

# Escola Universitària Politécnica de Mataró

Centre adscrit a:



UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA

**Grau en Enginyeria Informàtica**

## **AVALUACIÓ DE LA COMUNICACIÓ LORA EN LES WSN**

**Memòria**

**Laura Beltran**  
**PONENT: Pere Barberan**

TARDOR 2015



TecnoCampus  
Mataró-Maresme



## **Dedicatòria**

Als meus pares. Quan m'equivoco m'ajudeu, quan dubto m'aconselleu, gràcies per  
acompanyar-me i recolzar-me sempre.



## **Agraïments**

Als professors de l'EUPMT,

en especial al meu tutor en Pere Barberan, per guiar-me i donar-me suport, i  
a en Léonard Janer, gràcies als dos per pensar en mi en la proposta de projecte.

Als companys de viatge en aquest curs.

A l'Oriol Rius, pels seus consells al' inici d'aquesta etapa.

A en Josep López, pel seu suport sempre amb un somriure a les diferents proves.

Eugeni, gràcies per ser-hi.



## **Resum**

En el present projecte s'han avaluat mitjançant un estudi de camp, les prestacions de la comunicació per radiofreqüència amb LoRa més importants en les xarxes de sensors sense fils, com són l'autonomia, l'abast i temps de resposta.

S'ha implementat una interfície web per a la monitoratge de les dades de sensors obtingudes amb Waspote i el mòdul LoRa SX1272. Ha estat desenvolupat íntegrament per software i hardware lliure.

## **Resumen**

En el presente proyecto se han evaluado mediante un estudio de campo, las prestaciones de la comunicación por radiofrecuencia con LoRa más importantes en las redes de sensores inalámbricos, como la autonomía, el alcance y el tiempo de respuesta.

Se ha implementado una interfaz web para la monitorización de los datos de los sensores obtenidos con Waspote y el módulo LoRa SX1272. Ha sido desarrollado íntegramente con software y hardware libre.

## **Abstract**

In this project have been evaluated through a field study , the performance of radiofrequency communications more important in wireless sensor networks , such as autonomy , scope and response time LoRa .

It has implemented a Web interface to monitor the sensor data obtained with Waspote and SX1272 LoRa module . It has been developed entirely with free software and hardware.





# Índex.

Índex de figures.....	V
Índex de taules.....	VII
Glossari de termes. ....	IX
1. Objectius.....	1
1.1. Propòsit. ....	1
1.2. Finalitat. ....	1
1.3. Objecte. ....	1
2. Introducció a les xarxes de sensors sense fils. ....	3
2.1. Història de les WSN ....	3
2.2. Aplicacions. ....	4
2.3.1. Motes. ....	6
2.3.2. Microcontroladors. ....	6
2.3.3. Sensors. ....	7
2.3.4. Ràdio. ....	7
3. Protocols de comunicació i estàndards. ....	11
3.1. Zigbee. ....	11
3.2. Wifi 802.11. ....	11
3.3. Bluetooth.....	12
3.4. LoRa.....	12
3.5. Quadre Comparatiu. ....	13
4. Topologia.....	15
4.1. Comparativa topologia.....	15
4.2. Elecció hardware.....	17
4.3. Topologia final.....	18
5. Libelium. ....	19
5.1. Libelium.....	19
5.2. Waspnote. ....	20
5.2.1 Característiques tècniques. ....	20
5.2.2 Estructura del codi.....	22
5.2.3 Sistema d'energia. ....	23

5.3. Gateway.....	24
5.4. LoRa mòdul SX1272.....	24
5.4.1 Modulació LoRa(Modes).....	25
5.4.2 Power transmission .....	27
5.4.3 Estructura de paquets .....	28
5.5. Plaques de sensors .....	28
5.6. Sensors.....	30
6. Desenvolupament.....	31
6.1. Instal·lació.....	31
6.1.1. Fase 1. Connexió.....	31
6.1.2. Fase 2. Configuració Waspote .....	31
6.1.3. Fase 3 . Configuració Gateway .....	36
6.1.4. Fase 4. Proves de comunicació .....	38
6.2. Proves.....	40
6.2.1. Fase 1. Proves distància.....	40
6.2.2. Fase 2. Proves temps de resposta.....	54
6.2.3. Fase 3. Proves consum.....	56
6.3. Implementació i disseny de la plataforma.....	57
6.3.1. Fase 1. Lectura de dades del Gateway .....	58
6.3.2. Fase 2. Inserció de dades a la BBDD.....	59
6.3.3. Fase 3. Presentació de les dades en una plataforma web .....	60
6.4. Avaluació resultats .....	61
6.5. Problemes .....	61
7. Estudi econòmic .....	63
7.1. Cost del material .....	63
7.2. Costos de recursos humans.....	63
7.3. Amortització equips, instrumental i software.....	64
7.4. Despeses indirectes.....	65
7.5. Cost de fabricació del prototip.....	65
8. Conclusions.....	67
9. Referències.....	69
10. Annexos.....	71

10.1. Annex I. Contingut del CD-ROM..... 71



## Índex de figures.

Fig. 2. 1. Components d'una WSN. ....	5
Fig. 4. 1. Topologia final.....	18
Fig. 5. 1. Placa Waspote.....	21
Fig. 5. 2. I/O Sensors. ....	21
Fig. 5. 3. Connector I2C/UART auxiliar .....	22
Fig. 5. 4. Gateway.....	24
Fig. 5. 5. Plug & Sense. ....	29
Fig. 5. 6. Events Sensor Board. ....	29
Fig. 5. 7. Events Board Sockets.....	30
Fig. 6. 1. Muntatge del mòdul LoRa.....	31
Fig. 6. 2. Enllaç per descarregar l'IDE de Libelium. ....	32
Fig. 6. 3. Paquet de descàrrega de l'IDE de Libelium. ....	32
Fig. 6. 4. Lliberies necessàries.....	32
Fig. 6. 5. IDE Waspote. ....	33
Fig. 6. 6. IDE Waspote selecció placa.....	34
Fig. 6. 7. IDE Waspote selecció port.....	34
Fig. 6. 8. IDE Waspote exemples.....	35
Fig. 6. 9. Instal·lació Cutecom. ....	36
Fig. 6. 10. Paràmetres Cutecom.....	36
Fig. 6. 11. Codi "Hello World" Waspote IDE.....	39
Fig. 6. 12. Paquet rebut mostrat en el monitor serial.....	39
Fig. 6. 13. Mapa Mataró punts de proves distància.....	41
Fig. 6. 14. Relleu des de la localització del sensor fins el punt 3.....	43
Fig. 6. 15. Relleu des de la localització del sensor fins el punt 4.....	44

Fig. 6. 16. Elevació des de la localització del sensor fins el punt 6. ....	45
Fig. 6. 17. Gràfic paquets rebuts - Test 1 Mataró.....	45
Fig. 6. 18. Gràfic senyal RSSI - Test 1 Mataró.....	46
Fig. 6. 19. Mapa Mataró - NII Barcelona punts de proves.....	47
Fig. 6. 20. Relleu Mapa Mataró - NII Barcelona. ....	47
Fig. 6. 21. Gràfic paquets rebuts Test 2 Mataró - NII Barcelona.....	50
Fig. 6. 22. Gràfic senyal RSSI canal Test2 Mataró - NII Barcelona.....	51
Fig. 6. 23. Mapa Mataró - NII Girona punts de proves distància.....	51
Fig. 6. 24. Relleu Mapa Mataró - NII Girona. ....	52
Fig. 6. 25. Gràfic paquets rebuts Test 3 Mataró - NII Girona.....	53
Fig. 6. 26. Gràfic senyal RSSI canal Test3 Mataró - NII Girona.....	53
Fig. 6. 27. Gràfic Temps de resposta LoRa Modes.....	56
Fig. 6. 28. Topologia recull i presentació dades.....	57
Fig. 6. 29. Exemple codi lectura/escriptura port sèrie.....	58
Fig. 6. 30. PhPMyAdmin – Base de dades sensors.....	59
Fig. 6. 31. Homepage dades LoRa. ....	60
Fig. 6. 32. Resultats a l' interfície web.....	60

## Índex de taules.

Taula 3. 1. Quadre comparatiu tecnologies. ....	13
Taula 4. 1. Quadre comparatiu hardware Arduino – Waspote. ....	15
Taula 4. 2. Quadre comparatiu consum Arduino – Waspote. ....	16
Taula 4. 3. Quadre comparatiu preu Arduino - Waspote. ....	16
Taula 4. 4. Quadre comparatiu certificacions Arduino - Waspote. ....	16
Taula 4. 5. Quadre comparatiu preu Arduino - Waspote. ....	17
Taula. 5. 1. Modes de consum d'energia Waspote. ....	23
Taula. 5. 2. Canals de freqüència 863-870 Mhz. ....	25
Taula. 5. 3. Modes de transmissió LoRa. ....	26
Taula. 5. 4. Power Level LoRa. ....	27
Taula. 5. 5. Estructura de paquets. ....	28
Taula. 6. 1. Modes de transmissió LoRa per a les proves. ....	40
Taula. 6. 2. Resultats proves Mataró. ....	44
Taula. 6. 3. Resultats proves Mataró - NII Barcelona. ....	50
Taula. 6. 4. Resultats proves Mataró - NII Girona. ....	53
Taula. 6. 5. Temps de resposta modes LoRa. ....	55
Taula. 6. 6. Consum modes DeepSleep – Hibernate ....	57
Taula. 7. 1. Cost del manerial. ....	63
Taula. 7. 2. Costos recursos humans. ....	64
Taula. 7. 3. Amortitzacions. ....	64
Taula. 7. 4. Cost total del prototip. ....	65





## Glossari de termes.

BW	Bandwidth (Ample de banda)
CR	Coding Rate
COM	Communication Port
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
DSN	Distributed Sensors Network
dBm	Decibel-milivat
FTDI	Future Techbology Device International
IoT	Internet de les coses
IP	Internet Protocol
LoRa	Low Range
NLOS	Non Line of Sight
$\mu$ A	MicroAmperi
mA	MiliAmperi
PWM	Pulse width Modulation
RSSI	Received Signal Strenght Indicator
RTC	Real Time Clock
SF	Spreading Factor
SOSUS	Sound Surveillance System
SPI	Serial Pheriferal Interface

X

TCP            Transmission Control Protocol

WLAN         Wireless Local Area Network (Xarxa sense fils d'àrea Local)

WSN           Wireless Sensor Network (Xarxa de sensors sense fils)

# **1. Objectius.**

## **1.1. Propòsit.**

En el món de IoT i de la sensorització és necessari treballar amb entorns de baix consum, que permetin la realització de tasques en temps real i que permetin la connexió per a lectura i l'actuació sobre elements distribuïts, on la comunicació hagi de ser sense fils, i els aspectes de rendiment (consum i execució en temps real) siguin una condició. En aquest marc es proposa treballar amb el protocol LoRa.

## **1.2. Finalitat.**

Estudiar l'arquitectura i el funcionament de les xarxes de sensors sense fil. Avaluar les qualitats de la nova tecnologia de LoRa com a sistema de comunicació per radiofreqüència en les WSN.

## **1.3. Objecte.**

La plataforma utilitzada en aquest treball serà Waspote de Libelium, amb el mòdul LoRa SX1272, s'avaluaran paràmetres com la distància, el temps de resposta, el consum, i també les seves característiques tècniques, preus i suport tècnic.

Els resultats obtinguts dels sensors s'emmagatzemaran a una base de dades, i es mostraran en una plataforma web.



## **2. Introducció a les xarxes de sensors sense fils.**

En els últims anys les xarxes de sensors sense fils s'han convertit en la millor solució per al monitoratge del nostre entorn.

La solució que es busca en les WSN és configurar sistemes de recol·lecció i transmissió de dades en temps real amb dispositius intel·ligents, de fàcil instal·lació i manteniment, i de baix cost.

La comunicació per radiofreqüència és molt comú en les comunicacions sense fils. En aquest tipus de comunicació és necessari establir una freqüència entre l'emissor i el receptor per a comunicar-se, una de les més utilitzades en les WSN és la de 2,4Ghz. S'estableix una sincronització entre els dos dispositius, mitjançant una identificació perquè es puguin comunicar.

Els problemes més comuns són les distàncies entre els dispositius, el soroll en els canals a mode d'interferència, i els obstacles que puguin haver-hi entre emissor – receptor.

### **2.1. Història de les WSN**

L'origen de les WSN es troba en les aplicacions militars, **SOSUS** (Sound Surveillance System) la qual és considerada la primera xarxa de sensors, es tracta d'una xarxa de sensors acústics(hidròfons) submergits instal·lats a les costes de EEUU durant la Guerra Freda per a detectar submarins.

Actualment SOSUS és utilitzada per l'Administració Nacional d'Oceanografia i Atmosfera (NOAA) per al monitoratge de l'oceà, com esdeveniments sísmics, o seguiment d'algunes espècies animals.

L'any 1971 investigadors de l'equip de Norman Abramson de la Universitat de Hawai, varen crear **ALOHA**, la primera xarxa d'àrea local sense fils (WLAN), un sistema de commutació de paquets mitjançant una xarxa de comunicació per ràdio. Estava format per 7 ordinadors situats en diferents illes que es comunicaven a un ordinador central, i li feien peticions.

**ALOHA** es va connectar a Amèrica mitjançant **ARPANET**, una xarxa de computadores creada per al departament de defensa des EEUU.

L'investigació moderna de les WSN s'inicia l'any 1980 amb el projecte **Distributed Sensor Networks** (DSN) per l'Agència **DARPA** dels EEUU (Defense Advanced Research Projects Agency). En aquell moment ARPANET (predecessora d'Internet) disposava d'una xarxa de més de 200 hosts connectats en diferents universitats i centres d'investigació.

R.Khan co-inventor dels protocols TCP/IP i treballador de DARPA, volia traslladar el concepte de comunicació d'ARPANET a les xarxes de sensors, i es va continuar treballant en la millora de la comunicació d'aquestes xarxes, reduir mides dels sensors, abaratiment de costos i de consum.

Actualment i gràcies a l'evolució de la tecnologia aquests objectius es varen assolir i disposem de sensors autònoms, amb grans capacitats de comunicació i han anat creixent en els diferents àmbits d'aplicació.

## 2.2. Aplicacions.

L'àmbit de les WSN és un molt ampli, domòtica, automoció, salut, medi ambient, indústria, agricultura, militar, seguretat entre d'altres.

- **Domòtica:** Permet monitorar l'habitatge, control de llums, persianes, temperatura.
- **Automoció:** Supervisar de l'estat del tràfic, de càmeres que permeten informar de l'estat de les carreteres, en cas d'embús, d'accidents... aquesta informació pot arribar als vehicles per poder planificar rutes alternatives.
- **Salut:** Gràcies a l'avenç tecnològic que ha permès reduir la mida dels nodes sensors, es poden controlar les constants vitals d'una persona, com la pressió, les pulsacions, sucre en sang, etc.
- **Monitoratge del medi ambient:** l'anàlisi de factors com la temperatura, la humitat, foc, activitat sísmica, lluminositat... entre d'altres de grans terrenys permeten diagnosticar, controlar i fins i tot prevenir situacions d'emergència o qualsevol problema relacionat.

- **Agricultura:** El monitoratge d'espais oberts de plantacions pot millorar la qualitat del producte, control del reg, estalvi d'energia.
- **Militar:** Les aplicacions militars són les pioneres en l'ús de les WSN. Tenir informació en temps real de la situació permet el control i una presa de decisions amb coneixement real de la situació.

## 2.3. Arquitectura

Les xarxes de sensors sense fils estan formades per nodes sensors autònoms distribuïts de manera espacial per controlar cooperativament condicions físiques o mediambientals, com temperatura, so, vibració, pressió. La vida útil d'aquests nodes dependrà de la bateria que porti incorporada.

Els components d'una WSN són:

- Nodes sense fils (motes)
- Sensors
- Estacions base
- Porta d'enllaç (Gateway)

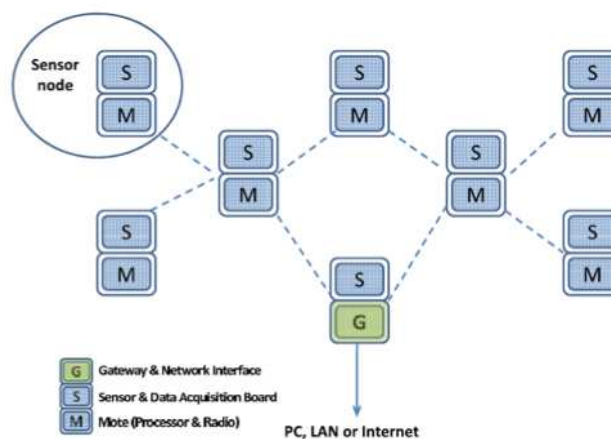


Fig. 2. 1. Components d'una WSN.

### 2.3.1. Motes.

A Cada node (mota) en una xarxa de sensors està equipat amb:

- Un sensor
- Un transmissor (o un dispositiu de comunicacions sense fil)
- Un petit microcontrolador: processa la informació que prové dels sensors
- Una font d'energia (generalment una bateria)
- Convertidor analògic/digital

Són capaços d'obtenir informació del seu entorn, processar-ho, i comunicar-ho a través d'enllaços sense fils fins a un node central.

### 2.3.2. Microcontroladors.

És el component que interpreta i processa les dades per transmetre-les a una altra estació . Existeixen molts fabricants de Microcontroladors com Intel, Motorola, Atmel, Ti, etc. En funció del tipus d'aplicació poden anar de 8 bits fins a 64bits.

Els de baix consum més utilitzats:

- **ARM7:** ARM família de microprocessadors RISC.
- **Atmel AVR:** Els AVR son una família de microcontroladors RISC de Atmel. És una CPU d'arquitectura **Harvard**. 32 registres de 8 bits.
- **Intel Xscale:** És un nucli de microprocessadors. La implementació de l'empresa Intel del processador de quinta generació de ARM.
- **Intel 8051:** desenvolupat per Intel l'any 1980 per a l'ús de sistemes "embeddeds". També té una arquitectura Harvard (existeixen espais d'adreces separats per codi i dades).
- **PIC:** Fabricats per Microchip Technology Inc. Són de la família RISC.
- **TI MSP430:** Desenvolupats per **Texas Instruments**. CPU de 16 bits. Útil per aplicacions de baix cost.



### 2.3.3. Sensors.

Un sensor és un dispositiu hardware que mesura una unitat física com temperatura, humitat, llum, soroll, pressió... Un cop té aquesta informació la converteix en un senyal analògic, que posteriorment és digitalitzat i enviat al microprocessador.

Gràcies als avenços tecnològics, cada cop són més petits i més eficients. Els paràmetres que hem de tenir en compte en els sensors són:

- Mida i cost (Mides i preus més reduïts)
- Consum d'energia
- Facilitat de sincronització
- Seguretat
- Capacitat de comunicació

### 2.3.4. Ràdio.

És el dispositiu de comunicació que permet enviar i rebre dades per la comunicació amb els altres dispositius. Normalment s'utilitzen freqüències entre 433Mhz i 2,4Ghz.

La banda ISM (Indústria, Científic, Mèdic) són bandes reservades internacionalment per a ús no comercial, l'ús d'aquestes bandes està obert sense necessitat de llicència. La banda de 2,4Ghz és utilitzada a tot el món, mentre que la 868MHZ s'utilitza únicament a Europa, i la de 915 MHz a Amèrica del Nord.

Una ona de ràdio és un senyal electromagnètic que envia informació a través de l'aire a llarga distància. La radiofreqüència és el mitjà més comú de transmissió de dades en les xarxes de sensors sense fils. Les característiques que hem de tenir en compte són:

- **Potència:** És la força o amplitud del senyal, com més alt és aquest indicador més potencia té . La unitat de mesura general és mW o dBm.

- **Freqüència:** És el número de vegades que el senyal es repeteix per segons. La unitat de mesura és Hz. La propagació d'un senyal amb una llarga freqüència és inferior a una de menys freqüència.

## 2.4. Avaluació paràmetres WSN

- **Temps de vida:** com els nodes s'alimenten en la majoria dels casos d'una bateria externa, una de les principals necessitats és reduir al màxim el consum d'energia. Durant el període que el node no està transmetent estarà en un estat de consum mínim, únicament tindrà més despesa en el moment d'enviar informació. Altres alternatives són les plaques solars, que es retroalimenten, l'únic problema és que no és aplicable a tots els àmbits de monitoratge.
- **Cobertura:** ampliant la distància en les cobertures dels nodes es redueix la quantitat de dispositius a utilitzar.
- **Cost:** l'oferta de motes pels diferents fabricants augmenta la competitivitat en el mercat repercutint en millors preus per l'adquisició de components per les WSN.
- **Facilitat d'instal·lació:** és un paràmetre a tenir en compte sobretot en ambients de difícil accés, o en xarxes on hi hagi una gran quantitat de nodes, sigui fàcil substituir i instal·lar noves motes.
- **Temps de resposta:** Les dades han d'arribar a destí en un període de temps definit.
- **Seguretat:** Les comunicacions sense fil viatgen per un medi de fàcil accés per altres persones. Això provoca un risc per la recollida de dades i pel bon funcionament de la xarxa. S'han de prendre mesures tant per protegir les dades, com per evitar que es puguin injectar dades a la xarxa.
- **Precisió:** La precisió de les dades rebudes és vital en molts àmbits, podent prevenir situacions de risc en temps real.

## 2.5. Problemes

- Problemes d'heterogeneïtat de hardware
- Incompatibilitat de SO
- Temps de vida de les bateries
- Node de fallada (condicions meteorològiques...)
- Consum
- Temps de resposta
- Cobertura
- Seguretat: Les transmissions poden ser interceptades

## 2.6. Topologies

- **Estrella/un salt:** tots els nodes són iguals. La informació enviada només fa un salt, de cada node a la porta d'enllaç.
- **Malla/Multihop:** Sistema multisalt. Cada node pot enviar i rebre informació de cada node. I la porta d'enllaç envia informació a cada node.
- **Estrella-malla/Clúster:** Simple i de baix consum, cobreix més abast i disposa d'una millora recuperació davant d'una fallada en el sistema. Crea una xarxa estrella al voltant del'encaminador.

**Protocols d'encaminament:** Han de garantir l'entrega de l' informació i utilitzar els recursos de manera eficient:

- **Centrat en dades:** Els nodes envien una informació i esperen rebre una petició dels interessats(flooding, gossiping, SPIN, Direct Fusion, acquire, card).
- **Jeràrquics:** Els nodes estan agrupats i es coordinen amb les tasques(LEACH,TEEN, APTEN, PEGASSIS).
- **Posició:** Transmeten segons la posició. La distància entre els nodes es mesura en funció del senyal(MECN, SMECN,GAF, GEAR).



### 3. Protocols de comunicació i estàndards.

Les xarxes de sensors sense fil poden utilitzar diferents tecnologies o estàndards per a la seva comunicació, entre les més utilitzades trobem Zigbee, Wifi, Bluetooth. Cada una d'elles dona solució i és més adient per diferents tipus de topologies i aplicacions.

#### 3.1. Zigbee.

**ZigBee** és una aliança sense ànim de lucre de 25 empreses, la majoria fabricants de semiconductors que defineixen un conjunt de protocols de comunicacions d'alt nivell que s'utilitzen per crear xarxes d'àrea personal, per aplicacions amb baix índex de dades i baix consum. Zigbee defineix protocols de comunicació sobre la subcapa MAC de l'estàndard basat en IEEE 802.15.4 per a LR-WPAN. Les comunicacions de Zigbee es realitzen en una banda lliure ISM de freqüència 2,4Gz a escala mundial, 868Mhz (Europa) i 915Mhz (Amèrica). La velocitat de transmissió és de 20kbps fins a 256kbps. I el nivell màxim de sensibilitat de -100 dBm.

Una xarxa Zigbee pot tenir fins a 65535 nodes dividits en subxarxes de 255 nodes.

Zigbee permet les topologies de xarxa basades en estrella, arbre i malla.

Els mòduls Xbee són dispositius que integren un transmissor – receptor de Zigbee i un processador en un mateix mòdul.

#### 3.2. Wifi 802.11.

Wifi és un conjunt d'estàndards bastats en les especificacions del IEEE802.11. Es va crear per les xarxes d'àrea local, és una de les tecnologies més utilitzades gràcies a la capacitat de connexió a Internet sense mitjans físics.

Wifi és una marca de **Wifi Alliance**, l'encarregat de certificar que els equips compleixen les especificacions IEEE802xx.

Existeixen diferents estàndards que treballen a diferents freqüències, 802.11a a 5Ghz, el 802.11b a 2,4Ghz. La velocitat de transmissió és de fins a 54Mbps. I el nivell màxim de sensibilitat és de -95 dBm.

La topologia de xarxa que permet és la d'estrella, i el nombre màxim de nodes és de 32.

### **3.3. Bluetooth.**

Es tracta d'un sistema molt popular en les xarxes de comunicacions basat en l'estàndard IEEE 802.15.1. La taxa de transmissió és de 1Mbps. Opera en la banda ISM a freqüència de 2,4 a 2,48Ghz, dividit en 79 freqüències de 1Mhz, per tal d'evitar les possibles interferències. La velocitat de transmissió és de 1Mbps. I el nivell màxim de sensibilitat és de -90 dBm.

La topologia de xarxa que permet és la d'estrella, i el nombre màxim de nodes és de 8.

### **3.4. LoRa.**

**LoRa Alliance** és una associació sense ànim de lucre que pretén estandarditzar les xarxes de sensors per a la implementació d'Internet de les Coses (IoT) en les diferents àrees d'aplicació impulsant el protocol (LoRaWAN).

La tecnologia Lora pot proporcionar connexió de ràdio de llarg abast per a diferents aplicacions a les xarxes de sensors. Disposa d'una bona sensibilitat de transmissió, baixa taxa de pèrdua de paquets, a més d'una bona penetració d'obstacles i això permet estalviar costos en repetidors o concentradors.

La freqüència és de 868 MHz (Europa) i 915 MHz (Amèrica) també està dissenyat per consumir menys corrent. El nivell màxim de sensibilitat de -137 dBm amb una potència de sortida màxima de 14 dBm.

La topologia de xarxa que permet és la d'estrella, i el nombre màxim de nodes és de 255.

L'empresa Libellium (Waspote) es va afegir a LoRa Alliance, i ha sigut un dels primers dissenyadors de mòduls LoRa, amb la creació del mòdul SX1272 Semtech de Lora, amb un abast de uns 30 km en espais oberts. Aquest mòdul també és compatible amb Arduino, RaspberryPi, Intel Galileo.

### 3.5. Quadre Comparatiu.

	Zigbee	Bluetooth	Wifi	LoRa
Nodes	65535 – subxarxes de 255	8	30	255
Consum	30 mA	40mA	400mA	0.055mA
Consum en repòs	3µA	200µA	20 000 µA	0.7µA
Velocitat (TX)	250kbps	1Mbps	Fins54Mbps	125-500kbps
Sensibilitat	-100dBm	-90dBm	-95dBm	-137dBm
Freqüència	2.4G / 868 Mhz / 915 Mhz	2,4G	2.4 – 5GHZ	868Mhz / 915Mhz
Cobertura	1-300m	1-10m	1-100m	22kms

Taula 3. 1. Quadre comparatiu tecnologies.

Zigbee ofereix la possibilitat de connexió de més topologies, i és molt utilitzada en àmbits domòtics i de control de sensors. Wifi és més utilitzat en aplicacions de Web, E-mail o vídeo. I Bluetooth donat la seva alta velocitat per a comunicacions mòbils.

En aquest quadre comparatiu podem veure que LoRa és la tecnologia de més baix consum, i que permet un major abast en les seves comunicacions.





## 4. Topologia

L'objectiu del projecte és treballar amb la tecnologia LoRa. L'empresa Libelium va llençar al mercat al novembre de l'any 2014 el mòdul SX1272 compatible amb les seves plaques "Waspote" però també amb Arduino, Raspberry i Intel Galileo.

Arduino i Waspote són plataformes compatibles en les xarxes de sensors i de hardware obert.

Per tal de decidir quina de les dues plaques s'utilitzaran es farà una comparativa de:

- Característiques tècniques
- Consum
- Preu
- Certificacions
- Suport tècnic

### 4.1. Comparativa topologia

**Comparativa hardware Arduino – Waspote:**

	<b>Arduino Uno</b>	<b>Waspote</b>
Microcontrolador	Atmega328	Atmega1281
I/O Digitals	14 – 6 sortida PWM	8
Entrades Analògiques	6	7
Memòria Flash	32KB	128kb
SRAM	2KB	8KB
EPR0M	1KB	4KB
PWM	6	1
Sensors integrats	NO	Temperatura/acceleròmetre

Taula 4. 1. Quadre comparatiu hardware Arduino – Waspote.

**Comparativa consum Arduino – Wasmote:**

	<b>Arduino Uno</b>	<b>Wasmote</b>
Consum	50mA	15mA
Consum Sleep	NO	55 $\mu$ A
Consum hibernate	NO	0.7 $\mu$ A

Taula 4. 2. Quadre comparatiu consum Arduino – Wasmote.

**Comparativa preus Arduino – Wasmote:**

	<b>Arduino Uno</b>	<b>Wasmote</b>
Mote	22€	147€
Multiprotocol	33€	
SX1272	45€	
Gateway	140€	140€
Battery 6600mAh	30€	30€
<b>TOTAL</b>	<b>270€</b>	<b>317€</b>

Taula 4. 3. Quadre comparatiu preu Arduino - Waspomote.

**Comparativa certificacions Arduino – Wasmote:**

	<b>Arduino Uno</b>	<b>Wasmote</b>
IDE	GPL	GPL
Lliberies	LGPL	LGPL
Certificacions Elèctriques	CE,FCC	CE,FCC,IC
Certificacions Radio	NO	CE,FCC,IC

Taula 4. 4. Quadre comparatiu certificacions Arduino - Wasmote.

### Comparativa suport tècnic Arduino – Waspnote:

	Arduino Uno	Waspnote
Comunitat	si	si
Fòrum	si	si
Suport tècnic	no	Telefònic, correu electrònic

Taula 4. 5. Quadre comparatiu preu Arduino - Waspnote.

Libelium disposa d'un fòrum en la seva pàgina web on els seus tècnics resolen dubtes i donen suport en breu temps. En el cas d'incidències que no es puguin resoldre en el fòrum també hi ha una comunicació via e-mail.

## 4.2. Elecció hardware

Totes dues plataformes són de distribució lliure. Pel que fa al preu i la comunitat la millor opció és Arduino. Waspnote és millor en consum, suport, hardware i certificacions.

Un dels factors importants en les WSN és el consum, Waspnote disposa de la possibilitat d'estat "sleep" i hibernació, que en Arduino no és possible. A més per les comunicacions de radiofreqüència és necessari un certificat de ràdio que Arduino no disposa.

Arduino disposa d'una gran comunitat d'usuaris i de suport tècnic bàsic, però per solucions professionals Waspnote disposa d'un equip tècnic de suport telefònic i per correu electrònic, a més del fòrum que també és gestionat per la mateixa empresa.

Waspnote disposa d'una àmplia gamma de components específics i sensors.

Pel fet que el mòdul de LoRa està implementat també per l'empresa Libelium, i la placa ja ve adaptada per la comunicació sense necessitat de multiprotocol, s'avaluarà aquesta tecnologia amb les plaques de Libelium.

### 4.3. Topologia final

La Topologia d'aquest projecte està formada per:

- 1 Wasmote Pro V2.1
- 1 Gateway Libelium
- 2 mòduls Lora SX1272868 Mhz
- 2 antenes 4.5 dBi
- 1 Placa de Sensors d'esdeveniments
- 1 Sensor de Lluminositat (LDR)
- 1 Sensor de Temperatura MCP9700A
- 1 bateria de Liti de 6600 mAh

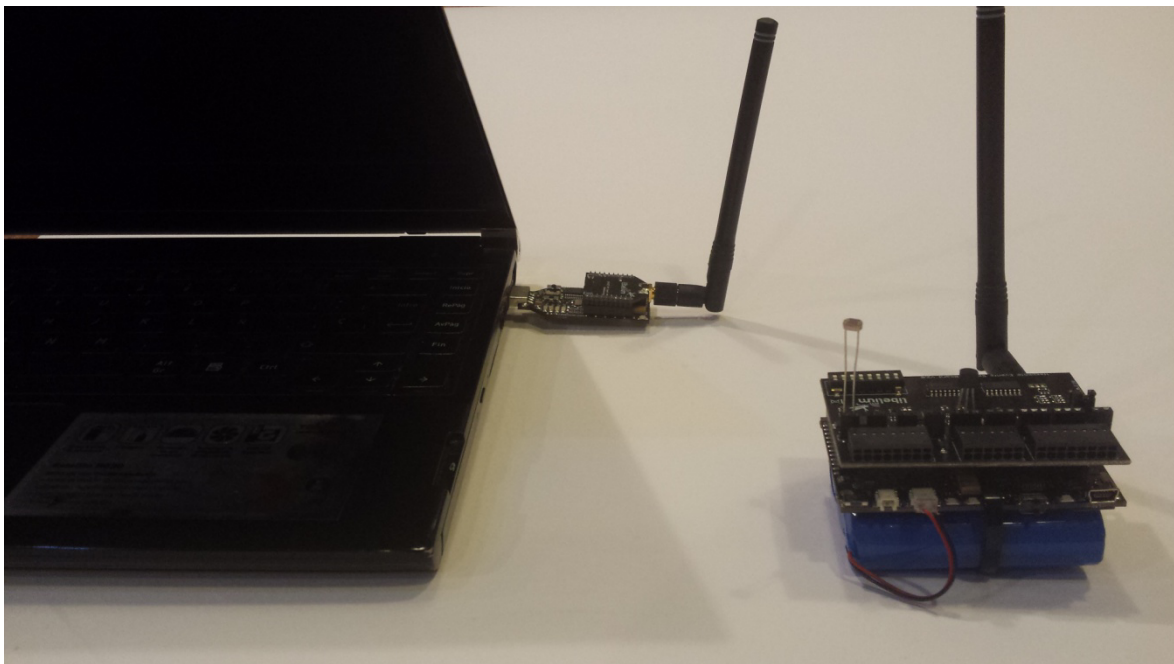


Fig. 4. 1. Topologia final.

## 5. Libelium.

En aquest capítol es fa una introducció a l'empresa Libelium, comercialitzadora de les plaques Waspnote que s'utilitzen en aquest projecte, i es descriuen els components i funcionament de la topologia utilitzada.

### 5.1. Libelium.

Libelium és una empresa que neix l'any 2006 com a “spin-off” de dos estudiants de la Universitat de Saragossa, David Gascón i Alicia Asín. És puntera en el disseny i desenvolupament de plaques i sensors de codi obert per a les WSN, solucions per a M2M i smart cities.

Libelium està ubicada en el Centre Europeu d'Empreses i Innovació d'Aragó (CEEI) a Saragossa. Comercialitza la seva tecnologia a 75 països, i disposa d'una xarxa de més de 2.000 desenvolupadors.

El nom de Libelium prové de la metàfora comparant el vol de les libèl·lules amb les tecnologies sense fils com Zigbee, LoRa, GPS... Les llibreries són OpenSource, i la plataforma està basada en el hardware d'Arduino. El mateix codi és compatible en les dues plataformes.

El principal producte de Libelium és **Waspnote**, una placa que integra un microcontrolador **Atmega 1281** basada en arquitectura modular. D'aquesta manera Waspnote pot integrar el mòdul necessari.

Els mòduls disponibles per a la comunicació són:

- GPS
- Bluetooth
- Wifi
- Zigbee
- 802.15.4
- LoRa

I també pot incorporar mòduls sensorials i la possibilitat d'integrar més de 70 sensors compatibles.

## 5.2. Waspote.

La primera versió de Waspote és de l'any 2009 (v1.1). Més de 2.000 desenvolupadors varen testear la plataforma i a través de la comunitat feien les seves avaluacions i propostes de millora. La versió actual de Waspote és la v1.2 i va sortir l'any 2013.

Quan es connecta Waspote s'executa el bootloader, que és l'encarregat de carregar els programes i llibreries que té a la memòria Flash (128kb). El temps d'espera és de (62,5ms) abans d'iniciar la primera instrucció. Durant aquest temps es pot carregar via USB un altre programa, el carregarà en memòria i començarà a executar-lo. En cas contrari continuarà amb el programa que tenia carregat.

### 5.2.1 Característiques tècniques.

- **Microcontroladors:** Atmega1281
- **Freqüència:** 14MHz
- **SRAM:** 8KB
- **EEPROM:** 4 KB (1 KB reservats)
- **FLASH:** 128KB
- **Targeta SD:** 2GB
- **Pes:** 20gr
- **Dimensions:** 73,5 x 51 x 13 mm
- **Rang de temperatura:** [-10°C, + 65°C]
- **Clock (RTC)** 32Khz

#### Inputs/Outputs:

- 7 Analog (I), 8 Digital (I/O), 1 PWM,
- 2 UART, 1 I2C, 1USB, 1SPI

#### Tipus de bateries auxiliar i càrrega:

- Voltatge Bateria: 3.3 V – 4.2V
- Voltatge USB : 5 V – 100mA
- Solar panel charging: 6 – 12 V – 280mA

**Sensors incorporats a la placa:**

- Temperatura (+/-): -40°C , +85°C. Accuracy: 0.25°C
- Acceleròmetre: ±2g/±4g/±8g . Indica les variacions d'acceleració en cada eix X,Y,Z

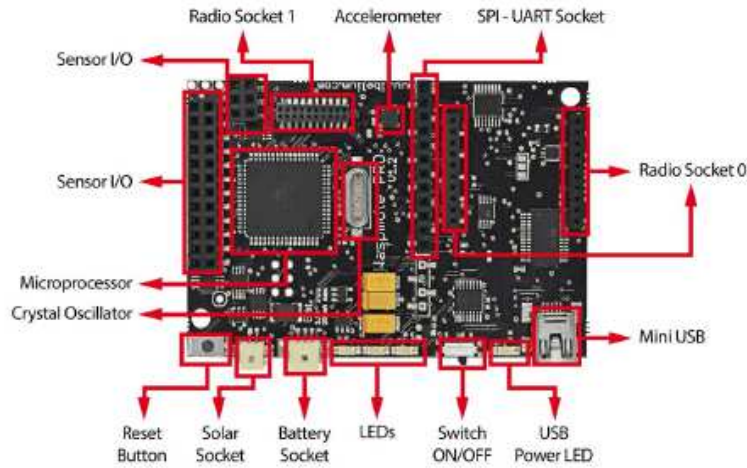


Fig. 5. 1. Placa Waspote

En el bus de l'esquerra hi ha els connectors de sensors d'entrada/sortida. Waspote té **7 entrades analògiques**. Cada entrada està directament connectada al microcontrolador. Aquest utilitza un convertidor analògic/digital. El valor màxim de tensió és de 3,3V.

Té **8 pins digitals** que poden ser utilitzats com entrada o sortida depenen de les necessitats de l'aplicació. Els seus valors lògics 0 i 1 corresponen a 0V i 3,3V respectivament.

Un senyal analògic pot ser simulat utilitzant el Pin digital 1 com a sortida PWM.

DIGITAL8	▪	▪	GND
DIGITAL6	▪	▪	DIGITAL7
DIGITAL4	▪	▪	DIGITAL5
DIGITAL2	▪	▪	DIGITAL3
RESERVED	▪	▪	DIGITAL1
ANALOG6	▪	▪	ANALOG7
ANALOG4	▪	▪	ANALOG5
ANALOG2	▪	▪	ANALOG3
SENSOR POWER	▪	▪	ANALOG1
GPS POWER	▪	▪	5V SENSOR POWER
SDA	▪	▪	SCL

Fig. 5. 2. I/O Sensors.

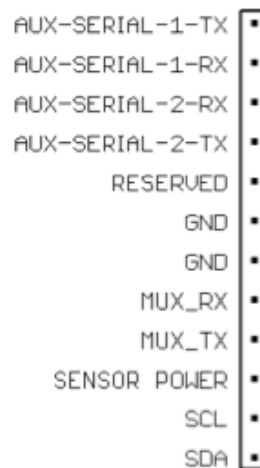


Fig. 5. 3. Connector I2C/UART auxiliar

En el bus de comunicació IC2 hi estan connectats tres dispositius en paral·lel; l'acceleròmetre, el RTC(Real Time Clock) i el potenciòmetre digital.

**RTC:** Real Time Clock. Wasmote disposa d'un rellotge intern que funciona a 32khz, això permet programar accions en temps real, també en temps absolut. Permet programar accions com canviar l'estat de la placa a mode "sleep" o "hibernate" i fer que es desperti en un moment determinat mitjançant l'ús d'interrupcions.

**WatchDog:** El microcontrolador Atmega 1281 disposa d'un WatchDog que compta els cicles de rellotge generats per un oscil·lador de 128Khz. Quan el comptador arriba al valor esperat genera una interrupció per despertar al microcontrolador d'un estat "Sleep".

### 5.2.2 Estructura del codi.

Primer s'inclouen les llibreries, i es declaren les variables globals. Després s'implementen els mètodes.

L'estructura de codi de Wasmote es divideix en dues parts "setup" i "loop". Les dues parts del codi tenen un comportament seqüencial, "Setup" és la primera part del codi, s'executa una única vegada quan s'inicialitza el programa. En aquesta part s'inicialitzen els mòduls.

El "loop" s'executa contínuament format així un bucle infinit. La funció del loop és mesurar i enviar informació. En aquesta part del codi també es controla l'estalvi d'energia.



### 5.2.3 Sistema d'energia.

Waspnote disposa de 4 modes de funcionament:

	Consum	Cicles	Tipus interrupcions
ON	9mA	-	Totes
SLEEP	62 $\mu$ A	23ms – 8s	Sensors i WatchDog
DEEP SLEEP	62 $\mu$ A	8s – minuts/hores/dies	Sensors i RTC
HIBERNATE	0,7 $\mu$ A	8s – minuts/hores/dies	RTC

Taula. 5. 1. Modes de consum d'energia Waspnote.

**On :** Mode de funcionament normal. Consum de 9mA.

**Sleep:** El consum és de 62 $\mu$ A, el programa en execució de Waspnote queda en pausa i el microcontrolador passa a un estat latent, però pot rebre interrupcions de sensors, o interrupcions síncrones generades per el **WatchDog**. Està recomanat per cicles de 32ms a 8s. El valor de les variables i dels registres en el moment de canviar l'estat a sleep es guarden en una pila, i es recuperen en el moment de tornar a mode ON.

**Deep Sleep:** Consum de 62 $\mu$ A, controlat pel RTC(Rellotge intern de Waspnote). El programa en execució de Waspnote s'atura, però pot rebre interrupcions de sensors. Està recomanat per cicles de més de 8s.

**Hibernate:** Consum 0,7 $\mu$ A. Tant el microcontrolador com els mòduls estan aturats, el RTC els desperta mitjançant alarmes internes. Recomanat per a cicles de més de 8 segons, especialment per a períodes d'inactivitat. En aquest mode no es guarden els valors de les variables ni dels registres, quan surt del mode d'hibernació el microcontrolador es reinicialitza.

Per un altre costat cada mòdul té fins a 3 modes de funcionament:

**On:** mode normal.

**Sleep:** Es detenen **algunes** funcionalitats del mòdul i passa a un ús asíncron, dirigit per esdeveniments.

**Hibernate:** Es detenen **totes** funcionalitats del mòdul i passa a un ús asíncron, dirigit per esdeveniments.

### 5.3. Gateway.

El Gateway és la porta d'enllaç entre el PC i la xarxa SX1272 de LoRa. El mòdul de LoRa utilitza el bus SPI (protocol SPI és un sistema de comunicació sèrie entre perifèrics), que permet una comunicació més ràpida. Ve amb una antena de 4.5dBi



Fig. 5. 4. Gateway.

Aquest mòdul permet recollir les dades en un PC o qualsevol dispositiu amb USB. Aquest dispositiu serà l'encarregat d'emmagatzemar tota la informació rebuda.

Libelium també comercialitza un router Linux Gateway "MeshLium", que fa de passarel·la de les dades dels sensors a una base de dades externa o interna i ho presenta en la pàgina web del router. Però aquesta solució té un preu d'entre 600 a 1200€. El preu d'un router LoRa és de 620€.

### 5.4. LoRa mòdul SX1272.

LoRa ha estat desenvolupat per la companyia SEMTECH. L'empresa Libelium va treure al mercat al novembre de 2014 el mòdul LoRa SX1272, i està disponible en dues freqüències:

- 863-870 Mhz (Europa) amb 8 canals
- 902-928 Mhz(US) amb 13 canals

Canal	Freqüència
10	865.20 MHz
11	865.50 MHz
12	865.80 MHz
13	866.10 MHz
14	866.40 MHz
15	866.70 MHz
16	867 MHz
17	868 MHz

Taula. 5. 2. Canals de freqüència 863-870 Mhz.

Tant la freqüència Europea com la dels EEUU tenen una sensibilitat de -134 dbm, i 14 dBm de transmissió respectivament, i amb una distància de 22km.

Per poder treballar amb LoRa en el IDE de wpmote hem d'incloure la llibreria:

```
#include <WaspSX1272.h>
```

I després inicialitzar el mòdul LoRa:

```
// inicialitzem SX1272 mòdul i obrim la comunicació SPI
```

```
sx1272.ON();
```

### 5.4.1 Modulació LoRa(Modes)

En la API de Wasmote estan predefinits diferents modes de comunicació amb LoRa, els paràmetres que es configuren per obtenir aquests modes són:

- Bandwidth (BW)
- Coding Rate (CR)
- Spreading Factor (SF)

Amb aquests tres paràmetres podem definir la transmissió dels paquets.

Hi ha definits **10 modes** que combinen aquests tres valors en funció de la necessitat de la nostra xarxa, com és la prioritat del consum, fiabilitat, abast...

MODE	BW	CR	SF	Sensibilitat
1	125	4/5	12	-134
2	250	4/5	12	-131
3	125	4/5	10	-129
4	500	4/5	12	-128
5	250	4/5	10	-126
6	500	4/5	11	-125,5
7	250	4/5	9	-123
8	500	4/5	9	-120
9	500	4/5	8	-117
10	500	4/5	7	-114

Taula. 5. 3. Modes de transmissió LoRa.

Per iniciar qualsevol d'aquests modes des del codi del programa:

```
// Set Mode 2
```

```
e = sx1272.setMode(2);
```

```
USB.print(F("Setting Mode '2'.\t\t state "));
```

Carreguem l'SketchBook, i queda configurat el Mode2 amb els següents valors:

BW=250 CR=4,5 SF=12

També es poden modificar aquests valors de manera manual, sense utilitzar els modes.

- **Bandwidth (BW)** o Amplada de Banda.

Aquest valor defineix quin el tipus és l'ample de transmissió.

Existeixen tres paràmetres: 125Khz, 250 Khz i 500 Khz. Si volem donar prioritat al temps, seleccionem 500 Khz, però si necessitem més abast, serà de 125. Commenor sigui aquest valor, més temps estarà transmetent i millora la sensibilitat, però en necessitar més temps també tindrà un major consum.

Per modificar aquest valor de manera manual:

```
// Set Amplada de banda
```

```
e = sx1272.setBW(BW_250);
```

- **Coding Rate (CR)**

És el valor de la Taxa de codificació, ofereix 4 possibilitats 4/5, 4/6, 4/7 and 4/8, 4 bits seran utilitzats pels valors 5,6,7 o 8. El més petit 4/8 tindrà un temps de transmissió més elevat, però facilitarà la recepció del paquet.

Per modificar aquest valor:

```
// Set Code Rate
```

```
e = sx1272.setCR(CR_7);
```

- **Spreading Factor (SF) Factor d'eixamplament.**

En el factor de difusió, el seu valor varia entre 6 i 12. És el número de chips per símbol que utilitza en el tractament de dades abans de la transmissió. Com més elevat és aquest valor, menys soroll hi haurà en les comunicacions.

```
// Set Spreading Factor
```

```
e = sx1272.setSF(SF_7);
```

### 5.4.2 Power transmission

És el nivell d'energia. Els valors possibles són Low, High i Max. Els valors s'expressen en dBm, i es converteixen a mW amb la fórmula:  $mW = 10^{(value\ dBm/10)}$ . El màxim valor per a la transmissió és de 14dB.

Paràmetre	Power Level
L(low)	0dBm
H(hight)	7 dBm
M(max)	14 dBm

Taula. 5. 4. Power Level LoRa.

### 5.4.3 Estructura de paquets

Cada node és identificat de forma única dins de la xarxa de sensors, quan s'inicia el mòdul de LoRa és necessari assignar el valor de l'adreça. El node 0 és l'adreça broadcast, i el node 1 és el central. Per tant, els altres nodes utilitzaran les adreces de 2 fins a 255.

- Dst: Adreça del node receptor.
- Src: Adreça del node emissor.
- PackNumber: Número de paquet. Comença en el 0 i finalitza en el 255, i torna a començar.
- Lenght: Mida del paquet.
- Data: Dades enviades en el paquet
- Retry: Nombre de reintents, normalment el valor és 0. Només s'inicialitza pel sistema en el cas que es produeixin reintents.

Destí	Source	NumPacket	Mida	Dades	Reintents
1 Byte	1 Byte	1 Byte	1 Byte	Variable	1 Byte

Taula. 5. 5. Estructura de paquets.

### 5.5. Plaques de sensors

Libelium comercialitza equipaments "Plug&Sense" compostos per una carcassa resistent a l'aigua, amb presses externes per connectar els sensors, Usb, el panell solar i antena.

Són compatibles amb les diferents tecnologies (Lora, Xbee, Wifi, GPS), el preu és d'entre 450 a 600€ aproximadament, preu al qual afegir els sensors que es vulguin instal·lar, com a màxim 6 per dispositiu.

### Choosing your Plug & Sense! model

Smart Environment	Smart Agriculture	Smart Agriculture PRO	Smart Metering	Smart Security	Ambient Control
					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperature</li> <li>- Humidity</li> <li>- Atmospheric pressure</li> <li>- CO</li> <li>- CO<sub>2</sub></li> <li>- O<sub>2</sub></li> <li>- CH<sub>4</sub></li> <li>- NH<sub>3</sub></li> <li>- NO<sub>2</sub></li> <li>- O<sub>3</sub></li> <li>- Volatile Organic Compounds</li> <li>- Liquefied petroleum gases</li> <li>- Air pollutants - I</li> <li>- Air pollutants - II</li> <li>- Solvent vapors</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperature + Humidity (Sensirion)</li> <li>- Atmospheric pressure</li> <li>- Anemometer + Wind vane + Pluviometer</li> <li>- Soil moisture (1.5 m) / (4.5 m) / (8 m)</li> <li>- Leaf wetness</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperature</li> <li>- Soil / Water temperature</li> <li>- Solar radiation</li> <li>- Trunk diameter</li> <li>- Stem diameter</li> <li>- Fruit diameter</li> <li>- Temperature + Humidity (Sensirion)</li> <li>- Soil moisture (1.5 m)/(4.5 m)/(8 m)</li> <li>- Leaf wetness</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperature</li> <li>- Humidity</li> <li>- Luminosity (LDR)</li> <li>- Current 0 - 100A</li> <li>- Ultrasound (outdoor IP67)</li> <li>- Water flow 0,15-2,5 l/min</li> <li>- Water flow 0,5-25 l/min</li> <li>- Water flow 1-60 l/min</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperature + Humidity (Sensirion)</li> <li>- Luminosity (LDR)</li> <li>- Presence (PIR)</li> <li>- Horizontal liquid level (water / combustibles)</li> <li>- Water leakage (point / line)</li> <li>- Hall effect</li> <li>- Water flow 0,15-2,5 l/min</li> <li>- Water flow 0,5-25 l/min</li> <li>- Water flow 1-60 l/min</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperature + Humidity (Sensirion)</li> <li>- Luminosity (LDR)</li> <li>- Luminosity (Luxes accuracy)</li> </ul>

Fig. 5. 5. Plug & Sense.

I també es poden trobar les plaques de sensors, connectades a Wasp mote a un preu més econòmic que varia entre 60 i 225€:

- Gases Board 2.0
- Events Board 2.0
- Agriculture Board 2.0
- Smart Metering 2.0
- Smart Cities Board 2.0
- Smart Parking Board 2.0
- Radiation Board 2.0

En aquest projecte la placa utilitzada es Events Board:

EVENTS	APPLICATIONS	SENSORS
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Security</b> Hall effect (doors and windows), person detection PIR</li> <li>• <b>Emergencies</b> Presence detection and water level sensors, temperature</li> <li>• <b>Control of goods in logistics</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pressure/Weight</li> <li>• Bend</li> <li>• Hall Effect</li> <li>• Temperature (+/-)</li> <li>• Liquid Presence</li> <li>• Liquid Level</li> <li>• Liquid flow</li> <li>• Luminosity</li> <li>• Presence (PIR)</li> <li>• Stretch</li> </ul>

Fig. 5. 6. Events Sensor Board.

## 5.6. Sensors

Libelium disposa de més de 60 sensors compatibles. Amb la “Events Board” es poden connectar 10 sensors diferents. Els sensors es connecten en els sockets.

En aquest projecte se n'utilitzaran dos:

- Sensor de Temperatura (MCP9700A) És un sensor analògic que ha d'anar connectat en els sockets 5 o 6
- Sensor de Lluminitat (LDR) Varia en funció de la intensitat de la llum rebuda en la part fotosensible. Ha d'estar situat en els sockets 1,2 o 3. 1 per a mesuraments amb poca llum, 2 o 3 pels mesuraments amb alta lluminositat.

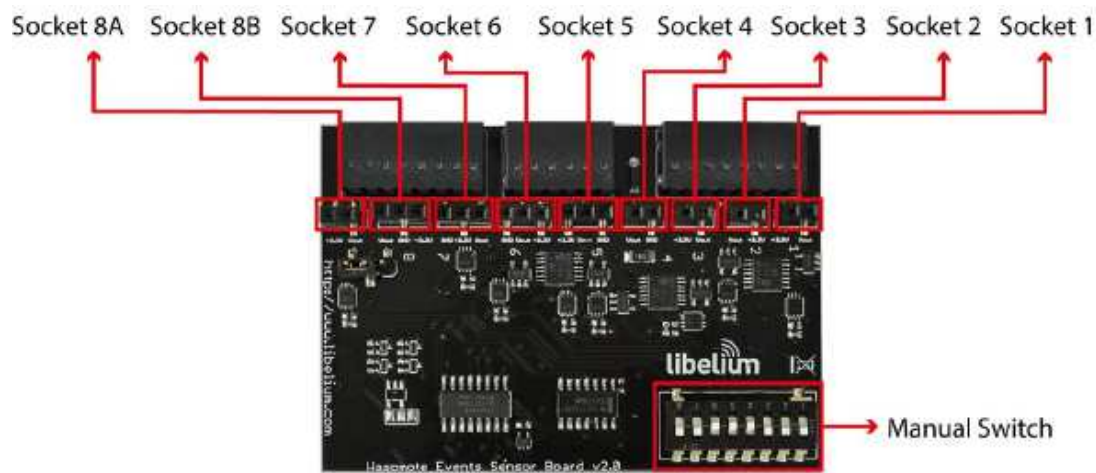


Fig. 5. 7. Events Board Sockets.



## 6. Desenvolupament.

Tota la implementació del projecte es realitzarà amb Software lliure. En aquest capítol es detallarà l'equipament utilitzat tant pel que fa a hardware com les tecnologies utilitzades.

La primera part resumeix la configuració de la topologia, la segona part les proves de camp realitzades, i la tercera part la implementació d'una interfície web amb la base de dades dels sensors.

### 6.1. Instal·lació.

En aquest capítol es connectarà la topologia i s'explicarà com ha estat configurada cada part. La implementació es realitzarà amb un Portàtil Toshiba Satellite R630 i5, amb el sistema operatiu Ubuntu 14.04 LTS i per a la captura de dades serial del Gateway s'utilitzarà Cutecom.

#### 6.1.1. Fase 1. Connexió

- Es connecten les antenes als mòduls LoRa SX1272.
- Es connecta un mòdul LoRa a Waspomote en el socket0.
- Es connecta la bateria a Waspomote.
- Es connecta un mòdul LoRa al Gateway.

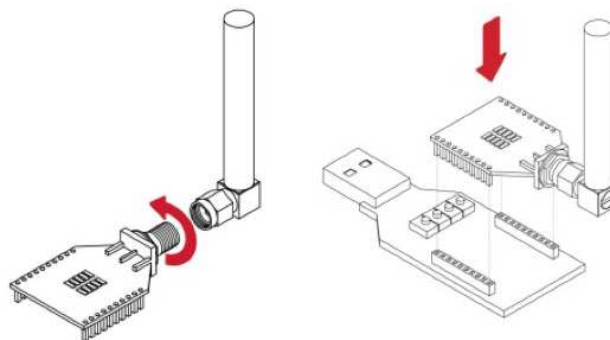


Fig. 6. 1. Muntatge del mòdul LoRa.

#### 6.1.2. Fase 2. Configuració Waspomote

Instal·lació del IDE: Per començar a treballar ens hem de descarregar el IDE de Libelium de la seva pàgina web: [http://www.libelium.com/development/waspomote/sdk\\_applications](http://www.libelium.com/development/waspomote/sdk_applications)

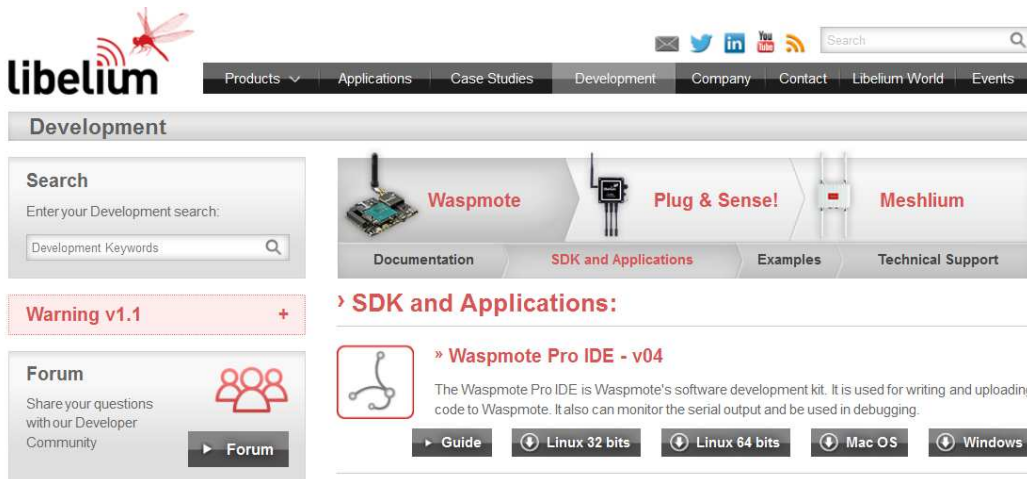


Fig. 6. 2. Enllaç per descarregar l'IDE de Libelium.

L'IDE està disponible per Linux, Windows i MAC

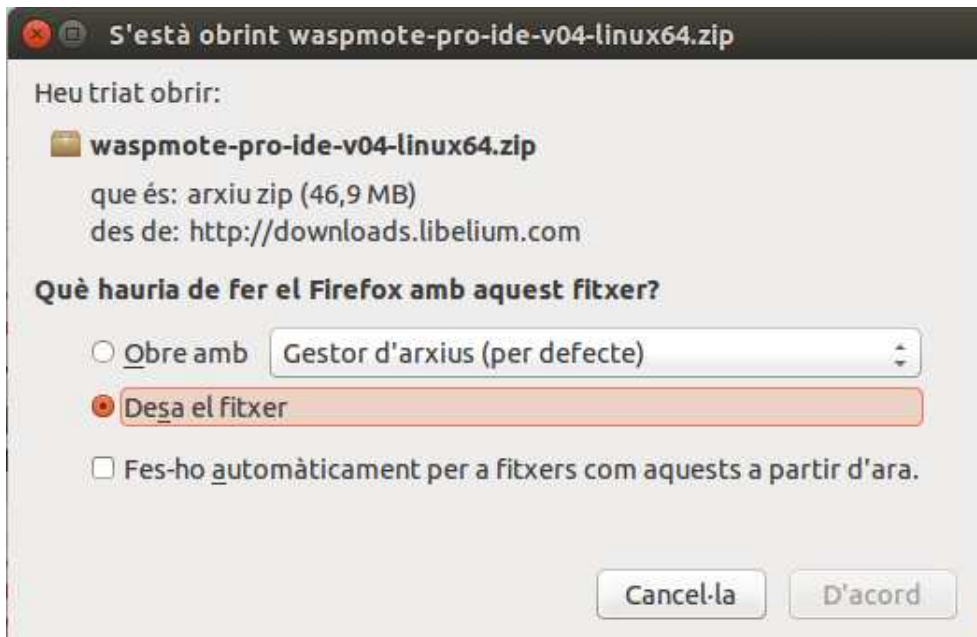


Fig. 6. 3. Paquet de descàrrega de l'IDE de Libelium.

Si no es tenen instal·lades, serà necessari l'Entorn Java, el compilador AVR-GCC i la llibreria lib-avc.

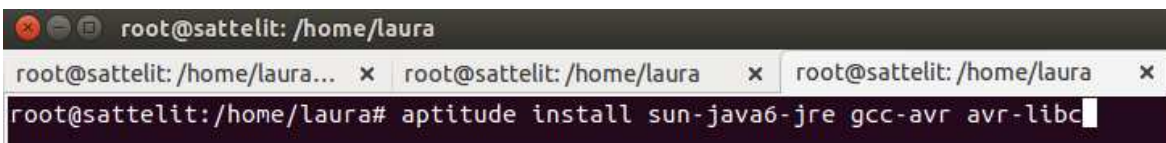


Fig. 6. 4. Lliberies necessàries.

IDE de Wasmote, la interfície és molt semblant a Arduino.

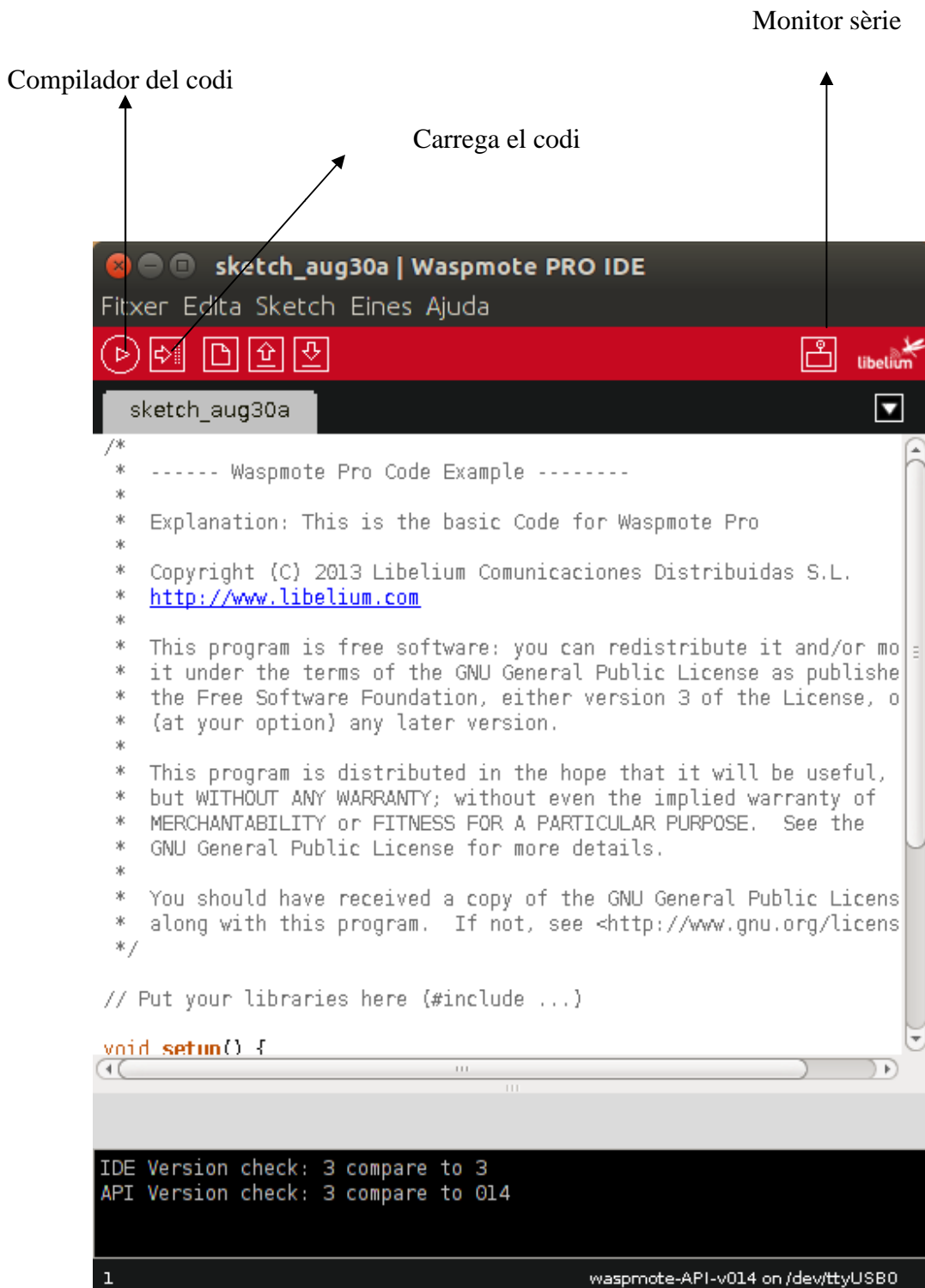


Fig. 6. 5. IDE Wasmote.

Es selecciona la placa, i el port sèrie on hem connectat el node:



Fig. 6. 6. IDE Waspote selecció placa.

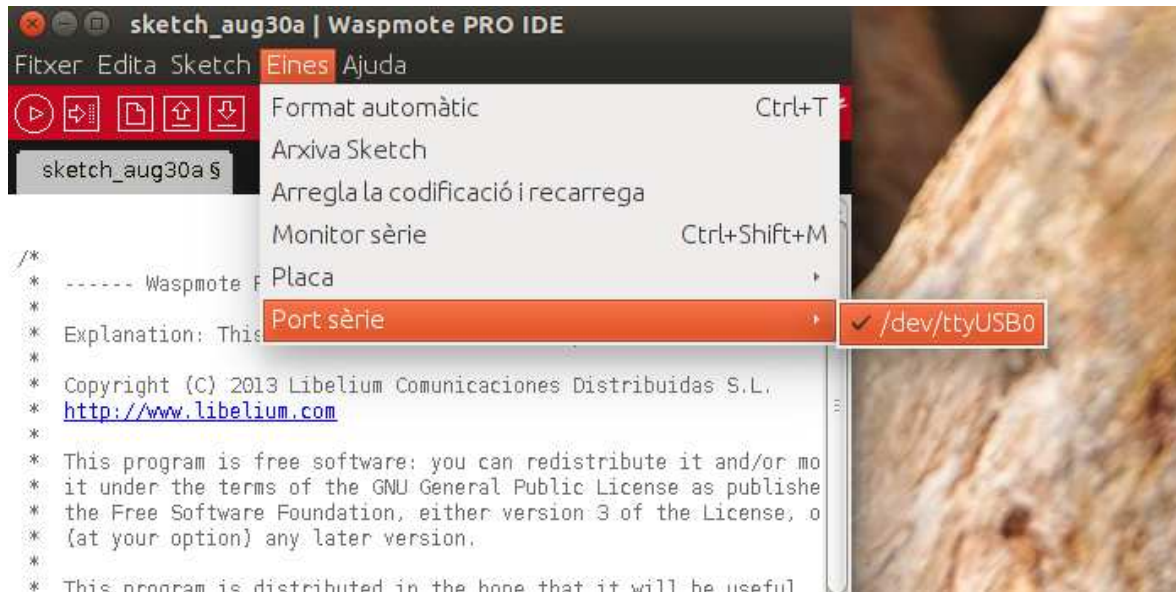


Fig. 6. 7. IDE Waspote selecció port.

En el IDE hi han diferents exemples per poder provar la comunicació i el funcionament:

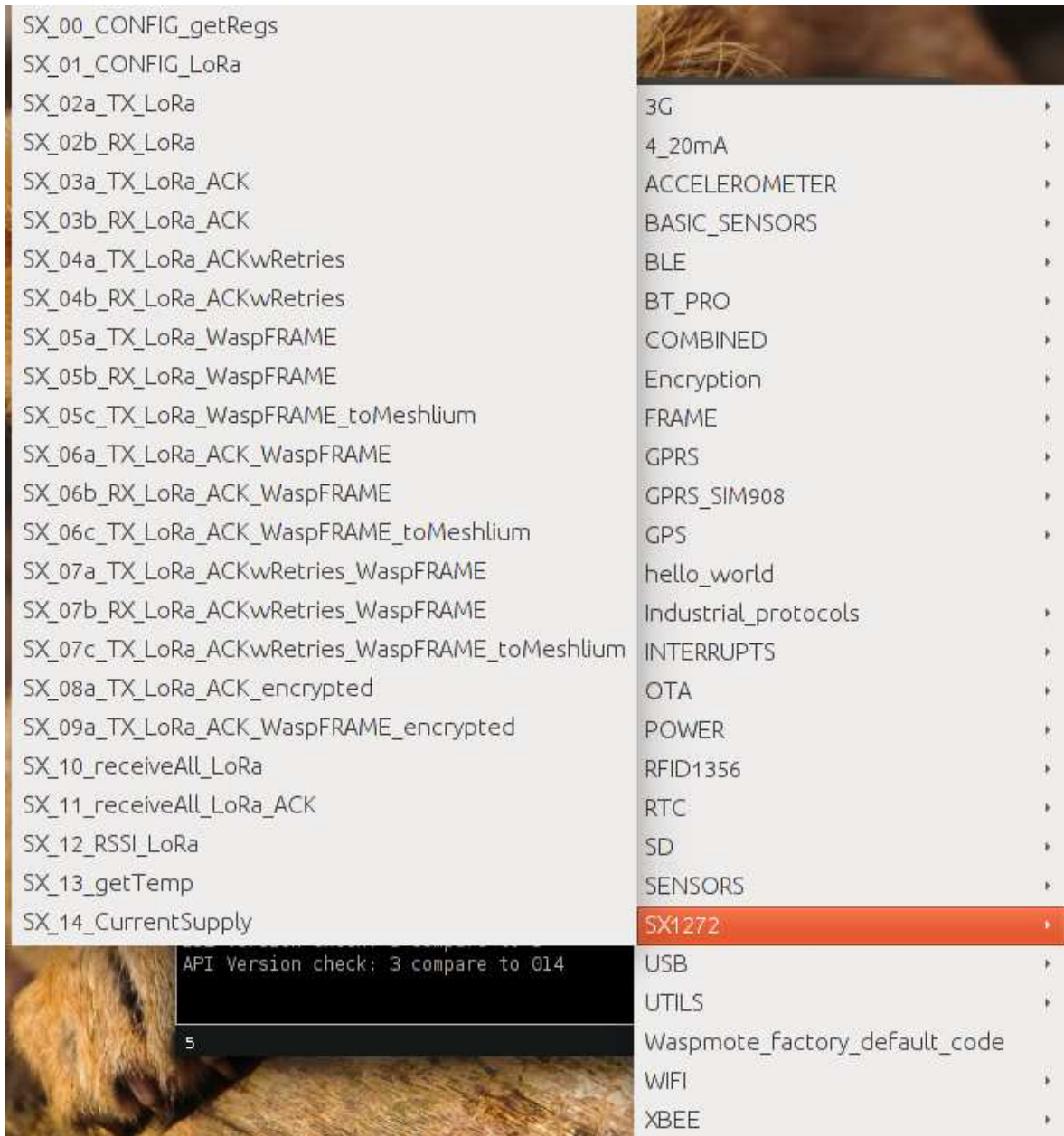
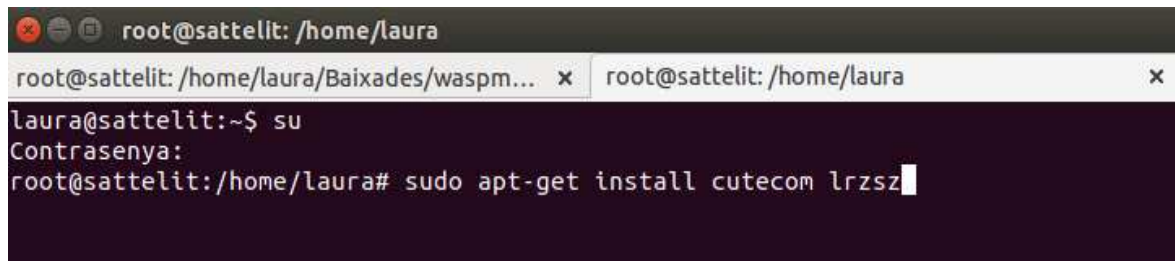


Fig. 6. 8. IDE Waspmote exemples.

### 6.1.3. Fase 3 . Configuració Gateway

Un cop tenim correctament instal·lat el IDE, i connectada la placa Wasmote, el següent pas és la instal·lació del software pel Gateway. Connectem el Gateway per USB al nostre PC.



```
root@sattelit: /home/laura
root@sattelit: /home/laura/Baixades/waspm... x root@sattelit: /home/laura x
laura@sattelit:~$ su
Contrasenya:
root@sattelit:/home/laura# sudo apt-get install cutecom lrzsz
```

Fig. 6. 9. Instal·lació Cutecom.

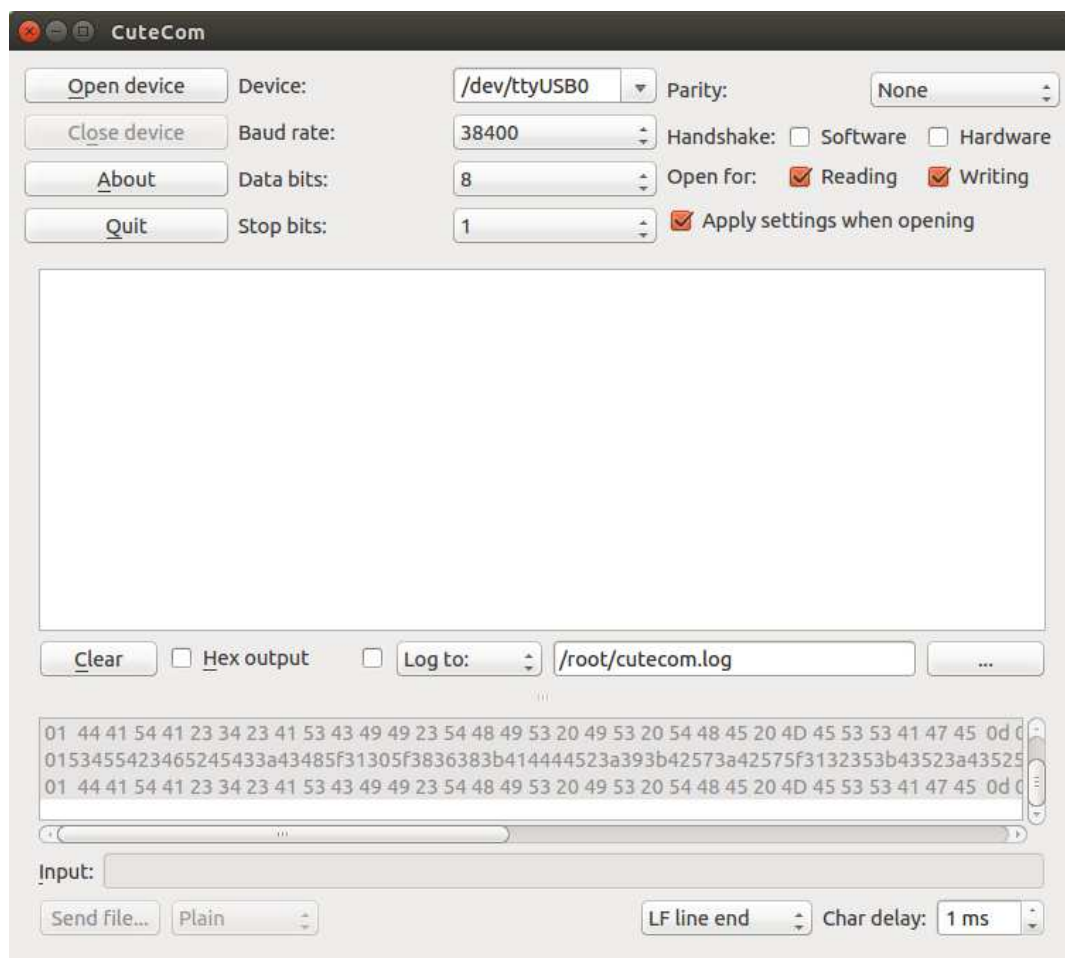


Fig. 6. 10. Paràmetres Cutecom.

Per configurar el Gateway ho fem amb CUTECOM amb els següents paràmetres:

- Baudrate: 38400
- 8 Data bits
- No parity
- 1 Stop bit

Les comandes que utilitza el Gateway són:

- READ: Obté la informació actual de la configuració.
- SET: Canvia la configuració
- INFO: Confirma la configuració aplicada
- DATA: Enviar dades a un altre dispositiu
- ERROR: Informa d'un error
- ACK: Confirma que un missatge ha estat enviat

S'ha de calcular el valor de la instrucció en hexadecimal, i s'afegeix el codi CRC16-Modbus corresponent a la instrucció.

- **Codi per escriure la configuració en el nostre Gateway**

```
[SOH]SET#FREC:CH_10_868;ADDR:9;BW:BW_125;CR:CR_5;SF:SF_12[CR+LF]CR  
C-16Modbus[EOT]
```

El codi en hexadecimal

```
és:0153455423465245433a43485f31305f3836383b414444523a393b42573a42575f313235  
3b43523a43525f353b53463a53465f31320d0a3930353304
```

Amb aquesta instrucció hem configurat:

- Canal CH\_10\_868
- Adreça del node 9
- Ample de banda 125
- CR 5
- SF 12

Un cop executem aquesta comanda, el mòdul intentarà configurar aquests paràmetres, i ens respondrà amb un Frame INFO, confirmant les dades de la configuració.

**INFO#FREC:CH\_10\_868;ADDR:9;BW:BW\_125;CR:CR\_5;SF:SF\_12**

Si aquest pas no es pot configurar, rebrem un missatge d'ERROR i la configuració continuarà la que tenia per defecte.

- **Codi per llegir la configuració:**

**[SOH]READ[CR+LF]2A31[EOT]**

El codi en hexadecimal és: 01 52 45 41 44 0D 0A 32 41 33 31 04

Retorna el valor de la configuració anterior

- **Codi per llegir enviar una petició de dades del Gateway a Wasmote:**

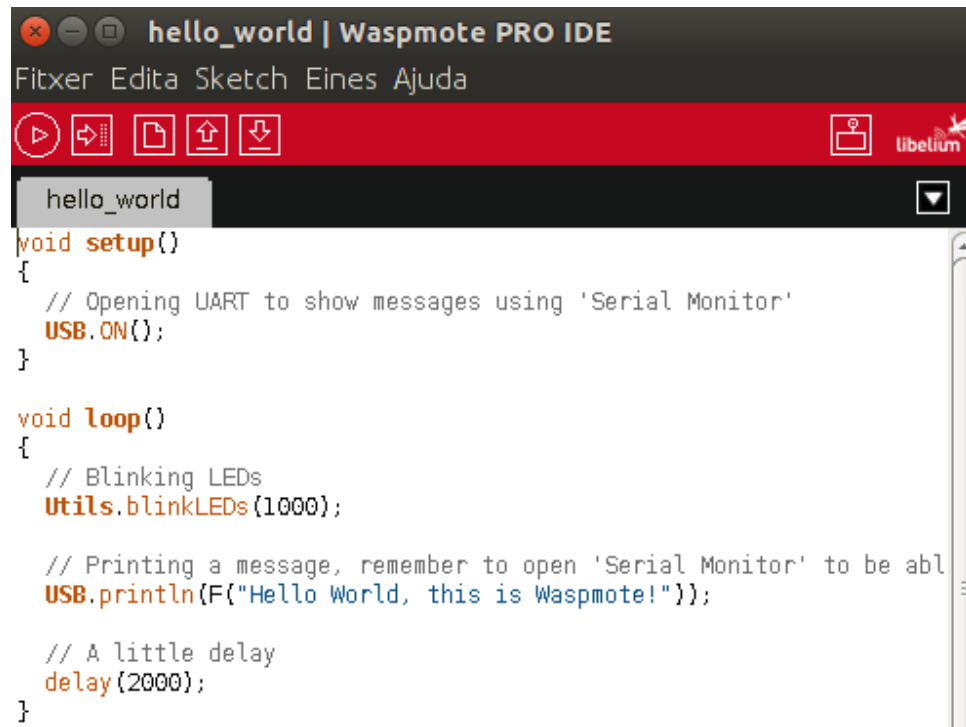
**SEND DATA[SOH]DATA#4#ASCII#THIS IS THE MESSAGE[CR+LF]xxx[EOT]**

Codi hexadecimal: 01 44 41 54 41 23 **34** 23 41 53 43 49 49 23 54 48 49 53 20 49 53 20 54 48 45 20 4D 45 53 53 41 47 45 0d 0a 35 33 44 34 04

#### **6.1.4. Fase 4. Proves de comunicació**

Ara s'hi ha de comprovar la comunicació de Wasmote, per fer-ho s'executa un codi, en aquest cas el codi de prova de "Hello World", aquest exemple es pot trobar la carpeta d'exemples de l'IDE de Libelium. Un cop compilat i carregat el codi, premem el botó de "Monitor sèrie", a dalt a la dreta, i s'obrirà la finestra amb les dades que està enviant Wasmote, tal com es veu en la figura "Fig. 6.12".





```
hello_world | Waspnote PRO IDE
Fitxer Edita Sketch Eines Ajuda

hello_world
void setup()
{
  // Opening UART to show messages using 'Serial Monitor'
  USB.ON();
}

void loop()
{
  // Blinking LEDs
  Utils.blinkLEDs(1000);

  // Printing a message, remember to open 'Serial Monitor' to be abl
  USB.println(F("Hello World, this is Waspnote!"));

  // A little delay
  delay(2000);
}
```

Fig. 6. 11. Codi "Hello World" Waspnote IDE.

Obrim el monitor sèrie per veure el resultat:



```
/dev/ttyUSB0
Envia
E#
Hello World, this is Waspnote!
Hello World, this is Waspnote!
Desplaçament automàtic Sense salts de línia 115200 baud
```

Fig. 6. 12. Paquet rebut mostrat en el monitor serial.

## 6.2. Proves.

En aquest capítol es realitzaran les proves de camp per avaluar les prestacions de la comunicació amb LoRa.

Es realitzen en tres fases:

- Fase 1: Es pretén avaluar l'abast, s'analitzaran les distàncies aconseguides mitjançant tres tests amb diferents distàncies i obstacles, i també sense obstacles, amb diferents configuracions de la modulació.
- Fase 2: s'obtidran resultats del temps de resposta amb totes les possibilitats de configuracions de la modulació de LoRa.
- Fase 3: Estudi del consum, en els diferents mètodes d'estalvi d'energia.

### 6.2.1. Fase 1. Proves distància.

Per testejar, utilitzarem els modes 1, 3, 6 i 9 amb la configuració predefinida que es mostra en el següent quadre.

De les 10 possibilitats de modulació s'han triat aquests modes, donat que l'objectiu d'aquesta fase és la distància, segons el quadre general de modulació, el Mode 1 és el que ofereix una major distància i es va reduint de forma descendent fins al Mode 10, que és el que menys cobertura ofereix. Per tant amb aquests 4 modes s'hauria de visualitzar la diferència de distància de més a menys.

MODE	BW	CR	SF	Sensibilitat
1	125	4/5	12	-134
3	125	4/5	10	-129
6	500	4/5	11	-125,5
9	500	4/5	8	-117

Taula. 6. 1. Modes de transmissió LoRa per a les proves.

Es realitzaran 30 peticions per punt, on s'avaluaran tres paràmetres:

- **RSSI del canal.** El valor actual de la intensitat del senyal. Informa del nivell en cada moment. Un valor negatiu més baix indica un millor enllaç en la comunicació.

El mòdul SX1272 ofereix una sensibilitat del RSSI de fins a -134 dBm en el Mode 1, i -117 en el Mode 9, això indica que el primer té una major cobertura. A mesura que ens anem aproximant a aquests valors en les diferents peticions existeix la possibilitat de pèrdua de paquets parcials o totals.

Per obtenir-lo utilitzem la funció: - `sx1272.getRSSI()`;

- **RSSI del packet.** Intensitat del senyal rebut en el últim paquet rebut.

Per obtenir-lo utilitzem la funció: - `sx1272.getRSSIpacket()`;

- **SNR.** Relació senyal – soroll. El mòdul de LoRa pot rebre fins a -20dB. Un valor més alt indica millor comunicació, i més baix interferències en el senyal.

Per obtenir-lo utilitzem la funció: - `sx1272.getSNR()`;

També s'inclouran els resultats dels paquets que han arribat al seu destí i els que s'han perdut pel camí. En aquestes proves s'estudiarà el senyal en entorns oberts (amb línia de visió), i també dins de la ciutat de Mataró (sense línia de visió).

### Test 1: sense línia de visió (NLOS) - ciutat de Mataró:

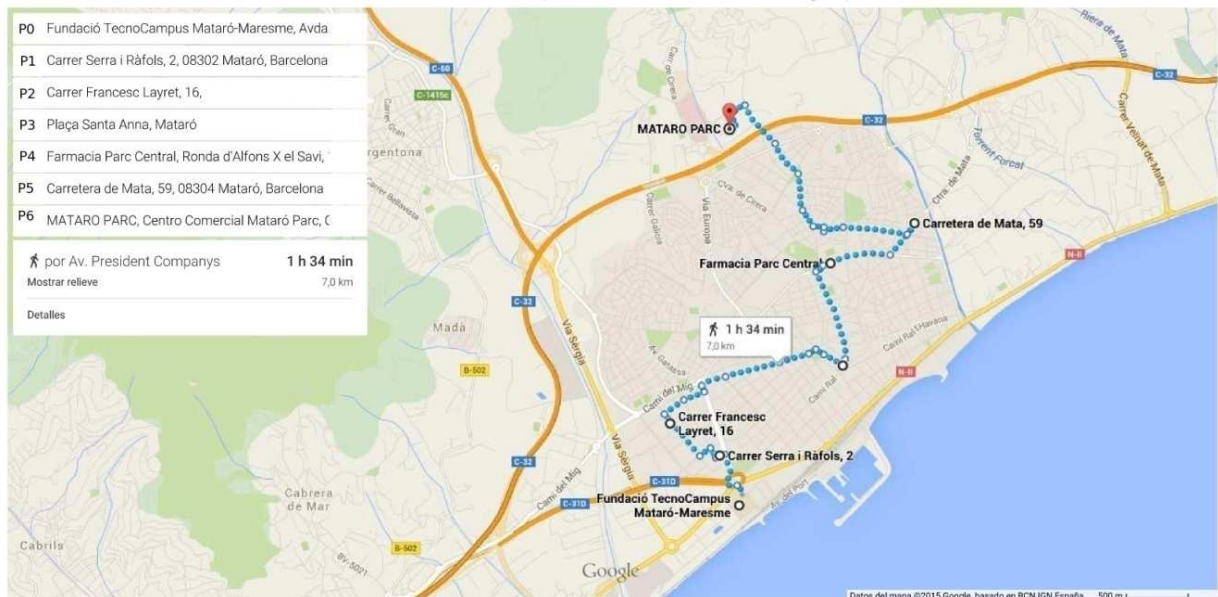


Fig. 6. 13. Mapa Mataró punts de proves distància.

El primer test està realitzat a la ciutat de Mataró, en aquest mapa es visualitzen els punts des d'on es realitzen les peticions, sempre des d'una condició sense línia de visió (NLOS - Non Line of Sight).

Se situa un dispositiu Wasmote amb el mòdul de LoRa al Parc Tecnocampus de Mataró, concretament a la sisena planta de Torre TCM2. Aquest dispositiu fa de receptor. L'emissor és un PC amb el Gateway de LoRa, que realitzarà peticions des de diferents punts de la ciutat de Mataró al dispositiu Wasmote per mesurar i avaluar els diferents valors.

### Resultats obtinguts a la ciutat de Mataró

PUNT	MODE	SNR	RSSI	RSSI_PACKET	ENVIATS	REBUTS	PERDUTS
0	1	8,03	-79,67	-114,2	30	30	0
	3	6,37	-70,63	-115,113	30	30	0
	6	8,75	-83,04	-108,67	30	28	2
	9	5,13	-81,17	-108,17	30	30	0
PUNT	MODE	SNR	RSSI	RSSI_PACKET	ENVIATS	REBUTS	PERDUTS
1	1	-2,83	-118,73	-115,2	30	30	0
	3	-1,05	-155,5	-155,3	30	20	10
	6	-14,181	-125,8	-109,14	30	22	8
	9	-6,28	-117,18	-108	30	25	5

**Punt 1:** El primer punt està situat a 500 metres a la dreta del punt de control, passa a través d'una rotonda i un camí obert, però està situat a nivell de terra just darrere d'un edifici d'oficines. Aquest fet dificulta el senyal, donat que hi ha més soroll i menys sensibilitat en les comunicacions. Amb el mode 1, com el senyal està més temps transmetent arriben tots els paquets, però en els altres modes es produeix una pèrdua de paquets.

PUNT	MODE	SNR	RSSI	RSSI_PACKET	ENVIATS	REBUTS	PERDUTS
2	1	-0,241	-114,862	-114,793	30	29	1
	3	3,3	-108,3	-115,13	30	30	0
	6	-7,55	-118,55	-108,5	30	30	0
	9	-3,62	-114,62	-107,71	30	21	9

**Punt 2:** Travessa diferents edificis i naus industrials, però està situat en un espai obert. I des del punt de control fins aquest punt existeixen camins oberts. És per això que arriba millor el senyal en qualsevol dels modes que en el punt 1, bo i estar més lluny.

PUNT	MODE	SNR	RSSI	RSSI_PACKET	ENVIATS	REBUTS	PERDUTS
3	1	NS	NS	NS	30	0	30
	3	NS	NS	NS			
	6	NS	NS	NS			
	9	NS	NS	NS			

**Punt 3:** Plaça Santa Anna. Situat al centre de la ciutat a 1,4kms en línia recta, rodejats de cases, comerços, pisos i tot tipus d'edificis. Cap de les proves en qualsevol dels modes arriba a aquest punt, ja que queda molt tancat per la ciutat, i pel que fa al relleu és un punt baix de la ciutat.

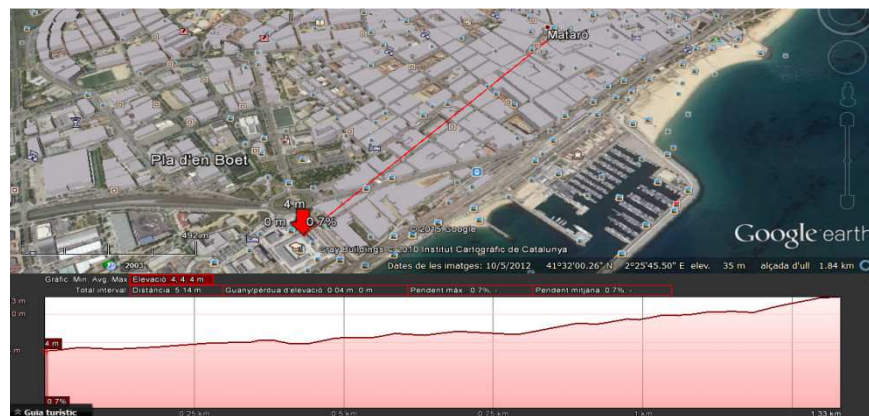


Fig. 6. 14. Relleu des de la localització del sensor fins el punt 3.

PUNT	MODE	SNR	RSSI	RSSI_PACKET	ENVIATS	REBUTS	PERDUTS
4	1	-19,5	-136,5	-115,1	30	8	12
	3	NS	NS	NS	30	0	30
	6	NS	NS	NS	30	0	30
	9	NS	NS	NS	30	0	30

**Punt 4: Parc Central Mataró.** Situat a 2 km en línia recta, només arriba el senyal en aquest punt amb el Mode 1. A diferència del punt 3, la seva situació és més elevada, uns 46 metres respecte al punt de control.



Fig. 6. 15. Relleu des de la localització del sensor fins el punt 4.

PUNT	MODE	SNR	RSSI	RSSI_PACKET	ENVIATS	REBUTS	PERDUTS
5	1	-17,4	-134	-114,75	30	28	2
	3	-8,35	-125,25	-115,5	30	20	10
	6	NS	NS	NS	30	0	30
	9	NS	NS	NS	30	0	30

**Punt 5: Carretera de Mata 59.** Punt 2,65 km, situat al cinquè pis d'un edifici, a uns 50 metres d'alçada sobre el punt inicial. Al ser un punt més alt pel que fa a la situació, però també des de la relació a nivell de terra, el senyal arriba amb els modes 1 i 3.

PUNT	MODE	SNR	RSSI	RSSI_PACKET	ENVIATS	REBUTS	PERDUTS
6	1	-11,1	-132	-118,9	30	30	0
	3	-8,78	-125,77	-115	30	27	3
	6	NS	NS	NS	30	0	30
	9	NS	NS	NS	30	0	30

Taula. 6. 2. Resultats proves Mataró.

**Punt 6: Mataró Parc.** Igual que en el punt anterior, amb els modes 1 i 3. La distància és de 3kms, però l'edifici del Mataró Parc està situat en una de les parts més altes de la ciutat, a una alçada d'uns 120ms.

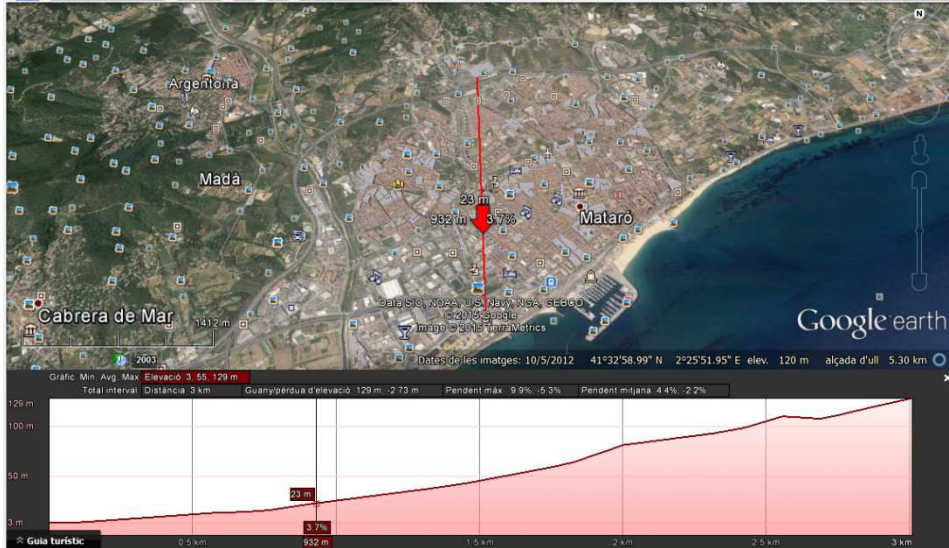


Fig. 6. 16. Elevació des de la localització del sensor fins el punt 6.

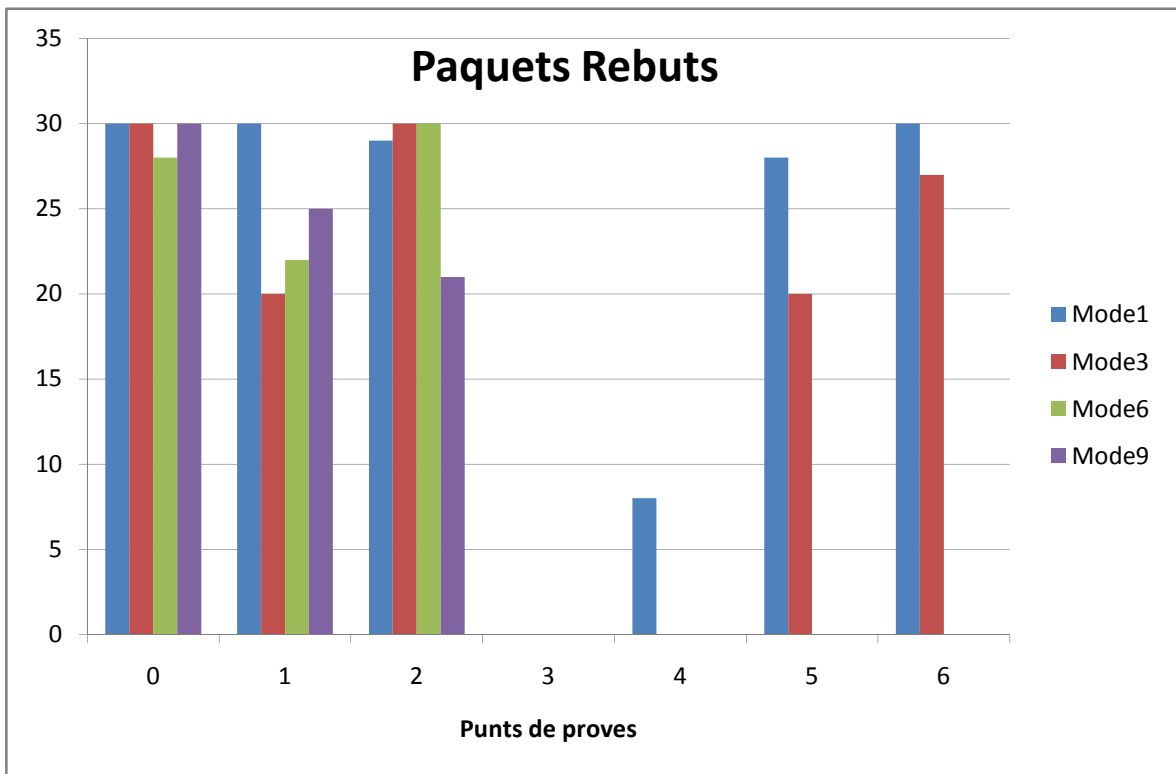


Fig. 6. 17. Gràfic paquets rebuts - Test 1 Mataró.

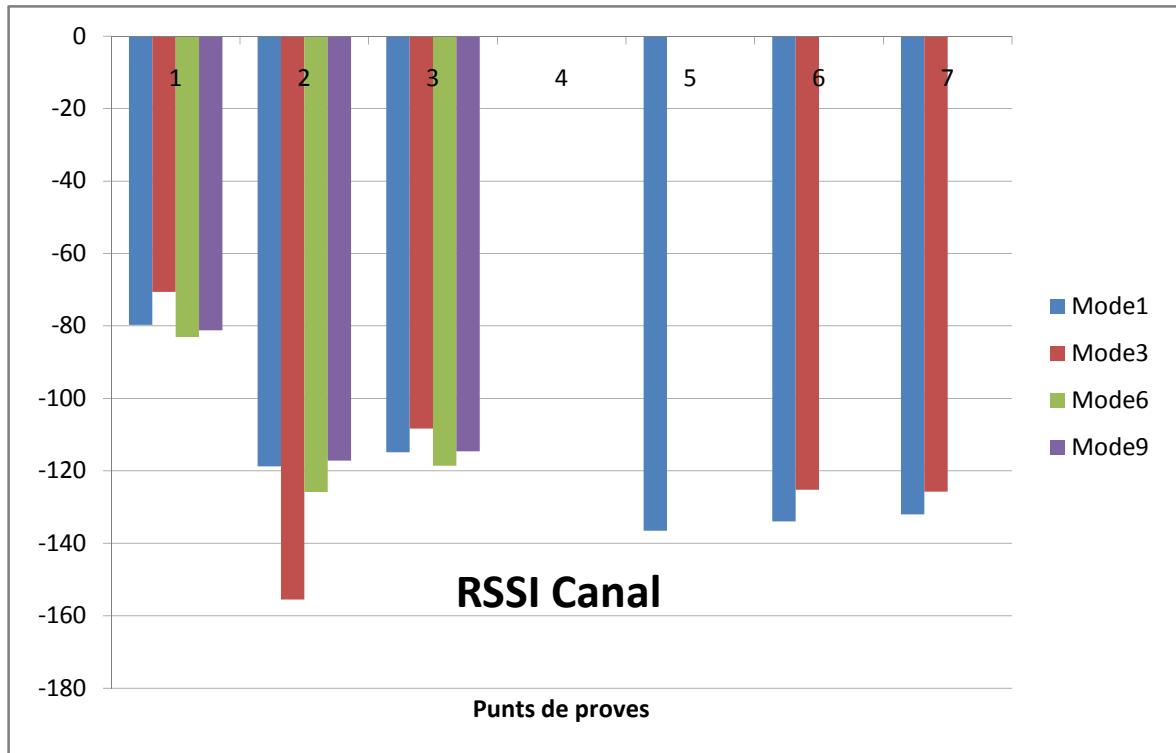


Fig. 6. 18. Gràfic senyal RSSI - Test 1 Mataró.

Tal com es pot observar en aquests dos gràfics existeix una relació entre la intensitat del canal (RSSI) i el nombre de paquets rebuts, i també entre l'elevació i els obstacles.

En cada un dels Modes, quan la intensitat del senyal és inferior al seu llindar arriben tots els paquets, però quan se supera el seu valor comença la pèrdua de paquets. Com més elevat és el punt de la petició, millor visió i sensibilitat per l'arribada del senyal superant els diferents obstacles.



## Test 2: Amb línia de visió. Mataró - NII-Barcelona:



Fig. 6. 19. Mapa Mataró - NII Barcelona punts de proves.

Igual que en les proves a la ciutat de Mataró, les proves en obert es realitzaran de la mateixa manera per la Nacional II direcció a Barcelona. Amb un dispositiu central situat al Tecnocampus, es faran peticions a diferents punts de la Nacional.

En aquest cas es marcaran 8 punts, l'elevació respecte al punt inicial és mínima tal com es visualitza en la figura 6.20.



Fig. 6. 20. Relleu Mapa Mataró - NII Barcelona.

PUNT	MODE	SNR	RSSI_Packet	RSSI	ENVIATS	REBUTS	PERDUTS
<b>0</b>	1	8,03	-79,67	-114,2	30	30	0
	3	6,37	-70,63	-115,13	30	30	0
	6	8,75	-83,04	-108,67	30	28	2
	9	5,13	-81,17	-108,17	30	30	0
PUNT	MODE	SNR	RSSI_Packet	RSSI	ENVIATS	REBUTS	PERDUTS
<b>1</b>	1	6,93	-89,4	-114,828	30	30	0
	3	6,93	-74	-107,74	30	29	1
	6	8,1	-86,8	-109,2	30	30	0
	9	5,7	-71,79	-108,05	30	30	0
PUNT	MODE	SNR	RSSI_Packet	RSSI	ENVIATS	REBUTS	PERDUTS
<b>2</b>	1	6,2	-101,5	-114,8	30	30	0
	3	6,35	-91,57	-115,25	30	28	2
	6	3,4	-102,7	-109,3	30	30	0
	9	4,73	-91,8	-108,7	30	30	0
PUNT	MODE	SNR	RSSI_Packet	RSSI	ENVIATS	REBUTS	PERDUTS

<b>3</b>	1	6,27	-101,57	-114,9	30	30	0
	3	6,19	-95,52	-115,14	30	21	9
	6	-1,9	-111,93	-108,93	30	30	0
	9	5,57	-92,32	-108,07	30	30	0
<b>PUNT</b>	<b>MODE</b>	<b>SNR</b>	<b>RSSI_Packet</b>	<b>RSSI</b>	<b>ENVIATS</b>	<b>REBUTS</b>	<b>PERDUTS</b>
<b>4</b>	1	4,36	-107,93	-114,9	30	30	0
	3	5	-103,56	-115,25	30	16	14
	6	2,87	-103,67	-109,07	30	30	0
	9	0,4	-104,8	-107,4	30	5	25
<b>PUNT</b>	<b>MODE</b>	<b>SNR</b>	<b>RSSI_Packet</b>	<b>RSSI</b>	<b>ENVIATS</b>	<b>REBUTS</b>	<b>PERDUTS</b>
<b>5</b>	1	-3,09	-119,31	-114,03	30	30	0
	3	3,72	-107,276	-115,319	30	21	9
	6	-4,97	-115,97	-109,02	30	30	0
	9	-2,75	-113,75	-108,17	30	12	18
<b>PUNT</b>	<b>MODE</b>	<b>SNR</b>	<b>RSSI_Packet</b>	<b>RSSI</b>	<b>ENVIATS</b>	<b>REBUTS</b>	<b>PERDUTS</b>
<b>6</b>	1	-4,03	-121,03	-114,43	30	30	0
	3	-0,63	-114,31	-144,77	30	22	8
	6	NS	NS	NS	30	0	30
	9	-7,63	-188,73	-108,73	30	19	11
<b>PUNT</b>	<b>MODE</b>	<b>SNR</b>	<b>RSSI_Packet</b>	<b>RSSI</b>	<b>ENVIATS</b>	<b>REBUTS</b>	<b>PERDUTS</b>
<b>7</b>	1	-5,8	-122,8	-114,46	30	30	0
	3	-0,06	-113,65	-115,14	30	17	13
	6	NS	NS	NS	30	0	30
	9	NS	NS	NS	30	0	30
<b>PUNT</b>	<b>MODE</b>	<b>SNR</b>	<b>RSSI_Packet</b>	<b>RSSI</b>	<b>ENVIATS</b>	<b>REBUTS</b>	<b>PERDUTS</b>
<b>8</b>	1	-13,72	-132	-115,2	30	30	0
	3	-2,35	-119,35	-155,55	30	20	10
	6	NS	NS	NS	30	0	30

	9	NS	NS	NS	30	0	30
--	---	----	----	----	----	---	----

Taula. 6. 3. Resultats proves Mataró - NII Barcelona.

En cap dels punts existeixen edificacions entremig, però si les que existeixen als costats de la Nacional. L'elevació de tots els punts de proves és molt baixa. Fins al punt 5 tots els modes arriben a la transmissió de dades, amb més o menys pèrdua de paquets. També existeix una relació amb la intensitat del senyal.

La distància màxima assolida és en el punt 8 amb 5km de distància amb els modes 1 i 3.

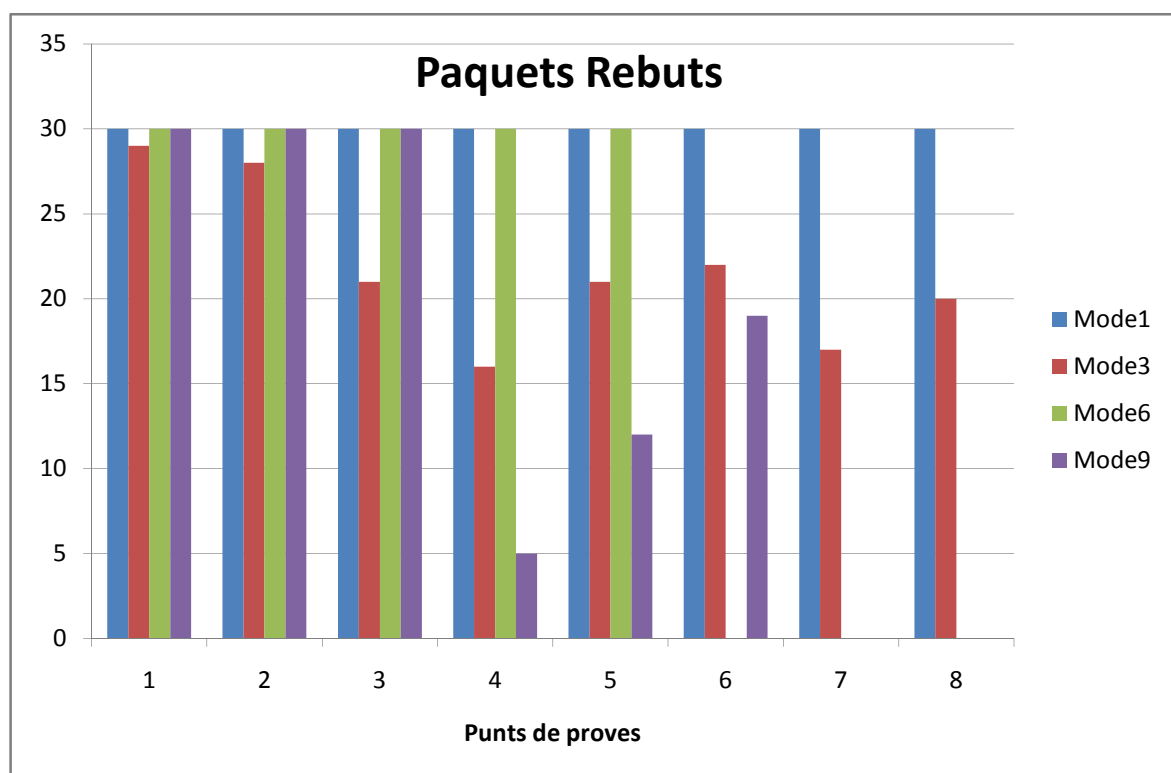


Fig. 6. 21. Gràfic paquets rebuts Test 2 Mataró - NII Barcelona.

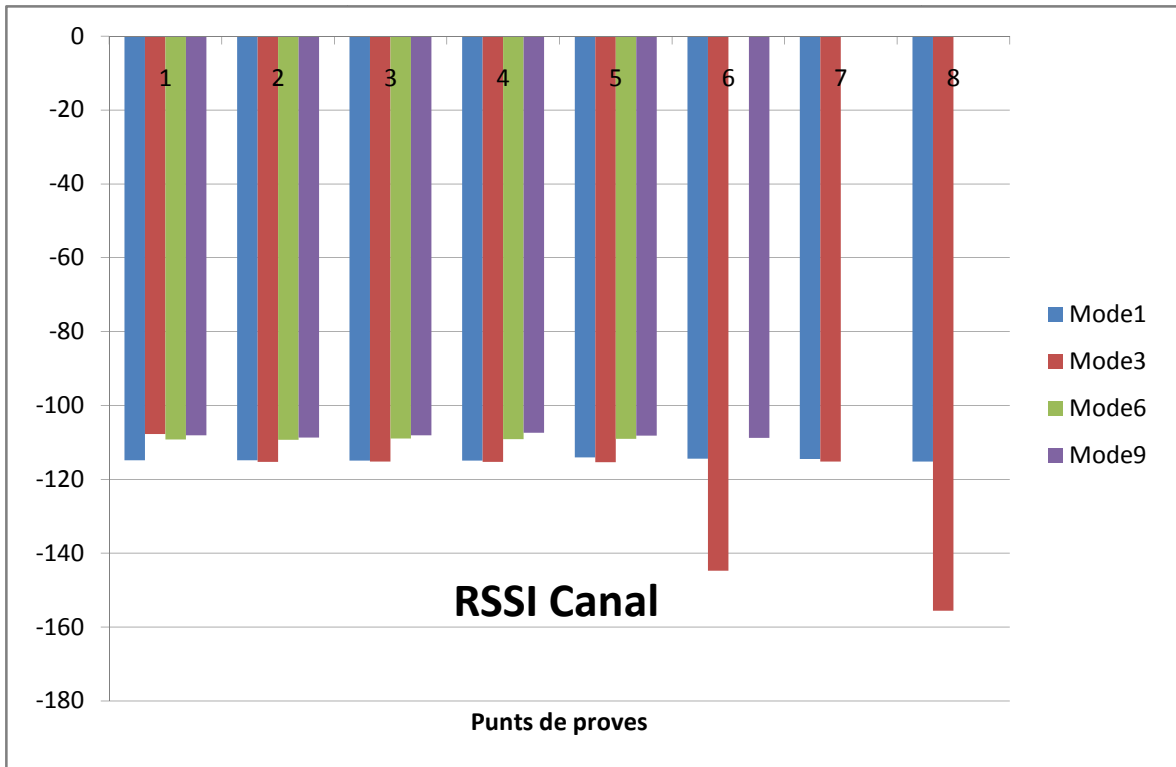


Fig. 6. 22. Gràfic senyal RSSI canal Test2 Mataró - NII Barcelona.

**Test 3: Amb línia de visió- Mataró - NII-Girona:**

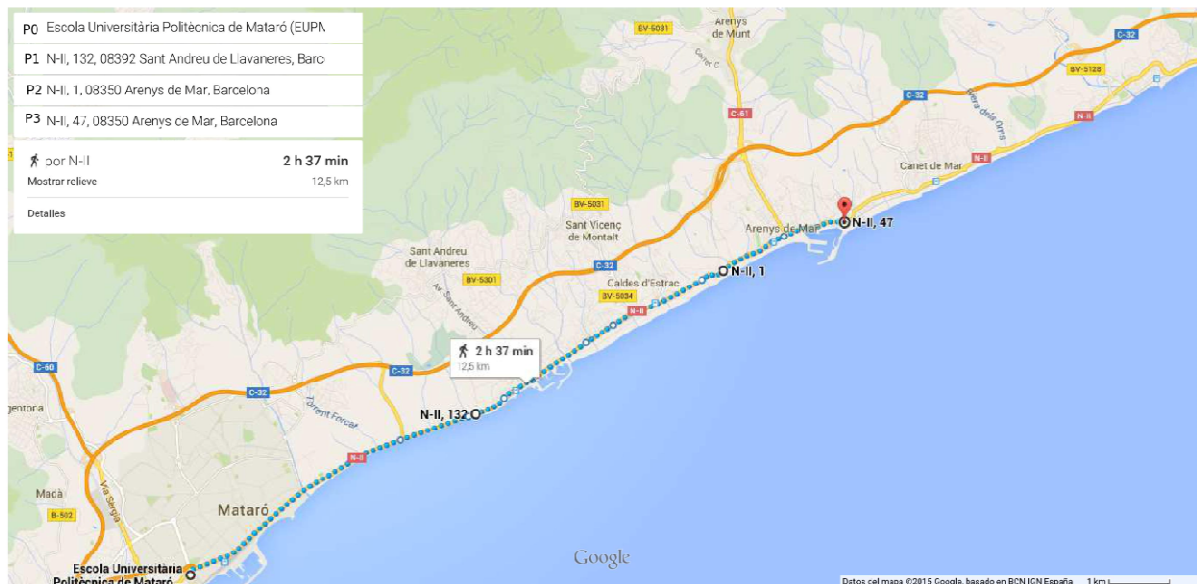


Fig. 6. 23. Mapa Mataró - NII Girona punts de proves distància.

Aquestes proves són més directes per la Nacional II però en aquest cas cap a Girona, la carretera té una elevació i un angle més obert cap a Mataró, que significa que hi ha una línia més directa.

Únicament amb els modes 1 i 3 s'arriba, el primer punt està situat a 4 km del punt d'origen, bo i que el dispositiu està situat a l'altre costat de l'edifici, arriba en més mesuratges. Amb el Mode 1 arriba fins a quasi 13 km, tal com es veu a la imatge podem apreciar l'elevació respecte al punt d'origen.

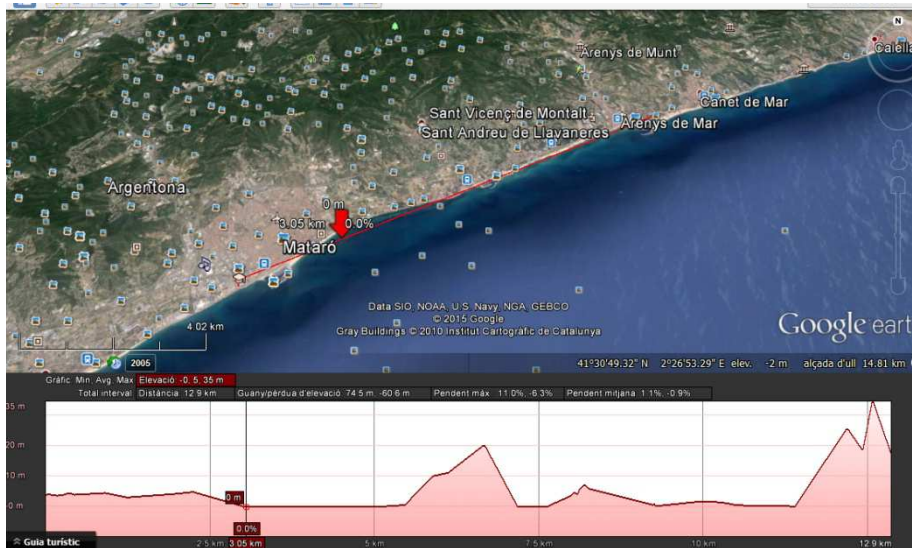


Fig. 6. 24. Relleu Mapa Mataró - NII Girona.

PUNT	MODE	SNR	RSSI	RSSI_PAC	ENVIATS	REBUTS	PERDUTS
1	1	-7,65	-124,66	-114,82	30	29	1
	3	-11	-128	-115,8	30	20	10
	6	NS					
	9	NS					
PUNT	MODE	SNR	RSSI	RSSI_PACKET	ENVIATS	REBUTS	PERDUTS
2	1	-10,93	-127,93	-114,73	30	30	0
	3	NS					
	6	NS					
	9	NS					
PUNT	MODE	SNR	RSSI	RSSI_PACKET	ENVIATS	REBUTS	PERDUTS
3	1	-16	-133	-110,24	30	25	5
	3	NS					
	6	NS					

	9	NS
--	---	----

Taula. 6. 4. Resultats proves Mataró - NII Girona.

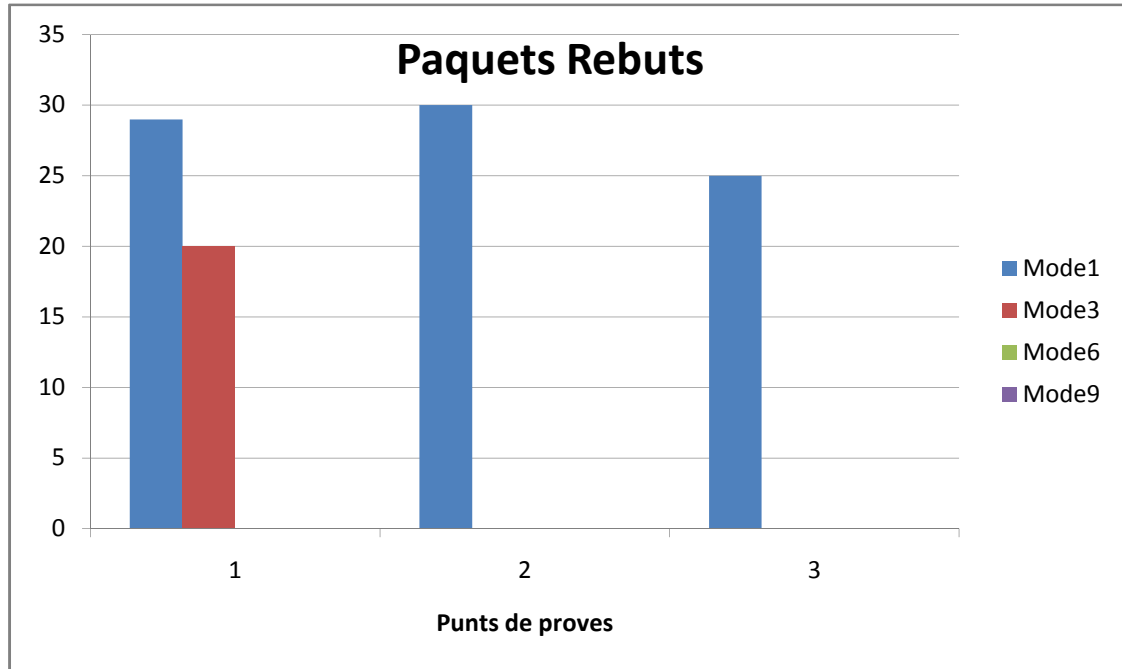


Fig. 6. 25. Gràfic paquets rebuts Test 3 Mataró - NII Girona.

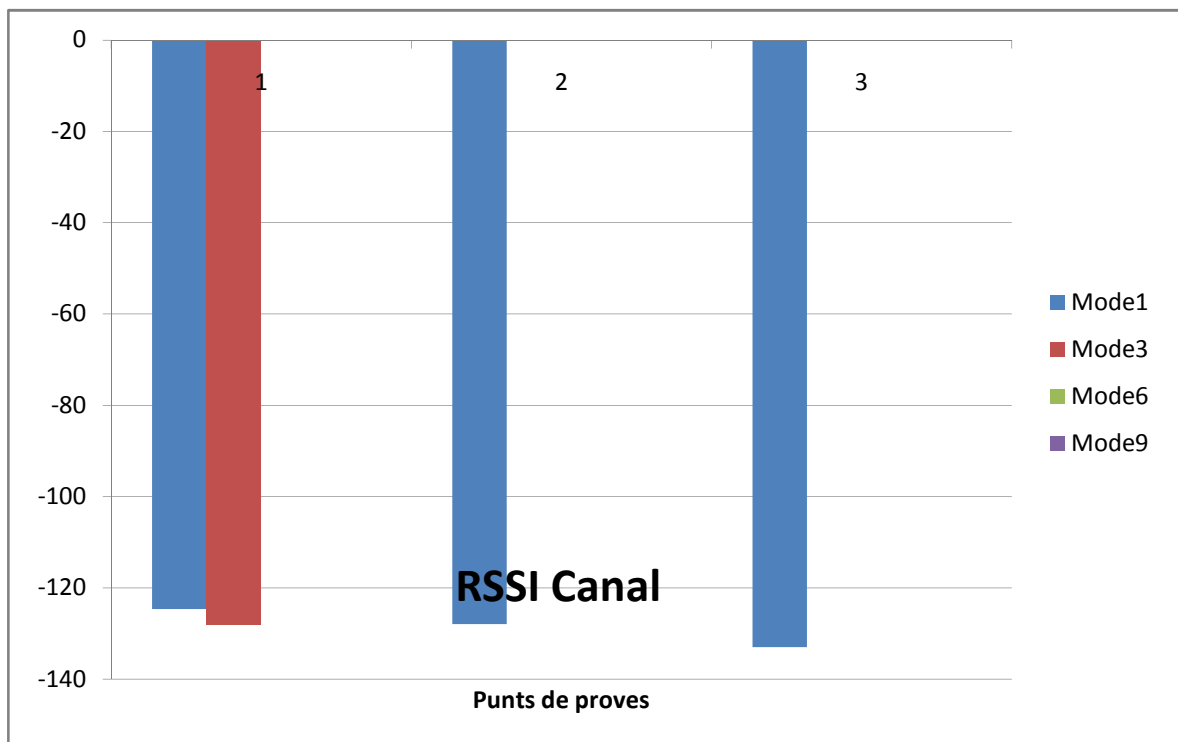


Fig. 6. 26. Gràfic senyal RSSI canal Test3 Mataró - NII Girona.

En aquest últim test, el primer punt està situat a 3 kms del punt inicial, els paquets arriben únicament amb els modes 1 i 3. Però tal com observem el mode 3 està al límit del RSSI per tant ja comencen a produir-se pèrdua de paquets.

El punt 2 està a 10 kms a Arenys de Mar, la intensitat del senyal està a -127dBm, per tant encara hi ha un bon senyal per aconseguir evitar pèrdua de paquets.

I l'últim punt, també a Arenys de Mar a 13 kms, la intensitat està ja a -133 dBm i comença a fallar la fiabilitat de la comunicació.

### **6.2.2. Fase 2. Proves temps de resposta.**

Libelium ofereix una configuració de la modulació en els temps de transmissió, amb 10 modes predefinitos que combinant tres valors defineixen el tipus de transmissió. En aquests modes s'inclou el de més llarg abast(mode1) i el de temps de transmissió més ràpid (mode10).

Aquests tres valors els quals ja s'han explicat prèviament en el punt 5.4.1 Modulació LoRa, són:

Bandwidth (BW)

Coding Rate (CR)

Spreading Factor (SF)

#### **Test Temps de Transmissió**



És realitzarà la comprovació dels temps de transmissió en els diferents modes. Per fer-ho es realitzaran 30 peticions en cada una de les configuracions i es calcularà la mitjana.

<b>Mode</b>	<b>BW</b>	<b>CR</b>	<b>SF</b>	<b>Temps</b>	<b>Variància</b>
<b>1</b>	125	4/5	12	3155,8	0,648
<b>2</b>	250	4/5	12	1891,43	0,254
<b>3</b>	125	4/5	10	1298,06	0,340
<b>4</b>	500	4/5	12	1258,73	1,098
<b>5</b>	250	4/5	10	942,233	0,529
<b>6</b>	500	4/5	11	963,1	0,644
<b>7</b>	250	4/5	9	794,36	0,309
<b>8</b>	500	4/5	9	710,8	0,234
<b>9</b>	500	4/5	8	674,56	0,529
<b>10</b>	500	4/5	7	652,46	0,395

Taula. 6. 5. Temps de resposta modes LoRa.

Es pot observar que hi ha una relació entre els modes i el temps de resposta, essent el Mode 1 el de transmissió més lenta, i el Mode 10 més ràpid. Mentre més alt és l'amplada de banda més ràpid s'envia el paquet. Els modes 8, 9 i 10 tenen una amplada de banda de 500Khz, però el mode 10 té un Spreading Factor més petit, donat que hi ha menys soroll al senyal el paquet es transmet més ràpidament.

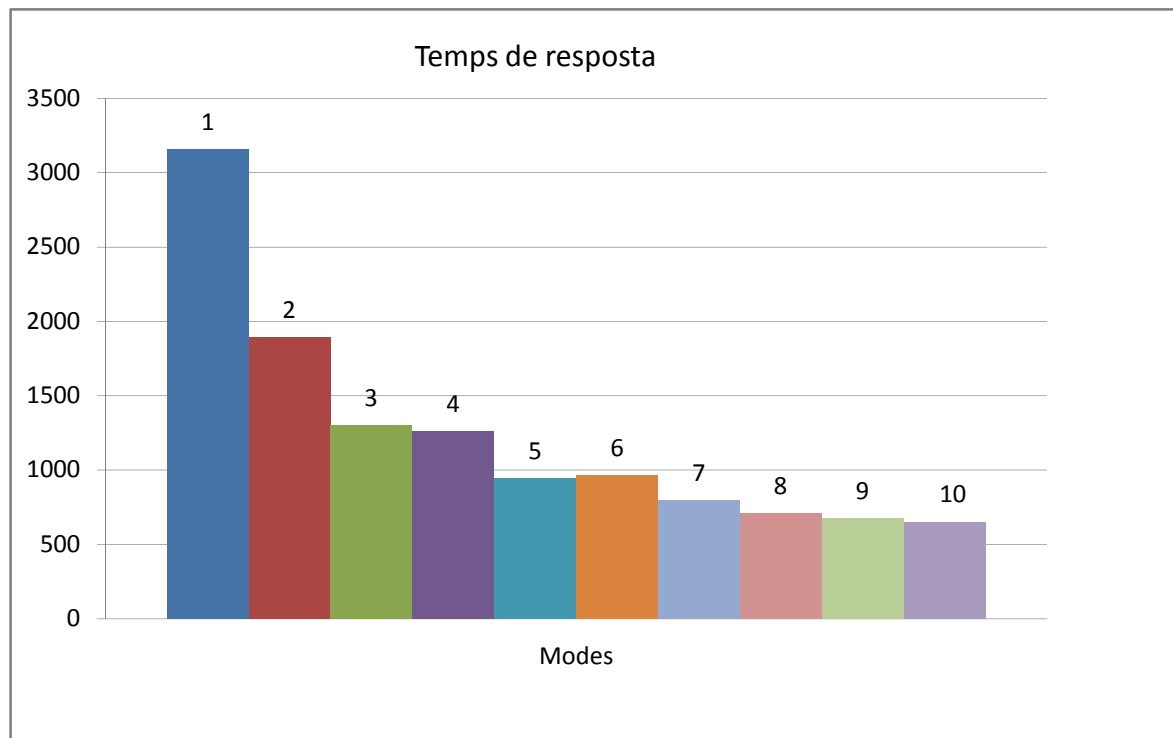


Fig. 6. 27. Gràfic Temps de resposta LoRa Modes.

En aquest gràfic es pot visualitzar l'evolució del temps de transmissió en els paquets enviats. El mode 10 és quasi 5 vegades més ràpid que el mode 1.

### 6.2.3. Fase 3. Proves consum.

En aquesta última fase es realitzaran peticions per obtenir el consum energètic, s'ofereixen tres alternatives per tal de reduir el consum, que consisteixen a posar el dispositiu en un estat d'aturat mentre no estigui transmetent.

S'analitzaran dos estats:

- Deep-Sleep 62 $\mu$ A
- Hibernate 0,7 $\mu$ A

La configuració del mòdul serà el mode 3, les peticions es realitzaran cada 5 minuts durant 24 hores, la informació de la trama contindrà el nivell de la bateria, la temperatura, la data i l'hora.

En el codi s'ha programat una alarma mitjançant el RTC perquè desperti els mòduls cada 5 minuts i enviï la informació. En total s'han enviat 1440 paquets en cada un dels modes.

	Nivell Inicial bateria	Nivell Final Bateria
DEEP SLEEP	100%	94%
HIBERNATE	100%	97%

Taula. 6. 6. Consum modes DeepSleep – Hibernate

### 6.3. Implementació i disseny de la plataforma.

Aquest capítol s'explicarà la implementació de la plataforma web que mostra els resultats obtinguts dels sensors. Des de la recollida de dades del Gateway a la inserció a la base de dades amb la posterior presentació a la interfície final.

La topologia es mostra en el següent gràfic, mitjançant Python es recullen les dades del Gateway que són emmagatzemades a una BBDD, i posteriorment són mostrades en la plataforma web.



Fig. 6. 28. Topologia recull i presentació dades.

### 6.3.1. Fase 1. Lectura de dades del Gateway

Les dades que arriben des de la placa de sensors al Gateway són llegides i emmagatzemades a la Base de dades.

Per recollir aquesta informació cal llegir el port sèrie del portàtil. Aquest procés es fa mitjançant un script amb Python, un llenguatge de programació orientat a objectes, multi-plataforma i amb llicència Open Source.

També és necessari la llibreria PySerial i el mòdul d'accés al port sèrie per Python de llicència Free Software.

Aquest script d'exemple mostra la comunicació amb el port sèrie:

```
1 #!/usr/bin/python
2
3 # Importar llibreria PySerial
4 import serial
5
6 # Obrir port serial
7 ser = serial.Serial("/dev/ttyUSB0", 38400, timeout = 1)
8 # Es crea un bucle
9 while True:
10     # llegir fins el final de linia
11     valor = ser.readline()
12     # Mostrar el valor llegit i eliminar salt de linia
13     print "Dada: " + valor.rstrip('\n')
14
15     # o en el cas d'escriure
16     ser.write("El que volem enviar al port sèrie") |
```

Fig. 6. 29. Exemple codi lectura/escriptura port sèrie.

Per obrir la connexió del port sèrie:

- Port: '/dev/ttyUSB0' en el cas del projecte. Per Windows seria "COMx"
- La Velocitat en bauds, els valors estàndard són: 9600,38400...
- Timeout = 1. Temps d'espera per una lectura

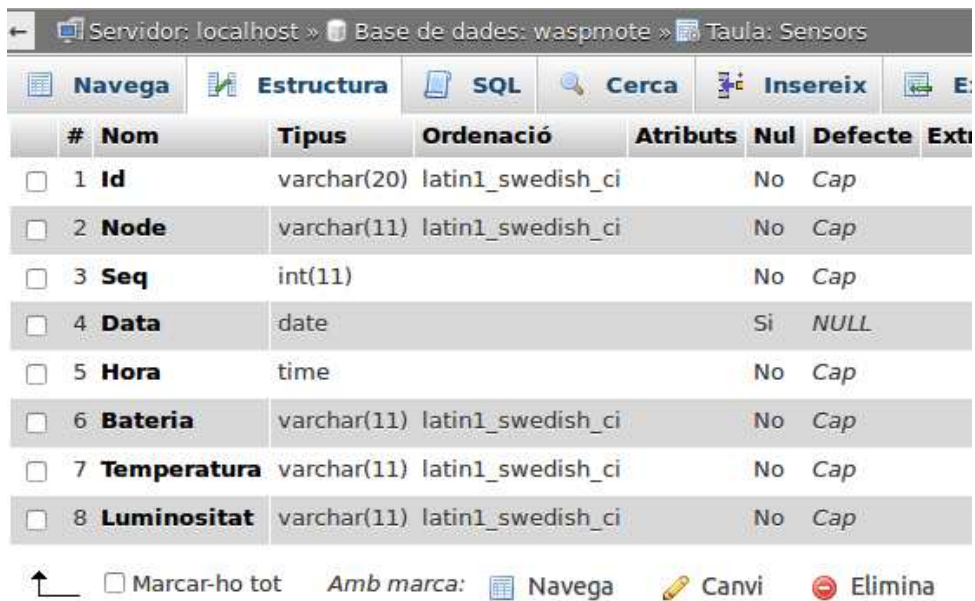
La funció readLine() espera una nova lectura. La funció write, envia un valor o una cadena al port sèrie.

Mitjançant el mateix script utilitzat en el projecte, mentre estigui en execució en el PC les dades recollides s'aniran emmagatzemant a la base de dades de Sensors.

### 6.3.2. Fase 2. Inserció de dades a la BBDD

PhpMyAdmin és una aplicació de codi obert, amb una interfície gràfica que permet l'administració de les bases de dades amb MySQL, és una de les eines més utilitzades, permet crear taules, eliminar, fer consultes... a través de la gestió web.

Amb phpMyadmin s'ha creat una base de dades anomenada "Waspnote" que conté una única taula "sensors" que està composta per 8 valors:



#	Nom	Tipus	Ordenació	Atributs	Nul	Defecte	Ext
<input type="checkbox"/>	1 <b>Id</b>	varchar(20)	latin1_swedish_ci		No	Cap	
<input type="checkbox"/>	2 <b>Node</b>	varchar(11)	latin1_swedish_ci		No	Cap	
<input type="checkbox"/>	3 <b>Seq</b>	int(11)			No	Cap	
<input type="checkbox"/>	4 <b>Data</b>	date			Si	NULL	
<input type="checkbox"/>	5 <b>Hora</b>	time			No	Cap	
<input type="checkbox"/>	6 <b>Bateria</b>	varchar(11)	latin1_swedish_ci		No	Cap	
<input type="checkbox"/>	7 <b>Temperatura</b>	varchar(11)	latin1_swedish_ci		No	Cap	
<input type="checkbox"/>	8 <b>Luminositat</b>	varchar(11)	latin1_swedish_ci		No	Cap	

Fig. 6. 30. PhPMyAdmin – Base de dades sensors.

Aquests valors són enregistrats a mesura que el gateway va rebent les dades, i al mateix temps són mostrats a la interfície web. En qualsevol moment es poden crear més taules en el cas que s'ampliessin els nodes a la xarxa.

### 6.3.3. Fase 3. Presentació de les dades en una plataforma web

L'última fase és el disseny de la homepage que mostrarà els resultats de les dades obtingudes mitjançant el mòdul Lora SX1272 amb Waspote.

La pàgina està realitzada amb HTML5, CSS3, JQuery, Bootstrap.

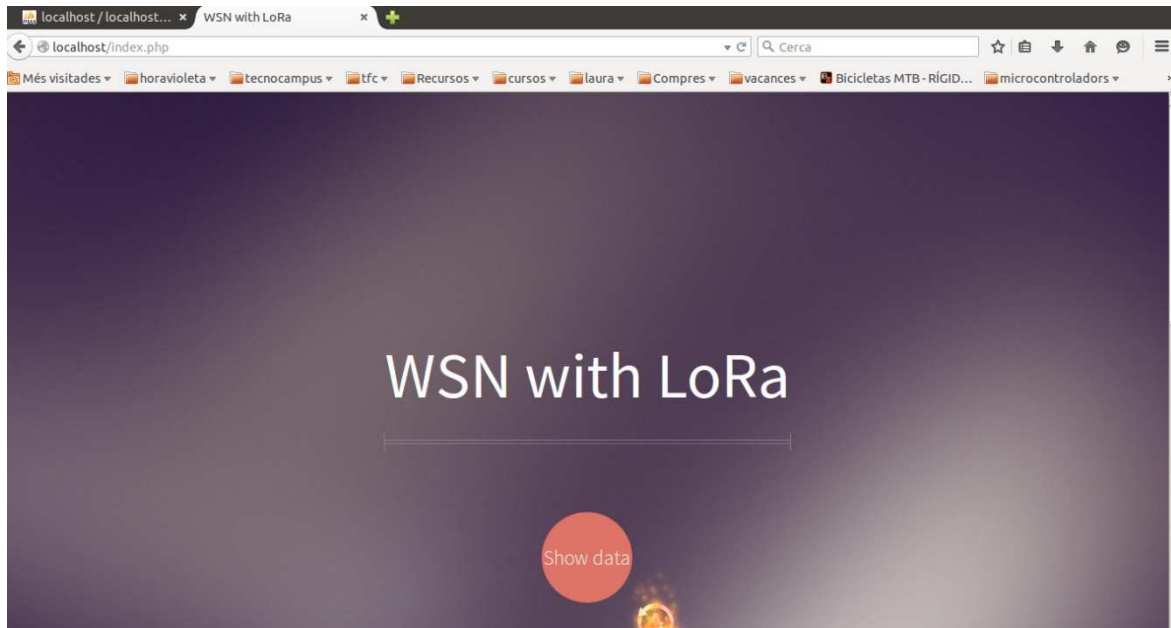


Fig. 6. 31. Homepage dades LoRa.

## Wellcome. You're looking data LoRa.

A Wireless Sensor Network that show Mataró Data

Data	Node	Bateria	Temperatura	Luminositat
2015-08-30 19:43:06	node_001	BAT:93	TCA:24.84	TCA:29.99
2015-08-30 19:42:42	node_001	BAT:93	TCA:24.84	TCA:30.60
2015-08-30 19:42:18	node_001	BAT:93	TCA:25.16	TCA:27.57
2015-08-30 19:41:54	node_001	BAT:93	TCA:25.16	TCA:29.38
2015-08-30 19:41:30	node_001	BAT:93	TCA:25.16	TCA:29.99

Contacta



Tecnocampus Mataró. All rights reserved. Design: Laura Beltran Perez

Fig. 6. 32. Resultats a l'interfície web.

## 6.4. Avaluació resultats

Les diferents modulacions de LoRa permeten configurar la xarxa de manera fàcil en funció de les necessitats, donant prioritat a la cobertura o el temps de resposta.

Els tres paràmetres avaluats confirmen que és una tecnologia adient en les comunicacions de les xarxes de sensors sense fils, especialment quant a distància i consum.

Ofereix fiabilitat en l'entrega de paquets sempre que no es superi el límit de la sensibilitat del canal corresponent al mode utilitzat, i també amb interferències (SNR) fins a -20dB.

## 6.5. Problemes

Durant l'implementació del projecte s'ha trobat diferents problemes, alguns d'ells s'han pogut resoldre, i d'altres s'ha necessitat el suport tècnic de l'equip de Libelium.

El primer problema va sorgir al moment l'instal·lació del gateway, no reconeixia el dispositiu i per tant no era possible configurar els paràmetres per un error de la connexió del port. Era degut al fet que li faltaven els drivers FTDI, que simulen el port USB com a comunicació d'un port COM.

El segon problema va ser en el test de proves de distàncies dels diferents modes, no era possible la configuració de tots els modes en el Gateway, per tant dificultava l'avaluació dels paràmetres que s'havien marcat. Després de contactar amb el servei tècnic varen enviar un codi per reconfigurar els mòduls SX1272 de LoRa i d'aquesta forma ja va ser possible testear els diferents modes.

Un altre problema, en aquest cas un error, va ser que en seleccionar el port de Waspote per pujar el codi es va seleccionar per error el port de Gateway. En compilar el codi es va perdre la configuració predeterminada i va deixar de funcionar com a Gateway. Després de detectar l'error i es va restaurar per deixar-lo com venia de fàbrica.

En l'última part del projecte els mòduls de LoRa varen deixar de funcionar i s'han hagut d'enviar a Libelium per a la seva reparació.





## 7. Estudi econòmic

En aquest apartat es mostren les despeses econòmiques relacionades amb el projecte, el resultat final és el cost del prototip que inclou el cost del material utilitzat, el temps de dedicació i el software utilitzat.

### 7.1. Cost del material

Cost del material per al muntatge de la Topologia:

<u>Descripció</u>	<u>Quantitat</u>	<u>Preu unitari (€)</u>	<u>Total (€)</u>
Waspote LoRa SX1272	1	147	147
Gateway LoRa	1	140	140
Bateria 6600 mAh	1	30	30
<u>Sensors</u>			
Events Sensors Board	1	75	75
Sensor de Temperatura	1	4	4
Sensor luminositat	1	4	4
<b>TOTAL COST DEL MATERIAL</b>			<b>400</b>

Taula. 7. 1. Cost del manerial.

### 7.2. Costos de recursos humans.

Són les hores dedicades al desenvolupament del projecte. Inclou les hores d'estudi previ del projecte, l'anàlisi de la topologia, les proves de camp, el disseny de l'aplicació i la redacció de la documentació.

<u>Concepte</u>	<u>Hores</u>	<u>Preu/hora (€)</u>	<u>Total (€)</u>
Estudi previ de WSN (Enginyer junior)	30	30	900
Programació i realització proves (Enginyer junior)	100	30	3.000
Disseny aplicació (Enginyer júnior)	50	30	1.500
Redacció memòria (Administratiu)	50	30	1.500
<b>TOTAL RECURSOS HUMANS</b>			<b>6.900</b>

Taula. 7. 2. Costos recursos humans.

### 7.3. Amortització equips, instrumental i software.

<u>Equip utilitzat</u>	<u>Hores d'utilització</u>	<u>Preu/hora</u>	<u>Total</u>
<u>Equips i programari informàtic</u>			
Ordinador	230	0,50	115
Software IDE Waspnote	150	0,50	75
Software Cutecom	150	0,50	75
Kompozer	25	0,50	12,5
Libre Office	50	0,50	25
<b>TOTAL AMORTITZACIONS</b>			<b>302,5</b>

Taula. 7. 3. Amortitzacions.

## 7.4. Despeses indirectes.

Les despeses indirectes consideren les despeses diverses per l'ús de les instal·lacions on s'ha desenvolupat el projecte/treball, com poden ser els consums d'energia elèctrica i aigua, el lloguer del local, etc.

La part de proves de distància, temps de resposta i consum s'han realitzat a la Torre TCM2 del Tecnocampus. I a la resta d'hores s'han realitzat desde casa.

En aquest projecte s'ha aplicat un 15% sobre el cost total del projecte.

## 7.5. Cost de fabricació del prototip.

Costos de material	400 €
Costos de recursos humans	6.900 €
Costos d'amortització	302,5 €
Subtotal	7.602,5 €
Despeses indirectes (15%)	1140,375
<b>TOTAL</b>	<b>8.742,875</b>

Taula. 7. 4. Cost total del prototip.



## 8. Conclusions.

L'objectiu principal del projecte era treballar amb el mòdul de LoRa per a la comunicació per radiofreqüència, s'ha realitzat un estudi previ per tal de seleccionar la placa de sensors utilitzada en aquest projecte.

El principal repte ha sigut precisament treballar amb aquest mòdul, donat que és molt actual, no s'ha trobat molta documentació sobre aquesta tecnologia, a més de les dificultats per resoldre problemes que s'han anat trobant.

Podem concloure que el mòdul LoRa permet comunicacions de gran abast, amb sensors situats sense molts obstacles i amb una bona línia de visió s'aconsegueix una molt bona i fiable cobertura. A més de la possibilitat de reduir el consum amb els estats de "sleep" i "hibernate".

És útil per aplicacions amb pocs nodes i que necessitin una llarga cobertura, però no és la millor opció per xarxes que necessitin una transmissió de dades freqüents.

Finalment s'han pogut complir els objectius marcats en aquest projecte, implementar una plataforma web pel monitoratge les dades obtingudes dels sensors mitjançant LoRa.

Donat que tota la implementació és software lliure permet la creació d'aplicacions més escalables.



## 9. Referències.

- [1] <http://www.libelium.com/forum>
- [2] <http://www.libelium.com/development/wasmote/documentation/lora-gateway-tutorial/>.
- [3] <http://www.libelium.com/development/wasmote/documentation/wasmote-lora-868mhz-915mhz-sx1272-networking-guide/>
- [4] Redes inalámbricas de sensores: teoría y aplicación práctica. Universidad de la Rioja
- [5] <http://www.mfbarcell.es/conferencias/wsn.pdf>
- [6] [http://www.arcos.inf.uc3m.es/~sescolar/index\\_files/presentacion/wsn.pdf](http://www.arcos.inf.uc3m.es/~sescolar/index_files/presentacion/wsn.pdf)
- [7] <https://www.lora-alliance.org/>
- [8] <http://pyserial.sourceforge.net/index.html>





## 10. Annexos

### 10.1. Annex I. Contingut del CD-ROM

- Documentació del projecte :

Memòria

- Codis dels programes de proves WASPMOTE en format.pde:

Programa proves de distància

Programa proves temps de resposta

Programa proves consum

Programa Event Sensors

- Codis dels programes:

Programa Python lectura pyserial

