plaques, el revelat del circuit imprès, l'atacat químic per eliminar l'excés de coure, la unió de les diferents capes mitjançant material dielèctric, l'aplicació de la màscara de soldadura i serigrafia, seguint per processos més mecànics com són foradats, pre-estanyats de pads i vies, i acabant per inspeccions robòtiques que comproven totes les connexions elèctriques.

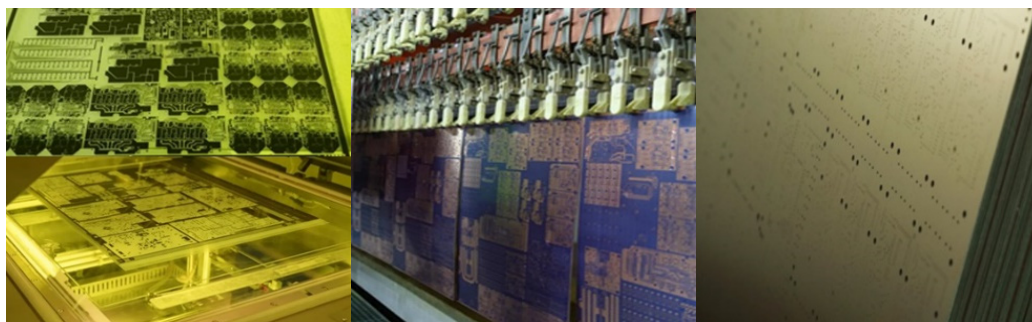


Figura 63. Fabricació de PCB's

5.3. Assemblatge PCB

El procés d'assemblatge de la placa PCB es realitza de forma manual i no de forma automatitzada, ja que es tracta d'un prototip, que pot contenir errors, o futures correccions, i a nivell econòmic, resulta ser la opció més viable.

Un cop revisades les quantitats i el bon estat, tant de les plaques PCB, com dels components servits, es procedeix a preparar la zona de muntatge, per aplicar la pasta de soldadura a les plaques PCB, mitjançant l'ús de la planxa tallada a làser, denominada stencil. La pasta de soldadura utilitzada es una barreja d'estany i flux amb una proporció de 42 i 58 respectivament. Facilita l'adhesió dels components, així com la transmissió de calor durant la soldadura. A més a més, és una forma controlada d'aplicar la quantitat d'estany suficient per a les soldadures.

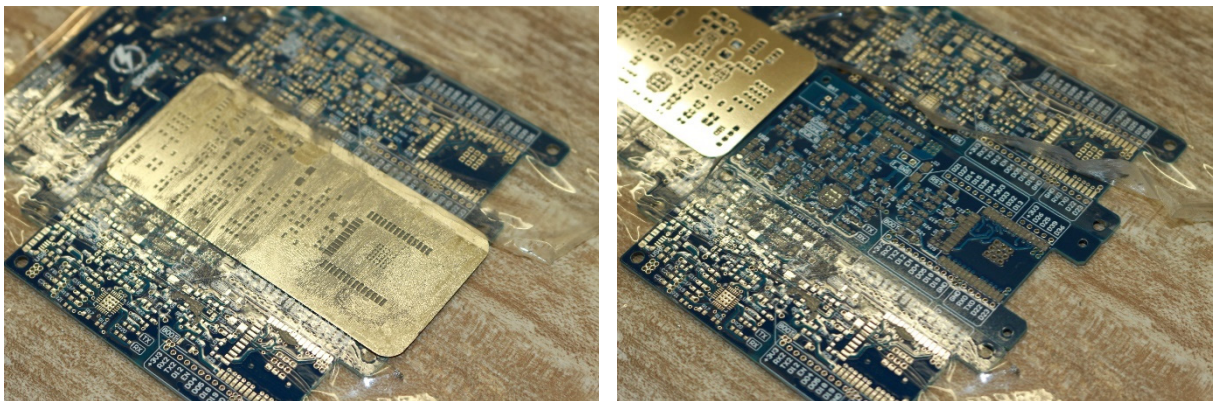


Figura 64. Stencil i aplicació de pasta de soldadura

Un cop aplicada la pasta de soldadura sobre els pads, es van col·locant amb l'ajuda de pinces i microscopi, tots i cada un dels components al seu lloc corresponent, i tenint en compte la seva correcta orientació

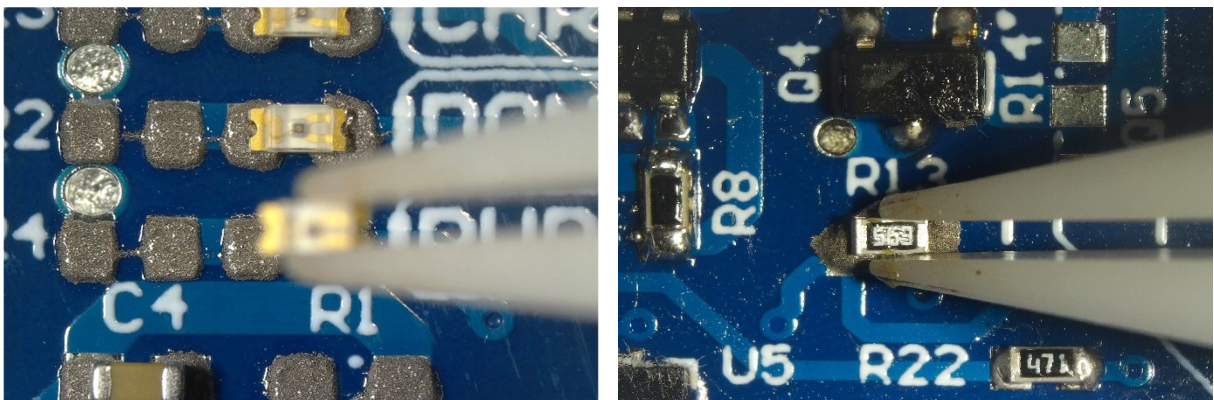


Figura 65. Col·locació de components SMD

Amb molta cura usant el microscopi, flux, aire calent i un soldador convencional amb les puntes adients, es van soldant els components a la placa, sempre mirant de no escalfar excessivament els components i evitar danyar-los. Una bona pràctica també és el muntatge sense ús de la plantilla stencil, permetent així la verificació del funcionament dels diferents sub-circuits, a mesura que es va muntant.



Figura 66. Procés de soldadura de la placa PCB

Finalment, només faltaria realitzar una inspecció de les soldadures, buscant possibles curtcircuits, soldadures deficientes, fredes o defectuoses, així com anar netejant la placa amb alcohol isopropilic eliminant restes de flux, o de pasta de soldadura.

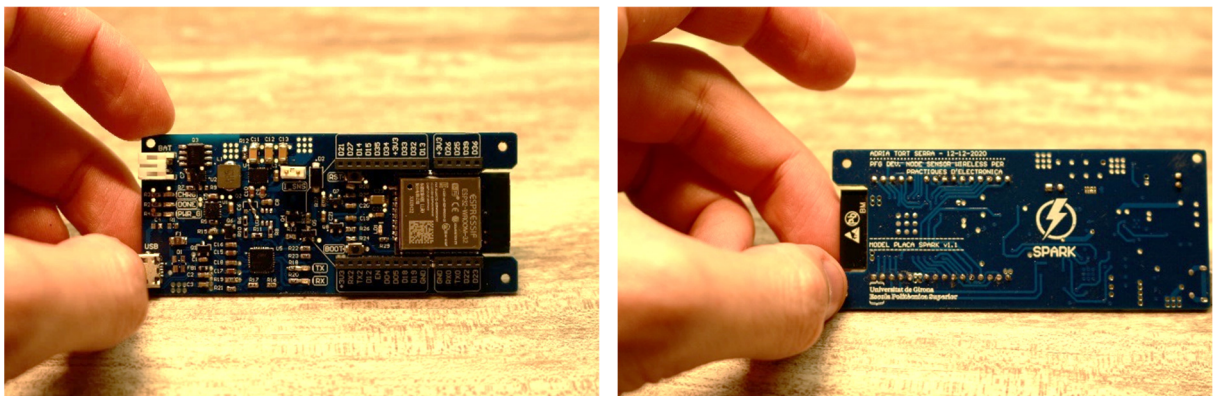


Figura 67. Node sensor

5.4. Tests PCB

L'apartat de Test es reserva per a la verificació del correcte funcionament del prototip de la placa. Gràcies a aquest apartat, es pot verificar que els diferents sub-circuits no entren en conflicte. Malauradament s'han trobat alguns errors no previstos, que s'han pogut solucionar.

Després de diverses proves i experimentacions amb el prototip, s'ha vist que el circuit de supervisió de voltatge el TPS3710, entra en conflicte amb el convertidor buck boost TPS63021. Els dos circuits quan treballen de forma independent funcionen correctament, però s'ha observat que quan funcionen alhora, el supervisor de voltatge, que consisteix bàsicament en un comparador, oscil·la de forma permanent, probablement a causa del soroll elèctric, ocasionat per el convertidor buck boost. A causa de l'oscil·lació del circuit supervisor de voltatge, no arriba suficient alimentació al buck boost com per treballar correctament. Finalment la solució adoptada ha estat fer un bypass al circuit de supervisió de voltatge, anul·lant així la seva funcionalitat d'evitar que la bateria es descarregui per sota dels 3.3 V, i baixant aquest valor a 2.8 V que ofereix el circuit BQ29700.

Un altre problema que s'ha detectat és a les resistències R27 i R28 que limiten el corrent quan es prem els pulsadors de BOOT o RST. Tenen un valor massa elevat, fent que el voltatge no disminueixi el suficient i per tant impeding el reset del microcontrolador o la seqüència de programació. Per solucionar-ho s'han pontejat les dues resistències assegurant que al prémer el pulsador el voltatge cau a 0V.

El circuit protector de bateria BQ29700 té la massa referenciada amb la de la placa PCB. Al full de dades del fabricant, aquest indica que, en aquestes condicions, pot ser que al connectar la bateria, el BQ29700 no encebi correctament els transistors de descàrrega i per tant no permeti alimentar el circuit amb la bateria. La solució resulta en connectar la massa del BQ29700 al negatiu de la bateria en comptes de amb la massa de la PCB.

El microcontrolador ESP-32 quan se l'alimentava, no arrencava directament. Aquest requeria de l'usuari prémer el botó de reset per a que aquest iniciés. El disseny del circuit de programació automàtica i manual, està basat en el la versió quatre que ofereix el fabricant, i aquesta té un error ja que falta una resistència pull-up al pin GPIO IO0 (boot). Sense aquesta resistència pull up de 10k Ω el microcontrolador no arranca quan se l'alimenta. Per solucionar això s'ha afegit una resistència de 10 k Ω de +3.3 V fins a l'entrada IO0.

6. TESTS I VALIDACIONS DEL NODE SENSOR

Seguint amb el transcurs del projecte, i partint de l'anterior apartat, on es detalla el procés d'assemblatge de la placa, això dona pas a tot un seguit de testos i validacions que comproven el correcte funcionament, dels diferents elements que la conformen. Es distingeixen diversos apartats, on primerament s'explica l'objectiu dels testos així com les seves condicions i el procediment.

Sovint a la xarxa, trobem informació sobre l'anomenat pinout de la placa, com per exemple a les plaques d'Arduino i d'altres marques. La finalitat del pinout, és facilitar-ne el seu ús, mostrant la numeració i funcionalitats de cada pin, de manera que la persona encarregada de la programació, disposa de la informació suficient com per poder treballar àgilment.

Així doncs, s'ha considerat essencial durant el desenvolupament del node sensor, el fet de disposar d'un diagrama pinout, que permetrà als futurs usuaris, familiaritzar-se d'una forma és intuïtiva i ràpida amb la placa, sense necessitat de buscar exhaustivament a la documentació tècnica del microcontrolador, o als plànols de la placa.

Adicionalment a la informació de cada pin, també s'indiquen diferents elements com pulsadors, connectors, leds entre altres.

En gris s'indica el pin físic del microcontrolador, en blau el número de pin GPIO, en taronja el número del pin d'entrada analògica, en verd fosc el número de pin de sortida analògica, en groc els pins de comunicacions SPI, en verd clar els pins de comunicacions USB i UART, en lila els pins GPIO corresponents a l'RTC, en rosa els pins corresponents a entrades tàctils, en marró els pins corresponents a sortides de clock i en vermell i negre els pins corresponents a alimentació.

El diagrama pinout es troba a la documentació plànols, així com a la figura que es veu a continuació.

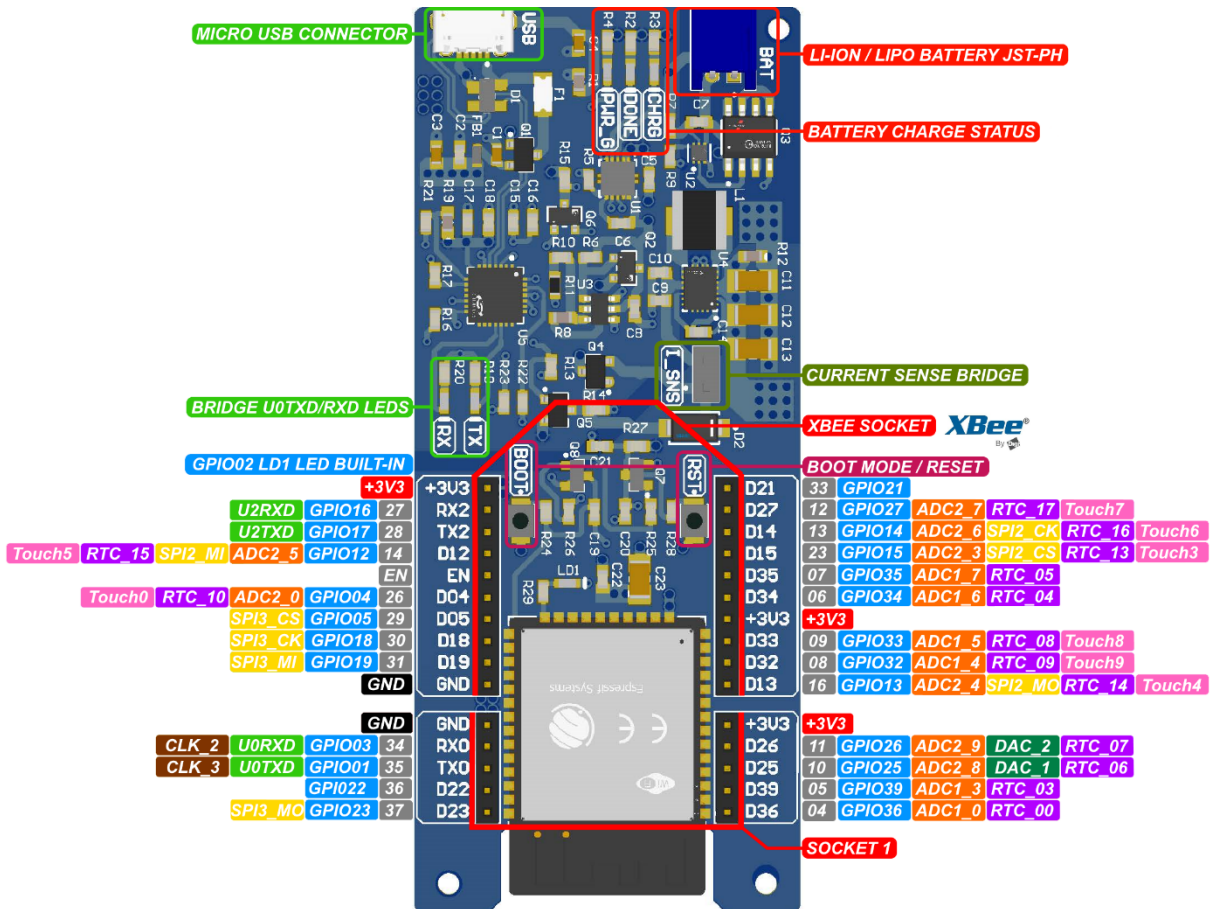


Figura 68. Pinout node sensor

6.1. Entorn de programació

L'entorn de programació, consisteix en un conjunt de programes que engloben totes les tasques necessàries per el desenvolupament d'un programa o aplicació. Aquestes tasques bàsicament són l'edició del programa, la compilació l'execució i la depuració.

El llenguatge de programació per l'ESP-32 és el C/C++. No obstant hi ha diversos intèrprets no oficials per a micro-python java script etc.

Per a poder programar-lo disposem de diverses opcions. Les més conegudes són Platform IO, Arduino o el framework d'Espressif. Seguidament es detallarà de forma breu cada un per a poder veure els avantatges i inconvenients de cada un.



Figura 69. Entorn de programació PlatformIO

PlatformIO es tracta d'una extensió per a Visual Studio Code, que un cop instal·lada, permet programar infinitat de microcontroladors. En el cas de l'ESP-32, platformIO, posa a disposició de l'usuari, tot el framework de desenvolupament (ESP-IDF), que ofereix el fabricant Espressif, però facilitant-ne la instal·lació, i amb els avantatges de Visual Studio Code.

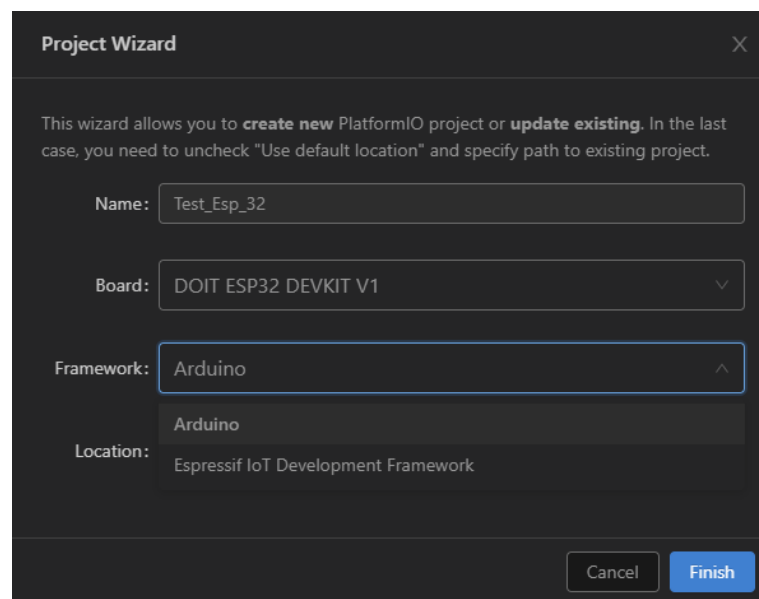
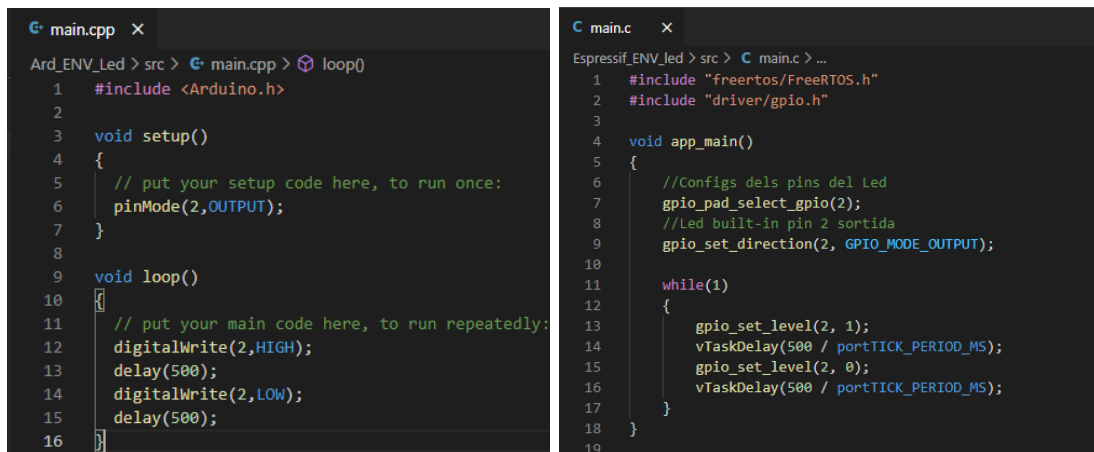


Figura 70. PlatformIO pantalla selecció entorn de programació Arduino o Espressif

Això però no és tot, platformIO, permet seleccionar en quin entorn volem programar. Ofereix la possibilitat de programar des de una perspectiva d'Arduino, amb les seves simplifcades instruccions, o bé des de la perspectiva d'Espressif, amb instruccions de programació complexes, però ahora molt precises, que permeten tenir un control molt més ampli i complet de les funcions del microcontrolador ESP-32.

La següent figura mostra un programa, que fa intermitència de mig segon del led built-in, des de platformIO amb la perspectiva d'Arduino i des de la perspectiva d'Espressif.



```

main.cpp X
Ard_ENV_Led > src > main.cpp > loop()
1 #include <Arduino.h>
2
3 void setup()
4 {
5 // put your setup code here, to run once:
6 pinMode(2,OUTPUT);
7 }
8
9 void loop()
10 {
11 // put your main code here, to run repeatedly:
12 digitalWrite(2,HIGH);
13 delay(500);
14 digitalWrite(2,LOW);
15 delay(500);
16 }

main.c X
Espressif_ENV_Led > src > main.c > ...
1 #include "freertos/FreeRTOS.h"
2 #include "driver/gpio.h"
3
4 void app_main()
5 {
6 //Configs dels pins del Led
7 gpio_pad_select_gpio(2);
8 //Led built-in pin 2 sortida
9 gpio_set_direction(2, GPIO_MODE_OUTPUT);
10
11 while(1)
12 {
13     gpio_set_level(2, 1);
14     vTaskDelay(500 / portTICK_PERIOD_MS);
15     gpio_set_level(2, 0);
16     vTaskDelay(500 / portTICK_PERIOD_MS);
17 }
18 }
19
  
```

Figura 71. PlatformIO amb entorn d'Arduino i entorn d'Espressif

La segona alternativa que disposem, és programar amb l'IDE d' Arduino. Arduino al igual que platformIO permet programar infinitat de plaques, en llenguatge C/C++. L'ESP-32, no és una excepció, i podem trobar una gran varietat de plaques que l'utilitzen. El fet de ser open source, és una gran ajuda ja que hi ha un suport per part de tota la seva comunitat, enorme.

Seguidament es mostra una captura de pantalla, de l'entorn Arduino amb el mateix programa vist anteriorment que fa una intermitència del led built-in



```

Ard_ENV_Led | Arduino 1.8.13
File Edit Sketch Tools Help
Ard_ENV_Led$
1 void setup()
2 {
3 // put your setup code here, to run once:
4 pinMode(2,OUTPUT);
5 }
6
7 void loop()
8 {
9 // put your main code here, to run repeatedly:
10 digitalWrite(2,HIGH);
11 delay(500);
12 digitalWrite(2,LOW);
13 delay(500);
14 }
  
```



Figura 72. Entorn de desenvolupament Arduino

La tercera i última alternativa, és utilitzar directament el framework recomanat per Espressif. Espressif facilita instal·ladors de tots els elements necessaris per dur a terme la instal·lació, entre ells compiladors intèrprets i editors etc. La programació es duu a terme a través de l'editor Eclipse, i el llenguatge i les instruccions són en c, i requereixen un alt nivell de coneixement del microcontrolador ESP-32 per a poder aprofitar-ne al màxim totes les seves funcions.

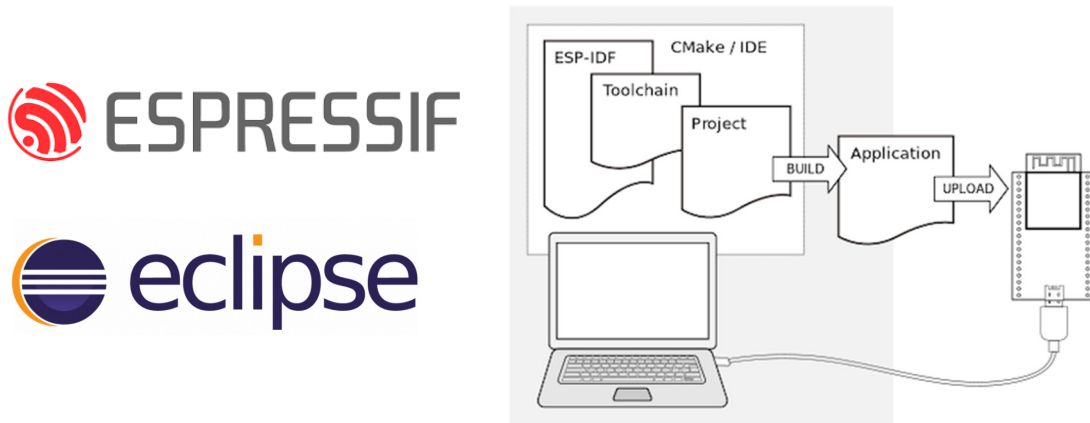


Figura 73. Entorn de programació Espressif

A continuació es mostra una captura de pantalla de l'editor Eclipse, on es veu el programa d'intermitència del led built-in del node sensor.

```

1 #include "freertos/freertos.h"
2 #include "freertos/task.h"
3 #include "nvs_flash.h"
4 #include "driver/gpio.h"
5
6
7 #void Intermitencia(void *pvParameter)
8 {
9     while(1)
10    {
11
12        gpio_set_level(2, 1);
13        vTaskDelay(500 / portTICK_PERIOD_MS);
14        gpio_set_level(2, 0);
15        vTaskDelay(500 / portTICK_PERIOD_MS);
16    }
17    vTaskDelete(NULL);
18 }
19
20
21 void app_main()
22 {
23     //Configs dels pins del led
24     gpio_pad_select_gpio(2);
25     //led built-in pin 2 sortida
26     gpio_set_direction(2, GPIO_MODE_OUTPUT);
27     //inici memoria flash
28     nvs_flash_init();
29     // Direccio de memoria tasca,
30     //test identificar tasca,
31     //1024 es memoria de la tasca,
32     //pasar parametres Nulls,
33     //i 1 es la prioritat (1 baixa, 4 alta)
34     while(1)
35     {
36         xTaskCreate(&Intermitencia, "Task_Led", 1024, NULL, 1, NULL );
37     }
38 }
39
40

```

Figura 74. Entorn de programació Eclipse ESP-IDF

6.2. Programació i testos node sensor

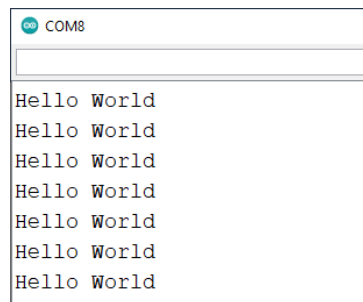
El propòsit del següent apartat és mostrar alguns exemples de la programació del node sensor, per verificar el seu correcte funcionament, així com ensenyar les seves característiques. Tenint en compte els diversos entorns de programació, finalment s'ha optat per l'entorn d'Arduino, per el seu caire educatiu, essent idoni en l'àmbit de l'ensenyament. La versió utilitzada és la més recent, la 1.8.13. Per poder començar a programar en aquest entorn, s'han d'instal·lar les plaques basades en el microcontrolador ESP-32 d'Espressif. Tot el procés es troba a l'annex D Configuració d'entorn Arduino IDE, inclòs en aquest document.

Un cop s'han configurats correctament tots els paràmetres, es pot procedir a la programació. Tots els programes mostrats, es troben adjunts al projecte, dins la carpeta Programa, trobada dins la carpeta Memòria, així com a l'annex E.

6.2.1. Programa Hello World

Aquest programa, permet provar el port sèrie UART0, que comunica l'ordinador i el microcontrolador. Aquest envia cada un segon el missatge Hello World, per el port sèrie configurat a 115200 bauds per segon.

El codi d'aquest programa es troba adjunt a l'annex E.1.



```
COM8
Hello World
Hello World
Hello World
Hello World
Hello World
Hello World
Hello World
```

Figura 75. Sortida monitor sèrie

6.2.2. Programa intermitència led built-in

El node sensor, incorpora un led built-in, anomenat LD1, connectat al pin digital IO02. El següent programa, es mostra com es pot utilitzar per crear una intermitència. Un cop carregat el programa, observarem que el led LD1 de color vermell, realitza una intermitència en intervals d'un segon.

El codi d'aquest programa es troba adjunt a l'annex E.2.

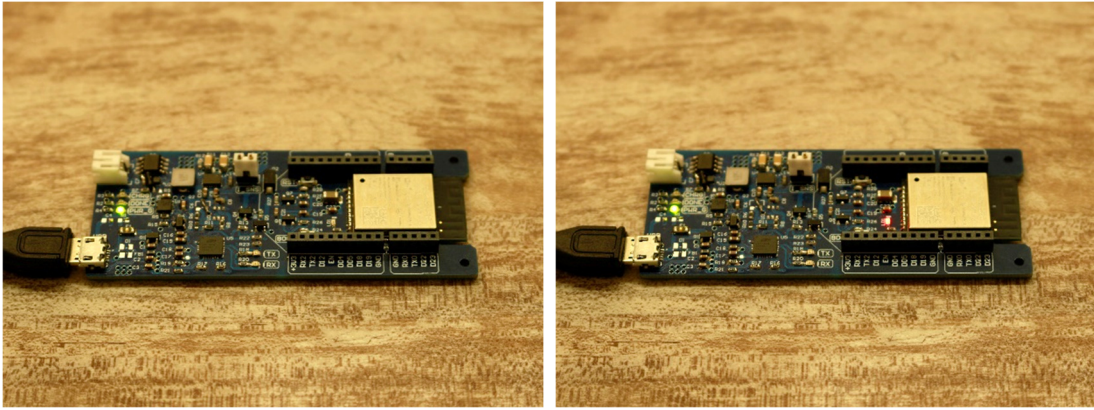


Figura 76. Programa intermitència led built-in

6.2.3. Programa interrupcions sensor PIR i led

La majoria de microcontroladors, incorporen mètodes per poder invocar interrupcions, ja sigui per temporització, o per un pin físic etc. Moltes vegades, el bucle de programa, no pot atendre de forma contínua certes tasques. Aquí és on entren en joc les interrupcions, permeten detectar aquests esdeveniments concrets, i desviar per un ínfim període de temps, el fil del programa principal, per executar tasques molt curtes.

El programa que es mostra a continuació, està governat per un polsador que simula un sensor PIR. Quan es prem el polsador, connectat al pin 34, es genera una interrupció de programa que escriu pel monitor sèrie, la detecció de la mateixa, així com realitza l'activació d'un led connectat al pin 26. Un cop s'ha detectat la interrupció, el programa està 5 segons, ignorant noves pulsacions per evitar el fenomen del rebot. Passat aquest temps, en cas que no hi hagi noves pulsacions, el led s'apagarà, i per el port sèrie es notifica de la no detecció.

El codi d'aquest programa es troba adjunt a l'annex E.3.

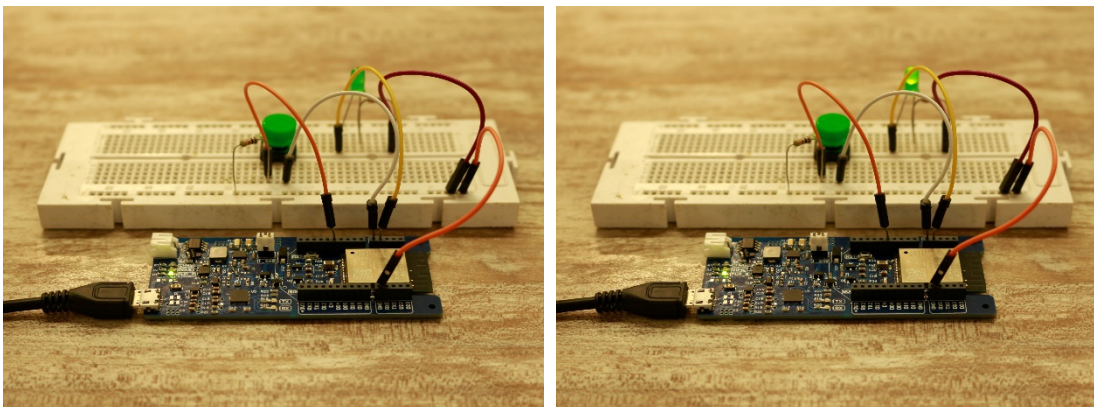


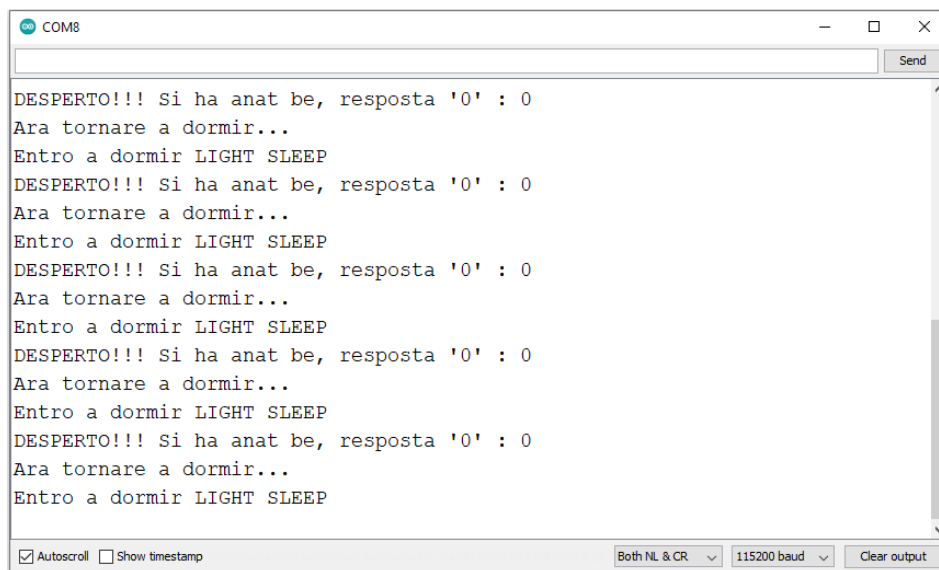
Figura 77. Muntatge programa PIR i LED

6.2.4. Programa light sleep loop

Durant el mode light sleep, s'atura el senyal de clock per pausar el funcionament de la CPU, i es mantenen actius l'ULP i L'RTC. Aquesta combinació resulta en un menor consum elèctric, al voltant d'1mA aproximadament.

El programa de light sleep, adorm el microcontrolador durant 5 segons dins el bucle de programa i ens notifica per port sèrie de quan es desperta o quan es posa a dormir.

El codi d'aquest programa es troba adjunt a l'annex E.4.



```
COM8
Send
DESPERTO!!! Si ha anat be, resposta '0' : 0
Ara tornare a dormir...
Entro a dormir LIGHT SLEEP
DESPERTO!!! Si ha anat be, resposta '0' : 0
Ara tornare a dormir...
Entro a dormir LIGHT SLEEP
DESPERTO!!! Si ha anat be, resposta '0' : 0
Ara tornare a dormir...
Entro a dormir LIGHT SLEEP
DESPERTO!!! Si ha anat be, resposta '0' : 0
Ara tornare a dormir...
Entro a dormir LIGHT SLEEP
DESPERTO!!! Si ha anat be, resposta '0' : 0
Ara tornare a dormir...
Entro a dormir LIGHT SLEEP
DESPERTO!!! Si ha anat be, resposta '0' : 0
Ara tornare a dormir...
Entro a dormir LIGHT SLEEP
DESPERTO!!! Si ha anat be, resposta '0' : 0
Ara tornare a dormir...
Entro a dormir LIGHT SLEEP
```

Autoscroll Show timestamp Both NL & CR 115200 baud Clear output

Figura 78. Monitor Sèrie mode light sleep node sensor

Per verificar el correcte funcionament del node sensor en el mode light sleep, s'han realitzat diverses mesures, per confirmar la reducció de consum elèctric durant aquest mode.

La mesura de corrent, es realitza mitjançant una resistència shunt a l'entrada del convertidor buck boost. S'ha mesurat el voltatge que cau sobre la resistència shunt, per poder observar el corrent que hi circula durant el mode Light sleep.

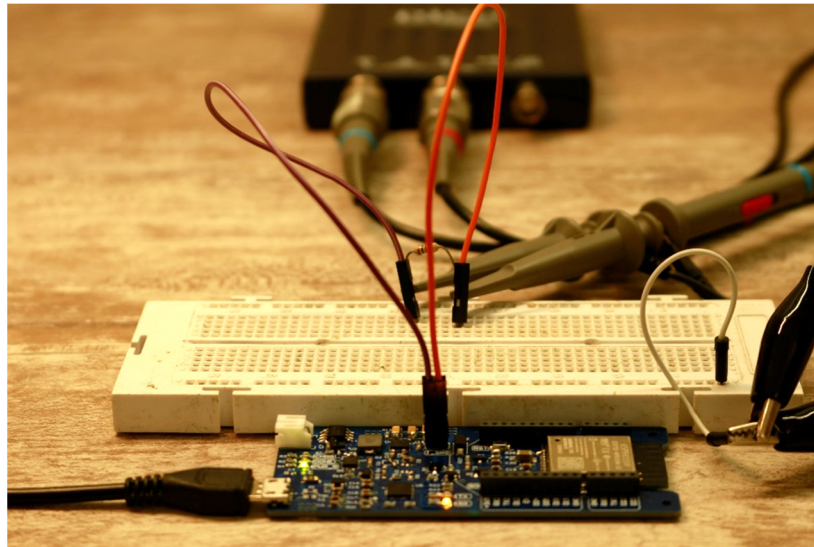


Figura 79. Mesura de corrent del node sensor

A partir de dues sondes s'ha mesurat, mitjançant l'oscil·loscopi, el voltatge als extrems de la resistència shunt. Gràcies a l'ús de les funcions matemàtiques de l'oscil·loscopi, es realitza la resta d'ambdós mesures, per obtenir únicament el voltatge que cau sobre la resistència. Finalment, només hem de realitzar la mitjana d'aquest valor, i dividir-la, entre el valor de la resistència equivalent shunt, tenint en compte la resistència de la protoboard, dels cables de connexió, i la pròpia shunt.

El valor de corrent obtingut, mentre el microcontrolador està en mode light sleep és de 1.08mA.

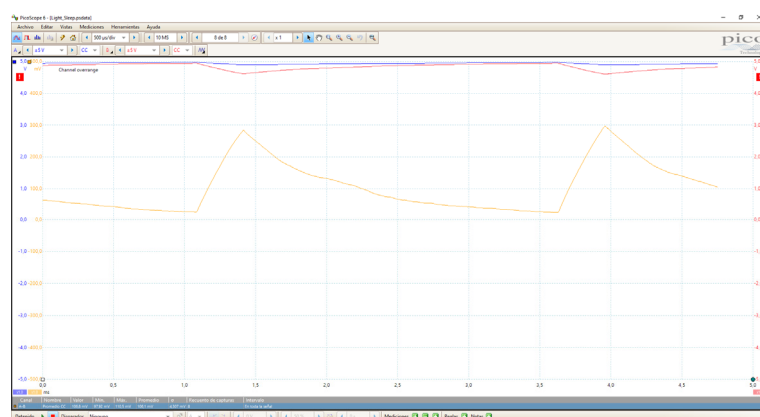


Figura 80. Mesura voltatge shunt en mode light sleep

6.2.5. Programa despertar light sleep per interrupció externa

En anteriors apartats hem vist el funcionament del mode light sleep i de les interrupcions. Aquest programa cíclicament posa el microcontrolador a dormir en mode light sleep, i mostra per el monitor sèrie les diverses causes que el desperten. S'han programat diverses formes per veure com es pot despertar el microcontrolador del mode light sleep, com ara despertar-

lo mitjançant el timer, per deteccions de pin externes vinculades a l'RTC de forma individual o de forma simultània, ext0 o ext1 respectivament. També permet despertar-se per detecció en els pins touchpad del microcontrolador, per el propi programa del ULP, o bé per altres motius com poden ser el reset.

El codi d'aquest programa es troba adjunt a l'annex E.5.

6.2.6. Programa despertar deep sleep per timer

Seguidament es mostra el programa que permet posar en mode deep sleep l'ESP-32. Similar al programa vist a l'apartat anterior, aquest posa el microcontrolador a dormir, i mitjançant diferents esdeveniments el torna a despertar.

Una curiositat és que el programa ni arriba al bucle principal, simplement realitza les petites tasques de comunicació pel port sèrie i es posa a dormir en mode deep sleep, on, la CPU la RAM i la majoria de perifèrics s'aturen completament. La única part que es manté activa és l'RTC i els seus perifèrics, incloent-ne el co-processor ULP.

Mitjançant el mateix procediment usat amb anterioritat per mesurar el corrent, el valor obtingut, durant el deep sleep de l'ESP-32 és d'aproximadament 30 μ A.

El codi d'aquest programa es troba adjunt a l'annex E.6.

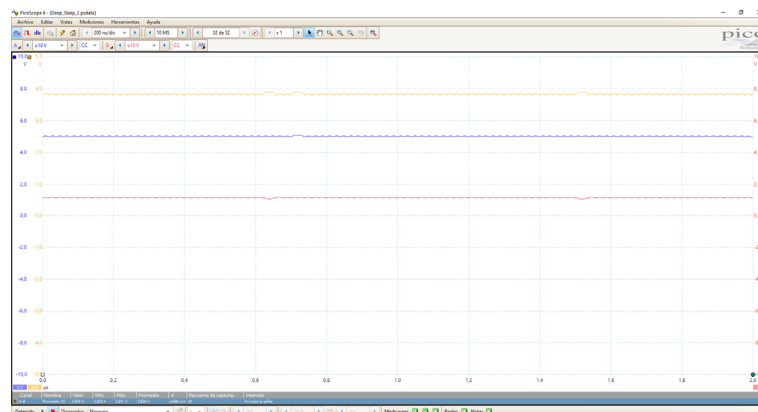


Figura 81. Mesura voltatge shunt en mode deep sleep

6.2.7. Programa servidor Wi-Fi

El següent programa, té com a finalitat establir un servidor a una xarxa Wi-Fi local i permetre a l'usuari controlar el led built-in del node sensor, així com realitzar la lectura analògica del pin 34. Es requereix una connexió a un punt d'accés Wi-Fi. L'usuari ha d'introduir el nom de la

xarxa i la contrasenya al programa. Un cop carregat a la placa, s'ha d'iniciar el port sèrie, i quan el node sensor hagi establert la connexió, ens enviarà la direcció IP que té assignada dins la xarxa que s'ha connectat.

A continuació, mitjançant un dispositiu mòbil o ordinador que es trobi connectat a la mateixa xarxa, utilitzar un navegador i introduir la direcció IP del node sensor per accedir al servidor.

El codi d'aquest programa es troba adjunt a l'annex E.7.

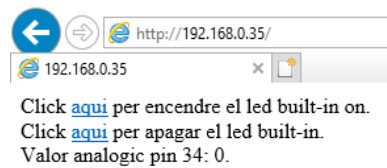


Figura 82. Visualització de la connexió amb el node sensor

6.2.8. Programa servidor Bluetooth

El següent programa, permet provar de forma molt simplificada la funcionalitat BLE del node sensor. El programa es resumeix en un servidor Bluetooth, on ens podem connectar amb el telèfon mòbil, mitjançant una aplicació de debugging per connexions Bluetooth, com és nRF. Un cop ens connectem, podem realitzar la lectura d'alguns paràmetres com ara el nom del dispositiu, i el valor analògic del pin 34 en format hexadecimal. A continuació es mostren les captures de pantalla, des del telèfon mòbil.

El codi d'aquest programa es troba adjunt a l'annex E.8.

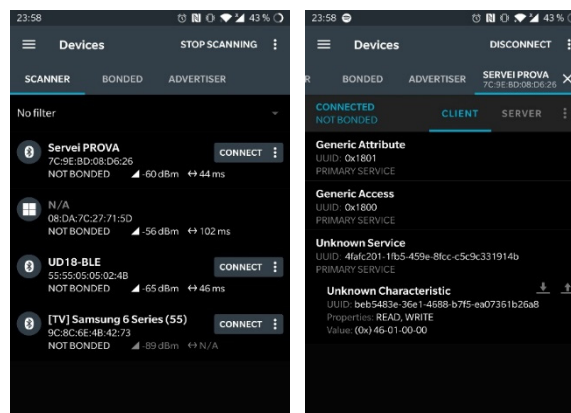


Figura 83. Aplicació nRF connexió Bluetooth

6.2.9. Programa comunicacions XBee

Mitjançant el següent programa, es poden provar les comunicacions amb els mòduls ràdio XBee mitjançant el port sèrie 2 de l'ESP-32. Prèviament s'han d'haver configurat i verificat les comunicacions de dos mòduls XBee, (coordinador i end Device per exemple) mitjançant el software XCTU del fabricant Digi.

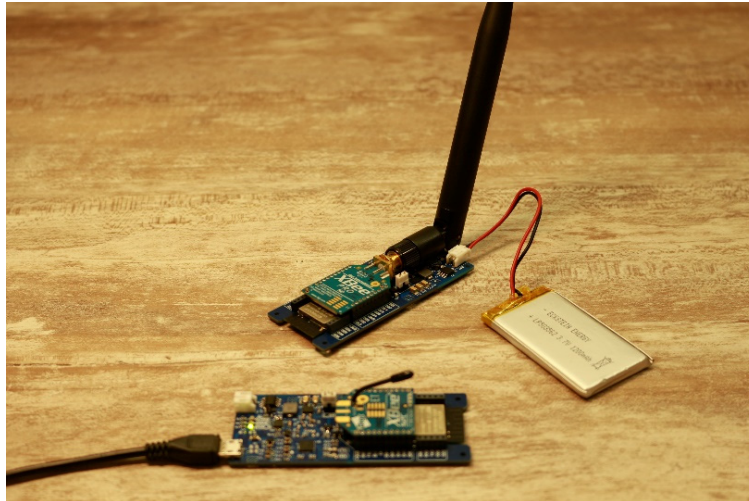


Figura 84. Test comunicacions XBee

Aquest exemple consta de 2 programes. El primer va carregat a un node sensor amb XBee i connectat a l'ordinador. El segon programa, va carregat a un segon node sensor, també amb un XBee acoblat, i únicament alimentat, ja sigui per bateria o per USB.

Un cop carregats els programes, iniciar el port sèrie amb el node sensor 1 i escriure qualsevol cosa. Inmediatament el node sensor 2 respon, rebotant tota la informació rebuda novament cap al node sensor 1.

El codi d'aquest programa es troba adjunt a l'annex E.9.

```
COM8  
  
Xbee_1 enviat: Hola  
  
Xbee_2 resposta: Hola  
Xbee_1 enviat: Provant provant 123  
  
Xbee_2 resposta: Provant provant 123
```

Figura 85. Monitor sèrie test programa XBee

6.2.10. Programa comunicació Google Cloud MQTT

Aquest últim exemple mostra com es realitza una connexió amb el núvol de Google Cloud mitjançant el protocol MQTT. S'ha optat per Google Cloud ja que ofereix un temps de prova relativament llarg, fins un any i 300 dòlars gratuïts per realitzar proves dels diferents serveis que ofereix la seva plataforma.

El programa està basat en l'exemple que ofereix Google, per poder entendre el funcionament i realitzar les pertinents proves.

El codi d'aquest programa es troba adjunt a l'annex E.10.

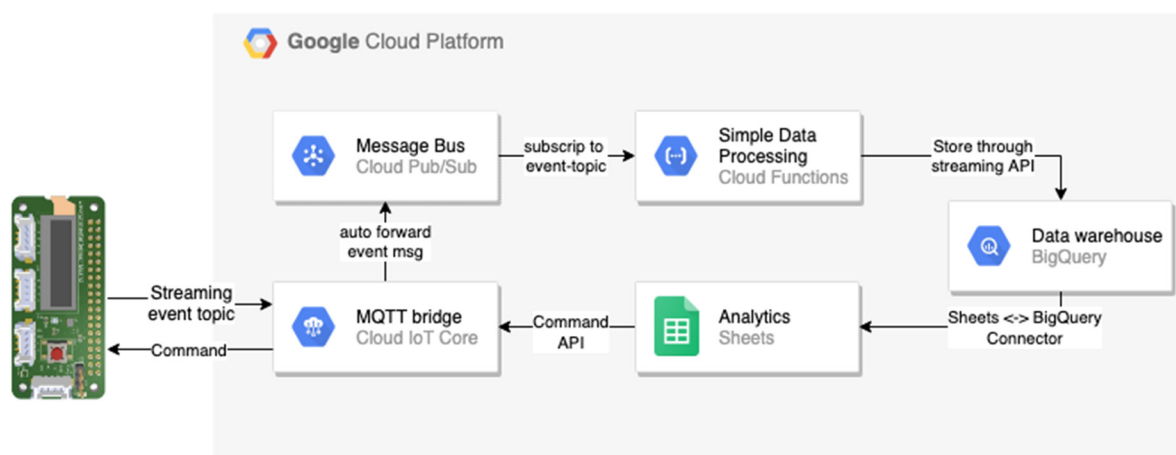


Figura 86. Estructura de les eines i la comunicació amb el node sensor

L'exemple que es mostra a continuació es tracta d'un muntatge conformat per un sensor d'humitat, un sensor de llum LDR i un circuit integrat que mitjançant comunicació SPI, obtenim el valor de la temperatura ambient.

De forma molt resumida, el node sensor captura les dades d'humitat, temperatura, llum i els decibels de la pròpia connexió Wi-Fi respecte el punt d'accés. Un cop capturades, aquest es connecta a internet, a un servidor NTP, amb la finalitat d'obtenir la data i la hora de la captura de les dades.

Cada un minut el node sensor s'autentifica amb el cloud i envia les dades en un format específic mitjançant el protocol MQTT. El núvol les rep i mitjançant diverses eines enllaçades entre elles processa les dades i les posa a disposició de l'usuari per a poder ser visualitzades o tractades posteriorment.

A continuació es mostren els passos per a poder configurar el núvol, així com una breu explicació de fragments del codi del node sensor.

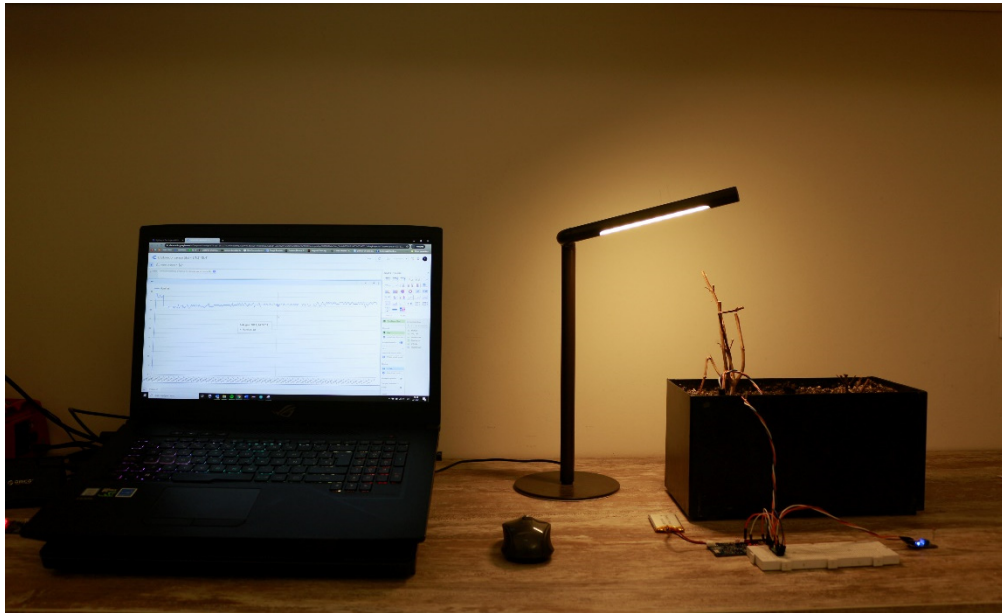


Figura 87. Muntatge node sensor comunicació amb GCloud

Primerament, és imprescindible donar-nos d'alta a Google Cloud. Seguidament, creem un projecte nou o modifiquem el nom del projecte per defecte. El següent pas és crear un registre amb l'API IoT Core. En aquest es defineix la regió d'Europa i el protocol MQTT.

Google Cloud Platform Test Projecte PFG IoT

IoT Core

Registry details

Registry ID: iotcore-registry

Region: europe-west1

Protocol: MQTT

Cloud Logging: Debug [View logs](#)

Debug logging is enabled for the entire registry. [EDIT REGISTRY](#)

Cloud Pub/Sub topics

A registry can have 1 or more topics for publishing device telemetry and state events. [Add or edit topics](#)

Pub/Sub topics

Topic name	Topic type	Subfolder
projects/stone-poetry-300720/topics/iotcore-topic	Default telemetry	-
-	Device state	-

Figura 88. Registre IoT Core

A l'apartat del registre també s'han de definir els dispositius (nodes sensors), que publicaran les dades. Aquest requereixen d'un nom, i claus d'autenticació en format ES256.

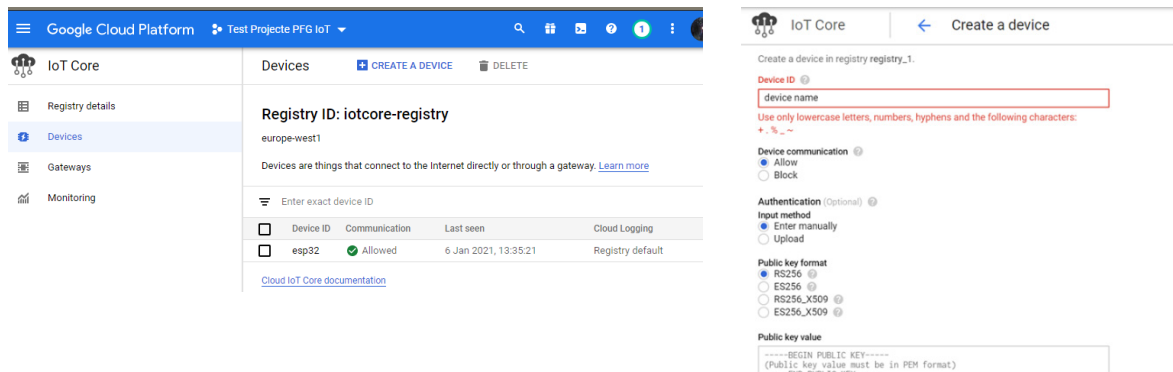


Figura 89. Creació d'un dispositiu dins el registre

Un cop creat el registre s'ha de crear el tòpic, s'ha d'habilitar l'eina Pub/Sub i crear una subscripció de tipus pull, on el node sensor hi publicarà les dades. Aquesta subscripció ha d'estar vinculada al tòpic creat.

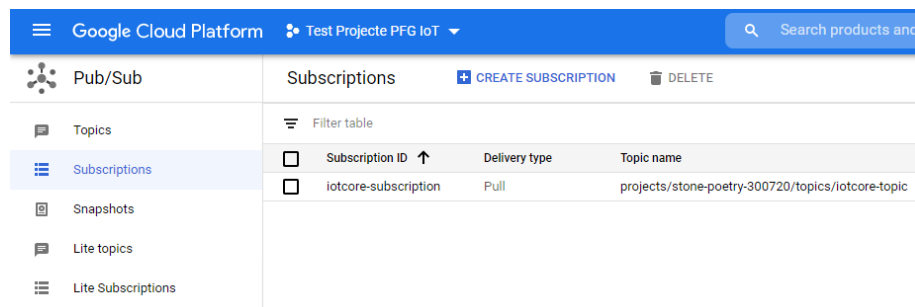
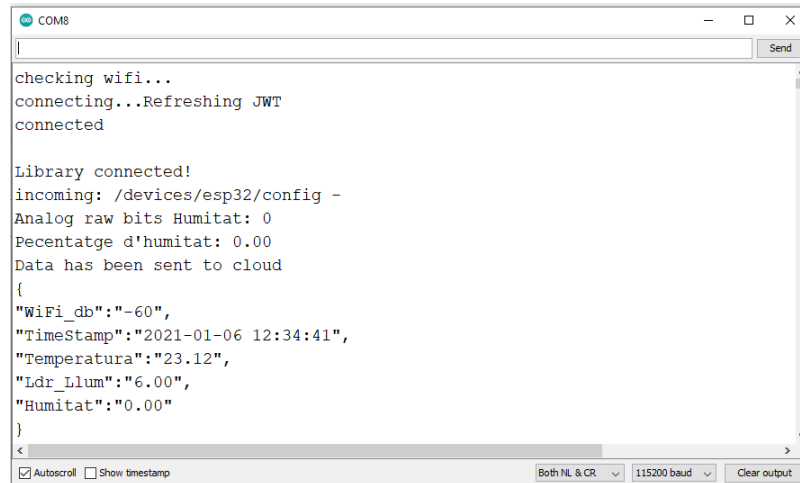


Figura 90. Subscripció al tòpic de Google Cloud

Un cop s'ha arribat a aquest punt, es recomana, preparar i carregar el programa per el node sensor, i realitzar proves de comunicació per verificar que les dades es publiquen correctament a Pub/Sub API.

Dins l'arxiu de configuració ciotc_config.h s'han d'introduir múltiples paràmetres, entre ells el nom de la xarxa i la contrasenya per permetre al node sensor connectar-se a internet, el nom del projecte, la regió, el registre, l'identificador de dispositiu, la clau privada, el certificat i el tòpic que es subscriu el dispositiu.

Es carrega el programa a l'ESP-32, i s'obre el monitor sèrie. Aquest, s'intentarà connectar, i autenticar amb el núvol. Quan tingui connexió començarà a realitzar publicacions de les dades cada 1 minut.



```
checking wifi...
connecting...Refreshing JWT
connected

Library connected!
incoming: /devices/esp32/config -
Analog raw bits Humitat: 0
Percentatge d'humitat: 0.00
Data has been sent to cloud
{
  "WiFi_db": "-60",
  "TimeStamp": "2021-01-06 12:34:41",
  "Temperatura": "23.12",
  "Ldr_Llum": "6.00",
  "Humitat": "0.00"
}
```

Figura 91. Monitor sèrie connexió node sensor amb Google Cloud

Si tot s'ha configurat correctament, podem consultar les dades publicades a la subscripció de Pub/Sub creada i veure que els missatges van arribant.

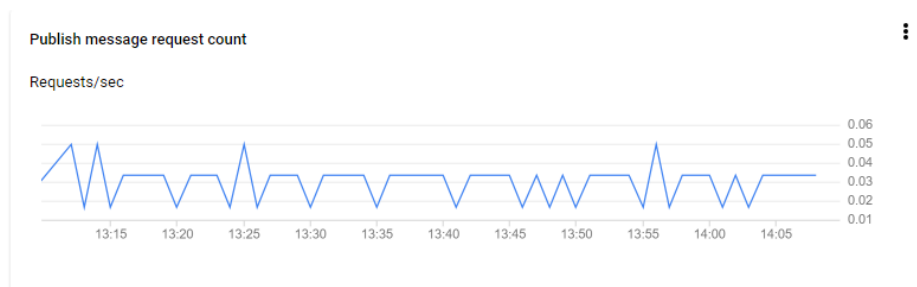
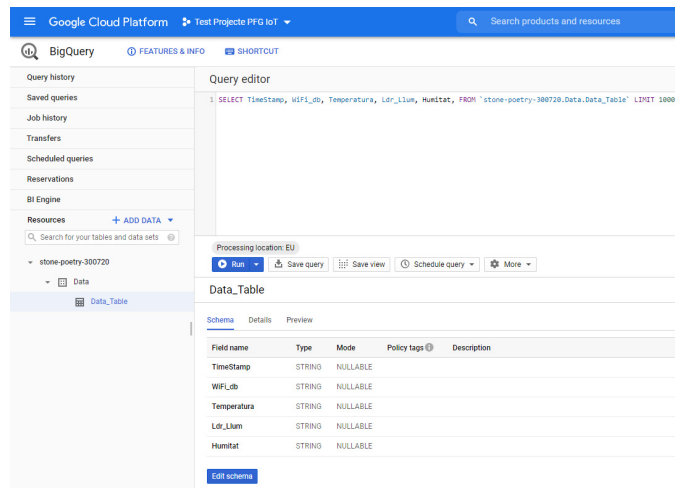


Figura 92. Entrada de missatges a Pub/Sub

Abans d'habilitar DatFlow, primerament hem de crear una taula per visualitzar les dades que van arribant. Això és possible mitjançant BigQuery. Hem d'introduir el nom de les variables que enviem, i el seu tipus, tal i com estan declarades al node sensor, per tal que BigQuery les separi individualment.



The screenshot shows the Google Cloud Platform BigQuery interface. The top navigation bar includes 'Google Cloud Platform', 'Test Project PFG IoT', and a search bar. The main area is divided into a left sidebar with navigation options like 'Query history', 'Job history', and 'Resources', and a central 'Query editor' with a SQL query: `SELECT TimeStamp, WiFi_0b, Temperatura, Ldr_Llum, Humitat FROM `stone-poetry-300720.Data.Data_Table` LIMIT 1000`. Below the query editor, there are buttons for 'Run', 'Save query', 'Save view', 'Schedule query', and 'More'. The 'Data_Table' section shows a schema with the following fields:

Field name	Type	Mode	Policy tags	Description
TimeStamp	STRING	NULLABLE		
WiFi_0b	STRING	NULLABLE		
Temperatura	STRING	NULLABLE		
Ldr_Llum	STRING	NULLABLE		
Humitat	STRING	NULLABLE		

Figura 93. Taula de consulta BigQuery

El següent pas a seguir, és habilitar l'API DataFlow, que ens permetrà exportar les dades a la següent API, BigQuery. Això és possible mitjançant la creació d'una tasca a partir de la plantilla que proporciona Google cloud, i que permet passar les dades de Pub/Sub a BigQuery. En aquesta s'han de configurar la subscripció, una carpeta temporal, la taula de BigQuery de destí entre altres paràmetres.

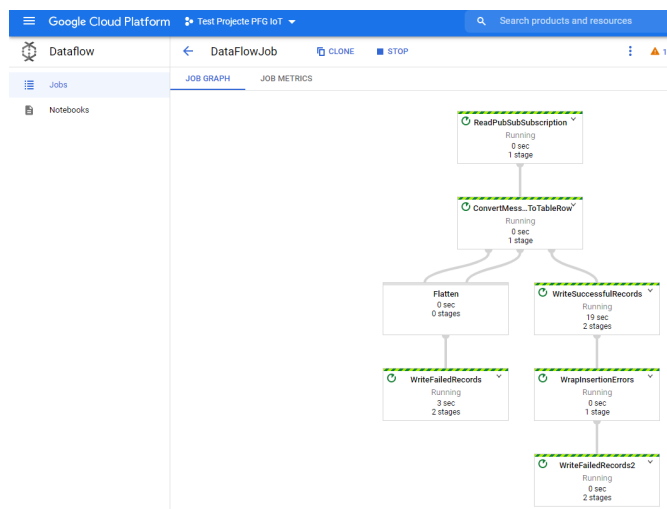
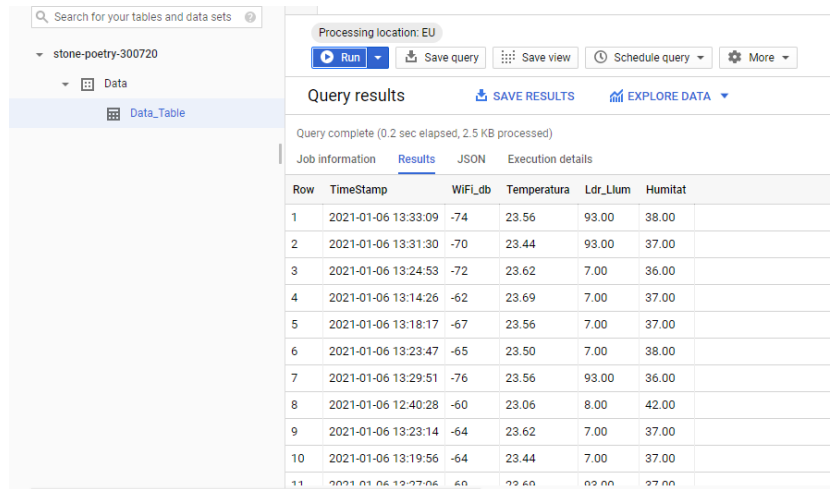


Figura 94. Tasca DatFlow

Quan està tot configurat correctament , les dades van arribant a BigQuery. Per poder visualitzar-les, s'han de realitzar consultes, seleccionant les variables desitjades.



Row	TimeStamp	WIFL_db	Temperatura	Ldr_Llum	Humitat
1	2021-01-06 13:33:09	-74	23.56	93.00	38.00
2	2021-01-06 13:31:30	-70	23.44	93.00	37.00
3	2021-01-06 13:24:53	-72	23.62	7.00	36.00
4	2021-01-06 13:14:26	-62	23.69	7.00	37.00
5	2021-01-06 13:18:17	-67	23.56	7.00	37.00
6	2021-01-06 13:23:47	-65	23.50	7.00	38.00
7	2021-01-06 13:29:51	-76	23.56	93.00	36.00
8	2021-01-06 12:40:28	-60	23.06	8.00	42.00
9	2021-01-06 13:23:14	-64	23.62	7.00	37.00
10	2021-01-06 13:19:56	-64	23.44	7.00	37.00
11	2021-01-06 13:27:06	-60	23.60	93.00	37.00

Figura 95. Consulta a BigQuery

Mitjançant l'exportació de les dades a la API DataStudio, podem convertir les dades a formats concrets, realitzar gràfics, estudiar tendències etc.

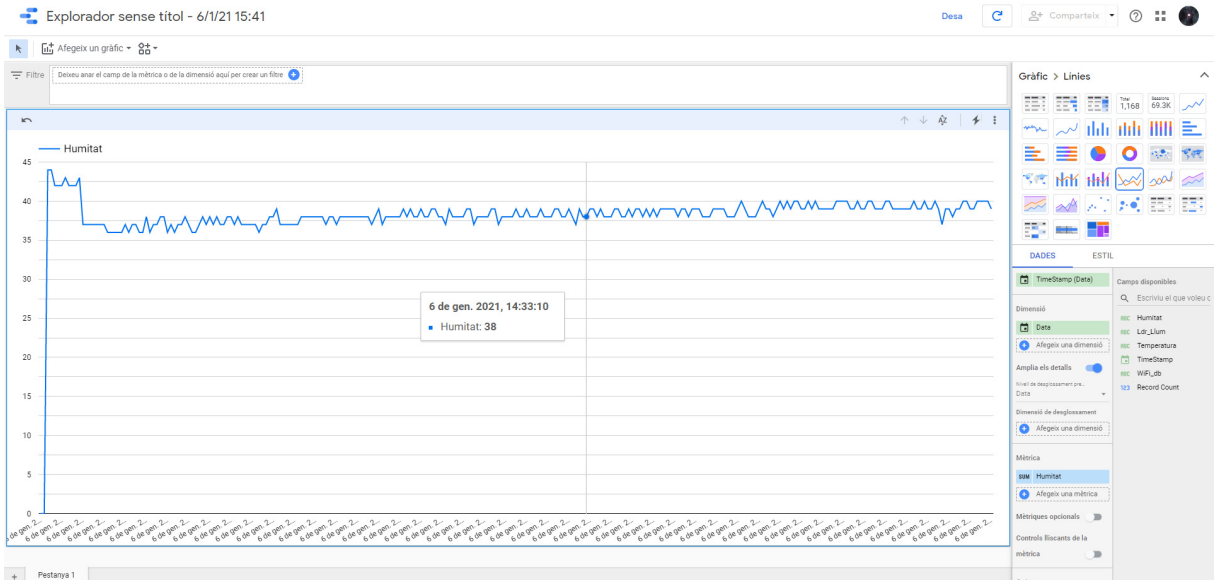


Figura 96. Gràfic de les dades d'humitat

7. RESUM DEL PRESSUPOST

El desenvolupament d'aquest projecte, ha comportat la cerca de components electrònics de diversos tipus, i de difícil accés en l'entorn proper. No obstant s'han escollit, mitjançant el criteri de qualitat preu, els proveïdors que serveixen el material amb més rapidesa i en les millors condicions, així com els fabricants de primeres marques, que ofereixen components amb la millor qualitat del mercat possible, per tal de minimitzar els costos, però alhora, sense decebre la qualitat final del producte i per tant, contribuït i fent totalment viable el projecte en qüestió. Els preus considerats, són per un sol prototip, cosa que la seva producció a major escala, abaratiria el cost del producte final.

El cost del projecte és de cent noranta-quatre euros amb catorze cèntims, sense IVA. Inclou tots els costos de fabricació assemblatge i verificacions necessàries per a poder dur a terme de forma exitosa el projecte.

8. CONCLUSIONS

Remarcant l'objectiu inicial d'aquest projecte, que és el desenvolupament d'un node sensor wireless, i fixant-nos en els prototip obtingut, juntament amb els seus resultats. Es pot afirmar que s'han complert de forma exitosa, gràcies al desenvolupament del present projecte.

El prototip obtingut, permet en gran mesura abaratir costos. Aquest, no ofereix la diversitat de prestacions que ofereix Libelium, com ara, la oferta de diferents mòduls ràdio, però sí que permet re-aprofitar-los, gràcies al sòcol ràdio. El disseny seu disseny, de reduïdes dimensions facilita la instal·lació del node en qualsevol indret. Aquest es pot carregar i alimentar mitjançant l'ús de bateries de liti, essent completament autònom de la xarxa. A més a més, el disseny actual, s'ha concebut per facilitar la mesura del consum elèctric, que combinat amb els modes de funcionament de baix consum, i amb l'RTC, permeten als desenvolupadors optimitzar al màxim el seu programa, per tal d'allargar l'autonomia de tot el sistema.

El seu component central, el microcontrolador ESP-32-WROOM-32, permet adquirir, processar i controlar senyals, tan digitals com analògics. Aquest també pot establir comunicacions cablejades com SPI, I2S, I2C, UART, i comunicacions sense fils gràcies a Bluetooth, Wi-Fi integrats al microcontrolador, o ampliant les funcions amb mòduls com XBee entre altres. El microcontrolador escollit, disposa d'una amplíssima comunitat al darrere, reforçant i facilitant-ne les tasques de programació. Referent a la programació, aquest es pot programar en diferents entorns, com ara Arduino, PlatformIO o mitjançant el framework del propi del fabricant Espressif. Això permet facilitar la tasca de la programació per a nous usuaris o permetre als més experts programar funcions i tasques avançades.

Gràcies al desenvolupament d'aquest projecte, s'ha aconseguit assolir l'objectiu de crear un prototip, econòmic, fiable i eficaç, ideal per l'àmbit de la docència de la Universitat de Girona.



Adrià Tort Serra

Graduat en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica

Tordera, 1 de desembre de 2020

9. RELACIÓ DE DOCUMENTS

El present projecte tècnic està format pels següents documents: Memòria, Plànols, Plec de condicions, Estat d'amidaments i Pressupost.

10. BIBLIOGRAFIA

A. I. ALI. Et al. ZigBee and LoRa based Wireless Sensors for Smart Environment and IoT Applications. 2019 1st Global Power, Energy and Communication Conference (GPECOM). 2019

ADVANTICSYS, Informació tècnica i detalls sobre mote XM1000 i gateway SG1000, (<https://www.advanticsys.com/>, 29 d'agost de 2020)

ALTIUM, Descàrrega i suport per el programa de disseny, (<https://www.altium.com/altium-designer/>, 10 de setembre de 2020)

BARKEN, LEE et al. Chapter 1 - A Brief Overview of the Wireless World. 2004.

BATTERY UNIVERSITY. Charging Lithium-ion.
(https://batteryuniversity.com/learn/article/charging_lithium_ion_batteries, 23 d'octubre de 2020)

BATTERY UNIVERSITY. Types of Lithium-ion Batteries.
(https://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion, 23 d'octubre de 2020)

BATTERY UNIVERSITY. Understanding Lithium-ion.
(https://batteryuniversity.com/learn/archive/understanding_lithium_ion, 24 d'octubre de 2020)

BATTERY UNIVERSITY. What causes Lithium-ion to die?
(https://batteryuniversity.com/index.php/learn/article/bu_808b_what_causes_li_ion_to_die, 22 d'octubre de 2020)

BATTERY UNIVERSITY. What's the Best Battery?.
(https://batteryuniversity.com/learn/archive/whats_the_best_battery, 27 d'octubre de 2020)

CIRCUIT BASICS, S.C. Basics of UART communication.
(<https://www.circuitbasics.com/basics-uart-communication/>, 4 de novembre de 2020)

DAHLMAN. E, PARKVALL. S, SKÖLD. J. 4G LTE-Advanced Pro and The Road to 5G third Edition. Editorial Elsevier. 2016

DIGI, Informació tècnica a nivell electrònic i mecànic sobre mòduls Xbee,
(<https://www.digi.com/xbee/>, 14 de novembre de 2020)

E. M. MIGABO, K. D. DJOUANI AND A. M. KURIEN, The Narrowband Internet of Things (NB-IoT) Resources Management Performance State of Art, Challenges, and Opportunities. IEEE Access, Vol. 8, pp. 97658-97675. 2020

EMBEDDED CENTRIC. Lesson 2 – BLE profiles, services, characteristics, Device roles and network topology. (<https://embeddedcentric.com/lesson-2-ble-profiles-services-characteristics-device-roles-and-network-topology/>, 7 de setembre de 2020)

ESPRESSIF, Informació i dades tècniques sobre microcontroladors ESP32,
(<https://www.espressif.com/>, 27 de setembre de 2020)

FARAHANI, SHAHIN. ZigBee wireless networks and transceivers. Editorial Newnes. 2008

FORUM ARDUINO, Detalls sobre la programació de plaques basades en el microcontrolador ESP32 (<https://forum.arduino.cc/>, 20 de desembre de 2020)

GAJJAR, S., CHOKSI, N., SARKAR, M., & DASGUPTA, K. Design, Development and Testing of Wireless Sensor Network Mote. 2014 International Conference on Devices, Circuits and Communications (ICDCCom), Devices, Circuits and Communications (ICDCCom). (<https://doi.org/10.1109/ICDCCom.2014.7024714>, 14 de setembre de 2020)

JLC-PCB, Informació sobre la manufactura de plaques de circuit imprès, (<https://jlcpcb.com/>, 17 de setembre)

LCSC ELECTRONICS, Informació i dades tècniques de components electrònics
(<https://lcsc.com/>), 10 d'octubre de 2020

LORA ALLIANCE, Informació sobre comunicacions ràdio mitjançant LoRa, (<https://lora-alliance.org/>, 7 d'octubre de 2020)

MAGDIN, MARTIN. et al. Design and Realization of Interconnection of Multifunctional Weighing Device with Sigfox Data Network. AGRIS on-line Papers in Economics and Informatics. Vol. 12, No. 2, pp. 99-110. 2020

MAXIM INTEGRATED, Informació tècnica i detalls sobre mote MAX3260FTHR, (<https://www.maximintegrated.com/en.html/>, 25 d'agost de 2020)

MAXIM INTEGRATED. Tutorials 4803 The basics of USB battery charging. (<https://www.maximintegrated.com/en/design/technical-documents/tutorials/4/4803.html>, 5 de novembre de 2020)

MAXIM INTEGRATED. Tutorials 5936 Overview of USB battery charging revision 1.2 and the important role of charger detectors. (<https://www.maximintegrated.com/en/design/technical-documents/tutorials/4/4803.html>, 5 de novembre de 2020)

MICROCHIP, Informació tècnica i detalls sobre mote PIC-IoT-Wa, (<https://www.microchip.com/>, 25 d'agost de 2020)

MICROCHIP. Atmel AVR1017: XMEGA – USB Hardware Design Recommendations. (<http://ww1.microchip.com/downloads/en/Appnotes/doc8388.pdf>, 6 de novembre de 2020)

PISTOIA. G. Battery operated devices and Systems: from portable electronics to industrial products. Editorial Elsevier. 2009

RS AMIDATA, Catàleg de components (<https://es.rs-online.com/web/>, 20 de novembre de 2020)

S. M. DARROUDI, C. GOMEZ AND J. CROWCROFT. Bluetooth Low Energy Mesh Networks: A Standards Perspective. IEEE Communications Magazine, Vol. 58, no. 4, pp. 95-101. Abril 2020

SIGFOX, Informació sobre comunicacions mitjançant la xarxa mundial SigFox, (<https://www.sigfox.com/en/>, 10 d'octubre de 2020)

SILICON LABS, Informació tècnica referent al circuit integrat CP2102N,
(<https://www.silabs.com/>, 25 d'octubre de 2020)

SILICON LABS, Suport tècnic referent al circuit integrat CP2102N,
(https://www.silabs.com/community/interface/knowledge-base.entry.html/2017/07/18/how_to_enable_theba-Rjcp, 25 d'octubre de 2020)

TEM COMPONENTS, Consulta d'informació tècnica de diversos components
<https://www.tme.eu/es/>, 20 de novembre de 2020)

TEXAS INSTRUMENTS, Informació tècnica i detalls sobre mote TI SimpleLink,
(<https://www.ti.com/>, 25 d'agost de 2020)

TEXAS INSTRUMENTS, Informació tècnica referent als circuits integrats
BQ24012DRCR,TPS63021DSJR,TPS3710DDCR, BQ29700DSET, (<http://www.ti.com/>), 19
de novembre de 2020

TEXAS INSTRUMENTS. Combining buck-boost battery chargers and USB type-C Power
Delivery for maximum power density. (
https://www.ti.com/lit/wp/slyy195/slyy195.pdf?ts=1608520299880&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fpower-management%252Fbattery-management%252Ftechnical-documents.html, 12 d'octubre de 2020)

TEXAS INSTRUMENTS. Should I Use A Linear Charger Or A Switching Charger? - Fully
Charged - Archives. (
https://e2e.ti.com/blogs_/archives/b/fullycharged/archive/2015/10/31/when-to-choose-linear-chargers-vs-switching-chargers, 3 d'octubre de 2020)

TEXAS INSTRUMENTS. When To Use Rechargeable Batteries In Small Battery Applications
- Power Management - Technical Articles. (
https://e2e.ti.com/blogs_/b/powerhouse/archive/2019/10/01/when-to-use-rechargeable-batteries-in-small-battery-applications, 3 d'octubre de 2020)

THE INTERNET OF THINGS WITH ESP32, Informació tècnica microcontrolador ESP32,
(<http://esp32.net/>, 27 de setembre de 2020)

TIMO, D.HÄMÄLÄINEN. et al. Embedded Computer Systems: Architectures, Modeling, and Simulation. 19th International Conference, SAMOS. 2019

USB ORG, Detalls tècnics sobre especificacions de càrrega de bateries mitjançant USB, (<https://www.usb.org/>, 2 d'octubre de 2020)

11. GLOSSARI

AC: Alternating Current

AWS: Amazon Web Services

BLE: Bluetooth Low Energy

BMS: Battery Management System

CA: Corrent Altern

CC: Constant Current

CDP: Charging Downstream Port

CPU: Central Processing Unit

CTS: Clear To Send

CV: Constant Voltage

DC: Direct Current

DCP: Dedicated Charging Port

DTS: Data Terminal Redy

EEPROM: Electrically Erasable Programmable Read Only Memory

EMI: Electromagnetic interference

EN: Enable

FS: Full Speed

FTDI: Future Technology Devices International

FTP: File Transfer Protocol

GPIO: General Purpouse Input Output

GPRS: General Packet Radio Service

GSM: Global System for Mobile

HSPA: Hight Speed Packet Acces

HVDC: High Voltage Direct Current

I2C: Inter Integrated Circuit

IBM: International Bussines Machines

IC: Integrated Circuit

IDE: Integrated Development Environment

IEC: International Electrothechincal Comission

IEEE: Institution of Electrical and Electronics Engineers

IoT: Internet of Things

ISM: Industrial Scientific and Medical

JTAG: Joint Test Action Group

LDO: Low Dropout

LED: Light Emitting Diode

LoRa: Long Range

LTE: Long Term Evolution

MQTT: Message Queuing Telemetry Transport

NB-IoT: NarrowBand Internet of Things

OCC: Over Current Protection

OCP: Over Charge Protection

ODC: Over Discharge Protection

OTA: Over The Air

OVP: Over Voltage Protection

PCB: Printed Circuit Board

PIR: Passive Infrared Sensor

PTC: Positive Temperature Coefficient

PWM: Pulse Width Modulation

RAM: Random Access Memory

RF: Radio Frequency

RTC: Real Time Clock

RTOS: Real Time Operating System

RTS: Ready To Send

RTS: Ready To Send

SCP: Short Circuit Protection

SD: Secure Digital

SDP: Standard Downstream Port

SMD: Surface Mounted Device

SMT: Surface Mount Tecnology

SPI: Serial peripheral interface

SRAM: Static Random Acces Memory

TVS: Transient Voltage Supressors

UART: Universal Asynchronous receiver transceiver

ULP: Ultra Low Processor

USB: Universal Serial Bus

UVP: Under Voltage Protection

WAN: Wide Area Networks

WCDMA: Wideband Code Division Multiple Acces

WSN: Wireless Sensor Networks

A. CÀLCULS CARREGADOR DE BATERIES BQ24012DRCR

Aquest annex té per objectiu detallar els càlculs necessaris per dimensionar els components necessaris per a permetre al circuit integrat carregador de bateries BQ24012DRCR funcionar degudament.

El valor del corrent de càrrega de bateria màxim, acord amb el fabricant, es calcula de la següent manera:

$$I_{O_{Out}} = \frac{(K_{set} * V_{set})}{R_{set}} \quad (\text{Eq. 1})$$

Aplicant els valors de K_{set} i V_{set} , que ens proveeix el fabricant, acord amb el model seleccionat, i imposant el valor del corrent de sortida, com el corrent màxim de càrrega de la bateria de Libelium (480 mA).

$$0.480 = \frac{(355 * 2.55)}{R_{set}} \quad (\text{Eq. 2})$$

$$R_{set} = 1885.93 \, \Omega \quad (\text{Eq. 3})$$

Finalment, només falta normalitzant el valor teòric, a el valor comercial més proper, R_{set} tindrà un valor de $1k8\Omega$

L'esquema del carregador, disposa d'entrades lògiques de col·lector obert, que permeten indicar amb led's, els estats de: càrrega completa, en procés de càrrega, i alimentació correcte. Seguint l'esquema d'aplicació del fabricant, i les seves recomanacions, així com ajustant els valors dels components, l'esquema del carregador de bateries és el següent:

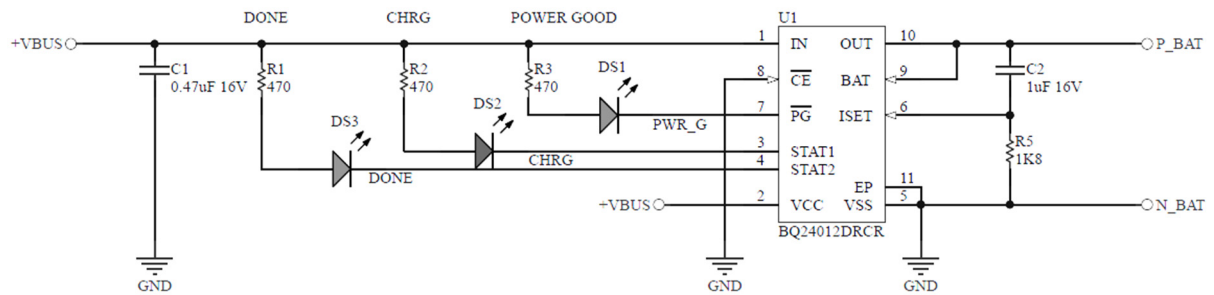


Figura 97. Esquema BQ24012DRCR

En quant a la dissipació de potència, el fabricant ens proporciona l'equació per poder calcular la temperatura de la unió, tenint en compte les condicions més crítiques, que serien quan la bateria està completament descarregada i circula el corrent de càrrega màxim.

$$P=(V_{in}-V_{bat}) \cdot I_{out} \quad (\text{Eq. 4})$$

$$\Theta_{JA} = \frac{T_J - T_A}{P} \quad (\text{Eq. 5})$$

Substituint l'equació 4 a l'equació 5 obtenim:

$$\Theta_{JA} = \frac{T_J - T_A}{(V_{in} - V_{bat}) \cdot I_{out}} \quad (\text{Eq. 6})$$

Utilitzant els valors característics de l'encapsulat, proporcionats per el fabricant $\Theta_{JA}=47^{\circ}/W$ a una temperatura ambient de $25^{\circ}C$, amb la temperatura d'unió a $70^{\circ}C$ i dissipant la potència màxima possible, la resistència tèrmica serà la següent

$$\Theta_{JA} = \frac{70^{\circ}C - 25^{\circ}C}{(5 - 3.2) \cdot 0.48} = 53 \frac{^{\circ}C}{W} \quad (\text{Eq. 7})$$

En aquestes condicions, amb un encapsulat amb una resistència tèrmica lleugerament inferior a $53^{\circ}C/W$, i deixant cert marge de seguretat, serien suficients per dissipar la potència generada. En el cas de l'integrat escollit, la resistència tèrmica de l'encapsulat és de $47^{\circ}C/W$, essent lleugerament inferior, i suficient per dissipar la calor, en les condicions de càrrega inicial. Un cop es va carregant la bateria, el corrent aniria disminuït i el voltatge augmentant, afavorint la disminució en quan a termes de dissipació de potència.

B. CÀLCUL BMS

Aquest annex té per objectiu detallar els càlculs necessaris per dimensionar els components necessaris per a permetre al circuit integrat carregador de bateries BQ29700DSET i TPS3710 funcionar degudament.

B.1. Circuit integrat de protecció BQ2700DSET

El fabricant proporciona detalls de com es dimensionen correctament els transistors externs, encarregats de connectar i desconnectar la bateria del circuit, en cas que es produeixi un defecte. Primerament, anotem els valors corresponents al circuit de protecció escollit BQ29700DSET

OVP	UVP	OCC	OCD	SCD	Max FET LOW	Min FET HIGH
4,275 V	2,8 V	-100 mV	100 mV	500 mV	0,5 V	3,4 V

Taula 7. Característiques circuit integrat BQ27900DSET

Els càlculs necessaris són els relacionats amb els defectes de corrent, ja que tenen associats uns voltatges de defecte. Primerament fixarem un valor màxim de corrent de descàrrega. Normalment sol ser un corrent de 3 vegades la relació de capacitat de la bateria. Com que el circuit de la bateria serà capaç d'admetre diversos tipus de bateria, es fixa aquest valor a 2 A. El valor de voltatge de detecció del BQ29700DSET, en cas de defecte de sobre intensitat de descàrrega és de 100 mV mantinguts durant 20 ms. Aplicant el valor fixat, trobarem la resistència equivalent mínima que hauran de tenir els 2 transistors externs.

$$R_{ds_{ON_{EQV}}} = \frac{0.1}{2} = 50m\Omega \quad (\text{Eq. 8})$$

El valor de resistència $R_{ds on}$, del conjunt dels 2 transistors serà mínim de 50 m Ω , per assegurar que per un defecte de 2 A de corrent de sobre descàrrega, o superior, el circuit integrat protegirà la bateria. Degut al fet que el voltatge de detecció de sobre intensitats de càrrega, també són 100 mV durant 20 ms, les proteccions saltaran per el mateix valor de 2 A durant la càrrega.

La detecció de curtcircuits es produeix per un valor de voltatge de defecte, de 500 mV amb una durada de 250 μ S, i únicament limitat per la resistència interna de la bateria, la resistència

del total dels 2 mosfets, i la resistència de les pistes de coure. Això a efectes de càlcul, menyspreant la resistència de la bateria i de les pistes, suposa un corrent de defecte de:

$$I_{Def} = \frac{SCD}{R_{Eq}} = \frac{0.5}{0.06} = 8.33 \text{ A} \quad (\text{Eq. 9})$$

Aquest corrent, circularia durant 250 μs com a màxim, i a continuació s'activarien les proteccions obrint el circuit.

El següent pas és l'elecció d'un transistor adient amb les condicions de resistència $R_{ds\ on}$ i adequat a les característiques de disparament, de les sortides digitals del BQ29700DSET. Els voltatges de disparament de les sortides digitals de control COUT I DOUT, tenen un cert llindar, a tenir en compte. El valor d'estat baix que proporciona les sortides de l'integrat, va de 0 V fins a 0.5 V, i el valor d'estat alt, va de 3.4 V fins a el voltatge de la bateria, amb uns corrents corresponents de 30 μA .

El mosfet escollit, és el FDS6990AS del fabricant Fairchild semiconductor. Es tracta d'un encapsulat que conté 2 transistors mosfet canal N al seu interior. Suporten un voltatge de ruptura de fins a 30 V. El seu voltatge llindar de disparament de la porta, va des de 1 V mínim, fins a 3 V màxim, voltatge suficient per assegurar que no hi haurà falsos disparaments, a nivells baixos, ni pèrdues per escalfament en l'estat de conducció. Permet manipular fins a 7 A de corrent de forma contínua. La resistència $R_{ds\ on}$ de cada mosfet, és de 30 m Ω aproximadament, en les condicions de disparament que proporciona el BQ29700DSET. Utilitzant els 2 mosfets, tal com indica l'esquema d'aplicació del fabricant, la resistència equivalent és d'uns 60 m Ω , que és lleugerament superior als 50 m Ω , prèviament calculats, i que fan que els corrents de defecte, de sobre càrrega i sobre descàrrega, disminueixin lleugerament per sota dels 2 A inicials. En quan a la dissipació de potència del transistor durant el funcionament normal de la bateria, s'obtenen els següents valors

$$\Theta_{JA} = \frac{T_J - T_A}{I^2 * R_{ds\ on\ EQV}} \quad (\text{Eq. 10})$$

Utilitzant els valors característics de l'encapsulat, proporcionats per el fabricant $\Theta_{JA} = 78^\circ\text{C}/\text{W}$, considerant una temperatura ambient de 25°C, circulant el corrent més crític de 2 A de defecte, de forma contínua, amb una $R_{ds\ on}$ de 66 m Ω corresponent a estar treballant a una temperatura d'unió de 50°C, els càlculs són els següents:

$$\Theta_{JA} = \frac{50^{\circ}\text{C}-25^{\circ}\text{C}}{2^2 * 0.066} = 94 \frac{\text{ }^{\circ}\text{C}}{\text{W}} \quad (\text{Eq. 11})$$

En aquestes condicions, amb un encapsulat amb una resistència tèrmica lleugerament inferior a 94 °C/W, i deixant cert marge de seguretat, serien suficients per dissipar la potència generada. En el cas de l'integrat escollit, la resistència tèrmica de l'encapsulat és de 78°C/W, essent suficient per suportar aquestes condicions crítiques.

B.2. Circuit integrat monitorització tensió TPS3710

Per configurar el TPS3710, a les necessitats de protecció de la bateria, el fabricant ens facilita el muntatge, seguit de la següent equació, que determina el voltatge de detecció llindar:

$$V_{\text{Mon(UV)}} = \left(1 + \frac{R1}{R2}\right) * V_{IT} \quad (\text{Eq. 12})$$

Fixarem el valor de R1 a 1 MΩ, per tal d'evitar un consum addicional per la branca de mesura de voltatge.

$$3.3 = \left(1 + \frac{1000000}{R2}\right) * 0.4 \quad (\text{Eq. 13})$$

$$R2 = 137931.03 \Omega \quad (\text{Eq. 14})$$

Com el valor teòric d'R2, no és proper a un valor comercial, R2 es formarà a partir de la suma de dues resistències en sèrie, una 120K i una de 18K, deixant un valor final de 138K, que farà que el voltatge de monitorització disminueixi lleugerament per sota dels 3.3V, seguint essent una opció vàlida. Per tal d'evitar errors de mesura del voltatge excessius, les resistències escollides són d'una precisió del 1%, considerant els marges d'error màxims de les resistències, el voltatge mínim de detecció, s'assegura estar entre els valors de 3,35 i 3,24 V.

El següent pas, corresponent al disseny del circuit de monitorització de voltatge, és escollir una resistència pull-up adequada a les condicions del pin de sortida, així com també del transistor mosfet que tancarà o obrirà el circuit en funció del voltatge monitoritzat a el pin de mesura.

El transistor escollit, és de tipus mosfet canal N, concretament el model AO3400A, del fabricant Alpha & Omega. Permet circulacions de corrent continu, a través del drenador de fins a 4 A, suporta una tensió drenador – sortidor de 30 V, i té un baix voltatge llindar de porta a partir de 0.65 V. Respecte a la dissipació de potència, a continuació es mostren els càlculs.

Els valors característics de l'encapsulat, proporcionats per el fabricant $\Theta_{JA}=125^{\circ}\text{C}/\text{W}$, resistència $R_{ds\ on}$ de 52.8 m Ω corresponent a estar treballant a una temperatura d'unió de 50 $^{\circ}\text{C}$ i considerant un pas de corrent continu de 1.5 A, molt superior al corrent nominal, els càlculs venen donats per la següent equació:

$$\Theta_{JA} = \frac{T_J - T_A}{I^2 * R_{ds\ on\ EQV}} \quad (\text{Eq. 15})$$

Substituint els valors característics, anteriorment mencionats, els resultats són els següents:

$$\Theta_{JA} = \frac{50^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}}{1.5\text{A}^2 * 0.0528\ \Omega} = 211\ \frac{\text{^{\circ}\text{C}}}{\text{W}} \quad (\text{Eq. 16})$$

En aquestes condicions, amb un encapsulat amb una resistència tèrmica lleugerament inferior a 211 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$, i deixant cert marge de seguretat, serien suficients per dissipar la potència generada. En el cas del transistor escollit, la resistència tèrmica és de 125 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$, essent suficient per suportar aquestes condicions crítiques.

Quan el voltatge mesurat sigui superior al pre-establert de 3.3 V, internament, la sortida estarà desconnectada de massa, i per tant el pin estarà "flotant", permetent a la resistència pull-up, aplicar cert voltatge al pin i per tant, aquest tindrà el valor d'estat alt, que s'aplicarà cap a la porta del transistor mosfet, fent que aquest condueixi i permeti el pas de corrent cap al sistema.

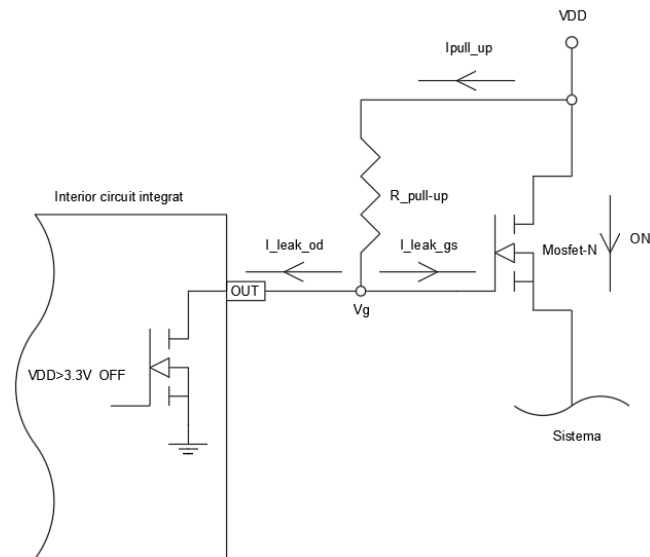


Figura 98. Esquema pull up durant out estat OFF

Quan el voltatge mesurat sigui inferior al pre-establert de 3.3 V, internament, la sortida estarà connectada a massa, i per tant el pin estarà en estat baix, així com també, la porta del transistor fent que aquest talli el pas de corrent cap al sistema.

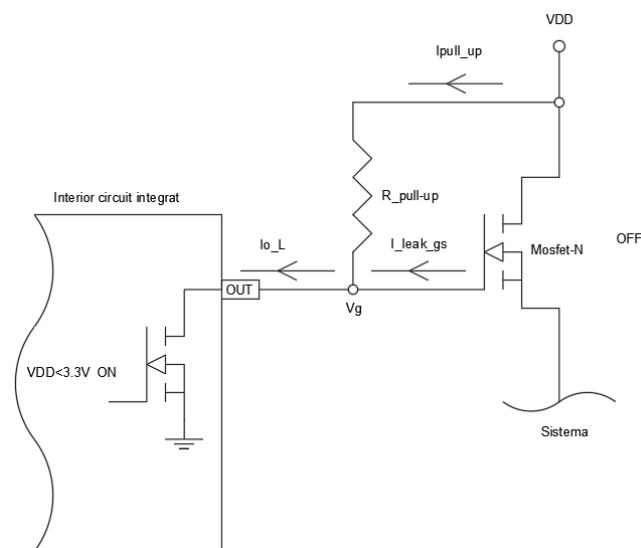


Figura 99. Esquema pull up durant out estat ON

Es important calcular el rang de valors de la resistència pull-up, per evitar superar els valors de corrent màxims del pin out, indicats per el fabricant. Seguidament es detallen els càlculs per determinar un valor adequat.

Quan el pin de l'integrat està en estat alt, el transistor intern, no condueix, però si hi ha una certa circulació de corrent de fuga, de l'ordre d'uns 300 nA. Mentrestant, el transistor extern, està conduint, i també té una ínfima circulació de corrent entre la porta i el sortidor, d'uns 100 nA.

El corrent total que circularà per la resistència externa pull up serà:

$$I_{\text{pull-up}} = I_{\text{leak_od}} + I_{\text{leak_gs}} \quad (\text{Eq. 17})$$

Si prenem les dades del fabricant, en els seus valors màxims tenim:

$$I_{\text{pull-up}} = 300\text{nA} + 100\text{nA} = 400\text{nA} \quad (\text{Eq. 18})$$

El màxim valor que pot prendre la resistència pull-up vindrà donat per el corrent mínim que circula en l'estat Off, el voltatge mínim que assegura la conducció completa, del mosfet extern, i el voltatge mínim Vdd que l'integrat monitoritza.

$$R_{\text{pull-up_max}} = \frac{V_{\text{dd}} - V_{\text{g}}}{I_{\text{pull-up}}} \quad (\text{Eq. 19})$$

Substituint els valors de detallats tenim:

$$R_{\text{pull-up_max}} = \frac{3.3\text{ V} - 2.5\text{ V}}{400\text{nA}} = 2\text{ M}\Omega \quad (\text{Eq. 20})$$

Si la resistència és superior a 2 MΩ, el voltatge de porta en estat alt, començarà a disminuir dels 2.5 V, fent que s'allunyi de la zona de disparament segur del mosfet.

Quan el pin de l'integrat està en estat baix, el transistor intern, condueix. Mentrestant, el transistor extern té un voltatge pràcticament nul a la porta, i conseqüentment està en tall.

La conducció del transistor intern no és perfecta, i degut a la resistència Rds on, provoca una petita caiguda de tensió, amb un valor màxim de 250 mV segons el fabricant. S'ha de verificar que el transistor no conduirà en aquestes condicions, i tallarà completament.

El corrent total que circularà per la resistència externa pull up serà:

$$I_{\text{pull-up}} = I_{\text{o}_L} - I_{\text{leak}_gs} \quad (\text{Eq. 21})$$

El fabricant, ens indica, que el transistor intern permet una corrent màxim de fins a 20 mA, però per qüestió de reducció de consum, s'imposarà un corrent de 2 μA total.

$$I_{\text{pull-up}} = 2\mu\text{A} - 100\text{nA} \approx 2\mu\text{A} \quad (\text{Eq. 22})$$

El mínim valor que pot prendre la resistència pull-up vindrà donat per el corrent màxim previst, que circula en l'estat On, també per el voltatge màxim que roman en el pin a causa de la circulació de corrent i que assegura que el transistor mosfet extern no conduirà, i el voltatge mínim Vdd que l'integrat monitoritza.

$$R_{\text{pull-up}_{\min}} = \frac{V_{\text{dd}} - V_{\text{oL}}}{I_{\text{pull-up}}} \quad (\text{Eq. 23})$$

Si menyspreem, V_{oL} , el corrent seria major, i la resistència, serà la mínima. En la resta de casos en que V_{oL} , sigui major que 0, afavorirà la reducció del corrent.

$$R_{\text{pull-up}_{\min}} = \frac{3.3 \text{ V} - 0 \text{ V}}{2\mu\text{A}} = 1.65 \text{ M}\Omega \quad (\text{Eq. 24})$$

Per tant, tenint en compte les dues restriccions calculades per la resistència pull up,

$$R_{\text{pull-up}_{\min}} = 1.65 \text{ M}\Omega \leq R_{\text{pull-up}} \leq R_{\text{pull-up}_{\max}} = 2 \text{ M}\Omega \quad (\text{Eq. 25})$$

Finalment, el valor comercial de la resistència pull up, que compleix les dues condicions serà:

$$R_{\text{pull-up}} = 1.8 \text{ M}\Omega \quad (\text{Eq. 26})$$

Finalment l'esquema corresponent a tot el disseny de protecció de la bateria calculat fins ara, és el següent:

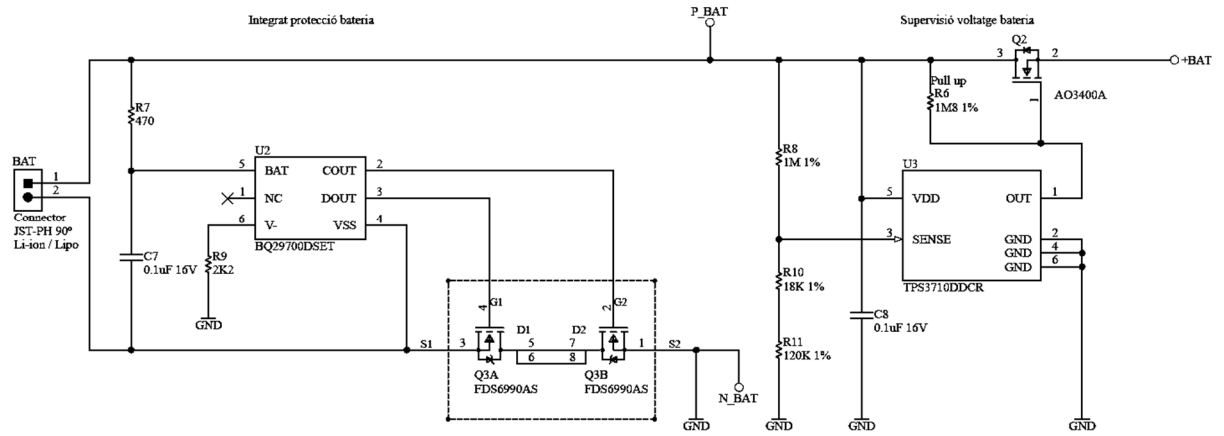


Figura 100. Esquema protecció de la bateria

C. CÀLCUL BLOC REGULADOR DC TPS63021

El transistor escollit, és de tipus mosfet canal P, concretament el model AO3401A, del fabricant Alpha & Omega. Permet circulacions de corrent continu, a través del drenador de fins a -4 A, suporta una tensió drenador – sortidor de -30 V, i té un baix voltatge llindar de porta a partir de 0.9 V. Respecte a la dissipació de potència, a continuació es mostren els càlculs.

Els valors característics de l'encapsulat, proporcionats per el fabricant $\Theta_{JA}=125^{\circ}\text{C}/\text{W}$, resistència $R_{ds\ on}$ de 66 m Ω corresponent a estar treballant a una temperatura d'unió de 50 $^{\circ}\text{C}$ i considerant un pas de corrent continu de 1,5 A, molt superior al corrent nominal, els càlculs venen donats per la següent equació:

$$\Theta_{JA} = \frac{T_J - T_A}{I^2 * R_{ds\ ON\ EQV}} \quad (\text{Eq. 27})$$

Substituint els valors característics, anteriorment mencionats, els resultats són els següents:

$$\Theta_{JA} = \frac{100^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}}{1.5\text{A}^2 * 0.066\ \Omega} = 168,35 \frac{\text{^{\circ}\text{C}}}{\text{W}} \quad (\text{Eq. 28})$$

En aquestes condicions, amb un encapsulat amb una resistència tèrmica lleugerament inferior a 168,35 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$, i deixant cert marge de seguretat, serien suficients per dissipar la potència generada. En el cas del transistor escollit, la resistència tèrmica és de 125 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$, essent suficient per suportar aquestes condicions crítiques.

El díode escollit per aplicar a la línia d'alimentació USB, és concretament el model SBRT5A50SA, del fabricant Diodes incorporated. Permet circulacions de corrent continu, de fins a 5 A, el seu voltatge directe màxim, és de 530 mV i amb un corrent invers de fuga molt baix, de l'ordre de 10 μA , per una tensió inversa de 5V. Respecte a la dissipació de potència, a continuació es mostren els càlculs.

El valor característic de la resistència tèrmica de l'encapsulat, proporcionat per el fabricant, és de $\Theta_{JA}=40^{\circ}\text{C}/\text{W}$.

Considerant, la caiguda de tensió, de 300 mV a la temperatura de treball de 50 $^{\circ}\text{C}$, un corrent I_d de 1.5 A molt per sobre del corrent nominal, els càlculs venen donats per la següent equació:

$$\Theta_{JA} = \frac{T_J - T_A}{V_{to} \cdot I_d} \quad (\text{Eq. 29})$$

Substituint els valors característics, anteriorment mencionats, els resultats són els següents:

$$\Theta_{JA} = \frac{50^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}}{0.325 \text{ V} \cdot 1.5 \text{ A}} = 55,55 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} \quad (\text{Eq. 30})$$

En aquestes condicions, amb un encapsulat amb una resistència tèrmica lleugerament inferior a $55,55 \text{ }^\circ\text{C/W}$, i deixant cert marge de seguretat, serien suficients per dissipar la potència generada. En el cas del transistor escollit, la resistència tèrmica és de 40°C/W , essent suficient per suportar aquestes condicions crítiques.

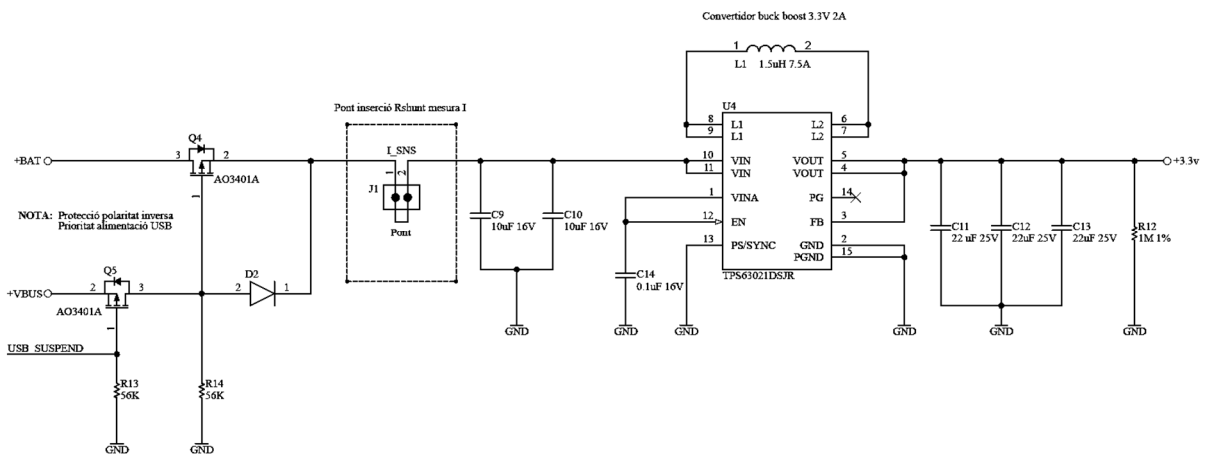


Figura 101. Esquema convertidor buck boost

D. CONFIGURACIÓ D'ENTORN ARDUINO IDE

El següent annex, té com a objectiu, mostrar els passos necessaris per instal·lar les plaques basades en ESP-32, a l'entorn de programació Arduino IDE.

Primerament, s'ha d'obrir Arduino IDE i anar al menú: File, Preferences i incloure el següent enllaç a l'apartat Additional Boards Manager:

https://dl.espressif.com/dl/package_esp32_index.json

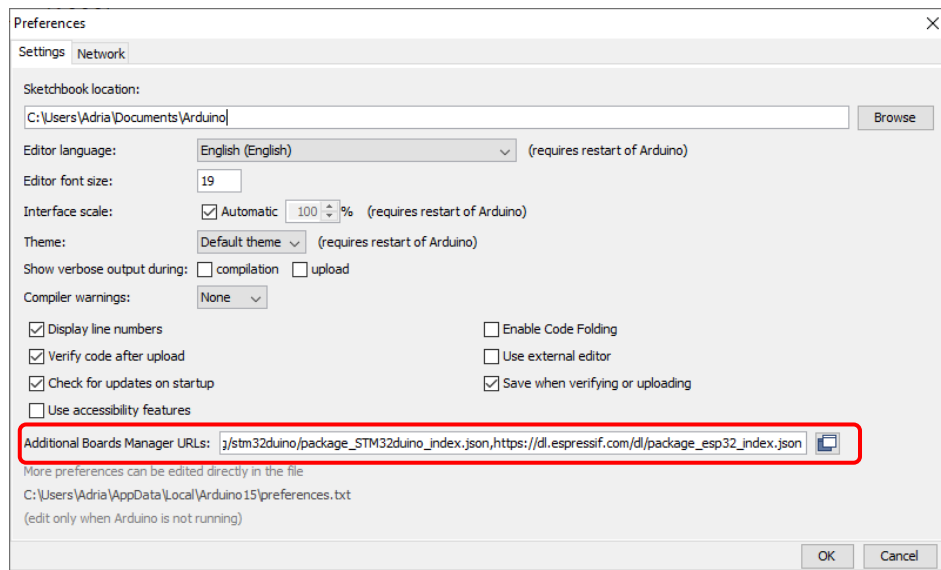


Figura 102. Board Manager

Seguidament anar al menú Tools, Board, Board Manager, deixar actualitzar i quan hagi acabat, i buscar Esp-32



Figura 103. Board Manager plaques ESP-32

Finalment, només ens queda revisar els paràmetres referents al propi microcontrolador, i a les comunicacions.

La placa que utilitzarem és l'anomenada ESP32 Dev Module. La següent figura mostra com s'han de configurar, els diferents paràmetres referents al microcontrolador.

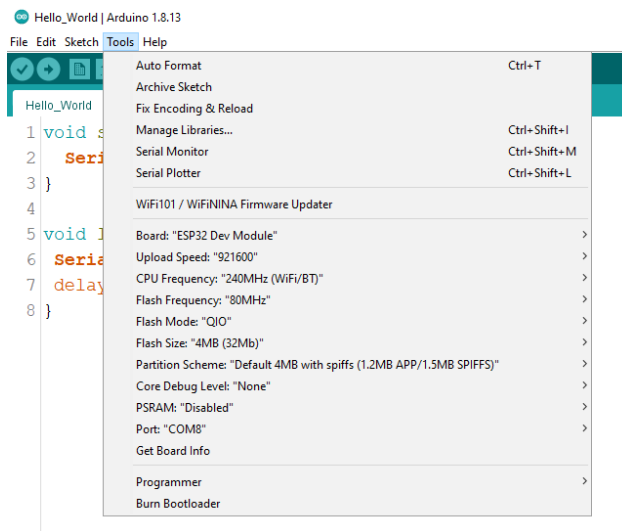


Figura 104. Configuració paràmetres ESP-32 entorn d'Arduino

E. CODI PROGRAMES

Aquest annex té com a finalitat, exposar el codi dels diferents programes, que permeten provar les diferents funcionalitats i característiques del node sensor.

E.1. Programa Hello World

```
void setup()
{
  Serial.begin(115200);
}
void loop()
{
  Serial.println("Hello World");
  delay(1000);
}
```

E.2. Programa intermitència led built-in

```
/*
Exemple per encendre LED durant 1 segon
*/
int esp32LED = 2; //LED intern connectat a pin 1
void setup()
{
  // Inicialitzem la sortida digital Build In per poder activar el LED.
  pinMode(esp32LED, OUTPUT);
}
void loop() {
  digitalWrite(esp32LED, HIGH); // Encén el LED
  delay(1000);
  digitalWrite(esp32LED, LOW); // Apaga el LED
  delay(1000);
}
```

E.3. Programa interrupcions sensor PIR i led

```
/* Exemple: Encen un LED connectat al pin 26, cada vegada que es detecta alguna cosa
a l'entrada 34. L'entrada 34 simula un sensor PIR
* Aquest exemple té en compte l'efecte del bouncing, i elimina el fet que no atengui
interrupcions durant els 5 segons de la detecció
* que es un valor típic dels PIR. Aquí s'ha afegit el MUX per protegir el codi. */

#define tempsSegons 5 // Temps que es manté la detecció

//Variables per evitar l'ús de la funció delay i no congelar el curs del programa
unsigned long presentInstant = millis();
unsigned long lastTrigger = millis();
unsigned long lastTriggerPunts = millis();
boolean moviment = false;

//Variable tipus portMUX_TYPE per sincronitzar temps entre el loop i les ISR
//i evitar que els 2 accedeixin al comptador d'interrupcions de forma simultània
portMUX_TYPE timerMux = portMUX_INITIALIZER_UNLOCKED;

// Definició de GPIOs pel led i el PIR
const int esp32LED = 26;
const int PIR = 34;

// ISR a executar en cas que es produeixi una interrupcio
void IRAM_ATTR deteccioMoviment()
{
  //Incrementa el comptador d'interrupcions i n'actualitza el temps
```

```

portENTER_CRITICAL_ISR(&timerMux);
detachInterrupt(PIR);
Serial.println("-----MOTION DETECTED-----");
digitalWrite(esp32LED, HIGH);
moviment = true;
lastTrigger = millis();
portEXIT_CRITICAL_ISR(&timerMux);
}
void setup()
{
  Serial.begin(115200); // inicialitzacio port serie
  pinMode(PIR, INPUT); // configurem pin com INPUT_PULLUP, pero es pot provar amb
INPUT_PULLUP o INPUT_PULLDOWN
// Aqui, seria una de les coses a tenir en compte per
consum...
// Es configura el pin anomenat PIR per poder atendre interrupcions, se li diu quina
funcio
//executar quan això es produeixi, i se li diu que ha de ser quan detecti un canvi
RISING.
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(PIR), deteccioMoviment, RISING);

// Inicialitzem el LED a LOW (apagat)
pinMode(esp32LED, OUTPUT);
digitalWrite(esp32LED, LOW);
}

void loop()
{
  presentInstant = millis(); //Prenem el valor de temps actual

  // Aquest condicional serveix per a que una acció duri un cert temps "tempsSegons",
mentre
//que permet que el programa no quedi bloquejat aquí.
if(moviment && (presentInstant - lastTrigger > (tempsSegons*1000)))
{
  Serial.println("-----MOTION STOPPED-----");
  digitalWrite(esp32LED, LOW);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(PIR), deteccioMoviment, RISING);
  moviment = false;
}
if((presentInstant - lastTriggerPunts > (1000)))
{
  Serial.print(".");
  lastTriggerPunts = millis();
}
}
}

```

E.4. Programa light sleep loop

```

/* Programa per comprovar funcionament de LIGHT SLEEP. Observar que el mètode per
* despertar-lo és amb TIMER, i que es pot programar al setup, o just cada vegada
* abans de deserptar (dins el (OOP). Pots comentar línies per provar-ho
*/

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  //esp_sleep_enable_timer_wakeup(5000000); //Despertare cada 5 segons (en
microsegons)
}

void loop() {
  Serial.println("Entro a dormir LIGHT SLEEP");
  delay(100);
  esp_sleep_enable_timer_wakeup(15000000); //Despertare cada 50 segons (en
microsegons)
  int ret = esp_light_sleep_start();
  delay(100);
  Serial.printf("DESPERTO!!! Si ha anat be, resposta '0' : %d\n", ret);
}

```

```

    delay(1000); // pot estar fent qualsevol altra cosa
    Serial.println("Ara tornare a dormir...");
}

```

E.5. Programa despertar light sleep per interrupció externa

```

/* Programa per comprovar funcionament de LIGHT SLEEP. Observar que el mètode per
 * despertar-lo és amb estimul a entrada digital exterior. Exemple a partir dels
 * exemples
 * donats a l'IDE Arduino, adaptant. Entrada utilitzada és la G34
 */
//#define BUTTON_PIN_BITMASK 0x400000000 // 2^34 = 17.179.869.184 en HEX --> 400000000
#define BUTTON_PIN_BITMASK 0x600000000 // 2^33 + 2^34= 25.769.803.776 en HEX -->
600000000
esp_sleep_wakeup_cause_t wakeup_reason;
uint64_t bitmask;
//uint32_t numero = 334237;
//String str;
void setup() {
    Serial.begin(115200);
    esp_sleep_enable_ext1_wakeup(BUTTON_PIN_BITMASK, ESP_EXT1_WAKEUP_ANY_HIGH);
    esp_sleep_enable_ext0_wakeup(GPIO_NUM_33, 1);
    esp_sleep_enable_timer_wakeup(5000000);
}

void loop() {

    Serial.println("Entro a dormir LIGHT SLEEP.....");
    delay(100);

    esp_light_sleep_start(); // el posem a dormir en aquest moment
    delay(100);
    Serial.println("*****ESTIC DESPERT!!!***** ");
    wakeup_reason = esp_sleep_get_wakeup_cause();
    Serial.println();
    Serial.println();

    switch(wakeup_reason)
    {
        case ESP_SLEEP_WAKEUP_EXT0 :
            Serial.println("S'hà despertat per interrupció externa RTC_IO");
            break;
        case ESP_SLEEP_WAKEUP_EXT1 :
            Serial.println("S'hà despertat per interrupció externa RTC_CNTL");
            bitmask = esp_sleep_get_ext1_wakeup_status();
            break;
        case ESP_SLEEP_WAKEUP_TIMER :
            Serial.println("S'hà despertat per timer");
            break;
        case ESP_SLEEP_WAKEUP_TOUCHPAD :
            Serial.println("S'hà despertat per detecció a pins touchpad");
            break;
        case ESP_SLEEP_WAKEUP_ULP :
            Serial.println("S'hà despertat per el programa de l'ULP");
            break;
        default :
            Serial.printf("S'ha despertat per un altre motiu: %d\n",wakeup_reason);
            break;
    }
    delay(1000); // pot estar fent qualsevol altra cosa
}

```

E.6. Programa despertar deep sleep per timer

```

/* Programa per comprovar funcionament de DEEP SLEEP. Observar que el mètode per
 * Es mostren múltiples mètodes per despertar-lo per timer, entrada digital etc
 */

#include "esp_deep_sleep.h"
#define TIME_TO_SLEEP 30 //Temps sleep en segons
RTC_DATA_ATTR int bootCount = 0;
#define BUTTON_PIN_BITMASK 0x600000000 // 2^33 +2^34= 25.769.803.776 en HEX -->
600000000

void setup()
{
  //Primerament iniciarem el port sèrie
  Serial.begin(115200);
  delay(1000);

  //Comptador de vegades que es desperta de deep sleep
  ++bootCount;
  Serial.println("Vegades que he arrencat: " + String(bootCount));

  //Motiu per el qual s'ha despertat de deep sleep
  print_wakeup_reason();

  // Configuració de les diverses fonts per despertar-lo
  // per despertar el microcontrolador

  esp_sleep_enable_ext1_wakeup(BUTTON_PIN_BITMASK, ESP_EXT1_WAKEUP_ANY_HIGH);
  esp_sleep_enable_ext0_wakeup(GPIO_NUM_33, 1);
  esp_sleep_enable_timer_wakeup(TIME_TO_SLEEP * 1000000);
  Serial.println("ESP32 Configurats per dormir " + String(TIME_TO_SLEEP) +
  " s");

  // Decidim quins perifèrics aturem. Per defecte l'ESP32 atura tots els
  // perifèrics que no fan falta per la font que el despertarà.
  // La següent comanda, atura tots els perifèrics de l'RTC per reduir encara
  // més el consum en el mode deep sleep

  esp_deep_sleep_pd_config(ESP_PD_DOMAIN_RTC_PERIPH, ESP_PD_OPTION_OFF);
  Serial.println("Perifèrics RTC aturats");

  //Un cop tot configurat, entrem en mode deep sleep
  Serial.println("Anant a deep sleep");
  Serial.flush();
  esp_deep_sleep_start();
  Serial.println("Per aquí no hi passo perquè estic dormint");
}

//Funció per imprimir el motiu per despertar el micro
void print_wakeup_reason()
{
  esp_sleep_wakeup_cause_t wakeup_reason;
  wakeup_reason = esp_sleep_get_wakeup_cause();

  switch(wakeup_reason)
  {
    case ESP_SLEEP_WAKEUP_EXT0 :
      Serial.println("S'ha despertat per interrupció externa RTC_IO");
      break;
    case ESP_SLEEP_WAKEUP_EXT1 :
      Serial.println("S'ha despertat per interrupció externa RTC_CNTL");
      break;
    case ESP_SLEEP_WAKEUP_TIMER :
      Serial.println("S'ha despertat per timer");
  }
}

```

```

        break;
    case ESP_SLEEP_WAKEUP_TOUCHPAD :
        Serial.println("S'ha despertat per detecció a pins touchpad");
        break;
    case ESP_SLEEP_WAKEUP_ULP :
        Serial.println("S'ha despertat per el programa de l'ULP");
        break;
    default :
        Serial.printf("S'ha despertat per un altre motiu: %d\n",wakeup_reason);
        break;
}
}

void loop(){
    //No entrem aquí
}

```

E.7. Programa servidor Wi-Fi

```

/*
  Servidor Web per controlar el led built-in i fer una lectura analògica
*/

/*
  Un cop li hem facilitar les credencials d'un punt d'accés Wi-Fi
  l'ESP-32 s'hi connectarà, i enviarà per el port sèrie la direcció
  IP que el router li ha assignat.
  Utilitzan la direcció IP que ens dona, ens podem connectar mitjançant
  un navegador per controlar el led i visualitzar el valor analògic del pin 34
*/

#include <WiFi.h>

const char* ssid      = "introduir SSID";
const char* password = "introduir PASSWORD";
int Valor_pin_34;

WiFiServer server(80);

void setup()
{
    Serial.begin(115200);
    pinMode(2, OUTPUT);      // set the LED pin mode
    pinMode(34, INPUT);
    delay(10);

    // We start by connecting to a WiFi network

    Serial.println();
    Serial.println();
    Serial.print("Connecting to ");
    Serial.println(ssid);

    WiFi.begin(ssid, password);

    while(WiFi.status() != WL_CONNECTED)
    {
        delay(500);
        Serial.print(".");
    }

    Serial.println("");
    Serial.println("WiFi connected.");
    Serial.println("IP address: ");
    Serial.println(WiFi.localIP());
}

```



```

    server.begin();
}

int value = 0;

void loop()
{
    WiFiClient client = server.available(); // En espera d'una connexió per part d'un
client
    Valor_pin_34=analogRead(34);

    if (client) { // En cas de connectar-se un client ho
indiquem per port sèrie
        Serial.println("New Client.");
        String currentLine = ""; // String per emmagatzemar les dades que
ens demana el client
        while (client.connected()) { // loop while mentre un client estigui
connectat
            if (client.available()) { // Si el client ens ha enviat bytes els
llegim
                char c = client.read();
                Serial.write(c); // Els imprimim per el monitor serie
                if (c == '\n') { // Si un dels bytes es \n

                    //Si la línia actual esta en blanc, significa que ens han arribat 2 \n
seguits
                    //això significa que es el final de la petició HTTP per part del client
                    //i s'ha d'enviar una resposta
                    if (currentLine.length() == 0) {
                        // HTTP headers comencen per (e.g. HTTP/1.1 200 OK)
                        // seguit per un content-type d'aquesta manera el client sap que li vé,
finalment un espai
                        client.println("HTTP/1.1 200 OK");
                        client.println("Content-type:text/html");
                        client.println();

                        // Contingut de la resposta en HTTP
                        client.print("Click <a href=\"/H\">here</a> per encendre el led built-in
on.<br>");
                        client.print("Click <a href=\"/L\">here</a> per apagar el led built-
in.<br>");
                        client.print("Valor analogic pin 34: ");
                        client.print(String(Valor_pin_34) + "<br>");

                        // El contingut HTTP acaba amb un espai en blanc
                        client.println();
                        // final del while loop
                        break;
                    } else { //Si ens arriba una nova línia, netegem l'actual
                        currentLine = "";
                    }
                } else if (c != '\r') { // Anem afegint caràcters sempre que no sigui un
final de línia
                    currentLine += c;
                }
            }

            // Verifiquem la resposta del client per fer el toggle al LED
            if (currentLine.endsWith("GET /H")) {
                digitalWrite(2, HIGH); // GET /H ENCENEM
            }
            if (currentLine.endsWith("GET /L")) {
                digitalWrite(2, LOW); // GET /L ATUREM
            }
        }
    }
}
// Tanquem la connexió

```

```

    client.stop();
    Serial.println("Client Disconnected.");
  }
}

```

E.8. Programa servidor Bluetooth

```

/*
Exemple basat en e de Neil Kolban example for IDF:
https://github.com/nkolban/esp32-
snippets/blob/master/cpp_utils/tests/BLE%20Tests/SampleServer.cpp
*/
const int ledPin = 2;
#include <BLEDevice.h>
#include <BLEUtils.h>
#include <BLEServer.h>

// Generar UUIDs:
// https://www.uuidgenerator.net/

#define SERVICE_UUID          "4fafc201-1fb5-459e-8fcc-c5c9c331914b"
#define CHARACTERISTIC_UUID  "beb5483e-36e1-4688-b7f5-ea07361b26a8"
BLECharacteristic *pCharacteristic;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  Serial.println("Starting BLE work!");

  BLEDevice::init("Servei PROVA");
  BLEServer *pServer = BLEDevice::createServer();
  BLEService *pService = pServer->createService(SERVICE_UUID);
  // BLECharacteristic
  pCharacteristic = pService->createCharacteristic(
                                  CHARACTERISTIC_UUID,
                                  BLECharacteristic::PROPERTY_READ |
                                  BLECharacteristic::PROPERTY_WRITE
                                  );

  pCharacteristic->setValue("Hello World");
  pService->start();
  // BLEAdvertising *pAdvertising = pServer->getAdvertising();
  BLEAdvertising *pAdvertising = BLEDevice::getAdvertising();
  pAdvertising->addServiceUUID(SERVICE_UUID);
  pAdvertising->setScanResponse(true);
  pAdvertising->setMinPreferred(0x06);
  pAdvertising->setMinPreferred(0x12);
  BLEDevice::startAdvertising();
  Serial.println("Característica definida, connectar telefon!");
}

void loop() {
  int valor= analogRead(34);
  pCharacteristic->setValue(valor);
  delay(2000);
}

```

E.9. Programa comunicacions XBee

Programa XBee1.

```

#include <HardwareSerial.h>
#define RXD2 16 //RXX2 pin
#define TXD2 17 //TX2 pin

void setup() {

```

```

Serial.begin(115200);
Serial2.begin(115200, SERIAL_8N1, RXD2, TXD2);
delay(500);
Serial.println("Esperant text per enviar!");
}

void loop() {
  //delay(1000);
  if (Serial2.available()) {
    Serial.write(Serial2.read());
  }
  //Entrada mitjançant port sèrie amb PC
  if (Serial.available())
  {
    String Input=Serial.readString();
    Serial.println("Xbee_1 enviat: "+Input);
    delay(10);
    writeString(Input);
    delay(10);

    //delay(500);
  }

}

void writeString(String stringData) { // Used to serially push out a String with
Serial.write()

  for (int i = 0; i < stringData.length(); i++)
  {
    Serial2.write(stringData[i]); // Push each char 1 by 1 on each loop pass
  }

}

```

Programa XBee2.

```

#include <HardwareSerial.h>
#define RXD2 16 //RXX2 pin
#define TXD2 17 //TX2 pin

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  Serial2.begin(115200, SERIAL_8N1, RXD2, TXD2);
  delay(500);
  Serial.println("Llestos per rebre i retornar!");
}

void loop() {
  //delay(1000);
  if (Serial2.available())
  {
    String Input= Serial2.readString();
    Serial.println(Input);
    String Resposta= "Xbee_2 resposta: " + Input;
    writeString(Resposta);

  }

}

```

```

void writeString(String stringData) { // Used to serially push out a String with
Serial.write()

  for (int i = 0; i < stringData.length(); i++)
  {
    Serial2.write(stringData[i]); // Push each char 1 by 1 on each loop pass
  }

}

```

E.10. Programa comunicació Google Cloud MQTT

```

/*****
 * Copyright 2018 Google
 * Licensed under the Apache License, Version 2.0 (the "License");
 * you may not use this file except in compliance with the License.
 * You may obtain a copy of the License at
 *
 * http://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0
 *
 * Unless required by applicable law or agreed to in writing, software
 * distributed under the License is distributed on an "AS IS" BASIS,
 * WITHOUT WARRANTIES OR CONDITIONS OF ANY KIND, either express or implied.
 * See the License for the specific language governing permissions and
 * limitations under the License.
 *****/
// This file contains your configuration used to connect to Cloud IoT Core

// Wifi network details.
const char *ssid = "vodafoneBA1416";
const char *password = "XQPGYPAU3SPYGAA7";

// Cloud iot details.
const char *project_id = "stone-poetry-300720";
const char *location = "europe-west1";
const char *registry_id = "iotcore-registry";
const char *device_id = "esp32";

#ifdef LED_BUILTIN
#define LED_BUILTIN 2
#endif

// To get the private key run (where private-key.pem is the ec private key
// used to create the certificate uploaded to google cloud iot):
// openssl ec -in <private-key.pem> -noout -text
// and copy priv: part.
// The key length should be exactly the same as the key length bellow (32 pairs
// of hex digits). If it's bigger and it starts with "00:" delete the "00:". If
// it's smaller add "00:" to the start. If it's too big or too small something
// is probably wrong with your key.
const char *private_key_str =
  "9f:ee:f0:fc:26:f1:6e:e4:60:f4:fa:81:60:28:d0:"
  "c2:d6:30:b5:94:8d:c1:f9:cc:ca:cc:5a:f5:cd:c3:"
  "2c:b9";

// Time (seconds) to expire token += 20 minutes for drift
const int jwt_exp_secs = 60*20; // Maximum 24H (3600*24)

// To get the certificate for your region run:
// openssl s_client -showcerts -connect mqtt.googleapis.com:8883
// for standard mqtt or for LTS:
// openssl s_client -showcerts -connect mqtt.2030.ltsapis.goog:8883
// Copy the certificate (all lines between and including ---BEGIN CERTIFICATE---
// and --END CERTIFICATE--) to root.cert and put here on the root_cert variable.

```

```

const char *root_cert =

"-----BEGIN CERTIFICATE-----\n"
"MIIFtzCCBJ+gAwIBAgIQOYkf7+1zRrsFAAAAAH6LrzANBgkqhkiG9w0BAQsFADBC\n"
"MQswCQYDVQQGEwJVUzEeMBwGA1UEChMVR29vZ2x1IFRydXN0IFN1cnZpY2VzMjEw\n"
"EQYDVQQDEwPHVFMgQ0EgMU8xMB4XDTEwMTEwMDEOMjgyN1oXDTEwMDEwMDEOMjgy\n"
"Nl0wTELMAkGA1UEBhMCVVMxEzARBgNVBAGTCkNhbgGlm3JuaWEwFjAUBGNVBAcT\n"
"DU1vdW50YWluIFZpZXcxZzARBGNVBAOTCkdvb2dsZSBMTEMxHDAaBgNVBAMTE21x\n"
"dHQuZ29vZ2x1YXBpcy5jb20wggEiMA0GCSqGSIb3DQEBAQUAA4IBDwAwggEKAoIB\n"
"AQCgFkWOph1DER7ZfmAfgtw7FH7amD9+Z9Fn5MXiIY1XgillSaTkavunTu7w404v\n"
"dogl05Cmd71P3uL6gvNZ+ZRp40TcB2gyuwj8z8z51VMv6Lk+uoscI2rMHuisecl\n"
"feHQ5vvGzVDBNwYWPvjkr11KJFKU8KULsgDUWOEuk5DglflhkYsA4TeHe3mBqNhB\n"
"jPEb8tAn06VD76WTtjkyENyjEwVerliAQ4/piPjxKSIBHkvtyebAVIozViU5Rx6q\n"
"3u2kxUztWAj81HfZgWwqEdOz97aPwHKI3nYXFoTwt7mb7KCjzwKwK7GII2CeQIsi\n"
"k3GaSSLUw8mFfuqOj399bpULAgMBAAGjggJ8MIIICeDAOBgNVHQ8BAf8EBAMCBAw\n"
"EwYDVR01BAAwCgYIKwYBBQUHAWewDAYDVR0TAQH/BAIwADAdBgNVHQ4EFggQUVVt+\n"
"NNhYTo4guoi+RESw0iccOZUwHwYDVR0jBBgwFoAUmNH4bhDrz5vsYJ8YkBug630J\n"
"/SswaYIKwYBBQUHAQEEXDBaMCsGCCsGAQUFBzABhh9odHRwOi8vb2NzcC5wa2ku\n"
"Z29vZy9ndHMxbzFjb3JlMCsGCCsGAQUFBzACHh9odHRwOi8vcGtpLmdvb2cvZ3Ny\n"
"Mi9HVFMxTzEuY3J0MDgGA1UdEQQxMC+CE21xdHQuZ29vZ2x1YXBpcy5jb22CGG1x\n"
"dHQtbXRscy5nb29nbGVhcGlzLmNvbTAhBgNVHSAEGjAYMAgGBmeBDAECAjAMBgor\n"
"BgEEAdZ5AgUDMDMGAlUdHwQsMCowKKAmoCSGImh0dHA6Ly9jcmwucGtpLmdvb2cv\n"
"R1RTMU8xY29yZS5jcmwggEFBgorBgEEAdZ5AgQCBIH2BIHzAPEAdwB9PvL4j/+I\n"
"VWgkwsDKnlKJesVFDngJfy5ql2iZfiLw1wAAAXWyxct7AAAEAwBIMEYCIQCicQu0\n"
"1kDLB6DtKZR9kj9Vu7IGDATmbzEtQYdeDomzgwIhAJR1qybDRkkLu/j2n8P2iGcW\n"
"/l+bG9I/mXvHNQ+/3mgrAHYA1CC8Ho7VjWyIcx+CiyIsDdHaTV5sT5Q9YdtOLlhN\n"
"osIAAAF1ssXLFgAABAMARzBFAiAT3w090qmLaEAEFmcO/fl2X9zsmwmULQ50isQ3\n"
"jLfyEgIhAIr6khGAV+iGnzH9zZPI0/6dsK44NbvpcrVODq0vDM29MA0GCSqGSIb3\n"
"DQEBcwAA4IBAQAwwR4xAVfFZv6vQIFdJig/MkY7n4o8I1+k3JgRX40xR6WMY2\n"
"6N0ja8/dTRDRurbli14/xOY9Zr+ttkUbHKb+uzdxRsC08YhKKZfoQyYCwc4fxW+a\n"
"0WJ+VvZ2ulAfw0SFR0C//EiA+SCCKNwVXMBYwC28wYoQ8U5rN4V/N3EYrkr6Zixh\n"
"005EsL5PUVmd5t10yKAN2+ttq0Y55rOW1wh8++AXT7Y+Wa50ZZUH5rSepEwSGF1gE\n"
"ebefcKJRfeYgGGANem2MBVfiQRP6NtbX5xjsATg/XgS4/70XzIL5zFI3jYZxAU6A\n"
"uhMY4b6mixi8q/dh2f/wEsRt5hrT8iHEhkM\n"
"-----END CERTIFICATE-----\n";

// In case we ever need extra topics
const int ex_num_topics = 1;
const char* ex_topics[ex_num_topics]={"projects/stone-poetry-300720/topics/iotcore-
topic/#"};

//const int ex_num_topics = 1;
//const char* ex_topics[ex_num_topics] = {
//  "/devices/my-device/tbd/#"
//};

```

Un cop configurat l'arxiu ciotc_config.h, s'ha de preparar el format de les dades que enviarà l'ESP-32 en format .JSON per a que l'API BigQuery separi els diferents camps de dades.

```

/* FORMAT JSON que accepta Gcloud iot;

return "{\r\n" + String('') + "WiFi_db"+ String('') + ":" + String('') +
String(WiFi.RSSI())+ String('') + ",\r\n" + String('') + "TimeStamp"+ String('')
+ ":" + String('') + data_actual+ String('') + ",\r\n" + String('') +
"Temperatura"+ String('') + ":" + String('') + String(Temperatura)+ String('') +
",\r\n" + String('') + "Ldr_Llum"+ String('') + ":" + String('') +
String(Ldr_Llum)+ String('') + ",\r\n" + String('') + "Humitat"+ String('') + ":"
+ String('') + String(Humitat)+ String('') + "\r\n}";

```

En format .JSON queda representat de la següet forma:

```
{  
  "TimeStamp": "2021-01-06 13:14:26",  
  "WiFi_db": "-62",  
  "Temperatura": "23.69",  
  "Ldr_Llum": "7.00",  
  "Humitat": "37.00"  
},
```