



ÍNDEX

1	RESUM.....	3
2	INTRODUCCIÓ.....	3
3	OBJECTIUS.....	3
4	DESCRIPCIÓ DEL PROBLEMA.....	3
5	ASSUMPCIONS/RESTRICCIONS EN EL DESENVOLUPAMENT.....	4
6	ESPECIFICACIONS DEL MODEL.....	4
6.1	DISSENY DE LA PCB:.....	4
6.1.1	Pinout de l'ESP32 i la seva Configuració:.....	5
6.1.2	Esquemes del circuit.....	6
6.1.2.1	Alimentació, Regulació de Voltatges i recarrega de bateria:.....	7
6.1.2.2	Microcontrolador ESP32 i Comunicació LoRaWAN:.....	11
6.1.2.3	Resets al ESP32:.....	11
6.1.2.4	Interfície amb Sensors i Altres Perifèrics:.....	13
6.1.2.5	Protecció del Circuit:.....	17
6.1.3	Dimensionament de bateria.....	17
6.1.4	Model 3d de la pcb.....	20
6.1.5	Fabricació i proves.....	21
6.1.6	Opcions de millora i futurs desenvolupaments.....	21
6.2	COMUNICACIÓ LORAWAN I ALTRES PROTOCOLS:.....	22
6.2.1	LoRaWAN:.....	22
6.3	RECEPCIÓ DE DADES AMB GATEWAY LORAWAN I NETWORK SERVER CHIRPSTACK.....	22
6.3.1	Introducció.....	22
6.3.2	Configuració del gateway.....	22
6.3.3	Processament de dades amb chirpstack.....	22
6.3.4	Analisi de les dades rebudes.....	22
6.3.5	SPI, I2C, i Modbus RTU:.....	23



6.3.5.1	SPI.....	23
6.3.5.2	I2C.....	23
6.3.5.3	Modbus RTU.....	23
6.4	PROGRAMACIÓ AMB MICROPYTHON:.....	23
6.4.1	Introducció.....	24
6.4.2	Estructura del codi.....	24
6.4.3	Funcionalitats implementades.....	24
6.4.4	Opcions de millora.....	25
6.5	DISSENY 3D DE LA CAIXA:.....	25
6.6	DISSENY I IMPLEMENTACIÓ 3D DE L'ENVOLVENT.....	25
6.6.1	Introducció.....	25
6.6.2	Disseny del model 3d.....	25
6.6.3	Procés d'impressió 3d.....	25
6.6.4	Proves de robustesa.....	25
7	MATERIAL I METODES UTILITZATS.....	26
8	DADES.....	26
9	VALIDACIÓ I VERIFICACIÓ.....	27
10	RESULTATS I CONCLUSIONS.....	27
11	ANNEXOS.....	27
11.1	ANNEX1. ESQUEMES ELECTRÒNICS DE LA PCB.....	27
11.2	ANNEX2. DATASHEETS COMPONENTS MÉS IMPORTANTS.....	27
11.3	ANNEX3. CODIS DE PROGRAMACIÓ.....	27
11.4	ANNEX4. PÀNOLS DE LA CAIXA.....	27

1 RESUM

Aquest treball presenta el disseny i la programació d'un datalogger basat en el microcontrolador ESP32, destinat a la monitoratge i gestió del cicle integral de l'aigua.

El sistema està dissenyat per recollir dades en temps real de diversos sensors i transmetre la informació mitjançant LoRaWAN, una tecnologia de comunicació de llarg abast i baix consum energètic. El disseny també inclou una caixa protectora impresa en 3D amb especificacions IP67 per garantir la seva durabilitat en condicions ambientals adverses.

Els resultats de les proves de camp demostren la robustesa i la fiabilitat del sistema, oferint una solució escalable per a la gestió sostenible de l'aigua.

2 INTRODUCCIÓ

La gestió eficient de l'aigua és un desafiament crucial en el context del canvi climàtic i la creixent demanda de recursos hídrics. Els sistemes de monitoratge basats en l'Internet de les Coses (IoT) ofereixen noves oportunitats per optimitzar l'ús de l'aigua mitjançant la recollida de dades en temps real.

Aquest treball se centra en el desenvolupament d'un datalogger basat en l'ESP32, un microcontrolador popular per la seva versatilitat i baix consum, capaç de recollir dades de sensors diversos i transmetre-les a través de LoRaWAN. A més, el disseny del datalogger està optimitzat per funcionar en entorns remots, amb un enfocament especial en l'eficiència energètica i la resistència a condicions ambientals adverses.

3 OBJECTIUS

Els objectius principals d'aquest treball són:

- Desenvolupar un datalogger basat en l'ESP32 capaç de recollir dades en temps real de diversos tipus de sensors.
- Implementar un sistema de transmissió de dades fiable i eficient mitjançant la tecnologia LoRaWAN.
- Optimitzar el consum energètic del sistema per garantir un funcionament prolongat en entorns amb subministrament energètic limitat.
- Dissenyar una caixa protectora impresa en 3D amb especificacions IP67 per protegir el datalogger en entorns adversos.
- Validar el sistema mitjançant proves de camp en condicions reals, assegurant la seva robustesa i fiabilitat.

4 DESCRIPCIÓ DEL PROBLEMA

El cicle integral de l'aigua inclou processos control de fuites, qualitat i quantitat d'aigua que se subministra, així com controls d'abocament d'aigua residual a medi i qualitat d'aquesta aigua residual abocada, per això es requereix una monitoratge constant, per garantir la sostenibilitat del medi, la qualitat d'aigua que se subministra i l'eficiència del sistema.

Els mètodes tradicionals de monitoratge sovint són costosos, consumeixen molta energia, i no s'adapten fàcilment als entorns remots. A més, la necessitat de



sistemes capaços de funcionar de manera autònoma i transmetre dades en temps real s'ha fet cada vegada més evident amb l'augment dels episodis climàtics extrems.

Aquest projecte aborda la necessitat d'un sistema de monitoratge que sigui econòmic, de baix consum energètic i adaptable a diferents entorns, amb especial atenció a zones sense accés a la xarxa elèctrica.

El datalogger desenvolupat està dissenyat per ser una solució robusta, capaç de recollir dades precises i transmetre-les utilitzant tecnologies IoT, oferint així una resposta efectiva als reptes actuals en la gestió de l'aigua.

5 ASSUMPCIONS/RESTRICCIONS EN EL DESENVOLUPAMENT

- Assumpcions:
 - El sistema ha de funcionar en entorns remots amb subministrament energètic limitat o nul.
 - El datalogger ha de ser capaç de recollir i transmetre dades en temps real utilitzant LoRaWAN com a tecnologia de comunicació principal.
 - La caixa protectora ha de complir amb les especificacions IP67 per garantir la seva resistència en condicions ambientals adverses.
- Restriccions:
 - Disponibilitat i cost dels components:
Cal tenir en compte la disponibilitat i el cost dels components utilitzats, assegurant que el sistema sigui econòmicament viable per a la seva replicació.
 - Limitacions de l'ESP32:
L'ESP32 té limitacions en termes de capacitat de processament, memòria i nombre de pins GPIO disponibles. Això implica una planificació acurada de la configuració dels pins i de la gestió de recursos.
 - Compatibilitat amb diferents sensors:
El sistema ha de ser compatible amb una varietat de sensors que utilitzen diferents protocols de comunicació (digitals, analògica 4-20mA, SPI, I2C, Modbus RTU). La integració d'aquests sensors ha de ser flexible per permetre l'escalabilitat del sistema.

6 ESPECIFICACIONS DEL MODEL

6.1 DISSENY DE LA PCB:

La PCB dissenyada per a aquest projecte integra el microcontrolador ESP32 amb un mòdul de comunicació LoRaWAN, reguladors de voltatge per a l'alimentació, i altres components crítics per a la funcionalitat del sistema.

El disseny inclou proteccions de sobrecàrrega, sobredescàrrega i curtcircuit per garantir la seguretat del sistema en entorns exigents. Els esquemes electrònics detallen la disposició dels components i les connexions amb els pins del microcontrolador, assegurant la seva correcta integració.

6.1.1 PINOUT DE L'ESP32 I LA SEVA CONFIGURACIÓ:

En la imatge següent es mostren els pins del ESP32

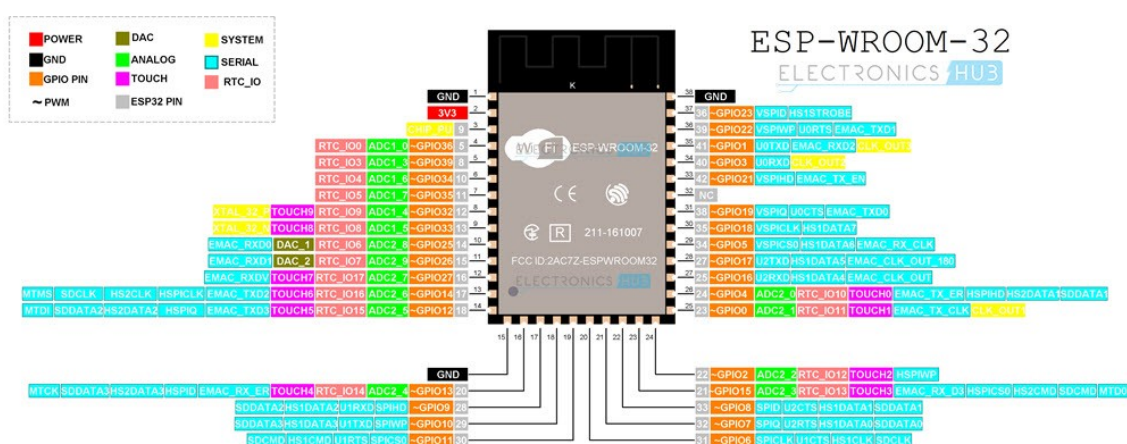


Figura 1. Pinout ES32

Tal com es pot veure no tots els pins són igual de segurs per utilitzar en el nostre projecte, ja que hi ha pins que desenvolupen rols específics o participen en l'arrancada del dispositiu. Utilitzar incorrectament aquests pins pot ocasionar conflictes que facin que el projecte no funcioni o arribar a malmetre el microcontrolador.

A continuació es mostra en format taula quins pins són segurs per utilitzar i quins tenen funcions específiques i els pins que utilitzem nosaltres en el projecte i per quina funció.

GPI O	NO M	FUNCIONS	POTS UTILITZAR-LO	EN EL PROJECTE L'UTILITZEM PER
0	IO0	GPIO0, ADC2_CH1, TOUCH_CH1, Boot	Pull-up. Ha de ser HIGH a l'arrencada. Ha de ser LOW per al flasheig. Genera PWM en arrencar.	Boot
1	TX	GPIO1, U0TXD	Pin TX. Sortida de depuració en arrencar.	TX
2	IO2	GPIO2, ADC2_CH2, TOUCH_CH2	Ha de ser flotant o LOW per al flasheig. Connectat al LED.	Reset ESP32 per software
3	RX	GPIO3, U0RXD	Pin RX. En HIGH en arrencar.	RX



4	IO4	GPIO4, ADC2_CH0, TOUCH_CH0		Sortida: Activar/desactivar d'alimentacions senyors I2C, Modbus, OLED, Lora i/o 12V
5	IO5	GPIO5	Ha de ser HIGH en arrencar. Genera senyal PWM en arrencar.	SCK (bus SPI)
12	IO12	GPIO12, ADC2_CH5, TOUCH_CH5, MTDI	Ha de ser LOW en arrencar. Debug JTAG.	DIO2 xip Lora
13	IO13	GPIO13, ADC2_CH4, TOUCH_CH4, MTCK	Debug JTAG.	DIO1 xip Lora
14	IO14	GPIO14, ADC2_CH6, TOUCH_CH6, MTMS	Genera senyal PWM en arrencar. Debug JTAG	Reset xip Lora
15	IO15	GPIO15, ADC2_CH3, TOUCH_CH3, MTDO	Ha de ser HIGH en arrencar. Debug JTAG.	MISO (bus SPI)
16	IO16	GPIO16		RX RS485 (Modbus RTU)
17	IO17	GPIO17		TX RS485 (Modbus RTU)
18	IO18	GPIO18		NSS (bus SPI)
19	IO19	GPIO19		SCL (Bus I2C 2 pantalla OLED)
22	IO22	GPIO22		SCL (Bus I2C 1)
23	IO23	GPIO23		SDA (Bus I2C 2 pantalla OLED)
25	IO25	GPIO25, ADC1_CH8, DAC_1		MOSI (bus SPI)
26	IO26	GPIO26, ADC2_CH9, DAC_2		DIO0 xip Lora
27	IO27	GPIO27, ADC2_CH7, TOUCH_CH7		Control de reset ESP32 per xip 4060
32	IO32	GPIO32, ADC1_CH4, TOUCH_CH9, XTAL_32K_P		Sortida: Activar/desactivar d'alimentacions senyors I2C, Modbus, OLED, Lora i/o 12V
33	IO33	GPIO33, ADC1_CH5, TOUCH_CH8, XTAL_32K_N		DIR RS485 (Modbu RTU)
34	IO34	GPIO34,	Només entrada	Entrada digital

		ADC1_CH6, VDET_1		
35	IO35	GPIO35, ADC1_CH7, VDET_2	Només entrada	Entrada digital
36	VP	GPIO36, ADC1_CH0, S_VP	Només entrada	No s'utilitza
39	VN	GPIO39, ADC1_CH3, S_VN	Només entrada	No s'utilitza
EN	EN	CHIP_PU, Reset		Reset

Taula 1. Distribució i format pins ESP32

6.1.2 ESQUEMES DEL CIRCUIT

El circuit electrònic dissenyat per a aquest projecte es presenta en diverses parts, cadascuna d'elles orientada a gestionar aspectes específics del sistema, com l'alimentació, la comunicació i la interfície amb sensors. A l'annex 1 del projecte es troben els esquemes electrònics de disseny i a continuació es descriuen les principals seccions del circuit:

6.1.2.1 ALIMENTACIÓ, REGULACIÓ DE VOLTATGES I RECÀRREGA DE BATERIA:

La PCB inclou múltiples reguladors de voltatge per convertir les entrades d'energia en les tensions necessàries per als diferents components.

- La tensió ens pot venir de la bateria a 3.7V.
- Exterior a 12V.
- Exterior a 5V a través del USB-C.
- Exterior de 3-6V d'un circuit MPPT amb placa solar.

Hem de saber que l'ESP32 s'alimenta a 3.3V, per tenir un circuit més eficient s'han utilitzat els circuits lògics alimentats a la mateixa tensió de 3.3V. Només hi ha una part de la PCB que s'alimenta a 12V i és perquè alguns sensors que s'utilitzen en el cicle integral de l'aigua s'han d'alimentar a 12V.

Per tal d'adaptar el datalogger a totes aquestes entrades de tensió es realitzen els següents circuits.

RECHARGE CIRCUIT

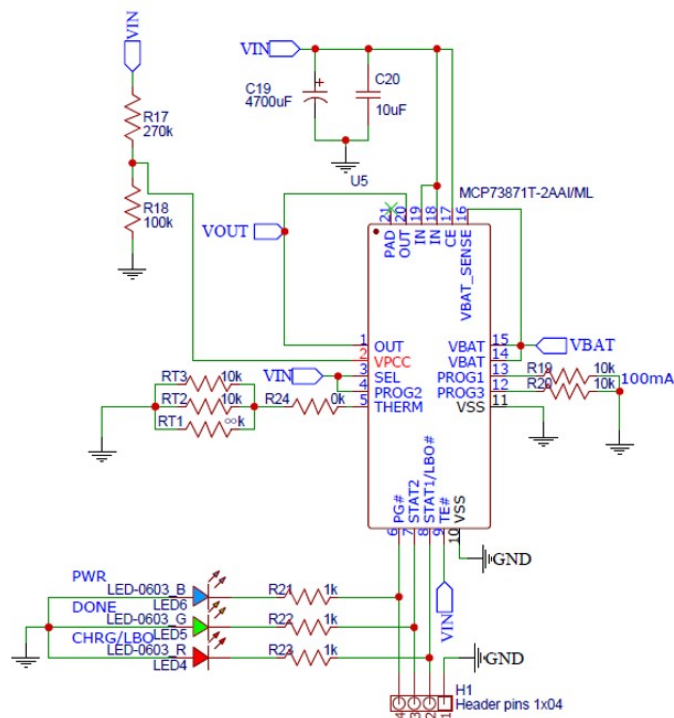


Figura 2. Circuit de recàrrega

Aquí tenim un VIN que pot anar de 3 a 6V, el VIN ve del USB-C o d'una alimentació externa (com per exemple, un circuit MPPT), però que ha de ser de 3 a 6V.

Tenim un VOUT que anirà de 3 a 6V.

Tenim un VBAT on es connectaran les 5 bateries en paral·lel, que donaran 3.7 V quan estiguin carregades.

Aquest circuit també fa la gestió de càrrega de bateria:

- Quan s'aplica una tensió d'entrada (VIN) al circuit, el controlador MCP73871 inicia la càrrega de les bateries connectades al pin VBAT-SENSE. El controlador gestiona la càrrega de manera segura, ajustant el corrent de càrrega segons les resistències R19 i R20 (en el nostre cas programades per proporcionar un corrent de càrrega de 100 mA).

Configuració de Corrent de Càrrega (PROG1 i PROG3)

1. Resistències R19 i R20:

- R19 (10 kΩ) i R20 (10 kΩ) estan connectades als pins PROG3 (pin 12) i PROG1 (pin 13) del MCP73871T-2AAI/ML.

- Aquests pins es fan servir per configurar el corrent de càrrega del controlador. Cada resistència de 10 kΩ limita el corrent de càrrega a 100 mA.

2. Càlcul del Corrent de Càrrega Actual:

- Utilitzant la fórmula proporcionada per al MCP73871:

$$I_{CHARGE} = \frac{1.000}{R_{PROG}}$$

$$On R_{PROG} = R_{19} = R_{20} = 10 k\Omega$$

$$I_{CHARGE} = \frac{1.000}{10.000} = 100 mA$$

Aquestes resistències configuren el controlador per carregar a un corrent màxim de 100 mA.

Configuració Recomanada per Augmentar el Corrent de Càrrega en el cas de 5 bateries de Li-ion de 3,7 V i 3400 mAh connectades en paral·lel, la capacitat total és de 17000 mAh (17 Ah). Per carregar aquestes bateries de manera eficient, es recomana un corrent de càrrega d'entre 0,2C a 0,5C:

- 0,2C:

$$17.000 \times 0,2 = 3.400 mA = 3,4 A$$

- 0,5C:

$$17.000 \times 0,5 = 8.500 mA = 8,5 A$$

Per aconseguir aquests corrents de càrrega, cal ajustar les resistències R19 i R20 com segueix:

- Per a un corrent de càrrega de 3,4 A, R19 i R20 han de ser al voltant de 294 Ω cadascuna.
- Per a un corrent de càrrega de 8,5 A, R19 i R20 han de ser al voltant de 118 Ω cadascuna.

Per tant, per poder carregar les bateries d'una manera més eficient i ràpida, la intensitat de càrrega adequada seria:

$$8,5 A > I_{CHARGE} > 3,4$$

I les resistències R19 i R20 haurien d'estar entre aquests valors:

$$118 \Omega < R_{19} i R_{20} < 294 \Omega$$

Però per exemple, un USB-C de màxim dona 3A, per tant, tampoc arribem a aquesta intensitat de càrrega.

Aquestes resistències R19 i R20 s'hauran de canviar en funció del circuit i del nombre de bateries, en el nostre cas ho deixem a 100 mA i $R19 = 10k\Omega$ i $R20 = 10k\Omega$, i realitzarem proves modificant resistències i comprovant l'augment d'intensitat de càrrega.

- Durant la càrrega, el LED CHRG (LED4) estarà encès, indicant que les bateries s'estan carregant. Quan la càrrega es completa, el LED DONE (LED6) s'encén, indicant que les bateries han arribat a la seva capacitat màxima.
- El MCP73871 proporciona diverses proteccions integrades, com la protecció contra sobrecàrrega, sobre descàrrega, i control de temperatura (a través del pin THERM), garantint que les bateries es carreguin de manera segura i eficient.

Aquest circuit és crucial per garantir que les bateries Li-ion NCR18650B es carreguin correctament i que el datalogger tingui una font d'energia fiable durant el seu funcionament, especialment en aplicacions remotes on l'accés a l'alimentació externa pot ser limitat.

A la sortida del circuit de recàrrega entrem en un circuit boost o Step Up

BOOST (3-6V) TO 12V

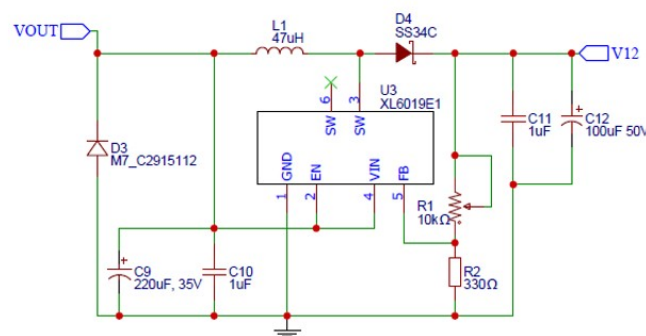


Figura 3. Circuit Boost o Step Up

El que fa aquest circuit és que amb una entrada de 3V-35V és capaç de donar una sortida de 5V a 40V amb una eficiència del 94%. A nosaltres ens interessa que en aquest VOUT li pugui venir una tensió variant d'entre 3 a 12V i que a la sortida sempre hi hagi 12V. Per això s'ha de regular el potenciòmetre R1 per tal que doni 12V a la sortida.

En algun cas que interressi es podria arribar a regular a 24V, ja que podria donar-se el cas de tenir un sensor que s'hagi d'alimentar a 24V, però no és l'habitual.

Finalment, amb aquesta sortida V12 anem al circuit step-down on baixem la tensió de 12V a 3.3V.

Es plateja pujar a 12 i després baixar a 3.3V per què no existeix un circuit step-down que sigui capaç de regular de 3.7V (tensió bateria) a 3.3V, la mínima tensió d'entrada per sortir a 3.3V és de 4V. Com que no disposàvem d'aquesta tensió mínima s'ha optat per aprofitar el step-up per igualar totes les tensions que podem arribar a tenir a l'entrada sortint a 12V i després baixem a 3.3V, però una part del circuit ja l'alimentem a aquests 12V.

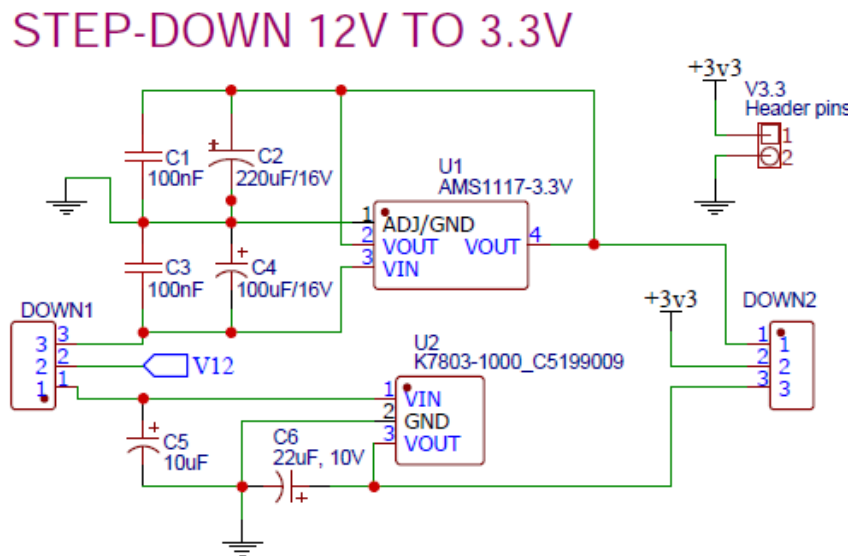


Figura 4. Circuit Step Down

Aquí tenim dos convertidors DC-DC que fan la conversió de 12V a 3.3V. En tenim dos per què el K7803-1000_C5199009 té una eficiència del 92% al 96% amb una sortida de corrent d'1A de màxim i l'altre regulador AMS1117-3.3V en el nostre circuit té una eficiència de:

$$Eficiència = \frac{3,3V}{12V} \times 100 = 27,5\%$$

El connector DOWN1 i DOWN2 el que ens permet és que a través de jumpers puguem seleccionar amb quin circuit treballar.

Posem els dos tipus per:

- De manera experimental poder comprovar aquesta eficiència i posar en consciència la importància de seleccionar els components adequats per obtenir el millor rendiment del circuit.
- En el moment del disseny de la PCB el convertidor DC-DC que porten els kits d'ESP32, els dissenys de les PCB's previs que havia realitzat i els circuits que havia pogut testear el seu funcionament era amb el regulador AMS1117-3.3V. Per tant, en cas que el funcionament del circuit dissenyat amb el xip K7803-1000_C5199009 no sigui l'esperat, tenim un segon circuit que no ens privarà de realitzar amb èxit aquest projecte.

6.1.2.2 MICROCONTROLADOR ESP32 I COMUNICACIÓ LORAWAN:

L'ESP32-WROOM-32E és el cor del sistema, gestionant tant la recollida de dades com la seva transmissió. El microcontrolador està connectat directament al mòdul LoRaWAN (DL-RFM95-868M), el qual permet la transmissió de dades a llargues distàncies, ideal per a entorns on la cobertura de xarxes convencionals és limitada el mòdul LoRaWAN utilitza la comunicació SPI del ESP32.

LORA

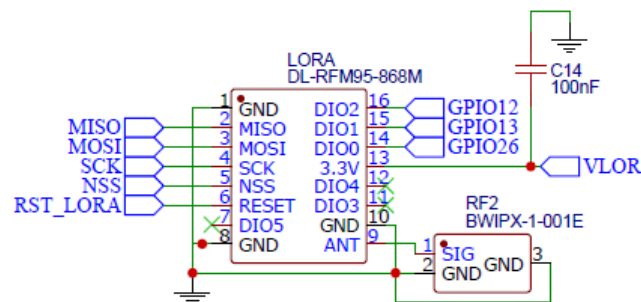


Figura 5. Circuit xip LoraWan

6.1.2.3 RESETS AL ESP32:

La PCB integra un sistema de gestió d'energia que inclou el circuit de supervisió basat en el component TPS3839G18DBZR (U4), el qual assegura que el sistema es mantingui operatiu en cas de fluctuacions de voltatge o interrupcions temporals de l'alimentació. El TPS3839G18DBZR reinicia el ESP32 en cas de tenir una tensió inferior a 3.3V.

També es pot fer un reset utilitzant:

- El pulsador reset de la PCB.
- Posant a 1 al GPIO2 del ESP32.

ESP32-WROOM-32

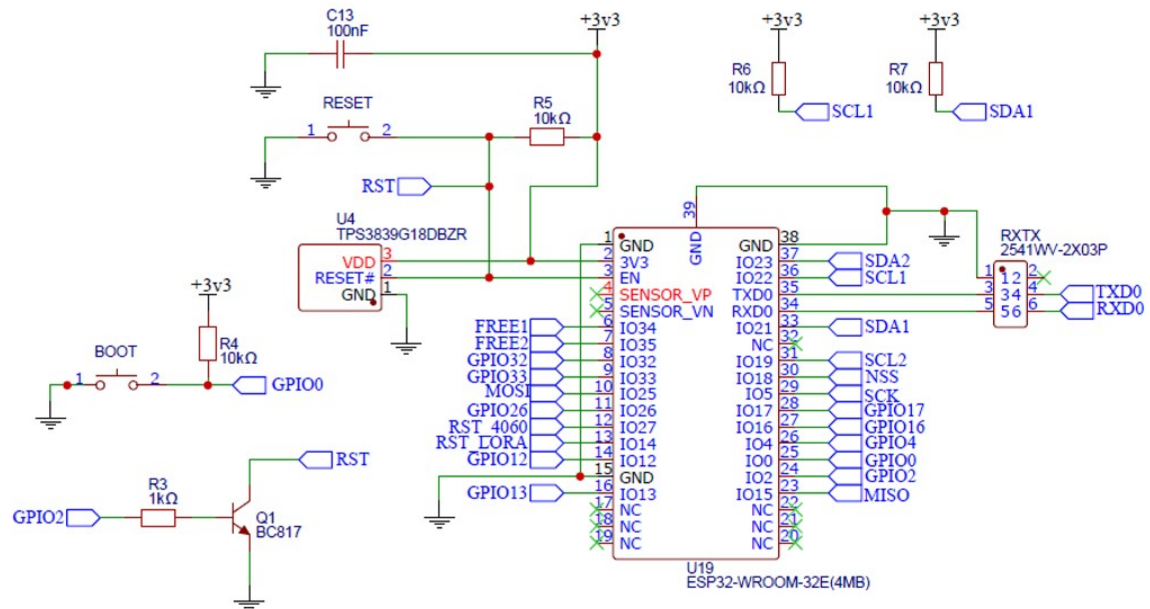


Figura 6. Circuit ESP32

En aquest circuit s'incorpora un sistema de reset automàtic extern a la programació que el que fa és que cada 32 minuts espera un 1 a l'entrada RESET i perquè això passi, s'ha d'enviar un 0 al GPIO27 de l'ESP32 que és l'etiqueta RST_4060. Si no passa en menys de 32 minuts fa un reset de 4 segons al ESP32.

RESET MANAGER

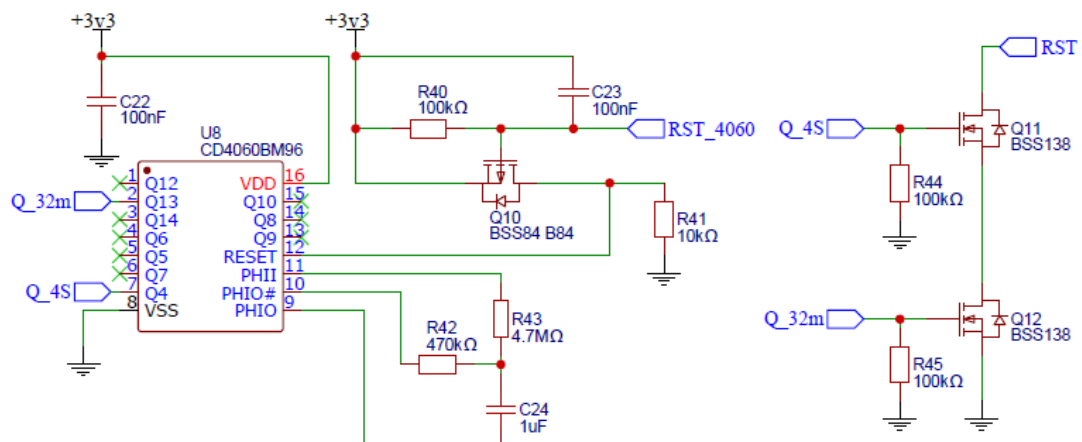


Figura 7. Circuit reset CD4060

6.1.2.4 INTERFÍCIE AMB SENSORS I ALTRES PERIFÈRICS:

La PCB inclou múltiples connectors per a la interfície amb sensors externs. Aquests connectors estan distribuïts per la placa per facilitar la connexió directa de sensors I2C, Modbus RTU i altres perifèrics.

Amb la comunicació I2C de l'ESP32 ens comunicarem amb:

- RTC.
- Sensor ambient.
- Pantalla OLED.
- Xip 4 entrades analògiques de 16 bits.
- Sensor/xip I2C extra opcional, està preparat per afegir un altre sensor o xip I2C.

La comunicació I2C es realitza a través de l'ESP32, que actua com a controlador mestre i es comunica amb diversos sensors i perifèrics. Els següents components estan connectats al bus I2C:

- RTC (Real-Time Clock) i Sensor I2C:
 - o Aquesta secció conté un RTC (RTC2) i un sensor I2C (SENSOR2) connectats al bus I2C amb línies de dades (SDA1) i de rellotge (SCL1).

RTC AND SENSOR I2C

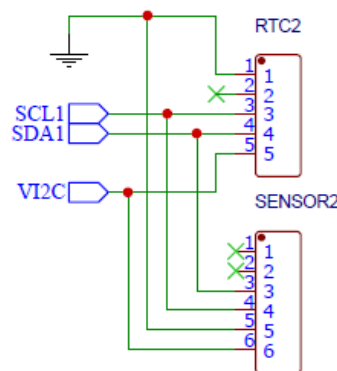


Figura 8. Circuit RTC i sensor o xip opcional I2C

- o El RTC al qual s'ha adaptat aquesta sortida és el DS3231 i serveix perquè tot i que l'ESP32 és capaç de mantenir el temps internament, l'ús del DS3231 com a RTC dedicat, proporciona una major precisió, fiabilitat, i persistència de temps en un entorn on l'energia pot ser intermitent o el consum ha de ser mínim. Això assegura que el datalogger pugui capturar dades amb marques de temps exactes i coherents, fins i tot en condicions desfavorables, oferint una solució

robusta per a aplicacions de monitoratge a llarg termini. El consum d'aquest model de RTC és molt baix de 3,5 μ A quan està alimentat.

- Sensor Ambiental I2C:
 - El component U9 (AHT20-F) és un sensor ambiental connectat al bus I2C (línies SDA1 i SCL1), que mesura paràmetres com la temperatura, humitat, i pressió.

ENVIRONMENT SENSOR I2C

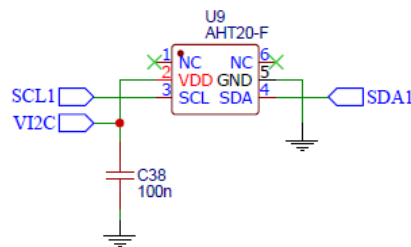


Figura 9. Circuit sensor ambient I2C

- Aquest sensor s'utilitza per monitorar les condicions ambientals a l'entorn del datalogger.
- Pantalla OLED I2C:
 - La pantalla OLED està connectada a l'ESP32 a través del bus I2C (SDA2 i SCL2). Aquesta pantalla pot mostrar dades en temps real, com per exemple, el nivell de bateria, l'estat de connexió, o les lectures de sensors.

OLED I2C

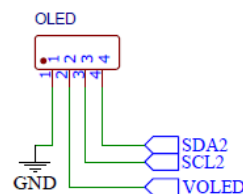


Figura 10. Circuit connector pantalla OLED I2C

- La pantalla OLED permet una interfície d'usuari visual directa amb el datalogger, però per tal d'optimitzar el consum d'energia és preferible no utilitzar-ho.

- Xip ADC de 4 Entrades Analògiques (ADS1115IDGSR):
 - El component U10 (ADS1115IDGSR) és un convertidor analògic-digital de 16 bits que proporciona 4 entrades analògiques (A0, A1, A2, A3) per llegir senyals de sensors 4-20 mA.

READ 4x 4-20 mA I2C

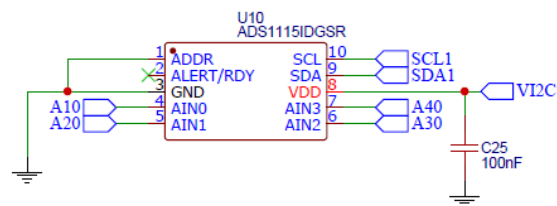


Figura 11. Circuit xip 4 entrades analògiques 4-20 mA de 16 bits per I2C

- Aquesta part del circuit està dissenyada per llegir fins a 4 sensors que transmeten dades en el rang de 4-20 mA. Aquest tipus de senyal és molt comú en aplicacions industrials per la seva robustesa contra interferències.
- Els senyals dels sensors de 4-20 mA passen a través d'un circuit condicionador que converteix els senyals de corrent a tensió, els quals després es llegeixen mitjançant l'ADC ADS1115IDGSR.

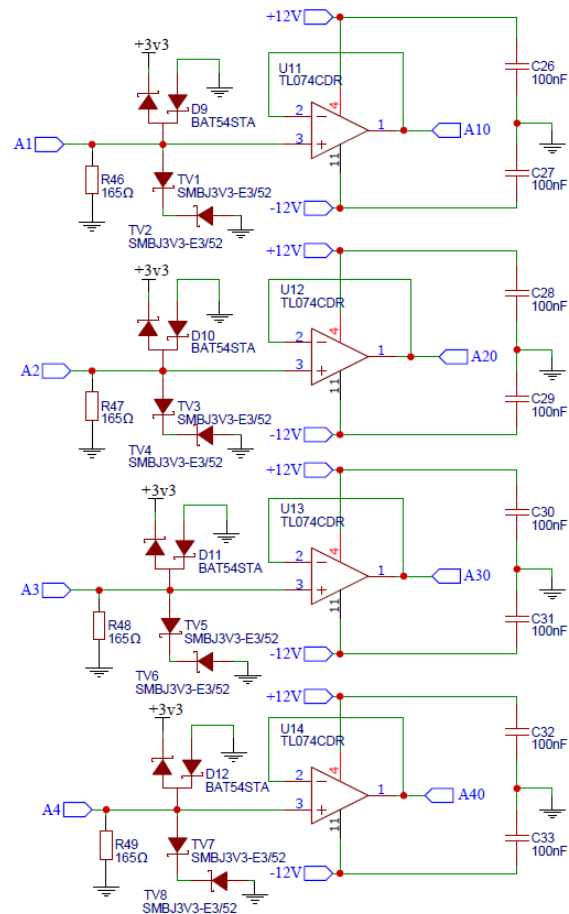


Figura 12. Circuit de conversió de cada entrada 4-20mA a 0-3.3 V

- Disposa de diversos díodes de protecció (com BAT54STA i SMBJ3V3-E3/52) estan presents per protegir el circuit contra sobretensions i altres condicions elèctriques adverses.
- Disposa d'amplificadors operacionals TL074CDR (U11, U12, U13, U14) utilitzats per condicionar els senyals dels sensors abans que aquests es processin per l'ADC o altres circuits.
- Es disposa d'un circuit d'alimentació de $\pm 12V$ necessari per alimentar els components que requereixen una font d'alimentació dual, que són els operacionals TL074CDR. Aquest circuit d'alimentació està format per components com PS1 (PDSE1-S3-D12M) i diversos condensadors per estabilitzar la tensió de sortida.

3.3 to +/-12v

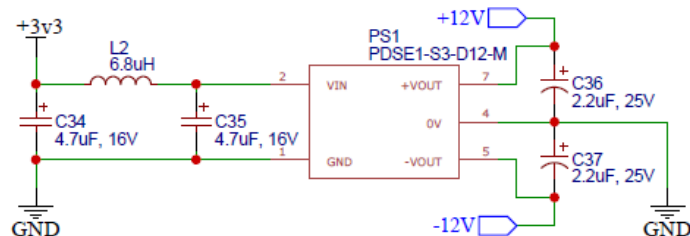


Figura 13. Circuit de conversió d'alimentació 3,3v a +/- 12V

- Alimentació de Sensors I2C:
 - o Els sensors connectats al bus I2C (RTC, sensors ambientals, OLED i xip 4 entrades 4-20) reben la seva alimentació a través de les línies de tensió designades (VI2C i VOLED) controlades per l'ESP32. Això permet activar o desactivar aquests components segons sigui necessari per estalviar energia.

Es disposa també d'un mòdul per a la comunicació RS485, basada en el MAX3485ESA+T, que permet la integració amb sistemes industrials i altres dispositius que utilitzen aquest el protocol de comunicació Modbus RTU.

MODBUS RTU RS485

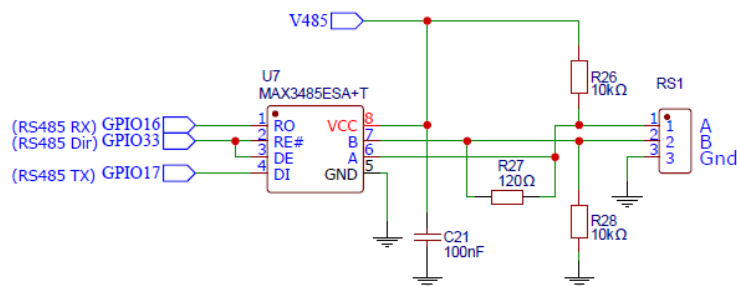


Figura 14. Circuit de connexió de la comunicació Modbus RTU amb ESP32

6.1.2.5 PROTECCIÓ DEL CIRCUIT:

S'han inclòs components de protecció, com díodes de Schottky i condensadors, per assegurar la robustesa del circuit davant de possibles pics de voltatge i interferències electromagnètiques. Això garanteix la longevitat del dispositiu, fins i tot en condicions ambientals adverses.

6.1.3 DIMENSIONAMENT DE BATERIA

L'autonomia del datalogger és un factor clau en aquest projecte, especialment perquè el dispositiu està dissenyat per operar en entorns remots amb accés limitat a subministrament elèctric. Per maximitzar l'eficiència energètica, el datalogger treballarà en mode de baix consum la major part del temps i es despertarà en intervals específics per realitzar tasques de lectura i transmissió de dades.

- Configuració i Funcionament:
El datalogger està configurat per seguir un cicle de funcionament específic que minimitza el consum d'energia.
 - Mode adormit:
El datalogger romandrà en mode de baix consum la major part del temps. En aquest mode, la majoria dels components es desactiven per conservar energia, i només es mantenen actius els circuits necessaris per despertar el sistema.
 - Despertar i Transmissió de Dades:
 - Freqüència de Despertar per a Transmissió: El datalogger es despertarà 4 cops al dia per realitzar la transmissió de dades via LoRaWAN. Aquesta transmissió inclourà les lectures dels sensors que s'han registrat durant el període anterior.
 - Consum Energètic durant la Transmissió: La transmissió de dades mitjançant LoRaWAN és un dels processos que més energia consumeix. Per tant, la freqüència de transmissió està optimitzada per minimitzar aquest consum, mentre es garanteix que les dades importants es transmetin regularment.
 - Despertar per a Lectures sensors:
 - Freqüència de Despertar per a Lectures: Cada 15 minuts, el datalogger es despertarà per registrar un valor Modbus. Aquest procés inclou l'alimentació del dispositiu Modbus, la lectura del valor, i l'emmagatzematge temporal de la dada.
 - Lectures de Sensors 4-20mA: En el cas que hi hagi un sensor de 4-20mA connectat, el datalogger també alimentarà, si cal, i registrarà els valors d'aquest sensor cada 15 minuts.
- Càlcul de l'Autonomia:
L'autonomia del sistema depèn del consum energètic durant els períodes d'activitat i els períodes de baix consum.
 - Consum Energètic en Mode adormit:
El consum energètic en mode dormició és molt baix, aproximadament 10 μ A. Aquest és el consum predominant, ja que el datalogger passa la major part del temps en aquest mode.
 - Consum Energètic durant les Transmissions LoRaWAN:
Cada transmissió via LoRaWAN pot consumir uns 150 mA durant uns 2 segons. Amb 4 transmissions al dia, el consum energètic per a les transmissions serà.



$$E_{LoraWan} = 150 \text{ mA} \times 2 \text{ s} \times 4 \frac{\text{transmissions}}{\text{dia}} = 1,2 \text{ mAh/dia}$$

- Consum Energètic durant les Lectures sensors:
Les lectures Modbus, incloent-hi l'alimentació del sensor i la lectura, poden consumir uns 50 mA durant uns 5 segons cada vegada. Amb lectures cada 15 minuts, es realitzen 96 lectures al dia.

$$E_{Lect Modbus} = 50 \text{ mA} \times 5 \text{ s} \times 96 \frac{\text{lectures}}{\text{dia}} = 6,67 \text{ mAh/dia}$$

- Consum Energètic durant les Lectures de Sensors 4-20mA (si aplica):
Si s'utilitza un sensor de 4-20mA, que consumeix aproximadament 20 mA durant uns 5 segons cada vegada, el consum energètic serà.

$$E_{Alimentacio sensor 4-20} = 20 \text{ mA} \times 5 \text{ s} \times 96 \frac{\text{Alimentacions}}{\text{dia}} = 2,67 \text{ mAh/dia}$$

- No es tenen en compte les lectures digitals, ja que processos de menor consum i tenint en compte les de major consum ja es pot fer un càlcul aproximat de l'autonomia del datalogger.

- Autonomia Total

Considerant les 5 bateries Li-ion NCR18650B de 3,7 V a 3.400 mAh configurades en paral·lel (17.000 mAh de capacitat total):

- Consum Total per Dia:
 - Sense Sensor 4-20mA:

$$E_{Total dia} = 1,2 \text{ mAh} (LoraWan) + 6,67 \text{ mAh} (Modbus) \approx 7,87 \text{ mAh/dia}$$

- Amb Sensor 4-20mA:

$$E_{Total dia} = 7,87 \text{ mAh} + 2,67 \text{ mAh} \approx 10,54 \text{ mAh/dia}$$

- Autonomia Teòrica:
 - Sense Sensor 4-20mA:

$$Autonomia = \frac{17.000 \text{ mAh}}{7,87 \text{ mAh}} \approx 2.160 \text{ dies} \approx 6 \text{ anys}$$

- Amb Sensor 4-20mA:

$$Autonomia = \frac{17.000 \text{ mAh}}{10,54 \text{ mAh}} \approx 1.613 \text{ dies} \approx 4,5 \text{ anys}$$

- Aquests càlculs d'autonomia són estimacions teòriques basades en els patrons d'ús descrits. En la pràctica, factors com les condicions

ambientals, l'estat de les bateries, i la precisió del consum energètic poden influir en l'autonomia real.

Es conclou que el datalogger, amb les 5 bateries Li-ion NCR18650B, ofereix una autonomia significativa, permetent un funcionament prolongat en entorns remots. L'estratègia de mantenir el sistema adormit la major part del temps i despertar-lo només per a les tasques necessàries (transmissió de dades i lectura de sensors) maximitza l'eficiència energètica i garanteix que el dispositiu pugui funcionar durant anys sense necessitat de recàrrega. Això fa que el sistema sigui especialment adequat per aplicacions on el manteniment freqüent no és viable.

Per més autonomia o previsió de major consum s'hauria de considerar afegir més bateries o utilitzar una placa solar per recarregar aquestes bateries.

6.1.4 MODEL 3D DE LA PCB

El model 3D de la PCB proporciona una visualització detallada de la distribució física dels components sobre la placa. Aquest model permet optimitzar la col·locació dels components per evitar interferències, millorar el flux de senyals i assegurar una millor dissipació de calor.

- El model 3D mostra clarament la ubicació del microcontrolador ESP32, el mòdul LoRaWAN, i els altres components clau, assegurant que la seva col·locació sigui òptima tant per al funcionament elèctric com per a la fabricació de la PCB.
- Es destaquen els connectors per a sensors i alimentació, que estan estratègicament col·locats per facilitar la seva accessibilitat i ús en condicions de camp.

Imatges del disseny de la PCB superior (la PCB de les bateries):

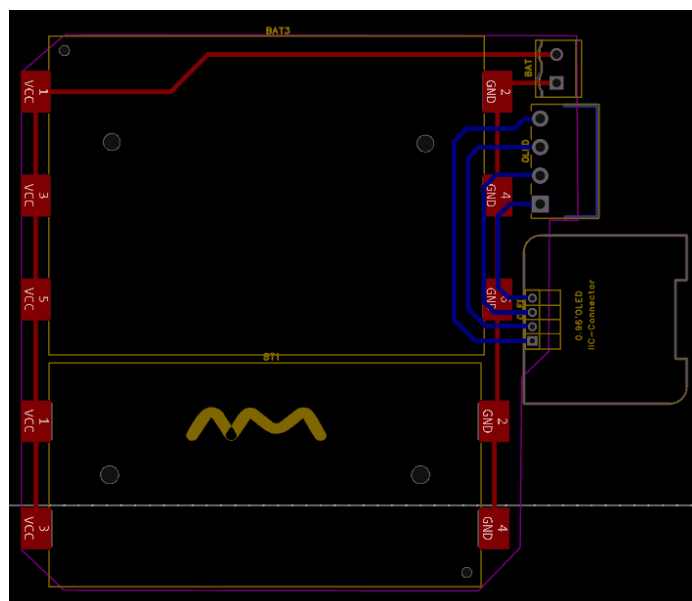


Figura 15. Model 2D de la PCB superior

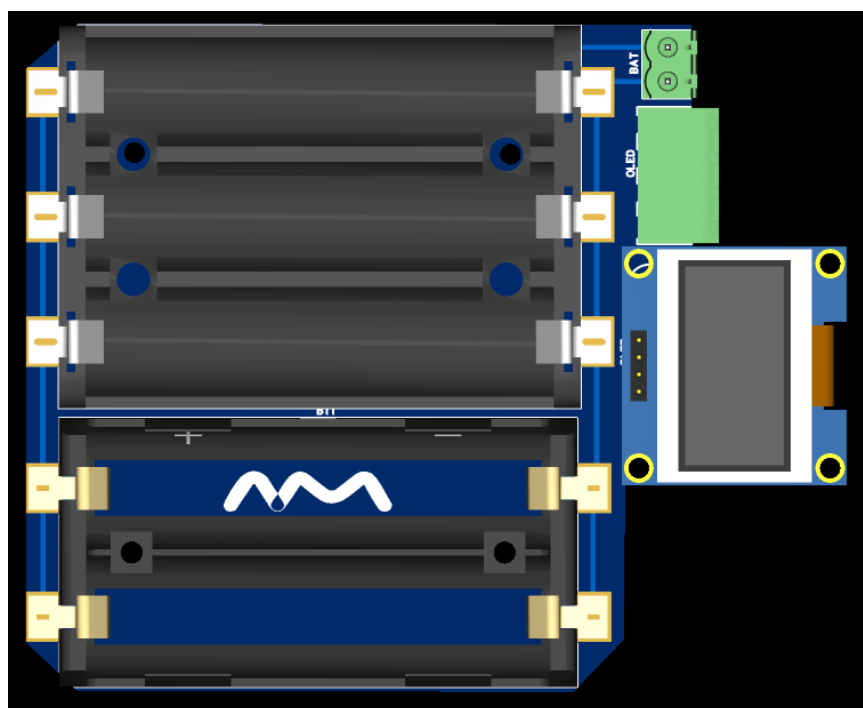


Figura 16. Model 3D de la PCB superior, vista superior

Imatge del Model 3D de la PCB inferior:

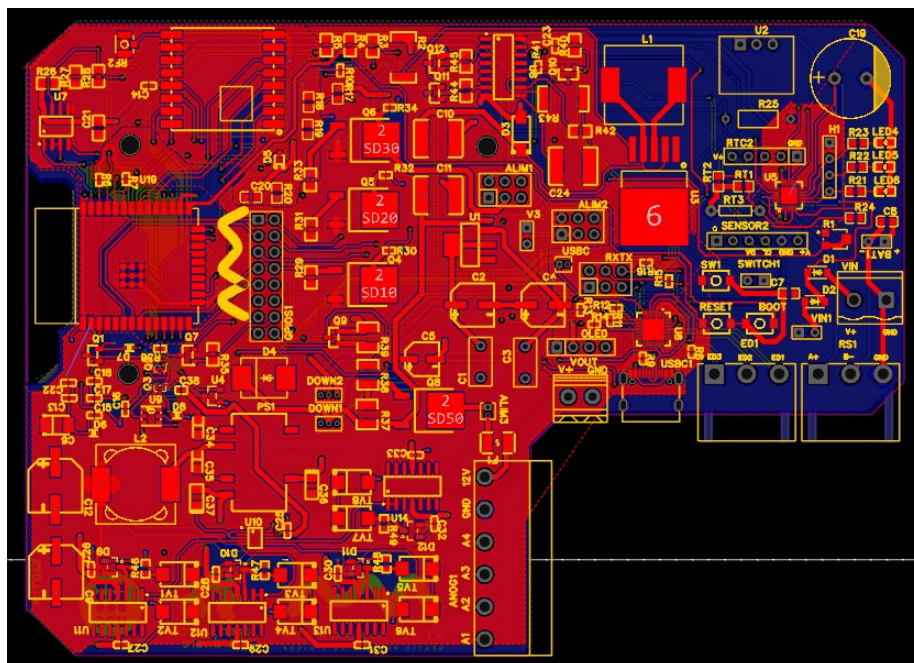


Figura 19. Model 2D de la PCB

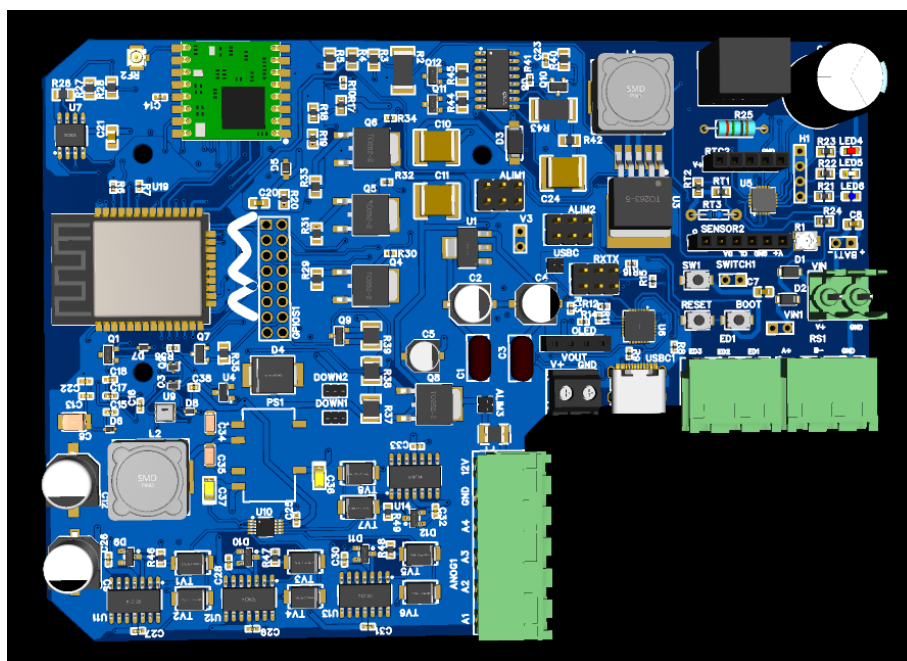


Figura 20. Model 3D de la PCB

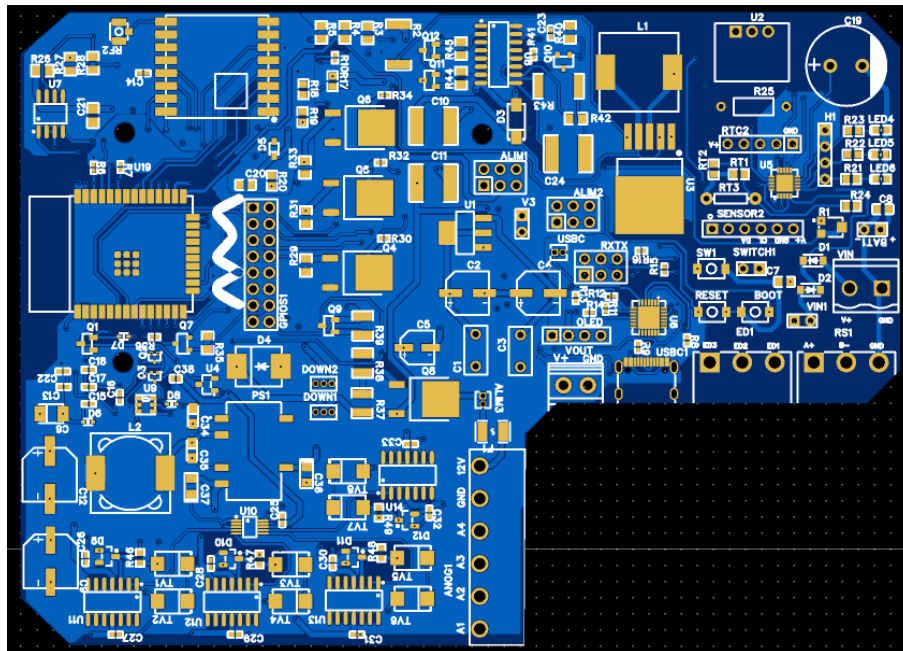


Figura 21. PCB vista superior sense components

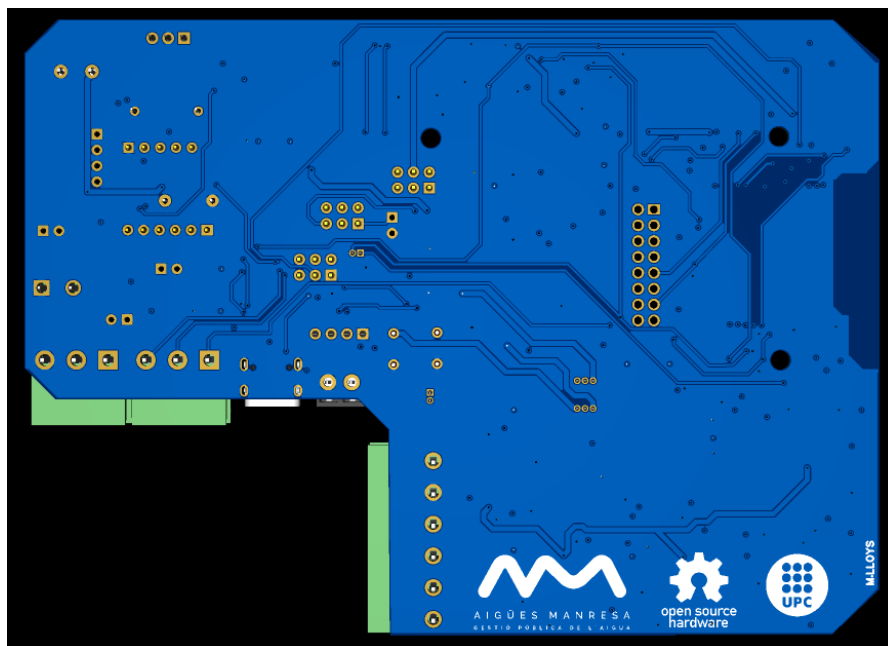


Figura 22. PCB vista inferior sense components

7272809A_Y12_SMT02408191898414 [TOP] - Corrected Part Placement
[20240828135621577]

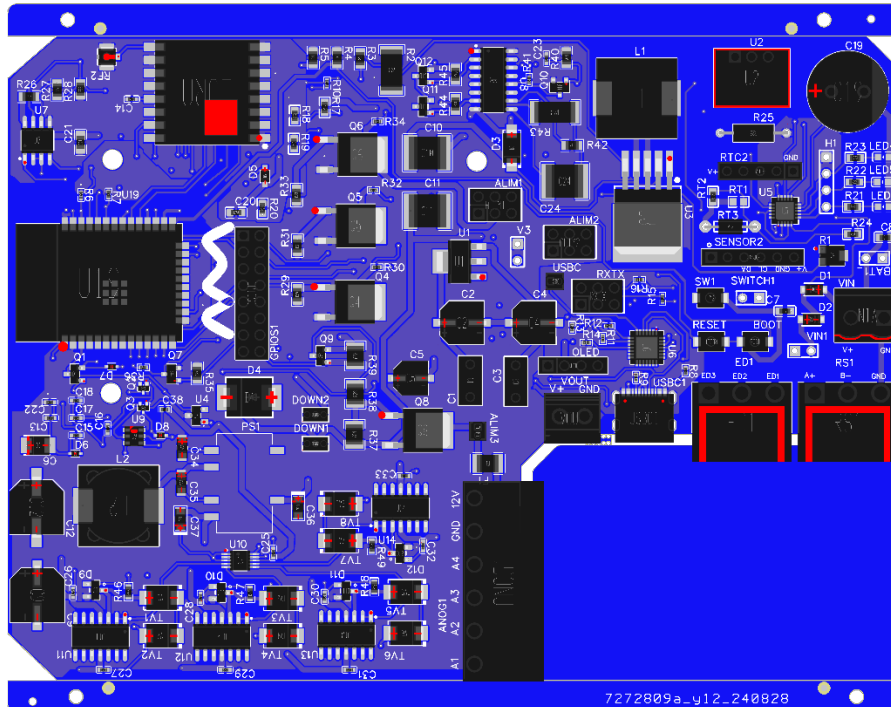


Figura 23. Vista de fabricació de la PCB

6.1.5 FABRICACIÓ I PROVES

Després de completar el disseny, la PCB es va fabricar utilitzant tècniques de muntatge en superfície (SMD) per minimitzar la mida i millorar la fiabilitat del dispositiu. Es van realitzar proves exhaustives per verificar el correcte funcionament de cada secció del circuit:

- Proves de Continuitat: Es van realitzar proves de continuïtat per assegurar que no hi havia curtcircuits i que totes les connexions eren correctes.
- Verificació d'Alimentació: Es va verificar que els reguladors de voltatge subministraven les tensions correctes a cada component, garantint que el microcontrolador ESP32 i el mòdul LoRaWAN funcionaven dins dels seus paràmetres especificats.
- Proves de Funcionalitat: Es van dur a terme proves de camp amb el datalogger completament muntat per assegurar que les dades dels sensors es recullen i transmetien correctament a través de LoRaWAN.

6.1.6 OPCIONS DE MILLORA I FUTURS DESENVOLUPAMENTS

Tot i que el disseny actual de la PCB compleix amb els requisits del projecte, s'han identificat àrees per a millores futures:

- Es podria reduir la mida de la PCB optimitzant encara més la distribució dels components i utilitzant components amb un perfil més baix.
 - o Per tal de fer el màxim de proves, s'han utilitzat connectors jumpers per activar o desactivar subcircuitus, els quals un cop estigui comprovat el funcionament es poden retirar i no incloure en futures fabricacions, així es simplificarà i s'optimitzarà més l'espai de la PCB.
- En futurs dissenys, es podria considerar la integració de mòduls addicionals, com un GPS directament integrat a la PCB per millorar les capacitats del datalogger.

Aquestes millores podrien ser explorades en versions posteriors del disseny, adaptant-se a noves necessitats o condicions d'ús.

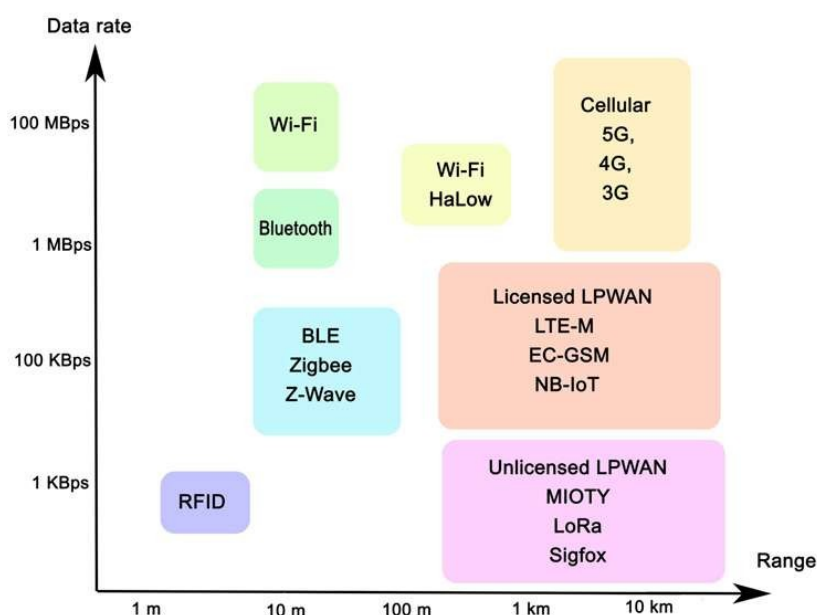
6.2 COMUNICACIÓ LORAWAN I ALTRES PROTOCOLS:

En aquest apartat descrivim els tipus de protocols de comunicació que utilitzarem en el datalogger i en concret LoraWan.

6.2.1 LORAWAN:

LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) és un protocol de comunicació dissenyat per a xarxes de baix consum i llarg abast, ideal per a dispositius d'Internet de les Coses (IoT).

6.2.2 COMPARATIVA AMB ALTRES PROTOCOLS IOT



A continuació, es presenta una comparativa exhaustiva dels protocols de comunicació IoT que s'utilitzen principalment per comunicar dispositius a llarg abast i baix consum energètic, operant en bandes de freqüència no llicenciades o llicenciades i destacant la velocitat de transmissió i altres paràmetres tècnics clau. Aquests són LoRaWAN, Sigfox, NB-IoT i LTE-M.

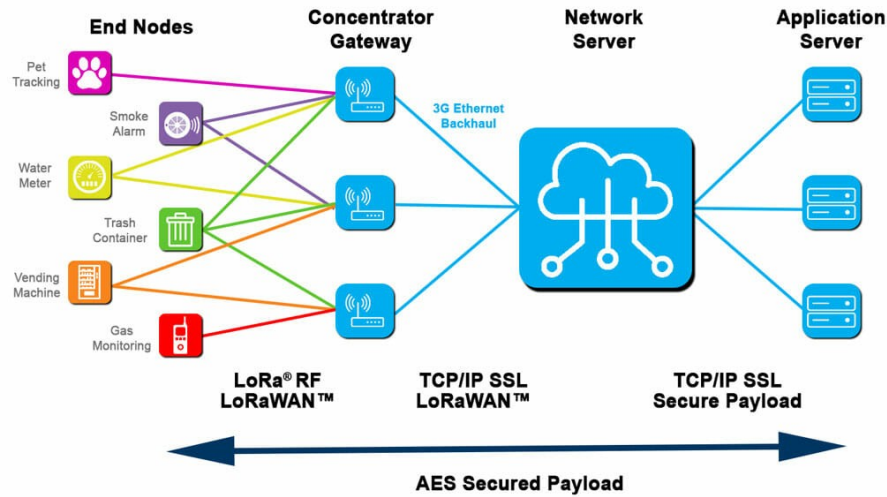
Característiques	LoRaWAN	Sigfox	NB-IoT	LTE-M
Espectre	No llicenciat (ISM)	No llicenciat (ISM)	Llicenciat (banda cel·lular)	Llicenciat (banda cel·lular)
Data Rate	0.3 - 50 Kbps	0.1 - 0.6 Kbps	Fins a 250 Kbps	Fins a 1 Mbps
Abast	Fins a 15 km	Fins a 50 km (ideal, però més realista 10 km)	Fins a 35 km	Fins a 10 km
Consum energia	10-30 mA (durant transmissió)	10 mA (durant transmissió)	100-200 mA (durant transmissió)	100-500 mA (durant transmissió)
Capacitat de nodes	Alta (milers de nodes)	Moderada (centenars de milers per base)	Molt alta (milers per cel·la)	Alta (milers per cel·la)
Bidireccionalitat	Sí (Uplink i Downlink)	Limitada (predominantment uplink, 4 uplinks per cada downlink)	Sí (Uplink i Downlink)	Sí (Uplink i Downlink)
Latència	1 - 10 segons	1 - 60 segons	1.6 - 10	50 - 100

			segons	mil·lisegons
Seguretat	Alta (xifratge AES-128)	Moderada (xifratge bàsic)	Molt alta (xifratge, SIM cards)	Molt alta (xifratge, SIM cards)
Cost d'Infraestructura	Baix (gateways econòmics, uns 200-1000 € per gateway)	Molt baix (una base pot cobrir fins a 1000 km²)	Alt (requereix estacions base cel·lulars)	Alt (infraestructura mòbil)
Escalabilitat	Alta (milers de nodes per gateway)	Moderada (fins a 1 milió de nodes per xarxa)	Molt alta (fins a 100.000 nodes per cel·la)	Alta (fins a 100.000 nodes per cel·la)
Tipus d'aplicació	Sensors remots, Smart City	IoT bàsic, sensors simples	Aplicacions industrials, Smart City	Vehicles connectats, logística
Resistència a Interferències	Bona (CSS, robust en entorns urbans)	Mitjana (menys robust en entorns densos)	Molt alta (bandes llicenciades, alta protecció)	Alta (bandes llicenciades, alta protecció)

En el cas que ens ocupa s'escull LoRaWAN per la seva capacitat de proporcionar connectivitat a llarg abast amb un baix consum energètic, suportant un gran nombre de dispositius amb una infraestructura mínima i econòmica. Aquestes característiques fan de LoRaWAN una solució ideal per a aplicacions IoT on la cobertura, eficiència energètica, i seguretat són prioritàries, permetent la implementació d'una àmplia gamma d'aplicacions amb una gestió eficient dels recursos i costos.

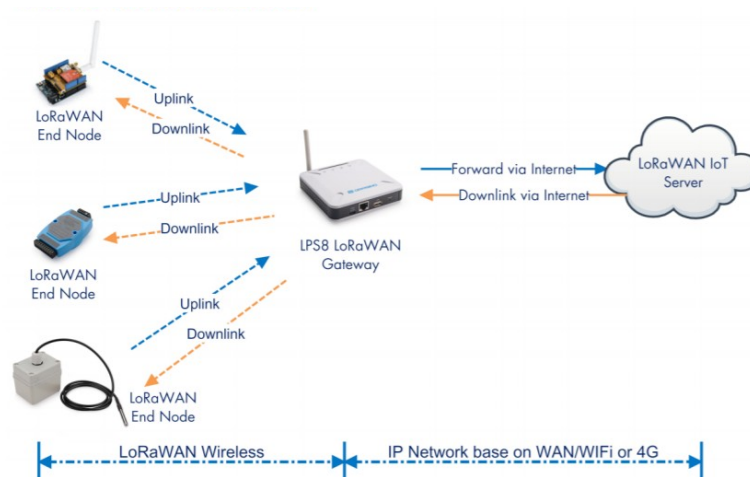
6.2.2.1 ARQUITECTURA DE LA XARXA

- Dispositius Finals (Nodes): Són sensors o dispositius que recullen dades (com ara temperatura, humitat, posició, etc.) i les envien cap a la xarxa.
- Gateways (Passarel·les): Actuen com a ponts entre els dispositius finals i el servidor de xarxa. Reben els senyals LoRa dels dispositius i els transmeten al servidor de xarxa a través d'internet (normalment per mitjà d'Ethernet, 4G, Wi-Fi, etc.).
- Network Server (Servidor de Xarxa): Gestiona la comunicació entre els dispositius i l'aplicació. Autentica els dispositius, gestiona les dades i aplica regles com el control d'accés i la gestió de sessions.
- Application Server (Servidor d'Aplicació): Processa les dades rebudes del servidor de xarxa i les utilitza per a aplicacions específiques (com ara aplicacions de monitoratge, alertes, etc.).



6.2.2.2 COMUNICACIÓ

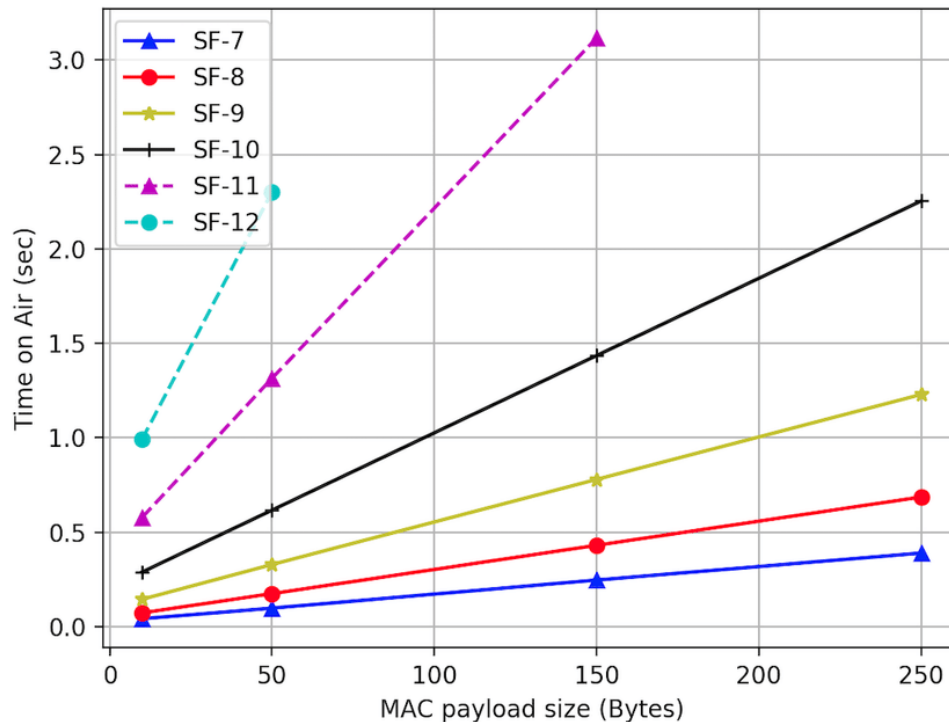
- Uplinks i Downlinks: Els dispositius finals envien dades (uplinks) cap als gateways. El servidor de xarxa també pot enviar missatges als dispositius (downlinks), però això acostuma a ser menys freqüent.



- Modulació LoRa: Utilitza la modulació LoRa, que permet comunicacions de llarg abast amb un baix consum energètic, a través d'espectre de radiofreqüència lliure (com les bandes ISM, 868 MHz a Europa).
- Sistemes de Canals, Factors de Dispersió i Duty Cycle: LoRaWAN utilitza una combinació de sistemes de canals, factors de dispersió (spreading factors) i restriccions de duty cycle per optimitzar les comunicacions a llarg abast amb baix consum d'energia. Aquests elements treballen conjuntament per equilibrar la cobertura, capacitat i eficiència energètica en xarxes LoRaWAN.

Una configuració adequada d'aquests paràmetres permet optimitzar les transmissions, maximitzar l'eficiència energètica i assegurar el compliment de les normatives de comunicació en les bandes de radiofreqüència sense llicència.

- Sistemes de Canals en LoRaWAN:
 - LoRaWAN opera amb múltiples canals de radiofreqüència, permetent que els dispositius puguin enviar missatges per diferents camins alhora. Això redueix la probabilitat de col·lisions i permet que diversos dispositius transmetin simultàniament, millorant la capacitat global de la xarxa.
 - Els dispositius i les passarel·les (gateways) poden canviar de canal per minimitzar interferències, ajustant-se dinàmicament a les condicions de l'entorn. Aquesta capacitat d'adaptació és crucial per mantenir la robustesa de la comunicació.
- Factors de Dispersió (Spreading Factors):
 - Els factors de dispersió (SF) determinen com es codifiquen les dades abans de ser transmeses. Els valors de SF van des de SF7 fins a SF12, on SF7 ofereix transmissions més ràpides i SF12 permet abastar distàncies més llargues però amb velocitats de dades més baixes.
 - SF Baix (SF7): Major velocitat de transmissió i menor temps a l'aire, ideal per a distàncies curtes i entorns amb bones condicions de senyal.
 - SF Alt (SF12): Menor velocitat de transmissió i major temps a l'aire, adequat per a llargues distàncies o entorns amb obstacles o soroll. Com més alt és el SF, més lentament es transmeten les dades, i això limita la quantitat de dades que es poden enviar en un temps determinat.
- Duty Cycle en LoRaWAN:
 - El duty cycle és una restricció normativa que limita el percentatge de temps que un dispositiu pot transmetre en una determinada banda de freqüència. Per exemple, un duty cycle del 1% significa que un dispositiu pot transmetre només durant 1 segon cada 100 segons.
 - Restricció de Temps d'Emissió: Aquestes limitacions són importants per evitar la saturació de les bandes de freqüència i assegurar una compartició justa de l'espectre entre múltiples dispositius.
 - Com més alt sigui el SF, més llarg és el temps a l'aire de cada missatge. Això vol dir que els dispositius amb SF elevats es veuen més afectats per les restriccions de duty cycle, ja que triguen més temps a enviar dades i, per tant, han d'esperar més temps abans de poder transmetre de nou.



○ Relació Entre Sistemes de Canals, Factors de Dispersió i Duty Cycle:

- Els dispositius han de balancejar l'ús de factors de dispersió per aconseguir l'abast necessari mentre compleixen amb les restriccions de duty cycle. Els factors de dispersió baixos permeten més transmissions en el mateix període de temps, mentre que els alts SF, tot i augmentar l'abast, redueixen la freqüència de transmissió a causa de les restriccions de temps d'aire i el duty cycle.
- Per una xarxa LoRaWAN eficient, és fonamental planificar bé els canals, factors de dispersió i tenir en compte el duty cycle per assegurar que la xarxa pugui suportar la quantitat de dispositius i la demanda de dades, especialment en zones amb alta densitat de nodes.

6.2.2.3 TIPUS DE NODES

En una xarxa LoRaWAN, els nodes es classifiquen en tres tipus principals segons les seves capacitats de comunicació i modes operatius. Aquests tipus de nodes són:

Tipus de Node	Característiques	Ús Comú	Avantatges	Limitacions
Classe A	Envien dades a	Sensors	Consum	Comunicació

	interval·s irregulars	ambientals, monitoratge esporàdic	d'energia molt baix	del servidor només després d'enviar dades.
	Dues finestres de recepció després de cada uplink		Ideal per a dispositius amb transmissions esporàdiques	No apte per respostes immediates
Classe B	Finestres de recepció addicionals programades	Dispositius de control remot, actuadors	Millor disponibilitat per rebre missatges	Consum d'energia lleugerament superior a Classe A
	Sincronització amb beacons enviats per la gateway		Equilibri entre recepció i consum energètic	Requereix sincronització constant amb beacons
Classe C	Finestres de recepció gairebé contínues	Actuadors, dispositius que necessiten resposta immediata	Màxima disponibilitat per rebre missatges	Consum d'energia molt alt
	Recepció constant excepte durant la transmissió		Ideal per aplicacions que necessiten comunicació immediata	No apte per dispositius amb restriccions d'energia

Els nodes de **Classe A** són perfectes per a dataloggers gràcies al seu baix consum energètic, eficiència en la transmissió esporàdica de dades, i facilitat de configuració. Aquesta classe permet maximitzar la durada de la bateria i minimitzar el manteniment, fent-la l'elecció òptima per a aplicacions de monitoratge i registre de dades a llarg termini.

Però és important tenir en compte que la comunicació del servidor al node només és possible després que el datalogger hagi enviat dades. Això no és un problema per a la majoria de les aplicacions de dataloggers, però és bo ser conscient d'aquesta limitació.

6.2.2.4 TIPUS DE NETWORK SERVER

Els dos tipus de network server més comuns per gestionar nodes de xarxes LoRaWAN són:

- The Things Network (TTN)
- ChipStack

És important entendre com afecten les transmissions i quines consideracions cal tenir en compte, especialment per a aplicacions com dataloggers que requereixen la captura fiable de dades.

6.2.2.4.1 THE THINGS NETWORK (TTN)



TTN és una xarxa pública i global de LoRaWAN que permet la connexió de dispositius IoT. És part de The Things Industries, que ofereix solucions professionals amb The Things Stack.

És conegut per ser fàcil d'utilitzar i és ideal per a petites aplicacions, projectes comunitaris, educatius i per a empreses que comencen amb IoT i volen provar solucions LoRaWAN sense grans inversions inicials.

Les característiques principals d'aquest tipus de network server són:

- Xarxa Pública i Comunitària: TTN opera com una xarxa comunitària, el que significa que qualsevol pot contribuir amb gateways per ampliar la cobertura.
- Facilitat d'Ús: TTN ofereix una interfície senzilla i intuïtiva, ideal per a usuaris que comencen amb LoRaWAN o per a prototipatge ràpid.
- Integracions: Inclou una àmplia gamma d'integracions amb serveis de tercers com AWS, Azure, i plataformes IoT.
- Seguretat: Ofereix autenticació i encriptació estàndard LoRaWAN. Per als entorns més professionals, The Things Stack ofereix funcionalitats avançades de seguretat.
- Limitacions de Capacitat: Com que TTN és una xarxa compartida, hi ha limitacions d'ús, especialment per a aplicacions que requereixen una transmissió de dades molt freqüent o gran capacitat.
- Gestió de Tràfic i Col·lisions: Les xarxes públiques com TTN tenen més probabilitats de col·lisions si hi ha molts dispositius compartint el mateix espectre de freqüències. En xarxes compartides (TTN), les col·lisions entre paquets poden ser més freqüents, especialment en zones amb alta densitat de nodes. Això pot resultar en pèrdua de dades, ja que LoRaWAN no implementa mecanismes de reintents automàtics en cas de col·lisió, fet que pot ser problemàtic per a aplicacions com dataloggers que requereixen alta fiabilitat en la captura de dades.

6.2.2.4.2 CHIPSTACK

ChirpStack és una solució de servidor de xarxa LoRaWAN de codi obert, que permet crear xarxes privades LoRaWAN completament sota el teu control.

És molt flexible i permet una personalització completa per a les necessitats específiques de l'usuari.

És ideal per a empreses i projectes que necessiten una xarxa LoRaWAN privada, amb control total sobre les operacions i configuració, especialment en sectors com la indústria, agricultura, gestió d'aigua i altres aplicacions IoT professionals.

Les característiques principals d'aquest tipus de network server són:

- Xarxa Privada: ChirpStack està dissenyat per desplegar-se en entorns privats, oferint control total sobre la xarxa LoRaWAN.

- **Personalització i Flexibilitat:** Permet una configuració detallada de la xarxa, incloent-hi la gestió de dispositius, gateways, i la integració amb altres serveis i aplicacions.
- **Modularitat:** Està compost per diversos components (Network Server, Gateway Bridge, Application Server, etc.), permetent la seva instal·lació i gestió de forma modular segons les necessitats.
- **Escalabilitat:** Pot gestionar des de petites fins a grans implementacions, depenent de la infraestructura que es posi en marxa.
- **Seguretat Avançada:** Ofereix una seguretat robusta amb encriptació de dades, gestió avançada d'accessos i compatibilitat amb certificats TLS.
- **Gestió Eficax de Transmissions i Col·lisions:** ChirpStack permet una configuració avançada per gestionar millor les transmissions, incloent-hi la configuració de paquets confirmats i l'optimització dels factors de dispersió per minimitzar la pèrdua de dades. En una xarxa privada amb ChirpStack, es pot ajustar millor la configuració per reduir les col·lisions de paquets, millorant així la fiabilitat de les transmissions, especialment crucial per a dataloggers

6.2.2.4.3 COMPARATIVA I SELECCIÓ

Característiques	The Things Network TTN	ChirpStack
Tipus de xarxa	Pública i comunitària	Privada
Facilitat d'Ús	Molt intuïtiu	Requereix més coneixement tècnic
Escalabilitat	Limitada (ús comunitari)	Altament escalable
Control	Limitat (xarxa compartida)	Total control i personalització
Seguretat	Bona, per iniciatives públiques	Avançada per entorns privats
Integracions	Amb múltiples serveis IoT	Integracions personalitzades



Cost	Gratuït (TTN) / Cost per ús avançat (The Things Stack)	Gratuït (codi obert), cost d'infraestructura
Fiabilitat en transmissions	Pot perdre transmissions en alta densitat de nodes	Millor gestió per reduir pèrdues de dades

Per al cas que ens ocupa, utilitzarem **ChirpStack** perquè busquem un network server altament escalable, de codi obert, amb un mínim de seguretat i major control sobre la fiabilitat de les transmissions, especialment per a aplicacions amb dataloggers on és crucial capturar dades sense pèrdues significatives i així poder optimitzar les transmissions.

6.2.2.5 SEGURETAT

- Claus de Sessió: Cada dispositiu té claus de sessió que assegurin les comunicacions. Les dades es xifren per evitar l'accés no autoritzat.
- OTAA i ABP: Els dispositius es poden activar a través d'OTAA (activació a través de l'aire, amb claus generades dinàmicament) o ABP (activació per personalització, amb claus preconfigurades).
 - o OTAA (Over-The-Air Activation)
 - Procés d'Activació: Els dispositius s'activen enviant una sol·licitud de connexió (join request) a la xarxa. La xarxa respon amb un missatge d'acceptació (join accept). Durant aquest procés, es generen dinàmicament les claus de sessió per a la seguretat de les dades (clau de sessió de xarxa i clau de sessió d'aplicació).
 - Seguretat: És més segur, ja que les claus de sessió es generen de manera dinàmica cada vegada que el dispositiu es connecta a la xarxa. Això redueix el risc si les claus es veuen compromeses, ja que es poden regenerar amb una nova sol·licitud de connexió.
 - Gestió de Xarxa: Permet una gestió més flexible i centralitzada dels dispositius, ja que aquests es poden activar i desactivar fàcilment des del servidor de xarxa.
 - Actualització de Paràmetres: És més senzill actualitzar els paràmetres del dispositiu, com ara la freqüència i la potència de transmissió, sense necessitat d'intervenció manual al dispositiu.
 - Consum d'Energia: Pot consumir més energia durant el procés d'activació, ja que hi ha comunicació addicional amb la xarxa per a establir la connexió.

- ABP (Activation By Personalization)
 - Procés d'Activació: Les claus de sessió estan preconfigurades i emmagatzemades al dispositiu. No hi ha procés de sol·licitud de connexió, per tant, el dispositiu pot enviar dades immediatament un cop encès.
 - Seguretat: És menys segur perquè les claus de sessió són fixes i no canvien. Això significa que, si les claus es comprometen, tots els missatges poden ser interceptats i descodificats.
 - Gestió de Xarxa: És menys flexible, ja que els dispositius no poden ser activats o desactivats fàcilment des del servidor de xarxa. Canviar les claus o paràmetres implica reconfigurar manualment cada dispositiu.
 - Actualització de Paràmetres: Requereix configuració manual per qualsevol canvi de paràmetres, fet que pot ser un desavantatge en grans xarxes amb molts dispositius.
 - Consum d'Energia: Generalment, consumeix menys energia durant l'activació, ja que no hi ha trànsit addicional per establir la connexió amb la xarxa.
- Resum
 - OTAA: És ideal per a aplicacions on la seguretat i la gestió dinàmica són prioritàries. Ofereix una major seguretat i flexibilitat, però amb un cost lleugerament superior en consum energètic durant l'activació.
 - ABP: És més simple i consumeix menys energia durant l'activació, però a costa de la seguretat i la flexibilitat en la gestió de la xarxa. És adequat per a dispositius en entorns controlats on la seguretat no és tan crítica.
- En el cas que ens ocupa, treballarem amb ABP, aquests dispositius no tenen canvis freqüents en la configuració i tampoc actuen sobre cap equip, per tant, prioritzem el baix consum d'energia i la simplicitat.

6.2.2.6 GESTIÓ DEL CONSUM ENERGÈTIC

LoRaWAN està dissenyat per a dispositius que necessiten funcionar durant llargs períodes amb bateries petites. Per això, els dispositius passen la major part del temps en mode de baix consum (sleep mode) i només es desperten per enviar o rebre dades.

6.2.2.7 COBERTURA I ESCALABILITAT

La xarxa pot cobrir grans àrees, amb un abast de diversos quilòmetres depenent de l'entorn, de 2 a 15 km. És altament escalable, ja que es poden afegir més gateways per millorar la cobertura i la capacitat.



La seva escalabilitat es basa en diverses característiques clau que permeten gestionar des de petites fins a molt grans implementacions, adaptant-se a les necessitats de creixement de la xarxa. A continuació es detallen els factors que contribueixen a l'escalabilitat de LoRaWAN:

1. Capacitat de suportar milers de nodes per Gateway

- Una sola gateway LoRaWAN pot gestionar entre 5.000 i 10.000 nodes, depenent de la configuració de la xarxa i els patrons de transmissió dels dispositius. Aquesta alta capacitat es deu a l'ús de múltiples canals de comunicació i a la distribució de les transmissions en el temps.
- Aquesta capacitat permet desplegar xarxes amb un alt nombre de dispositius sense necessitat d'infraestructures complexes o costoses, facilitant l'escalabilitat de la xarxa a mesura que creixen les necessitats de connectivitat.

2. Utilització de múltiples canals de comunicació

- LoRaWAN opera amb múltiples canals de radiofreqüència, normalment vuit per gateway, que permeten que diversos nodes transmetin simultàniament sense interferències. A més, cada canal pot gestionar diferents factors de dispersió (spreading factors), que ajuden a optimitzar l'ús del canal.
- Aquesta característica minimitza les col·lisions i maximitza l'eficiència del trànsit de dades, fent possible gestionar un gran nombre de dispositius en una mateixa àrea geogràfica.

3. Factors de dispersió i gestió de tràfic

- LoRaWAN utilitza factors de dispersió (SF) que permeten ajustar la velocitat de transmissió i la sensibilitat de recepció. Nodes amb factors de dispersió més baixos (com SF7) poden transmetre més ràpidament, ocupant menys temps a l'aire, mentre que els factors de dispersió més alts (com SF12) permeten comunicacions a distàncies més llargues.
- Aquesta flexibilitat permet optimitzar l'assignació de recursos de la xarxa i gestionar millor la densitat de nodes, facilitant la integració de milers de dispositius amb diferents necessitats de comunicació.

4. Infraestructura econòmica i escalable

- Les gateways LoRaWAN són relativament econòmiques i fàcils de desplegar. A més, com que LoRaWAN utilitza espectre sense llicència, no hi ha costos recurrents associats a l'ús de la banda de freqüència, la qual cosa redueix els costos operatius.
- L'escassa inversió inicial i l'absència de costos d'espectre permeten desplegar i escalar la xarxa fàcilment a mesura que augmenta la

demanda, ja sigui afegint més gateways per millorar la cobertura o integrant més nodes.

5. Gestió de col·lisions i optimització de recursos

- LoRaWAN implementa mecanismes per a la gestió del tràfic i reducció de col·lisions, com la divisió temporal i la selecció de canals dinàmica. A més, les restriccions de duty cycle ajuden a regular les transmissions per evitar la saturació de l'espectre.
- Aquests mecanismes asseguren una operació eficient de la xarxa, fins i tot en entorns amb alta densitat de nodes, millorant la capacitat d'escalar sense perdre fiabilitat.

6. Escalabilitat Centralitzada amb Network Servers

- En el cas de ChirpStack, un network server de codi obert per a LoRaWAN, pot gestionar una xarxa amb **fins a 100.000 nodes i centenars de gateways** en funció de la configuració del servidor i els recursos disponibles (CPU, RAM, amplada de banda). Aquesta capacitat fa que ChirpStack sigui ideal per a desplegaments escalables on es necessita gestionar una gran quantitat de dispositius i gateways de manera centralitzada.
- La centralització simplifica l'operació i manteniment de la xarxa, i permet adaptar-se a l'expansió de la infraestructura de manera eficient, gestionant l'increment de nodes i gateways sense comprometre la qualitat del servei.

6.3 RECEPCIÓ DE DADES AMB GATEWAY LORAWAN I NETWORK SERVER CHIRPSTACK

6.3.1 INTRODUCCIÓ

6.3.2 CONFIGURACIÓ DEL GATEWAY

6.3.3 PROCESSAMENT DE DADES AMB CHIRPSTACK

- **Decodificació de Dades:**
ChirpStack descodifica les dades rebudes, les processa i les fa accessibles per a la seva anàlisi posterior.
- **Gestió de la Xarxa:**
ChirpStack també proporciona eines per gestionar la xarxa LoRaWAN, incloent-hi la supervisió de dispositius, l'administració de claus de seguretat i la configuració dels paràmetres de transmissió.

6.3.4 ANALISI DE LES DADES REBUDES

Un cop les dades són rebudes i processades per ChirpStack, es poden visualitzar mitjançant eines de visualització o emmagatzemar-les per a anàlisis futures. Aquestes dades inclouen informació crítica sobre els nivells d'aigua i altres paràmetres monitoritzats pel datalogger.

6.3.5 SPI, I2C, I MODBUS RTU:

El bus SPI, I2C i modbus RTU són protocols de comunicació utilitzats pel datalogger.

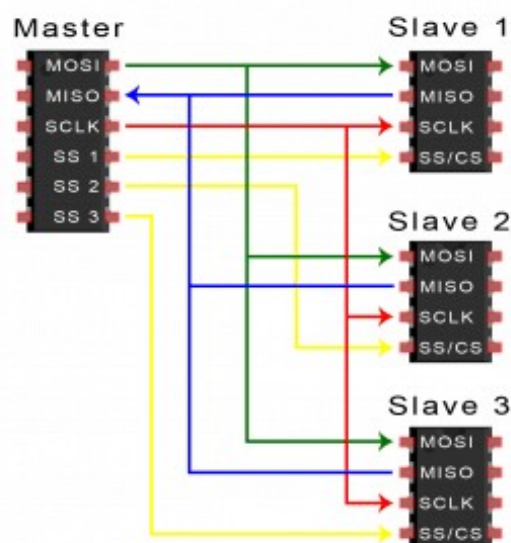
- L'SPI s'utilitza per la comunicació ràpida amb el mòdul LoRaWAN
- L'I2C permet la connexió amb els sensors de temperatura, pressió, i humitat, amb el rellotge RTU, amb el xip de 4 entrades analògiques i amb la pantalla OLED.
- El Modbus RTU, en canvi, s'utilitza per integrar dispositius industrials que ens vinguin de l'exterior del datalogger, com podria ser un cabalímetre, un analitzador de clor, sondes de terbolesa, etc.

6.3.5.1 SPI

El bus SPI (Serial Peripheral Interface) és un protocol de comunicació serial que connecta un dispositiu màster (normalment un microcontrolador) amb diversos esclaus (com sensors, memòries, displays). Funciona amb quatre línies:

- SCK (Serial Clock): Generat pel màster per sincronitzar la comunicació.
- MOSI (Master Out Slave In): Línia per enviar dades del màster als esclaus.
- MISO (Master In Slave Out): Línia per enviar dades dels esclaus al màster.
- SS/CS (Slave Select/Chip Select): Línia per seleccionar l'esclau actiu.

El màster controla la comunicació generant el rellotge i seleccionant l'esclau amb la línia CS. Les dades es transfereixen simultàniament entre el màster i l'esclau amb cada pols de rellotge, fent que SPI sigui ràpid i eficient. És un protocol de comunicació full-duplex, ideal per aplicacions que requereixen velocitat i simplicitat, però necessita una línia CS per cada esclau.

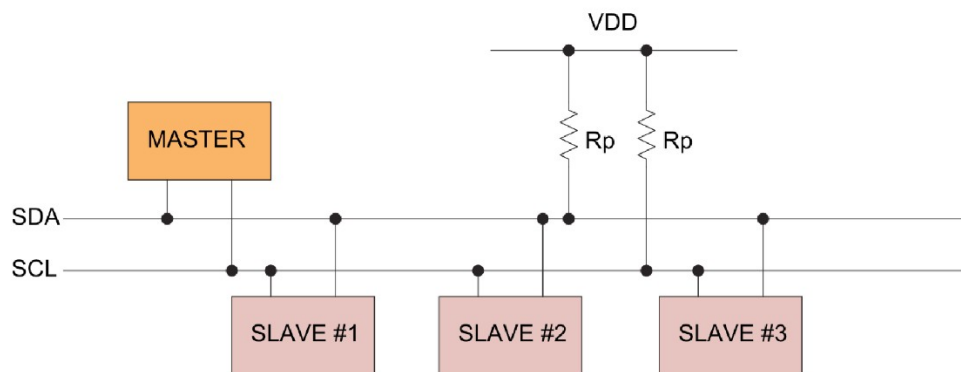


6.3.5.2 I2C

El bus I2C (Inter-Integrated Circuit) és un protocol de comunicació serial que permet la connexió de múltiples dispositius (màster i esclaus) utilitzant només dues línies:

- SCL (Serial Clock Line): Generada pel màster per sincronitzar la comunicació.
- SDA (Serial Data Line): Utilitzada per enviar i rebre dades entre el màster i els esclaus.

En I2C, el màster controla la comunicació generant el rellotge i iniciant la transferència de dades. Cada esclau té una adreça única, i el màster envia l'adreça del dispositiu amb el qual vol comunicar-se per seleccionar-lo. Només l'esclau seleccionat respon a les instruccions del màster.



Sempre hi ha d'haver les resistències R_p de 10 kOhms.

I2C és un protocol de comunicació semidúplex i de baixa velocitat (normalment fins a 400 Kbps, però pot arribar a 3.4 Mbps en mode High-Speed), ideal per a comunicacions a curt abast amb múltiples dispositius en una sola línia, com sensors, memòries i pantalles, amb una configuració senzilla i un ús eficient dels pins.

6.3.5.3 MODBUS RTU

Modbus RTU és un protocol de comunicació serial que connecta dispositius en una xarxa industrial, com un màster i diversos esclaus. Funciona sobre línies com RS-485, utilitzant dues línies principals: una per al senyal (D+) i una per a la referència (D-). El màster envia ordres als esclaus mitjançant missatges que contenen una adreça, un codi de funció, dades i un CRC per a la detecció d'errors. Només el dispositiu màster pot iniciar la comunicació, i l'esclau responen quan són adreçats. Modbus RTU és robust i fàcil d'implementar, i és àmpliament utilitzat en aplicacions d'automatització industrial.

6.4 PROGRAMACIÓ AMB MICROPYTHON:

- Mòduls Implementats:
La programació del datalogger s'ha realitzat utilitzant MicroPython, un llenguatge lleuger que permet una programació eficient de



microcontroladors com l'ESP32. Aquest apartat descriu els diferents mòduls implementats per gestionar les funcions del datalogger:

- Mòdul Modbus RTU Master:
Permet la comunicació amb dispositius esclaus utilitzant el protocol Modbus RTU, configurat per a la lectura i l'escriptura de registres.
- Mòdul LoRaWAN Lectura SPI:
Gestiona la comunicació amb el mòdul LoRaWAN mitjançant el protocol SPI, incloent-hi la configuració del mòdul i la transmissió de dades.
- Mòdul de Lectura de Pulsos:
Comptabilitza els pulsos generats per sensors de flux o altres dispositius digitals, amb la capacitat de registrar dades de manera periòdica.
- Mòdul de Lectura d'Entrada Digital:
Permet la lectura d'estats digitals, utilitzant els pins GPIO per detectar si un dispositiu està encès o apagat.
- Mòdul de Lectura RTU amb I2C:
Permet la lectura de dades de dispositius connectats a través del bus I2C, gestionant la comunicació i el processament de les dades.
- Mòdul de Lectura de Sensors 4-20mA amb I2C:
Converteix els senyals de corrent de 4-20mA en valors digitals llegibles pel microcontrolador, utilitzant un convertidor ADC integrat en l'ESP32.
- Mòdul de Lectura de Sensor Ambiental amb I2C:
Gestiona la lectura de sensors ambientals com el BME280, que mesura temperatura, humitat i pressió.
- Mòdul de Registre de Dades Periòdic:
Registra les dades recollides pels sensors a intervals configurables, emmagatzemant-les temporalment o transmetent-les directament a través de LoRaWAN.
- Mòdul d'Optimització d'Energia:
Implementa estratègies per reduir el consum energètic, com la desactivació de components no essencials i la gestió de la càrrega de les bateries.

Exemples de Codi: Inclou exemples de codi per a cada mòdul, amb explicacions detallades sobre el funcionament de cada secció de codi, així com les biblioteques utilitzades.

6.4.1 INTRODUCCIÓ

La programació del datalogger s'ha dut a terme utilitzant MicroPython, un llenguatge de programació lleuger ideal per a microcontroladors com l'ESP32. MicroPython permet una programació senzilla i eficient, oferint alhora una àmplia gamma de funcionalitats per al control de hardware i la gestió de comunicacions.

6.4.2 ESTRUCTURA DEL CODI

El codi desenvolupat està estructurat en diversos mòduls que gestionen diferents aspectes del sistema:

- Mòdul de Sensorització:
Aquest mòdul s'encarrega de la lectura de dades dels sensors connectats, com els sensors de nivell d'aigua. Es garanteix la captura de dades precisa amb cicles de lectura optimitzats per reduir el consum energètic.

- **Mòdul de Comunicació:**
Aquest mòdul gestiona la transmissió de dades utilitzant LoRaWAN. Es realitza la preparació de les dades, la seva codificació i l'enviament a través del mòdul de comunicació LoRaWAN.
- **Mòdul de Gestió Energètica:**
En aquest mòdul, s'implementen estratègies per minimitzar el consum energètic, com la desactivació de components no essencials o la modulació del cicle de treball segons les condicions del sistema.

6.4.3 FUNCIONALITATS IMPLEMENTADES

- **Lectura i Processament de Dades:**
El sistema és capaç de llegir dades de múltiples sensors, processar-les i emmagatzemar-les temporalment abans de transmetre-les.
- **Transmissió de Dades mitjançant LoRaWAN:**
Es realitza l'enviament de dades de manera periòdica a través de LoRaWAN, amb opcions per ajustar la freqüència d'enviament segons les necessitats.
- **Actualització de Firmware:**
S'ha implementat la capacitat d'actualitzar el firmware de manera remota, cosa que permet mantenir el sistema al dia amb les últimes millores de programari sense necessitat d'accés físic.

6.4.4 OPCIONS DE MILLORA

En futures versions del programari, es podrien implementar algorismes de compressió de dades per reduir la quantitat de dades transmeses, així com l'adopció de tècniques d'intel·ligència artificial per a la detecció d'anomalies en temps real.

6.5 DISSENY 3D DE LA CAIXA DEL DATALOGGER:

6.5.1 INTRODUCCIÓ

El datalogger és un equip que, en el cicle integral de l'aigua, s'instal·la en arquetes, pous de clavegueram o armaris exteriors. Tot hi que aquesta tercera és la millor opció, en el major dels casos no és possible. A part, s'ubiquen en llocs remots i de difícil accés.

Imatges d'instal·lacions d'aigua potable:



Figura 24. Imatge d'una arqueta amb un cabalímetre



Figura 25. Imatges d'una arqueta amb un cabalímetre ubicada a les afores



Figura 26. Imatge d'armari exterior amb arqueta al lateral

Imatges d'instal·lacions d'aigua residual:



Figura 27. Pou de registre 1 al exterior



Figura 28. Antena datalogger

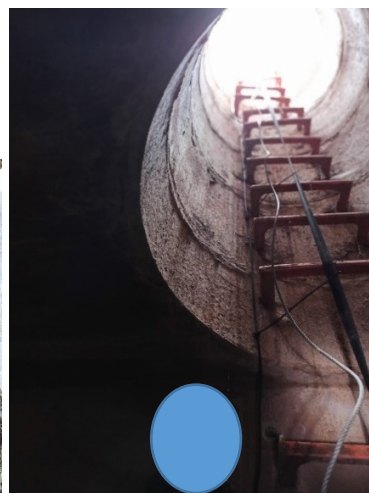


Figura 29. Equip amb vista al interior



Figura 30. Sensor detector sobreiximent del pou 1
pou 1

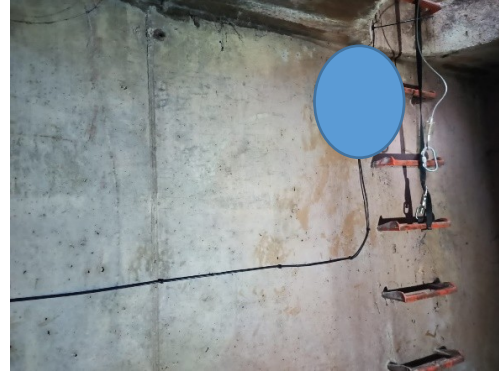


Figura 31. Ubicació actual del datalogger del



Figura 32. Pou de registre 2
sobreeixidor



Figura 33- Datalogger i sensor de

Per tant, tal com es pot observar a les imatges, la caixa del datalogger ha de complir els següents requisits:

- Tenir una classificació mínima IP 67, per estar preparada per a entorns humits i, en alguns casos, submergible.
- Ser robusta per resistir possibles impactes.
- Ser fàcil de manipular, intercanviar i connectar, atès que es troba en un lloc de difícil accés.
- Tenir l'opció de muntar una antena exterior.
- Ser replicable.

6.5.2 SELECCIÓ DEL MATERIAL

Després de definir els requisits essencials per a la caixa del datalogger, es va considerar la millor metodologia de fabricació per satisfer aquestes necessitats. En aquest context, la impressió 3D es presenta com l'opció més adequada. Aquesta tecnologia permet desenvolupar dissenys personalitzats i optimitzats, adaptats a les exigències específiques del projecte, com ara la resistència a entorns humits, la

robustesa davant impactes, i la facilitat de manipulació i connexió en llocs de difícil accés. A més, la impressió 3D possibilita una producció eficient i reproducible de la caixa del datalogger amb els materials més adequats.

Els materials que s'han considerat per al disseny inclouen:

- PLA:
 - o Avantatges:
 - Fàcil d'imprimir.
 - Baix cost i disponible en una àmplia varietat de colors.
 - Biodegradable i amb baix impacte ambiental.
 - o Inconvenients:
 - **Baixa resistència a la calor i a la humitat**, el que el fa menys adequat per a aplicacions en exteriors.
 - **No és especialment resistent a impactes ni a condicions adverses.**
 - o Aplicacions recomanades: Prototips i peces decoratives.
- ABS:
 - o Avantatges:
 - Alta resistència a impactes i bona durabilitat.
 - Pot suportar temperatures més altes que el PLA.
 - És més resistent als productes químics.
 - o Inconvenients:
 - Emissió de fums nocius durant la impressió.
 - Requereix una base calenta per imprimir, el que complica el procés.
 - Menor resistència als raigs UV i **humitat prolongada**.
 - o Aplicacions recomanades: Peça mecànica i components estructurals.
- PETGE:
 - o Avantatges:
 - Combinació de resistència mecànica i flexibilitat.
 - **Alta resistència a l'aigua i a la humitat, adequat per a entorns exteriors i humits.**
 - **Bona resistència química** i alta transparència.
 - Menys emissors de fums nocius comparat amb l'ABS i fàcil d'imprimir.
 - **Té una bona resistència a impactes**, similar a l'ABS.
 - o Inconvenients:
 - Pot ser una mica menys rígid que l'ABS, però compensa amb la seva durabilitat i resistència als elements.

- Aplicacions recomanades: Peces funcionals, components que requereixen resistència a la humitat i durabilitat.

Un cop avaluats els diferents materials d'impressió 3D s'escull el PETG per la seva combinació de resistència mecànica, resistència a la humitat, i facilitat de manipulació. Això el fa ideal per a l'ús en entorns exteriors o humits, on la caixa podria estar exposada a condicions adverses, mantenint a la vegada una bona durabilitat i resistència a impactes. El PETG també ofereix la possibilitat de replicació fàcil amb impressió 3D, sense els problemes d'emissions de fums nocius associats amb altres materials com l'ABS.

6.5.3 DISSENY 3D AMB SOLIDWORKS

Un cop fet el disseny de la PCB es va extreure el model 3D i es va obrir amb SolidWorks. On es van realitzar els plànols de la PCB superior (amb bateries) i inferior, també es va comprovar que sobreposant una PCB i l'altre quadressin els forats de suport i les mides.

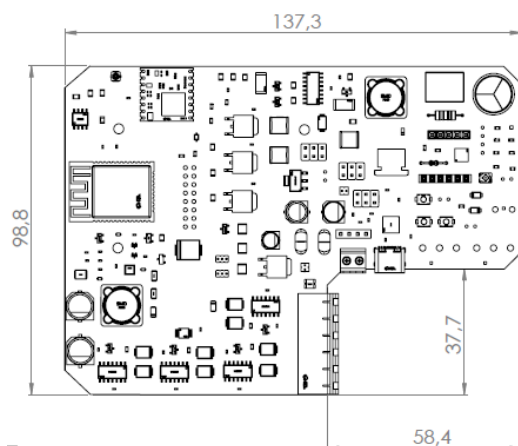


Figura 34. PCB inferior acutada

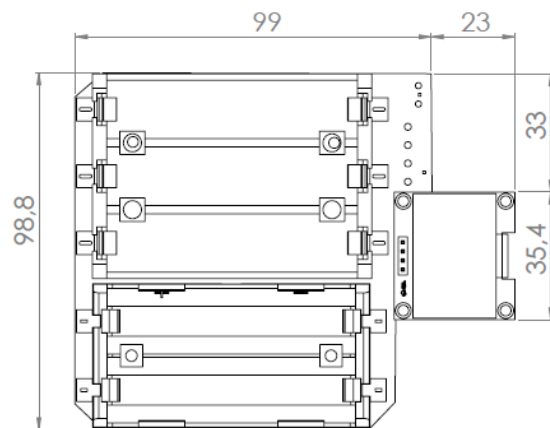


Figura 35. PCB superior acutada

La impressora 3D que dispo és capaç d'imprimir un volum màxim de 200 x 200 x 200 mm, tot hi que és capaç d'imprimir aquest volum no és recomanable anar a buscar l'extrem.

Es planteja fer el disseny d'una caixa senzilla, però robusta, pensant que s'ha d'imprimir amb impressora 3D de filament.

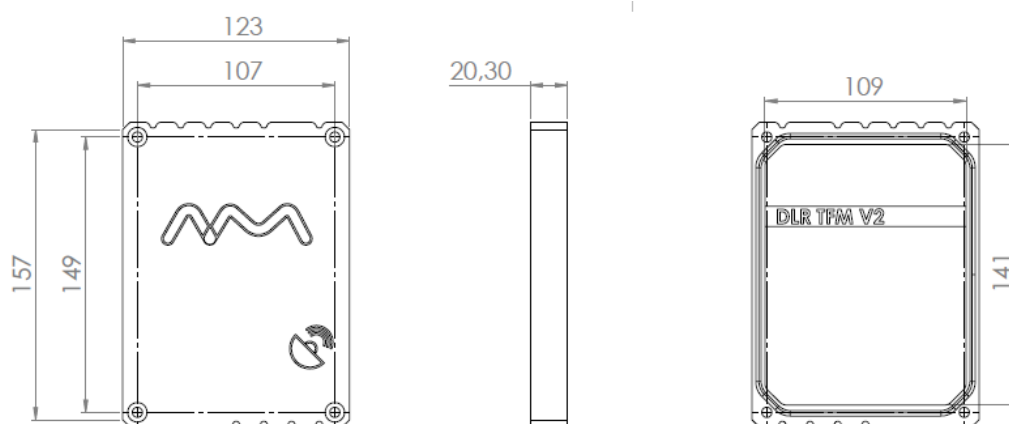


Figura 36. Disseny tapa datalogger sense display

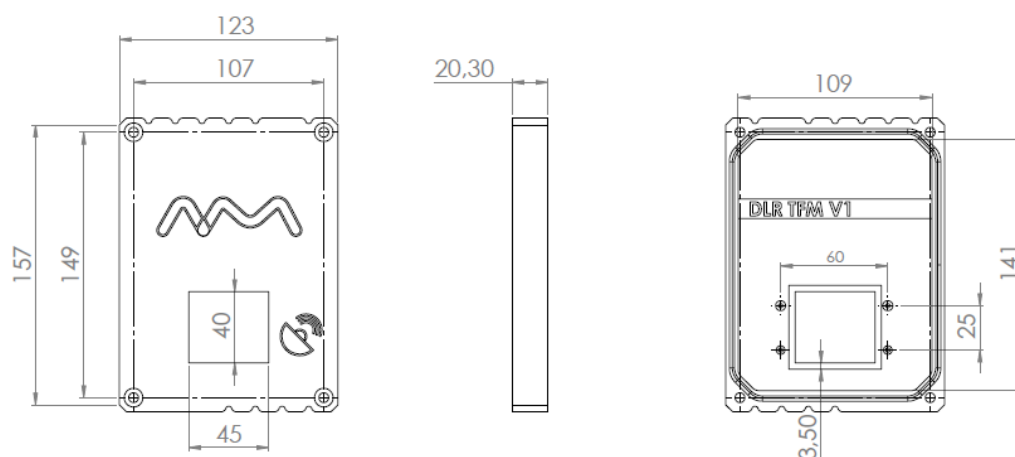


Figura 37. Disseny tapa datalogger amb display

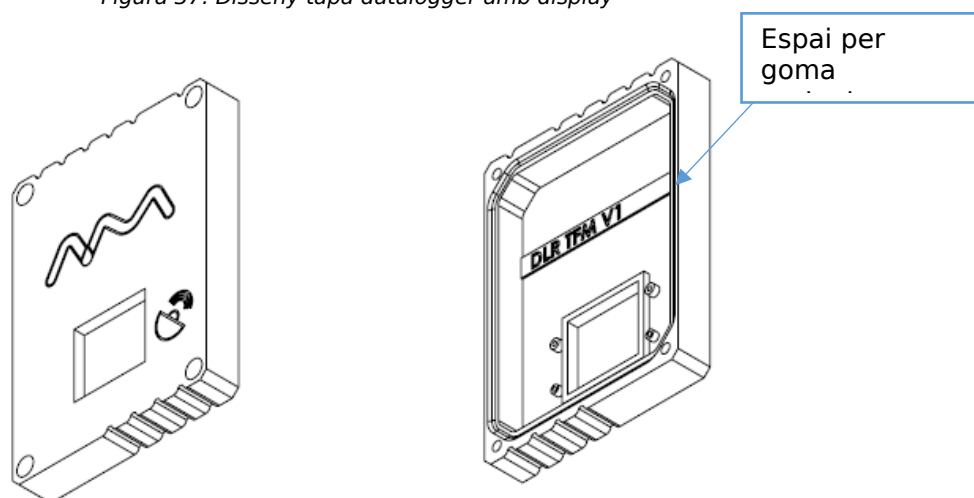
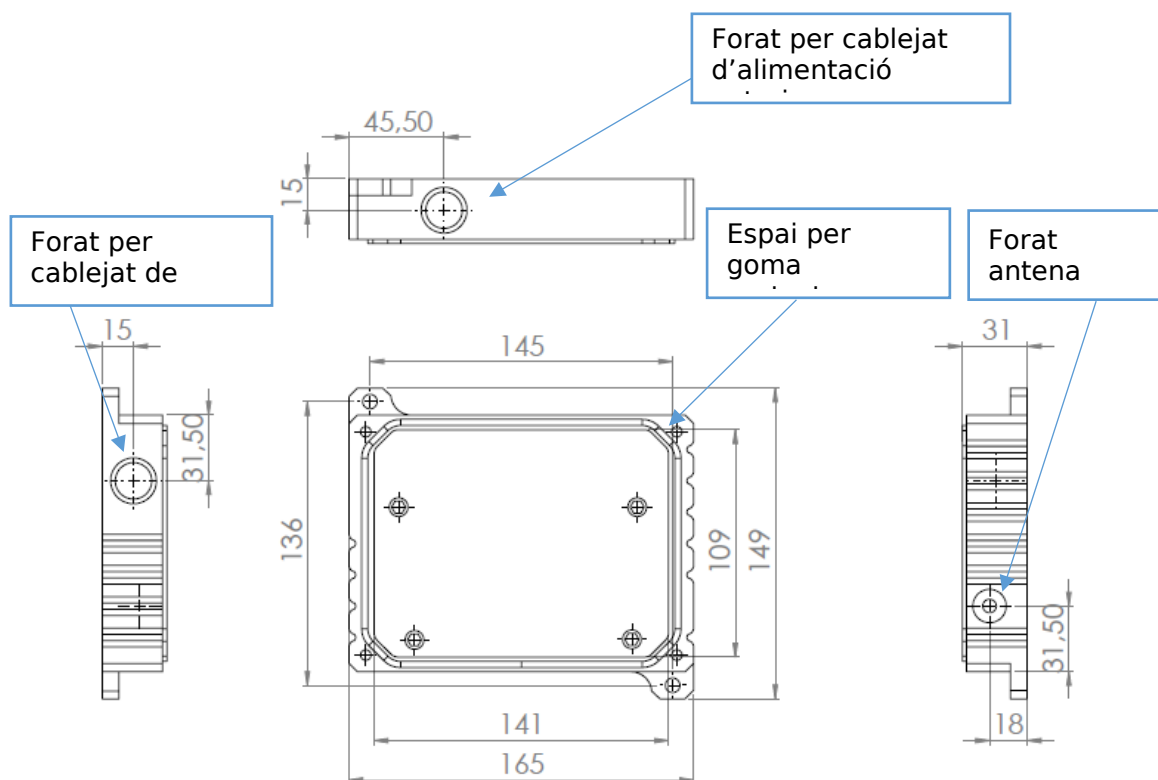


Figura 38. Vista 3D de la tapa



En el cas de la tapa la impressió es va fer amb el símbol a la base de la impressora, aquest símbol és imprimible d'aquesta manera i sense ponts, només fa un mil·límetre de gruix. Es van fer dos dissenys, un amb display i un sense, ja que la gran majoria de dataloggers no necessiten display i per tal de garantir la IP67 no seria recomanable amb display, les silicones i qualsevol material sallant es degrada amb el temps.

Es va fer el disseny preveient una goma protectora en el contorn de la tapa i la base la qual s'expandeix al ser pressionada i impedeix el pas de l'aigua i de la humitat.

En el cas de la base hi ha uns pilars de suport per la PCB, un forat per l'antena exterior LoRaWAN i uns forats pel cablejat. Aquests forats estan fets a la mida d'una premsa topa de DN15 i hi ha dos dissenys de bases, un amb dos forats i un amb només un forat. Ja que si no es preveu alimentació exterior no faria falta el segon forat.

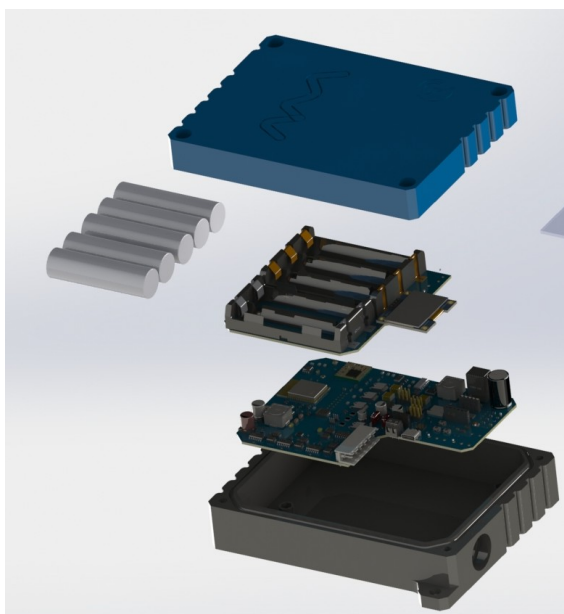


Figura 39. Explosionat disseny amb display

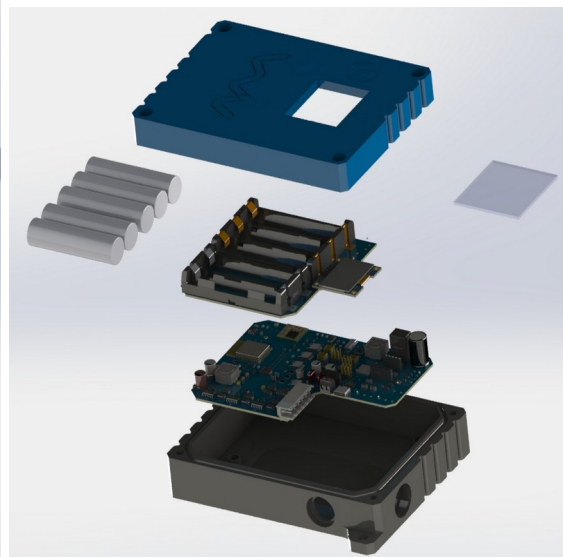


Figura 40. Explosionat disseny sense display

Per garantir que la caixa compleix amb la classificació IP67 s'han fet dos dissenys de tapa, una amb display i una sense. La tapa sense display és l'opció que compleix amb aquesta estanquitat, s'han utilitzat premses topa per la connexió del cablejat i una goma per cobrir tot l'entorn de la tapa. S'han realitzat proves d'estanquitat per verificar que la caixa és impermeable i resistent a la pols. Però per les ubicacions més crítiques es pot fer ús de resina epoxi i cobrir totes les entrades.

En dissenys futurs, es podria desenvolupar una caixa per a les bateries amb un suport mural que permeti la seva fixació i extracció sense necessitat de desmuntar el suport. A més, s'hauria de considerar una caixa específica per al datalogger que eviti haver d'obrir la tapa per canviar les piles; n'hi hauria prou amb desconectar l'alimentació del datalogger, retirar la caixa de les bateries i col·locar una caixa nova carregada en el seu lloc. Posteriorment, la caixa de bateries buida es podria portar al taller per a la seva recàrrega, preparant-la per a la següent reposició.

7 MATERIAL I MÈTODES UTILITZATS

Metodologia Científica i Experimental: Aquesta secció descriu la metodologia utilitzada per desenvolupar i avaluar el sistema. Es detallen els passos seguits durant el disseny i la implementació de la PCB, el desenvolupament del codi, i la fabricació de la caixa protectora.

Desenvolupament Iteratiu: Es descriu com s'ha utilitzat un enfocament iteratiu per millorar progressivament el disseny del sistema. Això inclou la creació de prototips, proves, i ajustos basats en els resultats. Es detallen les diferents fases del projecte, des del concepte inicial fins a la versió final, incloent-hi revisions de disseny, proves de components, i optimització del codi.

Mètodes de Simulació i Test: Es detallen les eines de simulació utilitzades per modelar el comportament del sistema abans de la seva implementació física. Això



inclou simulacions de circuits per validar el disseny de la PCB, simulacions tècniques per assegurar la resistència de la caixa protectora, i proves de camp per validar la transmissió de dades via LoRaWAN. També es descriuen les proves realitzades per validar la funcionalitat de la PCB, la integració dels sensors, i la fiabilitat de la transmissió de dades.

Mètodes Estadístics i Anàlisi de Dades: S'explica com s'han utilitzat tècniques estadístiques per analitzar les dades recollides durant les proves de camp. Això inclou l'anàlisi de la força del senyal LoRaWAN, la durada de la bateria, i la fiabilitat de la comunicació. Es detallen les tècniques de mostreig utilitzades, els mètodes d'anàlisi de dades, i com aquests resultats s'han utilitzat per informar i millorar el disseny del sistema.

8 DADES

■ **Descripció de les Dades:** S'explica el tipus de dades que es recullen durant les proves del datalogger, com per exemple les lectures de sensors (temperatura, pressió, nivell d'aigua), els resultats de les comunicacions LoRaWAN (retries, errors de transmissió), i el consum energètic. Es detallen les característiques de les dades, incloent-hi la seva precisió, freqüència de mostreig, i qualsevol preprocessament necessari abans de l'anàlisi.

■ **Recopilació i Tractament de Dades:** Es descriu com es recullen les dades en temps real i com es tracten abans de ser transmeses o emmagatzemades. Això inclou la configuració dels intervals de lectura, l'agrupació de dades, i les tècniques d'emmagatzematge utilitzades. Es detallen els protocols de comunicació utilitzats per la transmissió de dades, la gestió de dades en el servidor ChirpStack, i com es gestionen les fallades de comunicació o pèrdua de dades.

■ **Interpretació de les Dades:** S'explica com les dades recollides s'han utilitzat per validar els objectius del projecte i per millorar el disseny del sistema. Aquesta secció també pot incloure gràfics i taules que mostren els resultats de les proves. Es descriuen les tècniques d'anàlisi de dades utilitzades per identificar patrons o anomalies en les dades recollides, i com aquestes anàlisis han influït en les decisions de disseny posteriors.

9 VALIDACIÓ I VERIFICACIÓ

■ **Proves Experimentals:** S'explica com s'han realitzat proves de camp per validar el funcionament del datalogger en condicions reals. Això inclou proves de durabilitat, cobertura LoRaWAN, i resistència a condicions ambientals adverses. Es detallen les condicions en què es van realitzar les proves, la metodologia seguida, i els resultats obtinguts. També es discuteixen les limitacions de les proves i qualsevol desviació observada dels resultats esperats.

■ **Verificació del Software:** Es descriu el procés de verificació del software, assegurant que tots els mòduls de programació funcionen correctament i que no hi ha errors en la transmissió de dades. Es detallen les tècniques de depuració

utilitzades, les proves unitàries realitzades, i com es van abordar els problemes trobats durant el desenvolupament del codi.

■ **Anàlisi Comparativa:** Es presenta una comparació dels resultats obtinguts amb altres solucions existents, destacant les millores aconseguides en termes d'eficiència energètica, fiabilitat, i cost. Es detalla com el sistema desenvolupat es compara amb altres sistemes similars en termes de funcionalitat, rendiment, i facilitat d'ús. També es discuteixen les possibles millores que es podrien fer en futurs desenvolupaments.

10 RESULTATS I CONCLUSIONS

Aquesta secció resumeix els resultats obtinguts durant les proves, destacant l'eficàcia del datalogger per a la monitoratge del cicle integral de l'aigua. Es conclou que el sistema és una solució robusta i escalable per a la gestió de recursos hídrics, amb un gran potencial per a aplicacions en entorns remots. També es proposen millores futures, com la integració de tecnologies addicionals com NB-IoT. Es discuteix com els resultats obtinguts poden influir en futurs treballs en el camp de la monitoratge de l'aigua i quins són els següents passos recomanats per a millorar el sistema.

11 ANNEXOS

- 11.1 ANNEX1. ESQUEMES ELECTRÒNICS DE LA PCB
- 11.2 ANNEX2. DATASHEETS COMPONENTS MÉS IMPORTANTS
- 11.3 ANNEX3. CODIS DE PROGRAMACIÓ
- 11.4 ANNEX4. PLÀNOLS DE LA CAIXA

Manresa, setembre de 2024

L'enginyera responsable

Marina Lloys Llobet



AIGÜES
MANRESA
GESTIÓ PÚBLICA DE L'AIGUA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH

https://www.researchgate.net/figure/Time-on-Air-of-LoRa-packets-wrt-payload-size-10-250-bytes-with-CR4-5-BW125KHz_fig1_332849296

<https://github.com/jordibinefa>

<https://docs.pycom.io/gettingstarted/programming/>

<https://github.com/xoseperez/>

<https://www.circuitbasics.com/basics-of-the-spi-communication-protocol/>

<https://www.luisllamas.es/>