



**Escola Politècnica Superior  
de Castelldefels**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

# PROJECTE DE FI DE CARRERA

**TÍTOL DEL PFC: Xarxa de sensors sense fils per a la monitorització ambiental de l'estany del Campus del Baix Llobregat**

**TITULACIÓ: Enginyeria de Telecomunicacions (2n cicle)**

**AUTOR: Joan Albesa Querol**

**DIRECTORS: Manel Gasulla Forner; Roberto Casas Nebra**

**DATA: 5 de febrer de 2007**

**Títol:** Xarxa de sensors sense fils per a la monitorització ambiental de l'estany del Campus del Baix Llobregat

**Autor:** Joan Albesa Querol

**Directors:** Manel Gasulla Forner; Roberto Casas Nebra

**Data:** 5 de febrer de 2007

## Resum

En aquest treball s'ha dissenyat i implementat una xarxa bàsica de sensors sense fils que mesuren el nivell i la temperatura de l'aigua de l'estany de laminació del Campus del Baix Llobregat.

En la comunicació entre nodes es fa ús de l'estàndard Zigbee. La xarxa és bidireccional, de tipus *half-duplex* i la topologia, al ser bàsica, és client-servidor.

Es disposa d'un node central a l'EPSC que gestiona la xarxa i rep les dades que arriben de l'estany, les processa i les mostra per pantalla. En un futur aquestes dades estaran disponibles a Internet.

A l'estany s'ha instal·lat un punt fix de mesura. En aquest s'hi ha ubicat un sensor capacitiu de nivell després d'haver-lo dissenyat, implementat, testat i calibrat al laboratori. També s'hi disposa un sensor de temperatura de tipus resistiu. Per a realitzar les mesures s'utilitza una interfície directa sensor-microcontrolador. L'alimentació és a bateries i assegura una llarga autonomia als dispositius que integren el punt de mesura.

Per tal d'assegurar la comunicació entre el punt de mesura i el node central, ja que la presència d'obstacles n'impedia la visibilitat directa, s'ha dissenyat i afegit un node repetidor. Aquest requereix ser autònom i amb disponibilitat les 24 hores del dia. Després de fer un estudi energètic s'ha conclòs que la millor solució era dissenyar un sistema d'alimentació fotovoltaic. S'ha implementat i, convenientment mecanitzat, s'ha instal·lat en una farola del passeig central del Campus.

Finalment s'ha validat el sistema complet. El treball s'emmarca dintre del programa Laboratori REAL de la UPC.

**Title:** A Wireless Sensor Network to monitor the Campus del Baix Llobregat pond.

**Author:** Joan Albesa Querol

**Directors:** Manel Gasulla Forner; Roberto Casas Nebra

**Date:** 5th February 2007

## **Overview**

This work presents the design and implementation of a wireless sensor network which measures the level and temperature of the water of the Campus del Baix Llobregat pond.

The Zigbee standard has been used to communicate the network nodes. The network is bidirectional, half-duplex and the topology, being basic, is master-slave.

A central node placed at the EPSC manages the network and receives, process and shows the information received from the pond. In the future the data will be available from Internet.

At the pond, a fixed point of measurement, the sensor node, has been settled. The node includes a self-made capacitive level sensor and a commercial temperature resistive sensor. The level sensor has been previously designed, implemented, tested and calibrated in the laboratory. The temperature sensor has been properly adapted. A direct sensor-to-microcontroller interface has been used to carry out the measurements. The node is powered by two AA batteries, assuring a long-term autonomy.

Due to the presence of buildings, a router node is necessary to communicate the sensor and central nodes. The router node is powered by a photovoltaic system. The full node has been implemented and, properly mechanized, has been placed in a lamppost of the central avenue of the Campus.

Finally the system has been validated. This work forms part of the REAL Laboratory project from UPC.

# ÍNDIX

<b>INTRODUCCIÓ .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTOL 1. NODE SENSOR .....</b>	<b>3</b>
1.1 Sensors .....	3
1.1.1 Sensor de temperatura .....	3
1.1.2 Sensor de nivell .....	4
1.2 Interfície de mesura.....	7
1.2.1 Mètode de mesura.....	7
1.2.2 Microcontrolador ( $\mu$ C).....	9
1.2.3 Elecció de components .....	10
1.2.3.1 Sensor resistiu.....	10
1.2.3.2 Sensor capacitiu.....	11
1.3 Transceptor .....	12
1.4 Programació .....	13
1.5 Sistema d'alimentació.....	15
1.5.1 Elecció del sistema d'alimentació.....	16
1.5.2 Bateria de liti seleccionada. ENERGIZER L91.....	16
1.5.3 Control de l'estat de les bateries.....	17
1.6 Disseny del punt de mesura .....	17
1.6.1 Ubicació .....	18
1.6.2 Encapsulat .....	18
1.6.2.1 Normativa vigent .....	19
1.6.2.2 Estudi de mercat de materials necessaris .....	19
1.6.3 Mecanitzat .....	20
<b>CAPÍTOL 2. NODE REPETIDOR I CENTRAL.....</b>	<b>23</b>
2.1 Node Repetidor .....	23
2.1.1 Parts que conformen el node repetidor .....	23
2.1.2 Sistema d'alimentació.....	23
2.1.2.1 Introducció.....	23
2.1.2.2 Dimensionat del sistema fotovoltaic.....	24
2.1.2.3 Disseny circuital .....	25
2.1.2.4 Elecció del mòdul fotovoltaic.....	25
2.1.2.5 Elecció de bateries .....	26
2.1.3 Ubicació i mecanitzat del node repetidor.....	27
2.2 Node Central .....	28
2.2.1 Parts que conformen el node central.....	28
2.2.2 Interfície gràfica .....	29
2.2.3 Ubicació i mecanitzat del node central .....	31
<b>CAPÍTOL 3. COMUNICACIÓ ENTRE NODES .....</b>	<b>33</b>
3.1 Introducció .....	33
3.2 Transceptor-ETRX2.....	33
3.2.1 Característiques.....	33
3.2.2 Característiques principals de l'estàndard Zigbee .....	35
3.2.3 Configuració.....	35
3.2.4 Encaminament.....	38
3.2.5 Seguretat .....	39
3.3 Antenes .....	39
3.4 Protocol de gestió de xarxa.....	41
3.5 Recepció i processat de dades al node central .....	42
3.6 Programari utilitzat en la gestió de xarxa .....	44
3.6.1 LabVIEW.....	44
3.6.2 Telegesis Terminal .....	44
3.6.3 HyperTerminal .....	44

<b>CAPÍTOL 4. MESURES EXPERIMENTALS .....</b>	<b>45</b>
4.1 Validació del sistema de mesura al laboratori.....	45
4.1.1 Valors discrets de capacitat i resistència.....	45
4.1.2 Sensor de nivell .....	47
4.2 Consum del node sensor .....	48
4.2.1 Anàlisi teòric del consum del node sensor .....	48
4.2.2 Anàlisi experimental del consum del node sensor .....	50
4.3 Validació del sistema final .....	52
<b>CAPÍTOL 5. CONCLUSIONS .....</b>	<b>55</b>
5.1 Objectius aconseguits .....	55
5.2 Treball futur .....	56
5.3 Impacte ambiental .....	57
<b>REFERÈNCIES .....</b>	<b>59</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>63</b>
<b>ANNEXOS.....</b>	<b>65</b>
ANNEX.A Esquema circuital del node sensor. Consideracions al disseny del circuit .....	65
ANNEX.B Data Sheet de la NTC emprada (10K3A5421).....	67
ANNEX.C Caracterització del microcontrolador .....	68
ANNEX.D Punt de mesura .....	70
ANNEX.E Codificació IP-XY gràfica .....	72
ANNEX.F Estudi de radiació sobre Castelldefels .....	74
ANNEX.G Esquema circuital del node repetidor. Consideracions al disseny del circuit.....	75
ANNEX.H Búsqueda de mòduls fotovoltaics.....	77
ANNEX.I Verificació experimental del circuit d'alimentació del node repetidor .....	78
ANNEX.J Esquemàtic del circuit emprat en el node central.....	80
ANNEX.K Mesures de radiació de les antenes.....	82
ANNEX.L Compatibilitat electromagnètica .....	84
ANNEX.M Analog comparador per a monitoritzar l'estat de les bateries .....	85
ANNEX.N Diagrama de blocs del programa d'adquisició i processat fet amb LabVIEW.....	86
ANNEX.O Registres programats dels ETRX-2.....	87

# ÍNDEX DE FIGURES

Fig. 0.1 Diagrama de blocs del sistema .....	1
Fig. 1.1 Diagrama de blocs del node sensor.....	3
Fig. 1.2 Tensors utilitzats per fer el mecanitzat del sensor de nivell.....	4
Fig. 1.3 Sensor ubicat dintre del recipient utilitzat per fer les mesures experimentals al laboratori .....	5
Fig. 1.4 Recta de regressió del sensor de nivell .....	6
Fig. 1.5 Circuit per mesurar el valor del sensor de temperatura .....	7
Fig. 1.6 Circuit per mesurar el sensor capacitiu .....	8
Fig. 1.7 Diagrama de flux del codi del microcontrolador .....	14
Fig. 1.8 Corba de descàrrega de les piles L91 a 50 mA (21°C) .....	17
Fig. 1.9 Imatge aèria del Campus del Baix Llobregat on es mostren les ubicacions del node sensor, repetidor i central i l'antic punt de mesura. En la imatge encara no és present l'edifici del CTTC situat enfront de l'EPSC en direcció a l'estany .....	18
Fig. 1.10 Caixa ROLEC escollida.....	20
Fig. 1.11 Caixa amb la placa de circuit imprès del node sensor.....	20
Fig. 1.12 Node sensor muntat sobre el mur de l'estany del campus del Baix Llobregat .....	21
Fig. 2.1 Node repetidor en blocs .....	23
Fig. 2.2 a) Càrrega de la pila segons el fabricant; b) Descàrrega de la pila segons el fabricant	27
Fig. 2.3 a) Node repetidor implementat amb la caixa escollida, el circuit a l'interior, les plaques solars i el mecanitzat; b) Visió lateral del node abans de penjar-lo a la farola que permet veure la inclinació obtinguda amb el mecanitzat .....	27
Fig. 2.4 Node repetidor amb l'antena a la part superior instal·lat a la farola .....	28
Fig. 2.5 Placa del node central, coordinador de xarxa, amb el dispositiu ETRX-2.....	29
Fig. 2.6 Diagrama gràfic de blocs del node central.....	29
Fig. 2.7 Portada de la plana principal del treball.....	29
Fig. 2.8 Captura en pantalla del <i>popup</i> corresponent a l'opció gestió de xarxa .....	30
Fig. 2.9 Pantalla per visualitzar les dades en mode diari.....	30
Fig. 2.10 Antena del node central a la finestra del laboratori 123P frontal amb l'edifici del CTTC al Campus del Baix Llobregat.....	31
Fig. 3.1 Esquema de la comunicació implementada.....	33
Fig. 3.2 Diagrama del Hardware del mòdul ETRX-2 de Telegesis .....	34
Fig. 3.3 Protocol de comunicació entre el node sensor i el central de la xarxa pel mode de funcionament diari. ....	42
Fig. 4.1 Mesura de la capacitat en funció del nivell de l'aigua .....	47
Fig. 4.2 Cicle de treball del node sensor.....	49
Fig. 4.3 a) Captura de pantalla de l'oscil·loscopi de la caiguda de tensió en una resistència de 10 $\Omega$ a l'entrada d'alimentació del node sensor, quan s'ha despertat el transceptor i s'està unint a la xarxa; b) Captura de pantalla de l'oscil·loscopi, continuació de l'anterior, s'acaba de despertar el transceptor i es comencen a prendre mostres en mode diari.....	51
Fig. 4.4 Node sensor amb la farola al fons on hi ha el repetidor(no es veu tapat per la caseta dels obrers). Es poden observar les obres de l'edifici ICFO2 entre ambdós punts .....	52
Fig. 4.5 Esquema final de la xarxa. S'ha incorporat un repetidor provisional .....	53
Fig. 4.6 Node sensor muntat sobre el mur de l'estany.....	53
Fig. A.1 Esquemàtic del circuit del node sensor .....	65
Fig. B.1 Datasheet de la NTC 10K3A5421 .....	67
Fig. C.1 Circuit per mesurar $R_p$ .....	68
Fig. C.2 Circuit per mesurar $R_n$ .....	68
Fig. D.1 Punt de mesura a l'estany .....	70
Fig. D.2 Limnímetre situat al mur de l'estany del Campus del Baix Llobregat .....	71
Fig. E.1 Representació gràfica dels codis IP (IEC-60259).....	73
Fig. G.1 Esquema de la placa dissenyada per al node repetidor .....	75
Fig. I.1 Perfil de radiació extret a parir de la intensitat mesurada.....	78
Fig. I.2 Tensió mesurada en la bateria.....	79
Fig. J.1 Esquemàtic del circuit emprat en el node central .....	80
Fig. K.1 Màxima radiació de l'antena tipus SMD empleada.....	82
Fig. K.2 Fractus-12 en màxima radiació .....	83
Fig N.1 Diagrama de blocs del programa fet en LabVIEW .....	86

## ÍNDIX DE TAULES

Taula 2.1 Cel·les que compleixen amb els requisits per al dimensionat del sistema .....	26
Taula 3.1 Dades rebudes al node central .....	43
Taula 3.2 Seqüència entre mostres .....	43
Taula 4.1 Resultats de les mesures amb capacitats discretes en el marge entre 2 pF i 180 pF. Els resultats de l'UTI i del node sensor són la mitja de 10 mostres. La desviació estàndard correspon al node sensor. ....	46
Taula 4.2 Resultats de mesurar resistències discretes en el marge d'interès entre 5 k $\Omega$ i 30 k $\Omega$ . Els valors del node sensor són la mitjà de 10 mesures i la desviació estàndard s'ha obtingut a partir de les mateixes mostres.....	46
Taula 4.3 Consum estimat de la interfície de mesura.....	49
Taula 4.4 Consum estimat de l'ETRX-2.....	50
Taula 4.5 Estimació de durada de les bateries seleccionades segons el consum estimat .....	50
Taula 4.6 Consum experimental del node sensor en mode diari.....	50
Taula 4.7 Duració estimada de les bateries Energizer L91 .....	51
Taula 4.8 Mesures fetes amb el sistema propi respecte als elements de calibració.....	54
Taula F.1 Balanç energètic per a l'última quinzena de desembre de 1989.....	74
Taula H.1 Característiques de les cel·les solars possibles per a emprar en el dimensionat del sistema solar.....	77
Taula K.1 Resultats de les proves de distància amb antenes .....	83
Taula L.1 Estàndars europeus per emissions.....	84
Taula L.2 Estàndars per a immunitat intrínseca.....	84
Taula O.1 Registres programats als transceptors ETRX-2.....	87





## INTRODUCCIÓ

Les xarxes de sensors sense fils (Wireless Sensors Networks, en anglès) estan considerades per molts com una de les tecnologies que marcarà el segle XXI. Una de les aplicacions que poden tenir és la monitorització de paràmetres ambientals. En aquest projecte es proposa la monitorització de la temperatura i el nivell de l'aigua de l'estany del Campus del Baix Llobregat, cara a assegurar la seva preservació i sostenibilitat en el marc del programa laboratori REAL de la UPC.

En aquest projecte s'ha implementat físicament la xarxa de sensors sense fils. A més dels paràmetres mesurats, temperatura i nivell, es vol destacar el muntatge i posada en funcionament d'aquests nodes que permetran la comunicació entre l'estany i un punt de processat, al laboratori 123P de l'EPSC.

La Fig.0.1 mostra l'estructura bàsica del sistema implementat. Consta d'un node sensor, situat a l'estany i que s'encarrega de fer les mesures, un node repetidor, que retransmet les dades rebudes del node sensor, i un node central, situat a l'EPSC, que rep les dades, les processa, emmagatzema, mostra per pantalla i en un futur les publicarà a Internet. La comunicació és bidireccional, de tal manera que el node sensor pot rebre instruccions del node central via el node repetidor. En un futur està previst ampliar el número de paràmetres a mesurar i de nodes sensors i repetidors.



**Fig.0.1** Diagrama de blocs del sistema

Per a la temperatura s'especifica un marge de mesura d'entre 0 °C i 40 °C amb una resolució de 0,1°C. Per al sensor de nivell s'especifica un marge de mesura de 100 centímetres amb una resolució de 0,5 cm. La comunicació entre els diferents nodes és sense fils, emprant l'estàndard Zigbee [20].

El projecte parteix d'un treball previ [1], on es va implementar, a nivell de laboratori, el node sensor i el node central i la comunicació era unidireccional. En el treball aquí presentat es proposa la millora del node sensor, tant dels sensors com del control del procés de mesura i de transmissió de les dades, la inclusió del node repetidor, incloent la seva alimentació solar, i de la comunicació bidireccional, la implementació física dels nodes sensor i repetidor, i la validació de tot el sistema.

El treball s'ha estructurat seguint la implementació de la xarxa. Així per capítols, tractarem cada un dels elements que la conformen, sensors, repetidors i la part

d'adquisició i processament de les dades. S'explicarà el protocol de comunicació establert entre nodes i finalment es valoraran els resultats finals obtinguts, tant de les proves efectuades al laboratori com de les proves preliminars al lloc final d'ubicació de la xarxa, al Campus del Baix Llobregat i al seu estany en particular.

## CAPÍTOL 1. NODE SENSOR

El node sensor s'encarrega de fer mesures de la temperatura i nivell de l'aigua de l'estany i de transmetre per radiofreqüència les dades adquirides cap al node repetidor. Consta dels sensors, interfície de mesura i transceptor (Fig. 1.1). El disseny del node sensor es basa en un treball previ [1] al que s'han introduït millores substancials, tant en els sensors com en el control del sistema de mesura i de transmissió de dades. A més, s'ha canviat la ubicació del punt de mesura i s'ha portat a terme el seu disseny i implementació física.

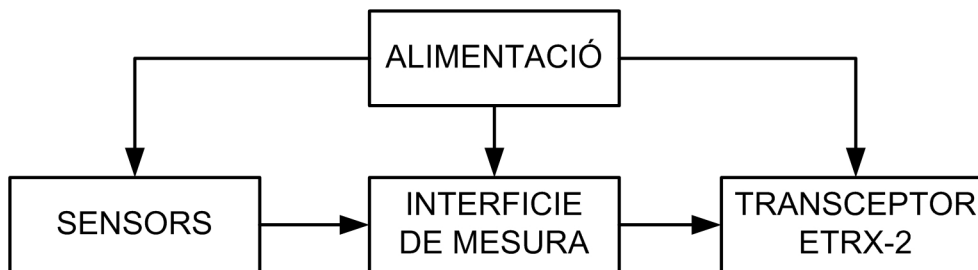


Fig. 1.1 Diagrama de blocs del node sensor

### 1.1 Sensors

Els paràmetres que es mesuren són la temperatura i el nivell de l'aigua. El sensor de temperatura és de tipus resistiu i el de nivell de tipus capacitiu. En un futur es preveu ampliar el número de paràmetres a mesurar, com la conductivitat de l'aigua, la temperatura, humitat i pressió a l'aire, i la humitat al subsòl.

#### 1.1.1 Sensor de temperatura

El sensor utilitzat (NTC 10K3A5421, Betatherm) és el proposat en [1]. A l'ANNEX.B es mostra el full d'especificacions. És un sensor resistiu (termistor) de tipus NTC (*Negative Temperature Coefficient*) que presenta una resposta no lineal i decreixent amb l'augment de temperatura. Presenta una major sensibilitat i un temps de resposta inferior als sensors RTD (*Resistive Temperature Detector*), així com un preu més econòmic, tot i que els RTD tenen una relació força lineal amb la temperatura per marges reduïts.

El model escollit té un valor nominal de 10 kΩ a 25 °C [3]. La relació entre la resistència i la temperatura és exponencial i ve donada per

$$R_x = A \times e^{\frac{\beta_0}{T}} \quad (1.1)$$

on  $\beta_0$  i  $A$  són constants i  $T$  és la temperatura en kelvin a mesurar. En [1] s'ha calibrat el sensor utilitzat i s'obtenen els valors de  $3861,95 \Omega$  i  $0,02142 \text{ K}$  per a  $\beta_0$  i  $A$  respectivament, presentant la temperatura estimada a partir de (1.1), una incertesa menor a  $0,3 \text{ }^\circ\text{C}$ . Aquest resultats seran utilitzats en aquest treball.

El sistema ha de tenir una resolució de  $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$  en el marge de mesura de  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ . Això es tradueix en una resolució de  $154 \Omega$  a  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $R_x = 29,819 \text{ k}\Omega$ ) i de  $19,52 \Omega$  a  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $R_x = 4,891 \text{ k}\Omega$ ). La resolució en bits donada per la relació entre el marge de mesura en ohms i la resolució, en el cas més restrictiu.

$$n = \frac{\log\left(\frac{29819,17 \Omega - 4890,54 \Omega}{19,52 \Omega}\right)}{\log(2)} = 10,31 \text{ b} \cong 11 \text{ b} \quad (1.2)$$

### 1.1.2 Sensor de nivell

Per tal de fer les mesures de nivell de l'estany s'ha dissenyat i implementat un sensor de nivell de tipus capacitiu [4]. El sensor consisteix en un tub de PVC sobre el que hi disposem longitudinalment i separats diametralment dos conductors de coure amb recobriment PTFE. A mesura que augmenta el nivell de l'aigua que cobreix el tub, s'incrementa la capacitat entre els dos conductors.

La Fig. 1.3 mostra el sensor. Té unes dimensions de  $150 \text{ cm}$  d'altura, amb un diàmetre interior de  $70 \text{ mm}$  i un exterior de  $75 \text{ mm}$ . Cadascun dels conductors s'ha disposat per la part interior i exterior del tub practicant uns orificis a la part superior i inferior. Això augmenta la sensibilitat del sensor, facilita el seu mecanitzat i evita aïllar elèctricament la part inferior del conductor. El conductor es fa passar per l'orifici inferior i es tensa per l'orifici superior amb un tensor de plàstic, de forma semblant a un instrument de corda, per tal d'aconseguir una major rigidesa (que el conductor quedi tibet) i així incrementar la repetibilitat de les mesures.



**Fig. 1.2** Tensors utilitzats per fer el mecanitzat del sensor de nivell

Per tal de validar el sensor dissenyat i implementat hem experimentat el seu comportament al laboratori. S'ha fet ús d'un recipient cilíndric de plàstic de 50 cm d'alt i un radi de 20 cm, variable en alguns punts a 21 cm, doncs no acaba de ser llis en la seva totalitat (Fig. 1.3). En la cara externa del recipient s'han marcat amb un regla el punts corresponents amb els increments de cada rang de mesura per centímetres des de 1 fins a 49. S'ha afegit l'aigua amb un vas de precipitats graduat. Per tal d'incrementar 1 cm s'han abocat 1,256 litres d'aigua en la part llisa, 1,385 litres d'aigua en la part més rugosa. Aquests valors s'han obtingut després de fer càlculs volumètrics del recipient.



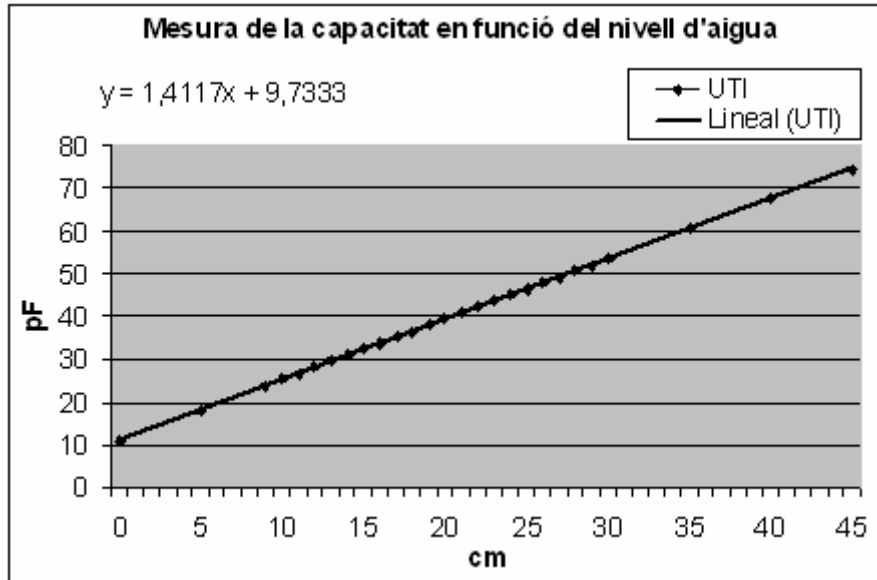
**Fig. 1.3** Sensor ubicat dintre del recipient utilitzat per fer les mesures experimentals al laboratori

Totes les mesures s'han fet un cop omplert en la totalitat el recipient en sentit decreixent. Es disposa d'una aixeta que permet buidar la part corresponent a la variació abans comentada. Per saber el contingut d'aigua extreta es fa ús dels càlculs abans fets i del mateix vas de precipitats. El motiu d'haver escollit fer els càlculs en mode decreixent ha estat d'una banda uniformitzar les mesures per tal d'evitar efectes d'histèresis. De l'altra la facilitat que suposa buidar el recipient amb l'aixeta més que omplir-lo. També s'ha tingut en consideració la falta d'un sistema d'abocament controlat de l'aigua que no mullés els cables del sensor i hi afegís una fina pel·lícula d'aigua que provoqués que el sensor donés un valor lleugerament superior al que realment correspon. El simple fet de prendre les mesures en mode decreixent pot provocar un petit augment del valor obtingut que s'ha considerat menyspreable per als resultats finals de l'experiment i molt inferior al que es tindria aplicant al dispositiu muntat de mesura una experimentació en mode creixent [37].

Per a caracteritzar el sensor de nivell s'utilitza una interfície electrònica comercial, el Universal Transducer Interface (UTI) [5]. La Fig. 1.4 mostra la

recta de regressió ajustada per mínims quadrats. La sensibilitat és de 1,4117 pF/cm amb un error màxim de no linealitat de 1,55 pF, que correspon a 1,09 cm de mesura.

Per fer mesures amb l'UTI i a fi d'evitar interferències en les mesures s'utilitza un optoacobrador (9SPOP2[39]) col·locat en sèrie entre el dispositiu i l'ordinador.



**Fig. 1.4** Recta de regressió del sensor de nivell

A partir de la recta s'obté l'expressió per calcular el nivell d'aigua existent als límits del tub.

$$\text{Nivell (cm)} = \frac{C_x - 9,7333}{1,4117} \quad (1.3)$$

on el valor de  $C_x$  és en picofaradis. Com que en aquest cas l'evolució de la capacitat és lineal amb el nivell podem obtenir la resolució en bits directament de les especificacions inicials: marge de mesura de 100 cm i resolució de 0,5 cm magnitud a mesurar. Així:

$$n = \frac{\log\left(\frac{100 \text{ cm}}{0,5 \text{ cm}}\right)}{\log(2)} = 7,6 \text{ b} \cong 8 \text{ b} \quad (1.4)$$

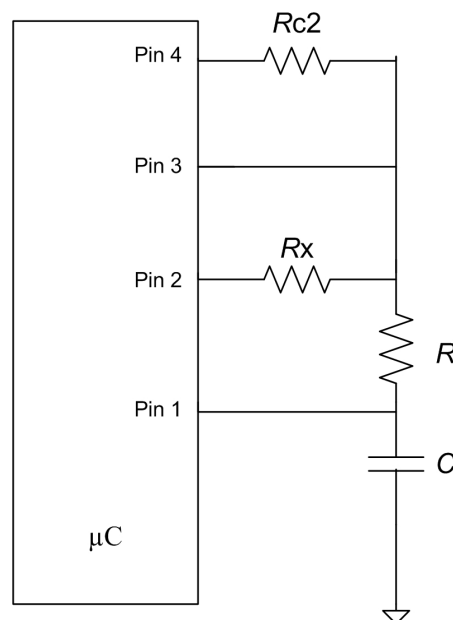
Amb aquestes dades estem en condicions de dir quin és el marge de capacitats del punt de mesura. Segons l'ANNEX.D el marge de mesura va de 5 cm a 105 cm del tub, això es correspon amb un marge de capacitats de 16,79 pF a 157,96 pF. S'ha escollit una capacitat de calibració de 100 pF, valor a un punt intermedi aproximat de la mesura que es correspon amb un càlcul de 63,94 cm de tub.

## 1.2 Interfície de mesura

Una vegada s'han escollit els sensors, cal condicionar el senyal per tal de transformar la magnitud física en elèctrica a fi de poder-la processar i convertir-la en informació d'utilitat. En aquest apartat s'explica el mètode de mesura i la seva implementació, desenvolupats prèviament en [1] i [2].

### 1.2.1 Mètode de mesura

El mètode de mesura, tant pel sensor resistiu com pel capacitiu, es basa en una interfície directa sensor a microcontrolador ( $\mu\text{C}$ ) [2]. La Fig. 1.5 mostra el circuit utilitzat per al sensor resistiu ( $R_x$ ), on s'utilitza una calibració a dos punts,  $R_{c2}$  i un curtcircuit.



**Fig. 1.5** Circuit per mesurar el valor del sensor de temperatura

El mètode bàsicament consisteix en el següent: Primer es configura el Pin 1 com a sortida a nivell alt (tensió d'alimentació  $V_{DD}$ ) i els Pins 2 a 4 com a entrades d'alta impedància, amb la qual cosa es carrega el condensador C a través de Pin1. Després es configura el Pin 1 com a entrada i el Pin 2 com a sortida a baix nivell (massa, 0 V), amb la qual cosa es descarrega C a través de  $R_x$  (i R que protegeix al port d'entrada per tal de no sobrepassar els 40 mA permesos [8]). El temps de descàrrega, des de l'instant inicial fins que la tensió arriba al llindar de detecció ( $V_{IL}$ ) del Pin 1, ve donat per

$$t_d = \tau \times \ln\left(\frac{V_{DD}}{V_{IL}}\right) \quad (1.5)$$

on  $\tau = R_x C$ . Aquest temps es mesura amb un temporitzador (*timer*) intern del  $\mu C$ , el qual utilitza com a referència un període de rellotge (intern o extern) del  $\mu C$ ,  $T_{clk}$ . Així

$$t_d = N_x \times T_{CLK} \quad (1.6)$$

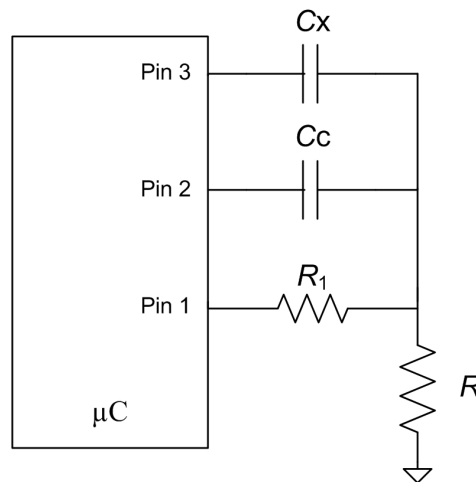
on  $N_x$  és el número de comptes del timer.

El procés es repeteix per les resistències de calibració ( $R_{c2}$  i el curtcircuit). Per tal d'obtenir el valor final de la resistència corresponent a la mesura aplicarem la següent expressió:

$$R_x = \frac{N_x - N_{c1}}{N_{c2} - N_{c1}} \times R_{c2} \quad (1.7)$$

on  $N_{c2}$  i  $N_{c1}$  són respectivament el número de comptes per  $R_{c2}$  i  $R_{c1}$ , i  $R_{c1} = 0$  en aquest cas.

La Fig. 1.6 presenta el circuit per a la mesura del sensor capacitiu ( $C_x$ ). El condensador  $C_c$  és de calibratge. En aquest cas, de forma similar al procediment descrit per al sensor resistiu, es carreguen els condensadors consecutivament i es descarreguen per la resistència  $R$ . A més, s'afegeix una mesura de zero. El pin1 detecta quan la tensió arriba a  $V_{IL}$ .



**Fig. 1.6** Circuit per mesurar el sensor capacitiu

L'expressió per calcular el valor de  $C_x$  és

$$C_x = \frac{N_x - N_{off}}{N_c - N_{off}} \times C_c \quad (1.8)$$

La resistència  $R_1$  redueix la freqüència de tall del filtre pas baix durant l'etapa de càrrega.



Per una descripció més exhaustiva del mètode de mesura es recomana consultar [1] o [2].

### 1.2.2 Microcontrolador ( $\mu\text{C}$ )

Els criteris que ha de complir el microcontrolador( $\mu\text{C}$ ) són:

- a) Baix preu.
- b) Baix consum. El node sensor va alimentat a bateries i ha de tenir una autonomia d'un any mínim.
- c) Diversos estats de funcionament respecte a l'alimentació (power modes), per tal de reduir consums de les diverses parts que integren el  $\mu\text{C}$  i sorolls en la mesura. Possibilitat d'adormir tots o alguns dels mòduls, excepte els timers que mantenen latent el dispositiu.
- d) Dos pins amb interrupció externa, un per cadascun dels sensors (Pin 1), *Buffer Schmit-Trigger* a l'entrada del ports I/O per tal de reduir l'efecte del soroll en les mesures .
- e) Un mòdul de captura, que automàticament carregui a un registre intern el valor de la mesura de temps. Aquesta funcionalitat és important de cara a reduir la incertesa de la mesura [6].
- f) Un mínim de pins, 8 d'I/O per tal d'assegurar que es poden fer les mesures de temperatura i nivell segons s'ha indicat en el punt anterior.
- g) Capacitat alta de gestió del port sèrie. USART amb capacitat per treballar com a mínim a 9600 b/s.
- h) Sistema d'interrupcions àgil i amb vàries aplicacions programades.
- i) Un *watchdog timer module*, per tal d'evitar que el microcontrolador es quedi bloquejat per efecte de les interferències. A part, aquest mòdul pot ser útil per treballar en espera, baix consum [7].

En [1] es va escollir el  $\mu\text{C}$  AVR ATtiny2313 (Atmel) en base als criteris a-d. A més, també suporta el nous criteris (e-i) i permet aprofitar el codi ja desenvolupat en [1]. Per tant, es considera una elecció adient pel projecte actual. Val a dir, però, que presenta una memòria (flash) de programa (2 kBytes) i de dades tipus EPROM (128 Bytes) limitada. Si en el futur es vol augmentar la intel·ligència i la capacitat d'emmagatzematge de dades del node sensor s'haurà de migrar a un altre  $\mu\text{C}$ .

Les característiques més importants del  $\mu\text{C}$  estan descrites a [1] i es pot trobar una descripció exhaustiva al full de característiques del fabricant [8].

### 1.2.3 Elecció de components

Tal i com es recomana en [8] es posa una capacitat de desacoblament (100 nF) entre l'alimentació i massa. L'ATTiny2313 ve de sèrie programat per treballar amb un rellotge extern i en aquest cas s'utilitza un cristall de quarts de 4MHz connectat a les entrades XTAL1 i XTAL2. Entre aquestes entrades i massa s'hi posen respectivament dos condensadors de 22pF tal i com recomana el fabricant [8].

A continuació es detalla l'elecció de la resistència i capacitat de calibratge per al sensor de temperatura i nivell respectivament i els temps mínims de càrrega.

#### 1.2.3.1 Sensor resistiu

El pins 1, 2, 3 i 4 de la Fig. 1.5 es corresponen amb els pins INT0/PD2, PB2, PB1 i PB4 del microcontrolador. Aquests pins són tots ports d'entrada/sortida (I/O).

El marge de mesura està comprès entre 29,819 k $\Omega$  (0 °C) i 4,891 k $\Omega$  (40 °C). Per a la resistència de calibratge s'escull un valor nominal de 15 k $\Omega$ , intermedi dintre del marge de mesura [2]. El valor de  $R$  (Fig. 1.5) s'escull de 330  $\Omega$  per a no sobrepassar el màxim corrent de 40mA en un pin I/O [8] amb una tensió d'alimentació de 3,5V.

Per a determinar el valor de  $C$  (Fig. 1.5) es parteix de la següent expressió, obtinguda a partir de (1.5)

$$\Delta t_d = \Delta \tau \times \ln\left(\frac{V_{DD}}{V_{IL}}\right) \quad (1.9)$$

on  $\Delta \tau = \Delta R_x C$ . Tenint en compte (1.6), la mínima resolució temporal és  $T_{clk}$  i s'ha de complir que

$$\Delta t_d \geq T_{CLK} \quad (1.10)$$

Si es vol una resolució de 0,1 °C, que correspon a una variació de 19,52  $\Omega$  en el cas més restrictiu (temperatura de 40 °C), el valor mínim de  $C$  s'obté a partir de (1.9) i (1.10) segons

$$C \geq \frac{T_{CLK}}{(R_x(40^\circ\text{C}) - R_x(39,9^\circ\text{C})) \times \ln\left(\frac{V_{DD}}{V_{IL}}\right)} = 16,41 \text{ nF} \quad (1.11)$$

on  $V_{DD}$  es considera 3,3 V i  $V_{IL}$  per tant és 1,5 V segons [8]. Ara és possible obtenir la resolució en bits del convertidor indirecte, que són les comptes

temporals de descàrrega, per al millor i el pitjor cas respectivament fent ús de la següent equació:

$$n = \frac{\log \left( \frac{\tau \times \ln \left( \frac{V_{DD}}{V_{IL}} \right)}{T_{CLK}} \right)}{\log 2} \quad (1.12)$$

El condensador  $C$  escollit és de 100 nF valor comercial ja que així s'assegura complir amb la resolució mínima desitjada. La resolució que necessita el convertidor indirecte és de 13 bits en el pitjor cas a 0°C i 11 bits per als 40°C.

El temps de càrrega mínim de  $C$  es determina a fi de que la tensió entre els seus borns tingui un error menor que la meitat de l'error de quantificació.

$$\begin{aligned} V_C &= V_{DD} \times (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \\ V_{DD} \times e^{-\frac{t}{\tau}} &= \frac{V_{DD}}{2^{n+1}} \\ t &= 9,7 \times \tau \end{aligned} \quad (1.13)$$

on  $V_C$  és la tensió en borns de  $C$ ,  $n$  el nombre bits de quantificació màxima, per al pitjor cas 13 bits, i  $\tau = R_p C$ , on  $R_p$  és la resistència interna del port configurat com a sortida a nivell alt. El valor de  $R_p$  s'ha obtingut experimentalment (ANNEX.C) i és de 77  $\Omega$ . Per tant, el temps de càrrega necessari serà de

$$\begin{aligned} \tau &= 100\text{nF} \times 77\Omega \\ t &= 7,7 \mu\text{s} \end{aligned} \quad (1.14)$$

S'escull un temps de càrrega força superior al necessari, 100  $\mu\text{s}$ , a tenir en compte en la programació del  $\mu\text{C}$ .

### 1.2.3.2 Sensor capacitiu

El pins 1, 2 i 3 de la (Fig. 1.6) es corresponen amb els pins INT1/PD3, PB7 i PB5 del microcontrolador. Aquests pins són tots ports I/O.

Segons l'anàlisi fet a l'apartat 1.1.2 el marge del sensor de nivell va de 16,79 pF a 157,96 pF. Com a capacitat de calibració ( $C_c$  a la Fig. 1.6) s'ha escollit un valor intermedi tenint en compte els valor mitjans de nivell del llac (ANNEX.D), 100 pF, valor comercial. A continuació procedirem a justificar l'elecció del valor de la resistència de càrrega  $R$ .

Seguint els mateixos passos que en l'apartat 1.2.3.1, a partir de (1.9) i (1.10) i seguint el mateix raonament fet en (1.11), buscarem la resistència de

descàrrega mínima que permeti complir amb la resolució mínima desitjada, 0,5 cm, equivalent a 0,7058 pF. S'obté que

$$R \geq \frac{\Delta t_d}{(C_x(5 \text{ cm}) - C_x(5,5 \text{ cm})) \times \ln\left(\frac{V_{DD}}{V_{IL}}\right)} = 0,449209 \text{ M}\Omega \quad (1.15)$$

Augmentant la resistència, s'aconseguirà també incrementar la resolució i per tant assegurar millor la resolució especificada. Agafem una resistència comercial de 1 M $\Omega$ , amb el que es pot aspirar a una resolució teòrica de 0,1 cm. Amb aquest valor es necessitaran 6 bits del convertidor indirecte a 16,88 pF i 9 bits en el valor més alt 157,96 pF.

El temps que es considera necessari per carregar el condensador, de manera que l'error sigui inferior a la meitat de l'error de quantificació és el que mostrarem a continuació. Tenint en compte la màxima resolució possible del convertidor indirecte amb els valors seleccionats, 9 bits, que surten d'aplicar l'equació (1.9) per una resistència de càrrega de 10 k $\Omega$  més la resistència interna  $R_p$  de 77  $\Omega$  i un cicle de rellotge de 250 ns del  $\mu\text{C}$ .

$$t = 7 \times \tau \quad (1.16)$$

D'aquí s'obté el valor final

$$\begin{aligned} \tau &= (10 \text{ k}\Omega + 77\Omega) \times 172,44 \text{ pF} = 1,73 \mu\text{s} \\ t &= 7 \times 1,73 \mu\text{s} = 12,16 \mu\text{s} \end{aligned} \quad (1.17)$$

Es deixa una mica més de temps del necessari per a que es carregui el condensador, 100  $\mu\text{s}$ .

### 1.3 Transceptor

El transceptor s'encarrega de rebre les dades capturades i emmagatzemades pel  $\mu\text{C}$  i enviar-les sense fils al node central que s'encarregarà de processar-les. Es treballa amb l'estàndard Zigbee [20] en la banda de 2,4 GHz.

S'ha adquirit un mòdul comercial que fa aquesta funcionalitat, en concret el ETRX-2 de Telegesis [9], que és una actualització respecte al ETRX-1 utilitzat en [1]. Consta d'un dispositiu EM250 (Ember) [22] i d'un capçal de RF incloent l'antena, que convenientment programats i adequats permeten varies funcionalitats. La principal, capturar dades a través del port sèrie i empaquetar-les i enviar-les a un altre dispositiu ETRX-2 segons el protocol Zigbee. També, i de la mateixa forma, es poden aprofitar les funcionalitats internes del xip per verificar el valor de la tensió d'alimentació i fer ús dels convertidors A/D. Pot treballar en diversos modes de consum energètic disposant d'un sistema

d'interrupcions externes àgil que en facilita la gestió. En el CAPÍTOL 3 s'entrarà més en detall.

## 1.4 Programació

En aquest punt es descriu el codi programat al  $\mu C$  ATtiny2313 d'Atmel, que permet realitzar les mesures, emmagatzemar-les i enviar-les al destinatari.

L'estructura final del programa implementat es mostra en la Fig. 1.7.

Primer de tot es configuren els diferents paràmetres que intervindran en el procés, USART, interrupcions i registres específics. D'inici, el programa funciona amb mesures constants amb un interval entre elles de 1 segon. Cada 12 mostres, s'envien les dades. Des del receptor es contesta un cop rebudes les dades, amb la freqüència de mesura, que pot ser contínua com fins ara o cada 2 hores, diària. Quan la mesura és cada dos hores es corre el perill de que una pujada del llac no sigui controlada. Per aquest motiu en aquest mode de treball, després de realitzar cada mesura, es permet l'opció de preguntar al receptor si vol o no mantenir el període de mesura. Si vol canviar, immediatament es comença a mesurar de forma contínua. Si no vol canviar, simplement sense contestar l'advertència llençada, el programa s'espera 1 s i continua la seva normal execució. Quan s'assoleixen les 12 mostres s'envien les dades i torna a començar de nou el cicle.

En el període entre mesures, el sistema està en repòs, estadi *power down*. En aquest estadi només continuen actius els rellotges interns del  $\mu C$ , el consum és molt reduït (veure 4.2). Es fa servir el *watchdog timer* per despertar el sistema de la latència. Cada segon, es genera una interrupció, desperta el dispositiu i comprova si s'ha complert amb l'espera desitjada, 2 hores en el nostre cas. Si és que no tornarà a entrar en estadi *power down* i repetirà el procés fins que es compleixin les 2 hores. En aquest punt es realitzen les mesures. Un cop guardades les mostres a l'EPROM del  $\mu C$ , el sistema varia segons el mode de funcionament.

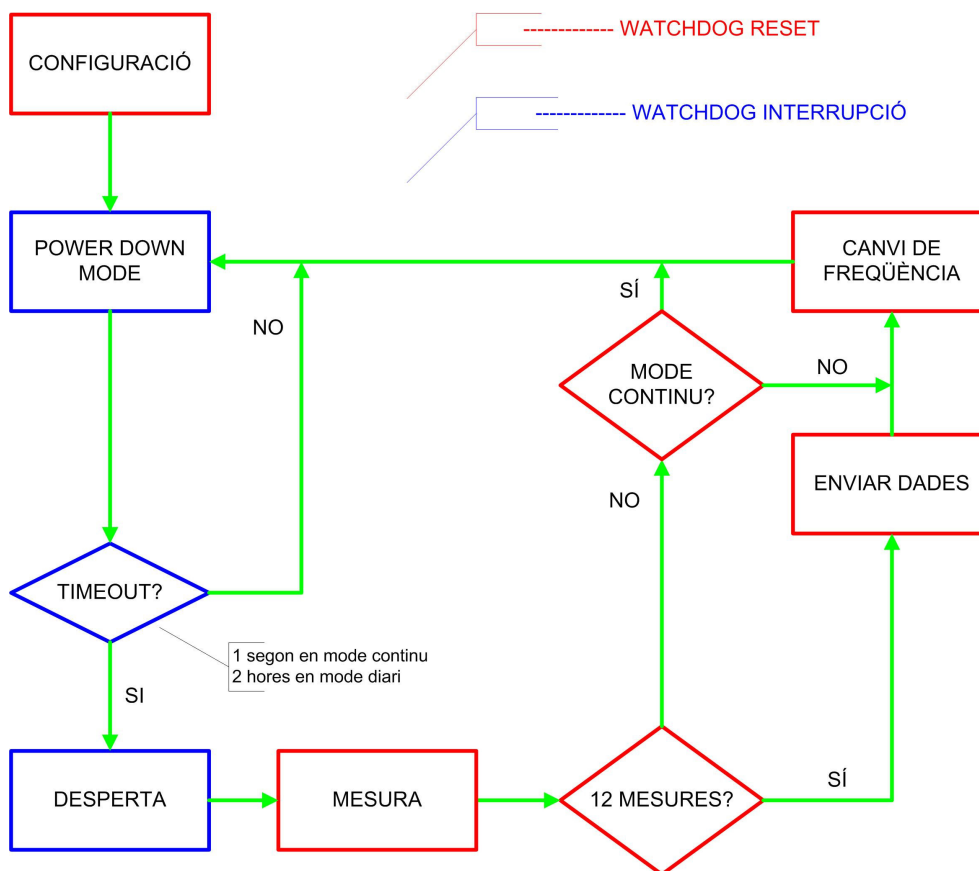
Quan s'està en mode diari, després de guardar la mostra i assegurar que no s'han sobrepassat les 12 mostres permeses, i aprofitant que el dispositiu està actiu, s'envia un missatge de notificació al node central per tal de comunicar que està despert. S'entra durant 1 segon en estadi *Idle*, a l'espera que s'envii notificació de canvi de freqüència. Tant si es contesta com si no, l'ATtiny2313 entrarà en *power down mode*, amb la diferència, que si s'ha notificat es canviarà la freqüència entre mesures, el mode de treball.

En mode continu, directament s'entra en estadi *power down* sense més, després de comprovar-se no haver emmagatzemat més de 12 mostres

Tant en un mode com en l'altre, quan s'emmagatzemen 12 mostres, aquestes són enviades al node central. Aquest contesta amb un missatge amb el mode de treball amb el que vol que s'iniciï el proper cicle. Es torna a deixar el dispositiu en *power down*.

Fora dels estadis de baix consum, *power down*, i consum mitjà, *idle*, el dispositiu treballa en màxim consum, estadi actiu. En l'apartat 4.2 s'especifiquen amb detall aquests consums.

El sistema està convenientment protegit amb un sistema de detecció d'errors basat en el rellotge *watchdog* quan s'està en estadi actiu, que permet detectar errors d'execució i reiniciar l'aplicació, via *reset*, seguint tècniques referenciades en [7]. D'aquesta manera el  $\mu\text{C}$  no es quedarà penjat en una instrucció sinó que es reinicialitzarà. Cal recordar que el dispositiu és al llac, i el seu funcionament es pretén autònom. En cas d'incidència el *reset* se'l fa ell mateix gràcies al *watchdog reset mode*.



**Fig. 1.7** Diagrama de flux del codi del microcontrolador

En la programació s'ha partit del codi implementat en [1] realitzant diferents millores que s'enumeren a continuació:

- Correcció dels temps de càrrega dels condensadors adequant-los als valors propis de les noves condicions de mesura.
- Execució d'instruccions clau per enquesta (*polling*). No s'escriu a memòria fins que no toca. No s'envia cap dada fins que el *buffer* no està disponible. Quan es rep una dada s'activa una senyal que ens indica la

presència, llavors es procedeix. Si es rabassa el *timeout* establert en cada acció s'actua en conseqüència, fins i tot reiniciant l'aplicació.

- Abans d'enviar el següent paquet s'espera la resposta de confirmació de rebuda de l'anterior. La xarxa també es gestiona per enquesta.
- Ús del *watchdog timer*, no només com a comptador en mode de baix consum sinó com a gestor de seguretat de l'aplicació segons tècniques extretes de [7].
- Ús del *brownout* detector (comparador del nivell de tensió d'alimentació que reinicialitza l'aplicació) per tal d'assegurar la no pèrdua de dades en la presa de mostres degut a una caiguda de la tensió d'alimentació.
- Aprofitament màxim dels recursos de la EEPROM per tal d'augmentar el nombre de mesures per cada enviament. S'ha passat de 10 a 12 mesures, una mostra cada 2 hores si es volen emmagatzemar les dades corresponents a tot un dia.
- Adequació a les instruccions de la pila EmberZnet2.3 al fer ús de l'ETRX-2 de Telegesis com a transceptor.
- Eliminació de l'activitat de canvi de freqüència i descàrrega manual a l'estany. Només en un cas crític, recanvi de bateries o problema tècnic, s'ha d'anar in situ. L'enviament i la freqüència temporal es canvien per ràdio des del laboratori.
- Es treballa en tres modes energètics: Actiu, tots els recursos en funcionament amb màxim consum d'energia. *Power Down*, situació d'energia mínima, només funcionen els *timers*, en aquest cas el *watchdog* que desperta per interrupció l'aplicació i gestiona el temps de repòs entre mesures. Finalment *Idle* per a reduir el consum en espera d'una entrada via port sèrie per modificar el mode de treball.
- Reducció del consum apagant mòduls dels dispositius presents però que no es fan servir com *l'analog comparator*. S'ha de posar a '0' per estalviar energia.
- Quan un pin del microcontrolador no està en ús es defineix com a sortida i es posa a baix nivell per evitar l'entrada d'interferències.

## 1.5 Sistema d'alimentació

El consum del node sensor és un punt fonamental del treball. El requisit inicial és que funcioni autònomament com a mínim un any. Totes les decisions que s'han pres fins al moment han estat orientades a treballar amb modes de baix consum i les premisses d'estalvi energètic han estat tingudes en consideració. A continuació es descriu el sistema d'alimentació per al node sensor.

### 1.5.1 Elecció del sistema d'alimentació

La gran majoria de dispositius comercials i de recerca que funcionen amb sensors sense fils s'alimenten amb bateries i aquestes determinen en gran manera la dimensió del node final i condicionen el seu funcionament.

Les piles, que són no recarregables, són emprades amb freqüència, principalment els tipus AA, AAA i botó. Les piles alcalines ofereixen una alta densitat energètica a un preu força assequible, amb una descàrrega poc llisa i un tamany força gran d'acord amb les dimensions dels nodes finals; la seva vida útil s'estipula en 5 anys. Les piles de liti són molt més compactes, amb una corba de descàrrega força més llisa, una vida útil major respecte les alcalines i un preu accessible, això sí, mantenint la caria de les dimensions relativament grans.

Les bateries, que son recarregables, es consideren poc desitjables en entorns de WSN (sigles en anglès de xarxes de sensors sense fils), la seva baixa densitat, alt cost econòmic i la dificultat de recarregar-les al lloc final de mesura en són punts en contra [10].

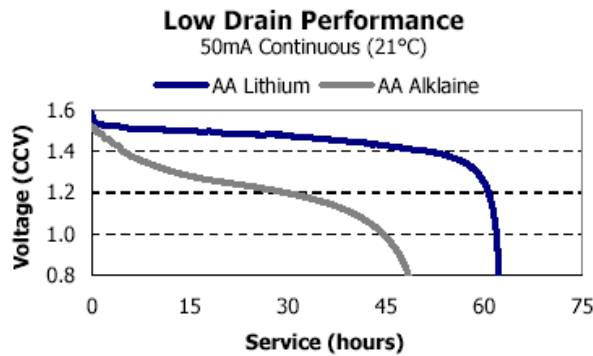
Sembla clar que la millor elecció possible passa per escollir una pila no recarregable, de liti. El tipus seleccionat són les de tipus AA. S'han descartat les de botó i les AAA per la poca capacitat que ofereixen les solucions comercials presents al mercat.

### 1.5.2 Bateria de liti seleccionada. ENERGIZER L91

Després de fer una cerca exhaustiva de bateries comercials tipus AA i de liti, l'única marca que ha pogut satisfer les expectatives creades ha estat ENERGIZER[11]. En concret el model L91. La cerca ha estat depurada i cap de les marques següents, SAFT, VARTA i DURACELL tenia una pila AA de liti de 1,5V, com a mínim el dia de la cerca (14/11/2006). L'elecció del voltatge nominal s'ha fet tenint en compte l'alimentació del circuit, ha de ser d'entre 2,7V i 3,6V, limitat per dalt pel mòdul de comunicacions ETRX-2 [9] i per baix pel microcontrolador [8].

La pila seleccionada, L91 d'Energizer (de Liti) [12], té una tensió nominal de 1,5V, una capacitat de 3 A·h i una vida útil de fins a 15 anys. El fabricant aporta una gràfica de la corba de descàrrega a una temperatura de 21 °C amb un consum de 50 mA (Fig. 1.8). Així doncs, és possible complir els requisits de tensió si s'escullen 2 piles de 1,5V. La tensió màxima és de 3,2 V ( $1,6 \text{ V} \times 2$ ) i la mínima, just abans del colze de descàrrega pronunciada, de 2,8 V ( $1,4 \text{ V} \times 2$ )





**Fig. 1.8** Corba de descàrrega de les piles L91 a 50 mA (21°C)

Una de les preocupacions que hi pot haver rau en la variabilitat de la tensió de la pila en funció de la temperatura a la que està sotmesa en descàrrega. El fabricant aporta un informe tècnic que demostra que entre 0°C i 40°C, el nostre marge de treball, la variabilitat és més aviat escassa, de l'ordre de 0,1 V [13].

### 1.5.3 Control de l'estat de les bateries.

Al ser un node remot és d'interès monitoritzar l'estat de les bateries per tal de reemplaçar-les amb antelació abans de que deixin de funcionar.

Per tal de visualitzar l'estat de les piles amb que s'alimenta el node sensor, després d'estudiar diverses alternatives, s'ha optat per l'estratègia que permet aprofitar els recursos emprats en el projecte. El mòdul transceptor ETRX-2 de Telegesis està equipat internament amb un microcontrolador EM250 (Ember) [18] que programat per Telegesis permet obtenir la tensió d'alimentació del mòdul visualitzant un registre de la capa d'aplicació. Com l'alimentació és comuna per a tots els elements del node, es pot saber la tensió de la bateria.

L'estratègia de programació per la que s'ha optat consisteix en enviar junt amb les dades corresponents a la mesura el valor de la tensió de la bateria.

De les alternatives que s'han estudiat se'n donen més detalls en ANNEX.N. Tot i no haver estat emprades finalment poden ser factibles d'aplicar en altres usos i han format part de la recerca feta en el treball.

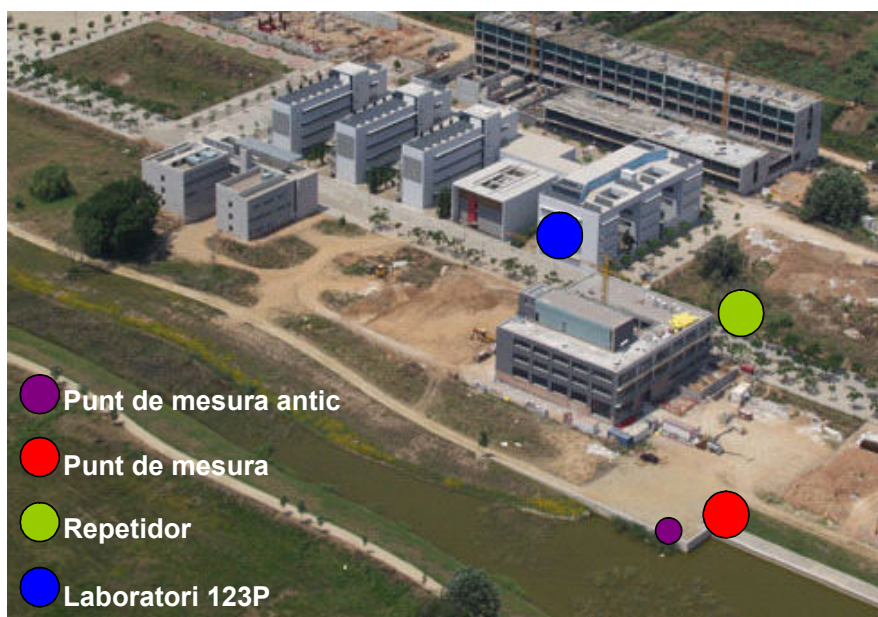
## 1.6 Disseny del punt de mesura

Cal ubicar el node sensor en algun punt de l'estany i instal·lar-hi el circuit corresponent. Per fer-ho ens regirem de les normatives vigents, sobretot en quant a proteccions per al circuit. Es pretén que el punt de mesura sigui estable, segur, robust i legal.

### 1.6.1 Ubicació

El punt de mesura s'ha de col·locar de forma que tingui visió directa amb el repetidor, que es col·locarà en una farola. També es requereix d'un punt on es pugui manipular la circuiteria amb facilitat i que disposi de certa superfície per agafar-hi el tub i una caixa de protecció per al circuit. No hi han gaires alternatives, només una farola en tot el campus pot arribar a tenir visibilitat directa amb l'estany, si més no amb zona de mur. La resta tenen la trajectòria tapada i per tant presenten un problema de *shadowing* en la comunicació i no són vàlides. D'entre els llocs a triar existeixen dues opcions. Una és repetir on està l'antic punt de mesura (Fig. 1.9). L'altra és a la paret perpendicular del anterior enfront de l'ICFO. L'elegida finalment ha estat la segona, és accessible i el nivell fins al fons del llac és perfecte per mesurar amb un tub de 150 cm tal i com s'especifica en l'ANNEX.D. Si en la validació final es demostra que hi ha problemes de *shadowing* s'hauran de posar més repetidors.

La Fig. 1.9 mostra una imatge del Campus del Baix Llobregat, on s'indica el punt de mesura (node sensor), el repetidor (node repetidor) sobre la farola escollida i finalment la ubicació del laboratori 123P de la EPSC, on es situa el node central. També s'hi mostra la ubicació de l'antic punt de mesura.



**Fig. 1.9** Imatge aèria del Campus del Baix Llobregat on es mostren les ubicacions del node sensor, repetidor i central i l'antic punt de mesura. En la imatge encara no és present l'edifici del CTTC situat enfront de l'EPSC en direcció a l'estany

### 1.6.2 Encapsulat

Per instal·lar el punt de mesura fan falta, a part de les eines pròpies per fixar al mur, una enclosa per al circuit del node sensor. L'elecció no és trivial, ja que s'han de complir amb unes normatives que a continuació es defineixen.

### **1.6.2.1 Normativa vigent**

Avui en dia les caixes amb les que es cobreixen els dispositius electrònics segueixen, depèn de la zona en la que es disposen, dos estàndards diferents. D'una banda els EUA que es regeixen per les normes imposades pel *National Electrical Manufacturers Association* (NEMA). Internacionalment n'hi ha d'altres regles que es fan servir. Aquest treball es regirà per les acceptades per la Unió Europea. Són les normes de la Comissió Electrònica Internacional (IEC) que marca els graus de protecció, d'acord amb l'Organització d'estàndards internacional (ISO), que s'han de donar a les caixes de protecció per a electrònica seguint una nomenclatura pròpia (codi IP). L'especificació concreta que es seguirà és la IEC-60259.

Alhora de seleccionar el tipus de protecció a verificar, s'ha d'observar l'entorn, mirar quines són les condicions del punt de mesura. No és un punt submergit, però està situat a la intempèrie a expenses de precipitacions que en l'entorn de Castelldefels estadísticament poden ser torrencials [14]. D'altra banda com s'està a l'aire lliure es vol evitar la penetració de qualsevol tipus d'objecte. Per això i segons es pot veure en l'ANNEX.E on es mostren els diferents graus de protecció existents de forma gràfica. La IP seleccionada per als dispositius del treball és la 66 (IP66).

Finalment, anomenar les normes a complir sobre compatibilitat electromagnètica, seguint la directiva europea 89/33/CEE, i les seves actualitzacions de l'any 2000 de la directiva 99/5/CEE. Es poden veure uns quadres resums en l'ANNEX.L.

### **1.6.2.2 Estudi de mercat de materials necessaris**

Un cop fixat quin és el rang IP que s'ha de complir s'han de mirar els materials de que estan fetes les encloses disponibles al mercat [15] [16]. Existeixen 3 materials que compleixen amb la IP66, el policarbonat, l'ABS i l'alumini. Al estar en un entorn de comunicacions d'altres freqüències, la tercera alternativa quedarà descartada. De les altres dues, cap suposa un impediment per a les comunicacions. Per això el criteri per elegir un material, policarbonat, o l'altre, ABS, serà en funció de l'oferta existent, o d'altres necessitats com la facilitat d'anclatge en mur o de tancament amb clau així com el preu que ofereixi la solució comercial disponible.

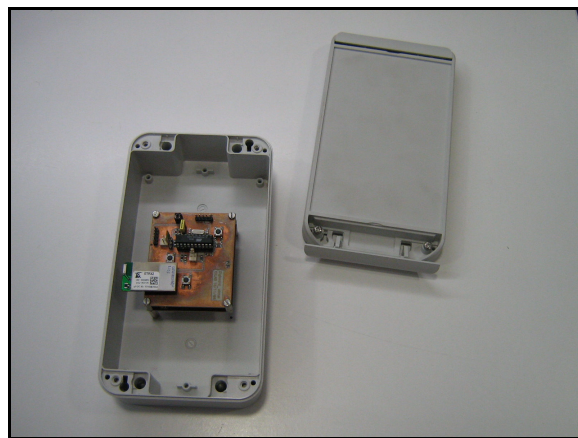
L'enclosa seleccionada és una ROLEC starcase [19] (Fig. 1.10), les dimensions de la qual són 6 cm × 11cm × 20cm. Aquesta caixa anirà enganxada a la paret de formigó de l'estany en el punt de mesura. Està feta amb ABS i compleix amb la IP66. És ideal per muntar sobre murs, té els claus d'obertura amagats i és robusta a la vista de possibles vandalismes. A més, les dimensions internes permeten posar-hi un circuit de mesura més gran que l'actual en vista a cobrir possibles necessitats de futur.



**Fig. 1.10** Caixa ROLEC escollida

### 1.6.3 Mecanitzat

La interfície de mesura, el transceptor i l'alimentació del node sensor s'han integrat en una placa de circuit imprès. L'ANNEX.A mostra l'esquemàtic. Dintre de la caixa seleccionada s'hi ha muntat el circuit imprès (Fig. 1.11) i s'han practicat dos orificis per fer passar els cables dels sensors. Els orificis s'han protegit posteriorment amb silicona per mantenir el nivell de protecció buscat.



**Fig. 1.11** Caixa amb la placa de circuit imprès del node sensor

Finalment en el mur s'ha muntat l'enclosa amb el tub just davall agafat amb dues abraçadores metàl·liques. S'han introduït els cables del sensor de nivell i de temperatura que s'ha fet baixa recte per la paret interna del tub, fixant-se a la part final per tal que sempre estigui submergit (no floti sobre l'aigua).

La Fig. 1.12 mostra el node sensor instal·lat al punt de mesura.



**Fig. 1.12** Node sensor muntat sobre el mur de l'estany del campus del Baix Llobregat



## CAPÍTOL 2. NODE REPETIDOR I CENTRAL

### 2.1 Node Repetidor

#### 2.1.1 Parts que conformen el node repetidor

El node repetidor s'encarrega, de forma transparent, de reemetre el senyal enviat pel node sensor fins al node central. La banda de treball seleccionada dins l'estàndard Zigbee és la de propòsit general. Per això és necessari disposar d'una antena de 2,4 GHz i un dispositiu que de forma transparent gestioni el rebot dels paquets, en aquest cas l'ETRX-2. Aquests dos elements són detallats al CAPÍTOL 3. Finalment, és necessari alimentar tot el node, ha de funcionar de forma autònoma i estar actiu les 24 hores del dia. Per aquest motiu s'ha dissenyat un circuit encarregat de gestionar l'energia del node. En la Fig. 2.1 es pot observar el diagrama de blocs del node repetidor.

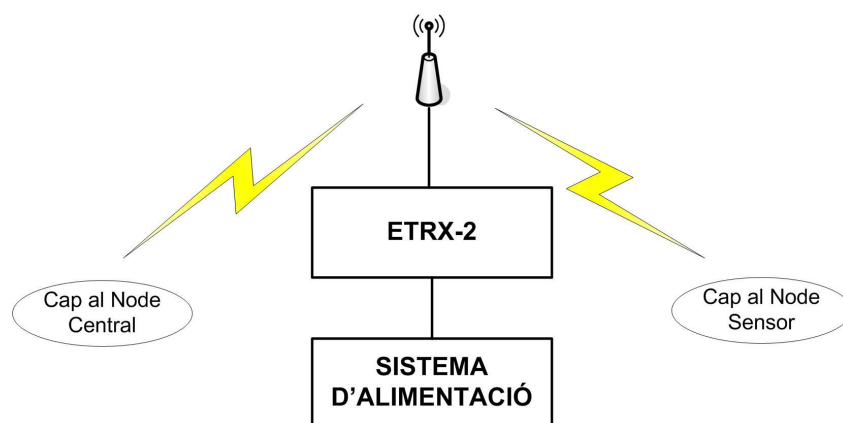


Fig. 2.1 Node repetidor en blocs

#### 2.1.2 Sistema d'alimentació

##### 2.1.2.1 Introducció

El node repetidor fa ús del dispositiu ETRX-2 de Telegesis basat en la pila EmberZnet2.3 d'Ember. El sistema d'alimentació del node repetidor ha de complir amb les següents premisses:

- Disponibilitat d'energia les 24 hores del dia, els 365 dies de l'any. Com de partida la xarxa implementada és bàsica es podria optar per adormir el node quan es sap que no se n'ha de fer ús, per així reduir el consum diari d'energia. Això implicaria un mecanisme de sincronització de rellotges entre els dispositius presents als nodes. Aquesta opció no s'ha implementat en aquest treball i s'apunta com una opció de futur.
- Dimensió i pes reduïts, es vol situar en una farola, ha de ser lleuger i manipulable.

- Baix cost. El sistema final ha de ser econòmic.

Les especificacions de la tensió d'alimentació i consum de corrent del dispositiu ETRX-2 en el mode de màxima activitat són:

$$\begin{aligned} V_{CC} &= 2,1 \text{ V} - 3,6 \text{ V} \\ I_{CC} &= 36 \text{ mA} \end{aligned} \quad (2.1)$$

Es suposa que el rendiment del sistema de càrrega és del 100% alhora d'estimar la intensitat consumida ( $I_C$ ), per tant 36 mA. El consum dels altres components i dispositius utilitzats en el node repetidor es consideren desestimables. Amb aquestes dades s'obté la capacitat ( $C_C$ ) consumida diàriament:

$$\begin{aligned} I_C &= 36 \text{ mA} \\ E_C &= I_C \times V_{\text{bat}} \times 24 \text{ h} \\ C_C &= E_C / V_{\text{bat}} = \frac{(I_C \times V_{\text{bat}} \times 24 \text{ h})}{V_{\text{bat}}} = 864 \text{ mAh} \end{aligned} \quad (2.2)$$

En aquest cas l'elecció de piles com a sistema d'alimentació no és una bona opció, si es volgués una pila que durés un any mínim se'n necessitaria una de 315 Ah de capacitat. Tot i que existeixen, són cares i de mida i pes considerables.

Per aquest motiu s'ha considerat el disseny d'un sistema fotovoltaic per a l'alimentació del node. Un sistema fotovoltaic permet la recàrrega diària (parcial o completa) de les bateries, aconseguint una reducció de la capacitat necessària (Ah) i per tant del tamany. La resta de l'apartat 2.1.2 es basa en l'estudi i treball realitzat per Mayte Penella, doctorant del grup ISI de l'EPSC, i han estat extrets de [27].

### 2.1.2.2 Dimensionat del sistema fotovoltaic

Per a dimensionar el sistema s'utilitzen les dades de la quinzena de menor radiació de l'any 1989 a Castelldefels (Latitud 41,28 i Longitud 1,96), que correspon a la segona de desembre. De [29] s'han obtingut les dades de radiació mitjana diària en aquest període, que és de  $144 \text{ W/m}^2$ . Es defineix el paràmetre *PSH* com les hores equivalents al llarg d'un dia en que es rep una potència de  $1000 \text{ W/m}^2$ . Així, en el cas considerat:

$$PSH = \frac{144,64 \text{ W/m}^2 \times 24 \text{ h}}{1000 \text{ W/m}^2} = 3,471 \text{ h} \quad (2.3)$$

El valor necessari de  $I_{sc}$  (corrent de curtcircuit) pel panell solar, considerant una radiació de  $1000 \text{ W/m}^2$ , s'obté a partir de:



$$I_{SC} = \frac{E_{consumida}}{PSH \times V_{bat}} = 0,355 \text{ A} \quad (2.4)$$

Amb les hores de pic solar i la intensitat de curtcircuit ( $I_{SC}$ ) es pot trobar la càrrega generada diàriament ( $C_G$ ) segons (2.5).

$$C_G = PSH \times I_{SC} \quad (2.5)$$

Segons s'ha extret de [27], un cas òptim per a la situació del treball seria una *DOD* (densitat de profunditat de càrrega o percentatge de càrrega i descàrrega d'una bateria) del 25 %, afavorint un nombre alt de cicles de recàrrega, després de les 16 hores de fosc en el període crític establert. Tenint presents aquestes consideracions, la capacitat de la bateria ( $C_{bat}$ ) escollida per al sistema fotovoltaic, s'estima per a més de 2300 mAh segons (2.6).

$$C_{bat} = \frac{36 \text{ mA} \times 16 \text{ h}}{0,25} = 2304 \text{ mAh} \quad (2.6)$$

Aquest criteri de selecció suposa una autonomia del sistema d'una mica més de 4 anys.

### **2.1.2.3 Disseny circuital**

L'ANNEX.G mostra l'esquemàtic del transceptor i el circuit d'alimentació del node repetidor que s'ha implementat en una placa de circuit imprès. La càrrega es realitza directament del pannel solar a través d'un díode que impedeix la descàrrega de les bateries quan no hi ha radiació solar. S'ha incorporat un sistema de protecció per sobrecàrrega i per a descàrregues profundes de la bateria. També es monitoritza el valor del corrent generat per la placa solar i de la tensió de les bateries gràcies a la disponibilitat de convertidors A/D en els mòduls ETRX-2 i de la funcionalitat de lectura de tensió d'alimentació. Aquestes dades es transmeten remotament i permeten fer el control i estudi dels paràmetres de càrrega i descàrrega.

Així doncs, en períodes de falta de llum, el node s'alimenta de les bateries, assegurant l'energia constant al node repetidor les 24 hores del dia.

### **2.1.2.4 Elecció del mòdul fotovoltaic**

S'ha fet una cerca de panells fotovoltaics disponibles en el mercat. Anar a l'ANNEX.F per a més informació.

Cal tenir en compte la presència d'un díode en el valor de la tensió ( $V_{oc}$ ) de forma que els valors extrems a considerar seran entre 2,6 V i 4,1 V.

Les opcions que s'adeqüen al nostre sistema, tant per la tensió ( $V_{oc}$ ) com pel corrent generat ( $I_{sc}$ ) són:

- 3 x PowerFilm MTP3.6-150 (paral·lel; flexible)
- 6 x Solar cells 04-1193 (en sèrie, agrupada en una matriu 2 x 3)
- 2 x Epoxlite series 04-1090 (paral·lel; policristal·lí)
- 2 x solars MSX-005 (paral·lel; policristal·lí)

**Taula 2.1** Cel·les que compleixen amb els requisits per al dimensionat del sistema

Model	$V_{oc}$ / V	$I_{sc}$ / mA	Tamany / mm	Pes / g	Preu / \$
<i>MTP3.6-150</i>	4,8	360	220,9 x 149,8 x 0,2	8,5	48
<i>04-1193</i>	3,3	450	127 x 76,2	N/A	9,6
<i>04-1090</i>	4,5	400 - 550	170,1 x 115,06	N/A	27,9
<i>MSX-005</i>	4,6	320	133,6 x 114,3	N/A	38,2

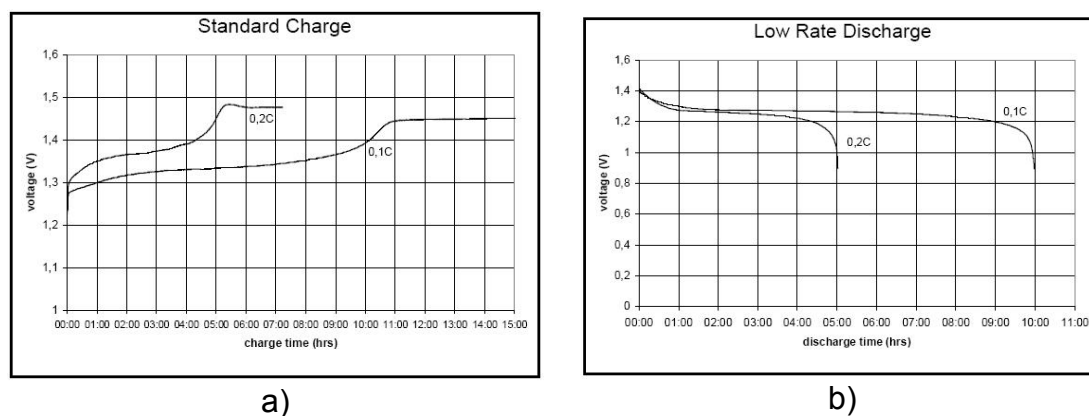
En verd es poden veure els mínims costos per a les cel·les en estudi. L'elegida ha estat la MSX-005 requadrada en groc en la Taula 2.1. El principal motiu de l'elecció és la facilitat d'adquisició doncs està disponible en un dels principals distribuïdors de l'Estat [16].

### 2.1.2.5 Elecció de bateries

La bateria seleccionada és la 5030841 d'Ansmann [30]. És una bateria AA de NiMH de 2700 mAh de capacitat i 1,2V de tensió nominal. S'ha elegit una bateria de NiMH ja que segons [31] implica: Menor preu que les de Li-ió, tot i que aquestes últimes tinguin una major densitat de potència; facilitat de càrrega; absència de materials altament contaminants (com el Cd en NiCd); absència d'efecte memòria (com el que pateixen les de NiCd). Cal dir que s'ha aprofitat la bateria seleccionada en [27], d'aquí el sobredimensionat de la seva capacitat.

Es connectaran dos piles en sèrie ja que la tensió en borns del conjunt, segons la informació del fabricant, variarà entre 2,2 V i 2,8 V (Fig. 2.2), ajustant-se aquest marge a les necessitats d'alimentació del sistema ETRX-2 + díode Shottky (2,6 V – 4,1 V). La Fig. 2.2 mostra els perfils de càrrega i descàrrega per a intensitats de 0,1C i 0,2C. En el node repetidor, la intensitat consumida és de 36 mA que equival a una mica més del 0,01C. El temps de descàrrega sense cap aportació d'energia seria de poc més de 60 hores (uns 2,5 dies d'autonomia).

La càrrega es realitzarà amb una intensitat variable d'entre 300 mA i 0 mA, depenent de la radiació rebuda.

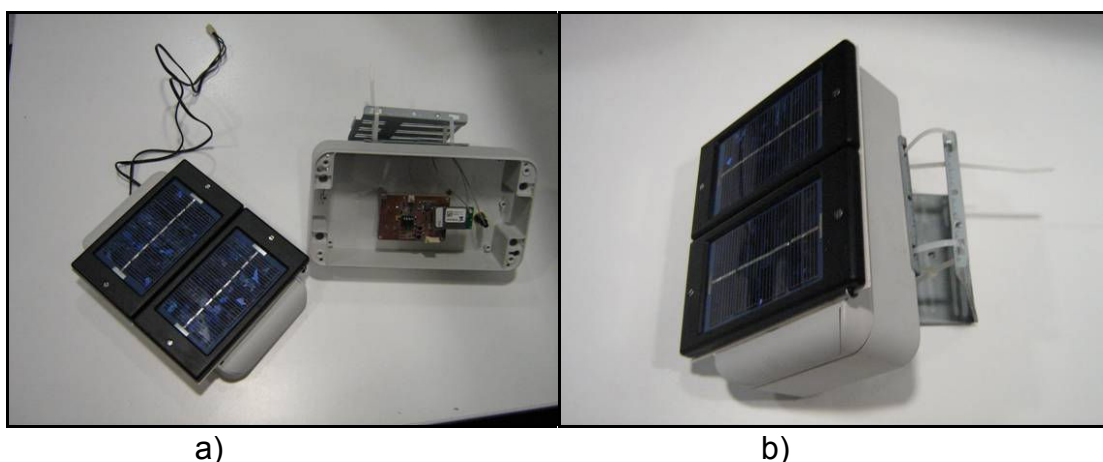


**Fig. 2.2** a) Càrrega de la pila segons el fabricant; b) Descàrrega de la pila segons el fabricant

### 2.1.3 Ubicació i mecanitzat del node repetidor

El repetidor es situa convenientment mecanitzat, orientat i muntat en una farola del passeig principal del Campus del Baix Llobregat, entre els edificis de la UOC i de l'ICFO (Fig. 1.9).

La placa de circuit imprès s'ha disposat a l'interior d'una caixa model ROLEC starcase [19] que compleix amb la IP66 i s'adequa a les dimensions del circuit implementat en profunditat, i en quan a llargada i amplada té unes dimensions adients per poder-hi col·locar les plaques solars enganxades a sobre (Fig. 2.3.a). És la mateixa que es fa servir per al node sensor. La caixa és necessari que s'inclini 60° en elevació i s'orienti en direcció sud-est per tal de captar la màxima radiació solar en mesos de baixa curvatura del sol. Per aquest motiu s'ha aprofitat el reixat del sistema d'alimentació d'una torre d'un antic PC per tal de fer una estructura metàl·lica que permeti inclinar correctament la caixa segons l'orientació especificada. Per fixar la posició de la caixa en el reixat, així com la seva inclinació, s'han fet servir brides de plàstic, grans (15 cm) i petites (7 cm) respectivament (Fig. 2.3.b).



**Fig. 2.3** a) Node repetidor implementat amb la caixa escollida, el circuit a l'interior, les plaques solars i el mecanitzat; b) Visió lateral del node abans de penjar-lo a la farola que permet veure la inclinació obtinguda amb el mecanitzat

Finalment, el node repetidor s'ha pujat a la farola. S'ha encarat en direcció sud-est i s'ha fixat segons es pot veure en Fig. 2.4. Per tal de subjectar tot el repetidor a la farola s'han utilitzat brides grans entrellaçades. També s'ha fixat l'antena en l'orientació adequada per comunicar-se adientment tant amb el node sensor com amb el node repetidor.

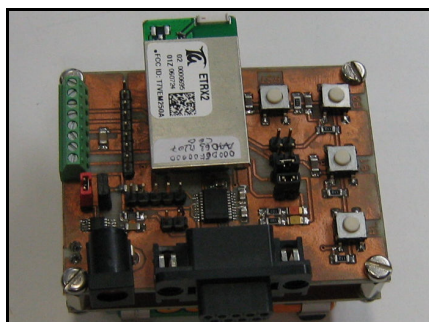


**Fig. 2.4** Node repetidor amb l'antena a la part superior instal·lat a la farola

## 2.2 Node Central

### 2.2.1 Parts que conformen el node central

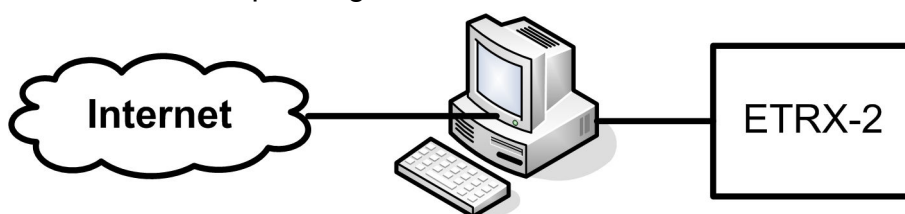
El node central s'encarrega de rebre les dades que arriben de l'estany per processar-les i mostrar-les per pantalla. També pot gestionar i controlar la xarxa remotament. És un node que consta d'un dispositiu ETRX-2 de Telegesis implementat sobre una placa d'avaluació proporcionada pel grup ISI (Fig. 2.5) i d'una antena Julia 12 de Fractus [25] de la que se'n donaran més detalls en el CAPÍTOL 3. S'alimenta amb un convertidor AC/DC connectat a la xarxa elèctrica amb sortida a 4,5 V. Via port sèrie RS-232 es comunica amb un ordinador que processarà, gestionarà i mostrarà per pantalla les dades amb el programa LabVIEW. També està preparat per a que es pugui controlar l'aplicació via Internet tot i que per aquest treball ens hem limitat a fer una constatació en local de la funcionalitat.



**Fig. 2.5** Placa del node central, coordinador de xarxa, amb el dispositiu ETRX-2

En l'ANNEX.J es poden seguir amb més detall les característiques de la placa d'avaluació feta servir en el node central.

La Fig. 2.6 mostra un esquema gràfic de blocs del node central.



**Fig. 2.6** Diagrama gràfic de blocs del node central

## 2.2.2 Interfície gràfica

S'ha creat una pàgina principal d'accés al sistema d'adquisició amb el programari LabVIEW (Fig. 2.7).



**Fig. 2.7** Portada de la plana principal del treball

En aquesta es pot escollir entre 4 opcions. Al clissar sobre les 3 primeres s'obre un *popup* que es correspon amb un programa de LabVIEW (\*.vi) en

particular. Cadascuna d'aquestes opcions fa unes funcions que a continuació es detallen:

- Gestió de xarxa: Aquest programa permet canviar remotament la freqüència de mesura del node sensor. Quan es rep el missatge des del node sensor indicant que en aquests moments es pot canviar el mode de treball, es genera un missatge des de l'ordinador central direcció node sensor de canvi. En la Fig. 2.8 es pot veure la captura de l'aplicació comentada.



Fig. 2.8 Captura en pantalla del *popup* corresponent a l'opció gestió de xarxa

- Visualitzar el sistema de mesures continu: Aquest programa quan s'activa fa el processat i visualització del valor de les mesures del nivell i la temperatura de l'aigua a partir de les dades rebudes des del node sensor quan treballa en mode continu. Mostra per pantalla la mitjana de les 12 mostres preses de nivell i temperatura així com la tensió d'alimentació del circuit del node sensor. La interfície gràfica és com la que es fa servir per a l'opció en mode diari (Fig. 2.9).
- Visualitzar el sistema de mesures diari: Anàlogament a l'anterior, aquest programa fa el processat i s'encarrega de la visualització de les mesures del nivell i la temperatura de l'aigua a partir de les dades rebudes des del node sensor quan treballa en mode diari. Mostra per pantalla el valor de l'última mostra presa als sensors de nivell i temperatura i visualitza en una gràfica el comportament diari de les 12 mostres que s'han anat prenent durant la jornada (Fig. 2.9).

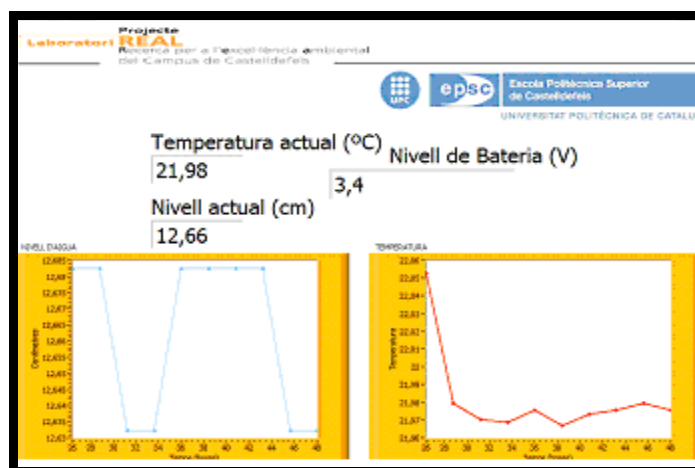


Fig. 2.9 Pantalla per visualitzar les dades en mode diari

- Aturar el sistema de mesures en Labview: Aquesta opció no genera un programa en concret sinó que atura el funcionament del programa principal, el menú.

La principal limitació de l'aplicació es troba en el fet que per al correcte funcionament de cadascuna d'elles cal que les altres, el menú no, estiguin aturades.

### 2.2.3 Ubicació i mecanitzat del node central

El node central s'ha instal·lat en el laboratori 123P de l'EPSC. El mecanitzat ha estat senzill ja que el node únicament consta de la placa, amb el transceptor (Fig. 2.5) i l'antena, connectats a un PC via port sèrie. Per fer la instal·lació s'ha pegat l'antena a l'envà de la part exterior de la finestra frontal amb l'edifici del CTTC segons es pot veure en Fig. 2.10.

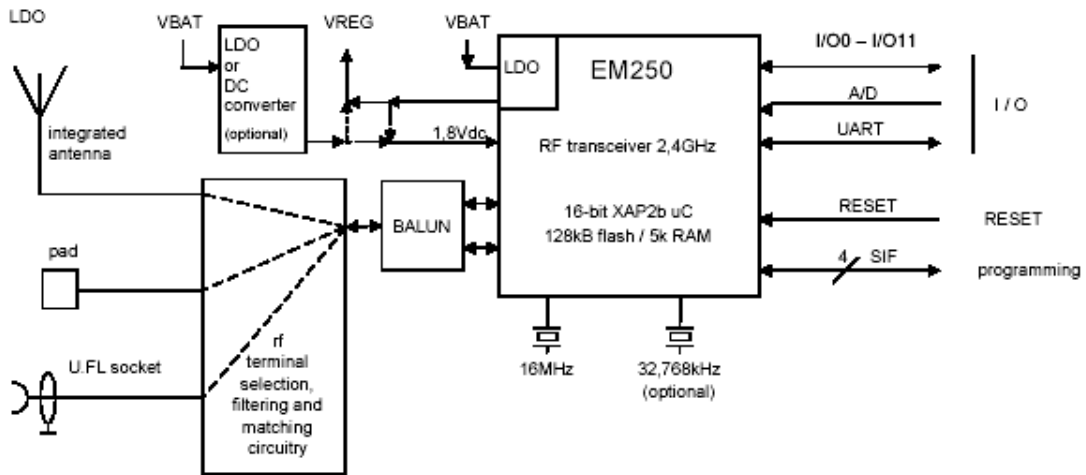


**Fig. 2.10** Antena del node central a la finestra del laboratori 123P frontal amb l'edifici del CTTC al Campus del Baix Llobregat









**Fig. 3.2** Diagrama del Hardware del mòdul ETRX-2 de Telegesis

Cara al projecte les característiques més rellevants de l'ETRX-2 són:

- Tensió d'alimentació entre 2,1 i 3,6 V.
- Treballa a la banda ISM de 2,4 GHz
- Velocitat de transmissió de fins 250 Kb/s.
- Comunicació amb altres dispositius (microcontrolador en el nostre cas) mitjançant UART.
- Consum en mode actiu (timers, MCU i Radio en activitat) d'uns 36 mA en màxima activitat. En mode baix consum es pot reduir el consum fins a 0,7  $\mu$ A.
- Configuració i control del mòdul (i la xarxa) amb comandes AT-style a través de la USART. (Exemple de comanda AT-style -> AT+ BCAST == enviar un broadcast).

Els motius de l'elecció de l'ETRX-2 com a transceptor han estat: D'una banda continuar la tasca desenvolupada en [1] on es va fer servir el model ETRX-1 de Telegesis. De l'altra, la millora evident que suposa respecte aquell model en quant a funcionalitats i a funcionament ja que integra la pila de programació EmberZnet2.3 amb el nucli EM250 (Ember) com a xip. A part és una solució econòmica i permet una fàcil interacció.

Els mòduls ETRX-2 s'han muntat sobre tres tipus de plaques diferents:

- Per al node coordinador, s'ha aprofitat la placa d'avaluació prèviament disponible i feta servir en [1] (esquemàtic a l'ANNEX.J).
- Per al node sensor s'ha dissenyat una placa pròpia (esquemàtic a l'ANNEX.A). La característica més important que se'n desprèn és que l'alimentació es fa directament amb bateries, sense necessitat de regulador,

interconnectant-se amb el  $\mu$ C ATtiny2313 mitjançant UART (dos pins RX i TX), i amb dos pins addicionals més d'I/O que permeten fer ús d'interrupcions per pin extern per a despertar i adormir respectivament el mòdul (*Power Down*) sota control del  $\mu$ C.

- Per al node repetidor, al circuit d'alimentació s'ha integrat el mòdul transceptor (esquemàtic en l'ANNEX.G).

Per més informació sobre el mòdul ETRX-2 es pot consultar [9].

### 3.2.2 Característiques principals de l'estàndard Zigbee

En aquest apartat es destaquen els trets més destacats de Zigbee.

ZigBee és un estàndard de comunicacions sense fils dissenyat per la *ZigBee Alliance* [20]. No és una tecnologia, sinó un conjunt estandaritzat de solucions que poden ser implementades per qualsevol que ho desitgi, orientades a aplicacions de baix cost i consum, com la xarxa desenvolupada en el treball.

L'estàndard ZigBee amplia l'estàndard IEEE 802.15.4. De fet es complementen proporcionant una pila completa de protocols que permeten les comunicacions entre multitud de dispositius d'una forma eficient i senzilla.

Entre moltes peculiaritats, les característiques més importants de Zigbee són:

- Diverses bandes de treball: 2,4 GHz(16 canals), 915 MHz (10 canals) i 868 MHz(1 canal)
- Direccionament a nivell de xarxa (16 bits)
- Suport per a l'encaminament de paquets
- Gràcies a les possibilitat d'encaminament es permeten les topologies de xarxa mallada
- Dos tipus de dispositius: FFD (coordinador, encaminador, dispositiu final) i RFD (dispositiu final)
- Mètodes d'accés al canal: CSMA-CA (Carrier Sense Multiple Acces with Collision Avoidance)
- Suporta xarxes slotted (QoS) i non-slotted
- Baix consum energètic
- Gran densitat de nodes per xarxa
- Radi d'abast: des d'1 metre fins a 500 metres segons l'entorn

### 3.2.3 Configuració

Les xarxes Zigbee's es creen de forma que hi ha un primer element que arriba i cerca al seu voltant la presència d'altres dispositius. Si no n'hi ha cap, ell estableix la seva pròpia xarxa i esdevé el pare de la xarxa creada. A mesura que es vagin connectant altres dispositius, s'aniran afegint, formant una espècie de malla, amb un pare i varis fills [20]. Això es tradueix alhora

d'identificar els tipus de dispositius possibles que hi poden haver en una xarxa Zigbee. N'hi ha de tres tipus, en la pila EmberZnet2.3 es corresponen amb:

- FFD (*Full Function Device*) – Dispositius encaminadors (tipus repetidor). Encamina missatges entre dispositius Zigbee. Han d'estar desperts la majoria de temps possible, a poder ser les 24 hores, ja que estan escoltant constantment els dispositius que hi ha a la xarxa. En xarxes petites es poden fer adormir durant un període controlat, sempre tenint en consideració que la seva manca pot fer fallir la comunicació.
- RFD (*Reduce function Device*) – Normalment són als dispositius finals, sense responsabilitats d'encaminament, mitjançant enquesta (*polling*) pregunten als seus pares, dispositius de major rang, en aquests cas els repetidors (FFD) si hi ha algun missatge per ells. Existeixen 2 tipus diferents de RFD segons s'ha definit en la EmberZnet2.3.
  - SED (*Sleepy End Device*) - Es manté a l'espera en la llista com a fill del seu pare fins que aquest abandona la xarxa. No té la possibilitat de marxar de la xarxa i buscar un nou pare. S'utilitza per a xarxes estàtiques, com la del treball. El mòdul està normalment desconnectat i, quan automàticament es connecta, ho fa directament al pare establert amb antelació.
  - MSD (*Mobile Sleepy End Device*) – En aquest cas el dispositiu al cap de tres segons de no estar actiu queda desconnectat i és foragitat de la xarxa. Quan torni a estar actiu buscarà a un nou pare per integrar-se a la mateixa o a una altra xarxa.
- COO (*Cordinator*) – El mòdul coordinador és un FFD amb la característica que ha començat la xarxa. Cada xarxa pot tenir un únic coordinador. És el que estableix la xarxa, el pare de tots.

D'acord amb l'estructura de la xarxa definida en aquest treball i amb les característiques pròpies definides en els mòduls tranceptors ETRX-2, els tres nodes presents a la xarxa implementada es configuren de la següent manera:

- El node central, de processat, que sempre estarà actiu, alimentat amb corrent elèctrica, de tipus FFD Coordinador (COO).

- El node repetidor, sempre actiu, que escolta per reemetre les dades de l'estany cap al node central, de tipus FFD. També fa arribar les comandes del node central al node sensor.

- El node sensor, ubicat al punt fix de mesura de l'estany, sempre dormint excepte quan vol enviar dades cada cert temps, de tipus RFD-SED.

Les instruccions detallades de comunicació entre nodes les trobem a [21].

A continuació es comenten les instruccions utilitzades en els mòduls ETRX-2 dels diferents nodes en el treball:

- “AT+EN” → Només utilitzada en el coordinador. Estableix la xarxa. Assigna una identificació de tipus PAN (identificació pròpia en l'establiment de xarxa “*Personal Area Network*”) i un canal físic de comunicació per a la nova xarxa creada. El procés és crític, poc trigat més de 16 segons, per això és convenient que el coordinador i pare creador estigui connectat tota l'estona i no l'abandoni en cap moment. El coordinador només pot abandonar la xarxa si està segur que com a mínim hi ha 2 nodes actius de la mateixa que no es desconnectarà. Amb tot l'única seguretat en el manteniment de la xarxa la dona l'activitat del node coordinador.
- “AT+JN” → La primera vegada que s'uneix un node a la xarxa, ha d'escriure aquesta instrucció per tal de ser reconegut i acceptat (*joining*). Tots els nodes que no siguin el coordinador l'han de fer servir només una vegada. Encara que s'adormin, es desactivin pel motiu que sigui, ja queden registrats a la xarxa i quan tornin a estar actius se'ls permetrà ajuntar-se automàticament. Només en cas de ser desunits per el coordinador, i per tant foragitats amb “AT+DASSR:<Adreça de 64 bits IEE802.15.4 del destí>” és necessari tornar a escriure la instrucció per tal de tornar a unir-se a la xarxa.
- “AT+UCAST:<Adreça de 64 bits IEE802.15.4 del destí>,<dades>” → Transmissió de dades des d'un node a un altre. S'especifica la direcció destí. S'utilitza des del node central per enviar la informació de la cadència de mesura (mode de treball) al node sensor.
- “AT+SCAST:<dades>” → Una de les característiques que té la pila EmberZnet2.3, és la capacitat per definir un node com a magatzem de dades (anomenat *sink*). En el cas del treball és òptim. Tenim un coordinador, 24 hores connectat, que a més ha de rebre les dades per processar-les fent ús del LabVIEW. Si es defineix com a magatzem de dades de la xarxa, se li pot enviar una dada des de qualsevol punt fent ús de la instrucció “AT+SCAST”. Facilita molt les coses ja que no cal escriure cap direcció destí cosa que si passava anteriorment amb la instrucció “AT+CCAST” de [1] o en “AT+UCAST”. Les dades que s'envien des del node sensor fins al central s'empaqueten amb aquesta instrucció.
- “AT+SCASTB:nn” → S'ha decidit fer la transmissió de les dades amb aquesta variant binària de l'“AT+SCAST”. On nn representa el nombre de Bytes a enviar en la comunicació. Després d'introduir la comanda s'han d'escriure les dades a enviar. Transmetre caràcters pot resultar un risc si els programes que els llegeixen en recepció no estan correctament preparats per rebre'ls. S'ha trobat que en ocasions hi havia caràcters crítics (<CR> per exemple) que el dispositiu receptor no era capaç d'interpretar i dificultaven el processat podent fins i tot arribar a ocasionar errors.

Els mòduls ETRX-2 disposen de 33 registres accessibles on s'hi programen les funcionalitats i les accions a realitzar(ANNEX.O). S'hi pot accedir de forma local, per al coordinador, fent ús de la instrucció “atsxx\r” on xx correspon al número del registre en format decimal; també de forma remota amb “atsremxx:<direcció node destí>\r”. Es pot saber el valor de cada registre fent ús de “atsxx?\r” i “atsremxx:<direcció node destí>?\r” respectivament.

- “ats33rem:< Adreça de 64 bits IEE802.15.4 del destí>?” →Amb aquesta instrucció es pot saber la tensió a la que s'està alimentant el mòdul i en conseqüència el node. És d'utilitat per saber l'estat de les bateries dels nodes remots, repetidor i sensor, des del node central.

En el node repetidor és interessant monitoritzar les dades del circuit d'alimentació. Per això s'utilitzen els convertidors A/D. Els registres de lectura són: “ats11?\r” i “ats12?\r”. Si es vol accedir remotament la instrucció a emprar serà “atsrem11:<Adreça de 64 bits IEE802.15.4>?” per al primer cas per exemple, l'altre es anàleg.

Existeixen 48 accions possibles programades a disposició de l'usuari per a que les gestioni en el mòdul segons convingui.

Totes les accions que fa el modul ETRX-2 han estat programades de sèrie i estan disponibles en els registres de *timer*. Responen a un codi de 4 xifres amb el que s'identifiquen les 48 accions possibles. Totes elles s'activen segons el *timer* (temporal) al que s'han programat. Només n'hi ha 4 de programades de sèrie que són les bàsiques per a que el node s'uneixi a la xarxa, faci *polling* al seu FFD pare en busca de dades perdudes, busqui el *sink* de la xarxa i abandoni xarxa en busca d'una altra en cas de que s'hagi quedat sol. Queden 4 *timers* a disposició de l'usuari que en el treball no s'han fet servir. Amb tot, aquestes accions són reduïdes i en un futur poden suposar una limitació ja que no es poden incrementar o millorar.

### 3.2.4 Encaminament

No es pot entendre l'estàndard Zigbee sense les funcionalitats dels dispositius tipus *router* o encaminadors (node repetidor). Aquests dispositius són de tipus FFD. Estan escoltant el tràfic constantment. Mantenen taules amb les rutes descobertes i tenen funcionalitats per participar o iniciar el descobriment de noves o millors rutes. Aquestes taules contenen informació sobre el cost de cada ruta. Aquest cost és el que determinarà el millor camí en cada moment. Es desconeix quin és el criteri que s'ha seguit per determinar el cost en la pila EmberZnet2.3.

En les taules d'encaminament poden aparèixer direccions de qualsevol dispositiu, tot i que només els encaminadors participen en els mètodes d'encaminament. Si un missatge arribés a un dispositiu FFD Coordinador, aquest comprovaria la direcció destí, i només el reenviaria si pertanyés a un dels seus fills (a un RFD associat). Si aquest missatge és per a ell, el passarà a la capa aplicació. En altres casos el descartarà.

Els dispositius FFD amb funcionalitats d'encaminament (node repetidor) quan reben un missatge que no va destinat a ells, el reenvien cap a un altre node seguint les taules d'encaminament. D'aquesta forma qualsevol node de la xarxa podrà comunicar-se amb qualsevol altre, es crea una estructura mallada. La nostra xarxa, al ser bàsica, és punt a punt, tot i que està funcionalment preparada per acceptar molts més nodes i esdevenir malla.

### 3.2.5 Seguretat

Sempre que hi ha comunicació entre nodes es fa ús d'encryptació de tipus AES de 128 bits. En la gestió de la xarxa es pot decidir si els nodes que s'hi ajunten han de tenir un codi d'encryptació específic de la xarxa, o bé n'obtenen un quan sol·liciten l'admissió.

Aquesta última situació és insegura: La clau es gestiona via radio i no hi ha un control d'accés específic a no ser que es tanqui la xarxa i no es deixi a cap més node connectar-se. Amb tot, qualsevol pot capturar el diàleg que s'estableix entre nodes per transmetre's la clau i, tot i estar restringida la xarxa, acabar accedint-hi.

En el treball s'ha decidit encryptar les dades. Tots els nodes que formen part de la xarxa coneixen el codi específic d'encryptació. Se'ls ha proporcionat individualment via port sèrie al laboratori abans de disposar-los al seu lloc final. Quan s'uneixen, via node coordinador, que fa les funcions de *trust centre*, es verifica el nou element i s'accepta en la xarxa. Un node intermig, FFD sense funcionalitats de Coordinador o SED, no pot acceptar cap altre element a la xarxa.

D'aquesta forma les comunicacions esdevenen segures. Qualsevol node que sàpiga el codi s'unirà sense problemes. Qui no, no podrà. Qui vulgui capturar les dades tindrà majors dificultats, no estan disponibles a la vista de qualsevol.

## 3.3 Antenes

El mòdul transceptor ETRX-2 necessita d'una antena per tal de captar o enviar les ones electromagnètiques amb informació. En un treball com aquest és important definir molt bé els paràmetres de radiació ja que s'ha d'assegurar la comunicació entre els punts. Una antena mal dirigida, mal condicionada o, simplement, que no tingui un diagrama de radiació idoni per la tasca a desenvolupar pot fer fracassar el treball. Per aquest motiu s'han especificat els requisits que han de complir les antenes i posteriorment s'ha fet una cerca d'antenes possibles i se n'ha estudiat el seu radi d'actuació.

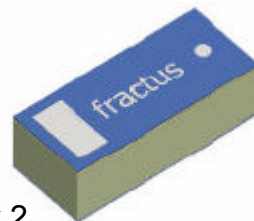
En l'esquema de xarxa dissenyat, amb només tres nodes, les antenes poden ser molt directives, s'han d'adequar a les dimensions possibles del ETRX-2 o bé per a solucions de major guany connectar-les a través de connectors SMA a una sortida opcional en els ETRX-2 (Fig. 3.2, U.FL socket). Han de treballar en

la banda ISM de 2,4 GHz i tenir una impedància de 50  $\Omega$ . Per al node sensor no és convenient utilitzar una antena amb connector SMA ja que s'hauria de fer pujar un mastí per col·locar-la amb les dificultats afegides de mecanització que comportaria, a més de l'efecte d'atracció que suposaria i el conseqüent risc de vandalismes. Per tant, en el node sensor s'emprarà una antena SMD. Per als altres nodes es pot considerar l'opció a decidir després de fer proves de camp.

Les antenes elegides es descriuen a continuació. Per al node sensor la de tipus SMD que ve de sèrie amb el mòdul ETRX-2, model Johanson 2450AT43A100 [24], o bé el model Fractus Compact Reach Xtend [25], també de tipus SMD, de la que es tenen bones referències d'estudis fets en [23] i que s'adequa en quant a dimensions i propietats a les necessitats del treball. Per als nodes repetidor i central es consideren dos models de Fractus, Julia-10 i Julia-12 [25], que són les més destacades en quant abast d'entre les antenes provades amb connector SMA a 2,4 GHz en [23]. A continuació es detallen les característiques genèriques de cadascuna d'elles.

Models de tipus SMD:

- Fractus Compact Reach Xtend
  - Guany Màxim : 2dBi
  - Guany Mitjà : -2,5 dBi
  - Dimensions (en mm) : 2 x 7 x 2
- Johanson 2450AT43A100
  - Guany Màxim : 2 dBi
  - Guany Mitja : 0.5 dBi
  - Dimensions (en m) : 1 x 7 x 0,5



Models amb connector SMA:

- Julia -10
  - Guany Màxim : 9,6 dBi
  - Guany Mitjà : 8,8 dBi
  - Dimensions (en cm) : 10 x 10 x 3
- Julia – 12
  - Guany Màxim : 16 dBi
  - Guany Mitjà : 15 dBi
  - Dimensions (en cm) : 21 x 21 x 3



El model Fractus Compact Reach Xtend s'ha descartat per al node sensor. Els mòduls ETRX-2 opcionalment venen amb l'antena Johanson incorporada amb entrada SMD habilitada o amb un pad U.FL (Fig. 3.2) [26] que permet mitjançant un connector adaptar-se a SMA. Per incorporar-hi l'esmentada antena descartada de tipus SMD s'ha de treure la que porta de sèrie i afegir-hi l'altra. Els resultats en les proves de radiació fetes no han estat satisfactoris ja



que no s'han assolit les distàncies que sí s'han aconseguit amb la de sèrie (mode Johanson).

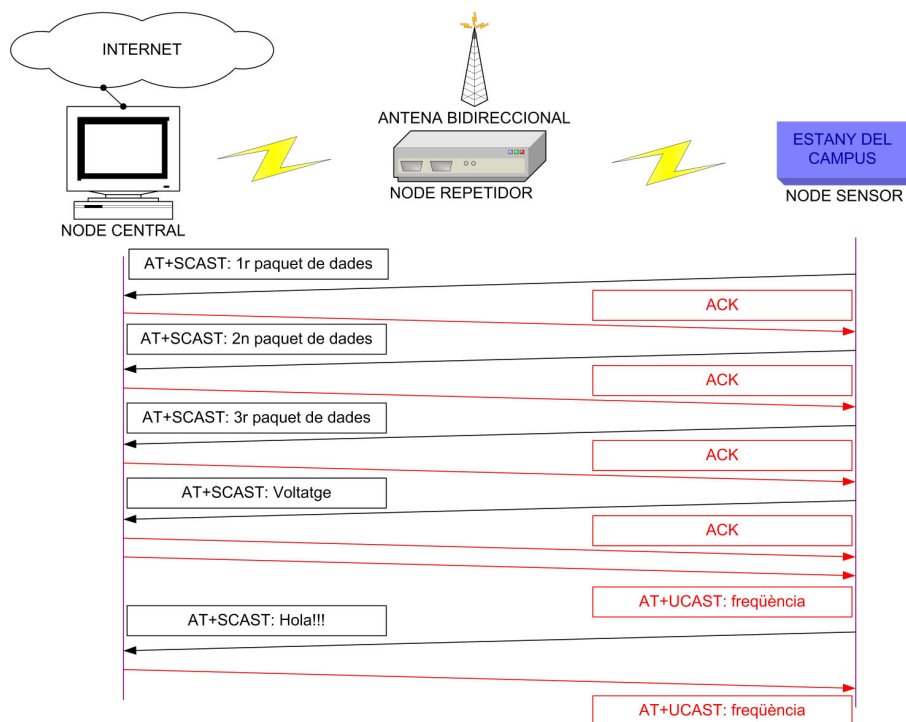
De les proves de radiació efectuades al voltant del campus (veure ANNEX.K) es selecciona el model Johanson 2450AT43A100 per al modul ETRX-2 del node sensor (la que ve de sèrie), la Julia-10 per al node repetidor, al ser petita, manipulable i suficient per la comunicació, i finalment, la Julia-12, de més guany i menys manejable, per al node central.

### 3.4 Protocol de gestió de xarxa

En aquest punt es detalla la gestió de la xarxa sense fils: com s'envien les dades, es canvia el període entre mesures i es detecten errors. Es defineixen dos modes de funcionament en quan al període entre mesures: un continu d'emergència, en el que es reben mostres cada 30 s aproximadament, i un diari, en el que es mesura cada 2 hores i s'envien les dades un cop al dia (cada 24 hores, 12 mesures). El canvi entre els dos modes es fa via ràdio.

La Fig. 3.3 mostra el protocol de comunicació en el mode de funcionament diari. El node sensor envia 1 cop al dia 3 paquets (el payload màxim permès és de 51 Bytes utilitzant el *firmware R207* en els mòduls transceptors) amb les dades de les 12 mesures (mitjançant instruccions AT+SCASTB) més un paquet amb les dades de la tensió d'alimentació, i el node central confirma la recepció de cadascun dels paquets amb un ACK. Quan totes les dades han estat rebudes, el node central envia al node sensor el període entre mesures (mode de treball), que pot ser el mateix que ja tenia (pel mode diari) o diferent (si es vol commutar al mode continu). El modul ETRX-2 entra en latència i només és despertat per enviar notificació i rebre informació de canvi de freqüència de mesura cada 2 hores, tot i que si tarda més de 1 s en rebre la resposta, torna a entrar en latència i continua el seu normal procediment sense modificar la freqüència. El mòdul ETRX-2 repeteix l'episodi cada 2 hores coincidint amb la presa de mostres de nivell i temperatura per part del  $\mu$ C. A la Fig. 3.3 s'ha indicat només amb una transmissió i la seva resposta, correspon als dos últims paquets, situació que es repetiria 11 vegades fins a tornar a començar amb l'enviament de dades a les 24 hores.

En mode continu el protocol de comunicacions és tal i com es mostra en la Fig. 3.3 amb l'excepció dels 2 últims paquets que en aquest context no tenen sentit. Es prenen mostres cada segon i quan es tenen les 12 finals s'envien al node central, esperant un ACK abans d'enviar el següent paquet, rebent el node sensor la freqüència de mesures per al proper cicle, trigant en total 30 s aproximadament.



**Fig. 3.3** Protocol de comunicació entre el node sensor i el central de la xarxa pel mode de funcionament diari.

Per assegurar que s'ha fet una comunicació correcta, s'espera un ACK per part del node central en el node sensor abans d'enviar la següent instrucció. Tant els ACK com els NACK es reben a través de l'ETRX-2 que ja té programada la funcionalitat per verificar o no que l'altre ha rebut el missatge. Si es rebés un NACK, comanda que no assegura per part del destinatari el haver rebut correctament la informació, es repetiria l'enviament.

### 3.5 Recepció i processat de dades al node central

Actualment l'ATtiny2313(al node sensor) s'ha programat per a que cada cop que enviï les dades ho faci de la següent forma. Primer envia tres paquets amb les dades de les mesures. Posteriorment envia un quart paquet amb les dades de la tensió d'alimentació del node sensor.

Les dades que es rebran al node central són tal i com es mostren en la Taula 3.1. Abans de rebre una línia d'informació sempre arriben els caràcters <CR> i <LF> que corresponen a '\r' i '\n' respectivament. Després de rebre la informació de les mesures es tornen a rebre un altre cop els caràcters de retorn i salt de línia per advertir que s'ha acabat la informació rebuda. El *prompt* d'un "AT+SCASTB" té la forma mostrada en la Taula 3.1 on el número darrera la coma (28) és el número de Bytes transmesos en hexadecimal.

**Taula 3.1** Dades rebudes al node central

```

<CR><LF>
SCAST : <adreça de 16 bytes d'origen> , 28 = <info mesures>
<CR><LF>
<CR><LF>
SCAST : <adreça de 16 bytes d'origen> , 28 = <info mesures>
<CR><LF>
<CR><LF>
SCAST : <adreça de 16 bytes d'origen> , 28 = <info mesures>
<CR><LF>
<CR><LF>
SCAST : <adreça de 16 bytes d'origen> = <info voltatge (2 caràcters)>
<CR><LF>

```

El procés de lectura (anar a ANNEX.N per més detall) no s'inicia fins que el *buffer* RS-232 d'entrada del PC del node central no ha rebut els 239 Bytes de dades esperades. Això per al mode continu.

**Taula 3.2** Seqüència entre mostres

```

<CR><LF>
UCAST : <adreça de 16 bytes d'origen> = h
<CR><LF>

```

En el cas del funcionament en mode diari s'ha de tenir present que el node sensor envia la notificació de possible canvi de freqüència entre mostres. Això suposa una càrrega en el *buffer* d'entrada del l'ordinador del node central, i en conseqüència en la programació de la interfície en LabVIEW, de 28 bytes, per tant en aquest altre cas no s'iniciarà el procés de lectura fins que el *buffer* no hagi rebut 547 Bytes.

Un cop s'han rebut els Bytes esperats al node central, es destrien els 118 útils corresponents a les dades de les mesures. Aquestes s'han de processar i posteriorment mostrar per pantalla i emmagatzemar (Fig. 2.9). Els valors que s'estan rebent són les comptes temporals obtingudes en les descàrregues dels condensadors del CAPÍTOL 1. Aquestes comptes temporals són de 2 Bytes que arriben per separat i s'han de tractar. Per tal d'obtenir les comptes de cada mesura s'aplica la següent equació:

$$N = (256 \times TCNTH) + TCNTL \quad (3.1)$$

on *TCNTH* correspondria amb el Byte alt del *timer* del  $\mu\text{C}$  i *TCNTL* amb el baix. Es pot extreure el valor de  $C_x$  i  $R_x$  a partir de (1.7) i (1.8) respectivament. Amb aquests valor s'aconseguirà el valor final de la mesura fent ús de (1.1) i (1.3).

Una de les diferències respecte a [1] ha estat l'increment en el nombre de mesures. Tenint en compte que en el cas del sensor de nivell només s'empra com a màxim un bit en les comptes altes (*TCNTH* i *TCNTL* són de 1Byte), i que per al cas del sensor de temperatura tampoc es fa ús de tots, s'ha pogut prescindir de 3 Bytes per cada submesura. Així en lloc de transmetre 12 bytes per cada submesura com en [1] se'n transmeten 9.

Finalment les dades s'acaben mostrant per pantalla, a la vegada que es crea un fitxer amb les dades adquirides. Aquest punt no varia del fet en [1]. Posteriorment s'envia la freqüència a la que es faran les mesures la propera vegada.

### **3.6 Programari utilitzat en la gestió de xarxa**

En aquest apartat es descriu el programari utilitzat en la gestió de xarxa. Bàsicament s'utilitzen 3 programes: LabVIEW, Telegesis Terminal123 i l'Hyperterminal. Els 3 programes són incompatibles entre ells. Si es fa servir un, l'altre s'ha de tancar.

#### **3.6.1 LabVIEW**

La interfície gràfica creada per mostrar a l'usuari final les dades obtingudes de l'estany està feta amb aquest programa. S'encarrega de capturar les dades, processar-les i mostrar-les per pantalla. També les pot publicar en Web. A més per tal de facilitar la gestió s'ha afegit una funcionalitat de xarxa consistent en canviar el mode de treball (quan es rep l'advertència s'envia un "AT+UCAST" al node sensor sol·licitant el canvi de mode) i enviar missatges (AT-style) al transceptor via port sèrie ja sigui en local o en remot per tal de modificar els paràmetres de control propis o de xarxa.

#### **3.6.2 Telegesis Terminal**

Es una aplicació distribuïda gratuïtament per Telegesis per tal de facilitar a l'usuari dels ETRX-2 el seu ús. Consta d'una interfície agradable per a l'usuari i senzilla d'ús. Amb les instruccions AT-style, es poden enviar comandes al dispositiu connectat en local via port sèrie, el node coordinador, i a través d'aquest remotament a la resta de nodes. No serveix per processar les dades rebudes, però és òptima com a eina de gestió de xarxa.

#### **3.6.3 HyperTerminal**

Aquesta aplicació permet fer les mateixes funcionalitats que l'anterior, amb la diferència que és menys vistosa i fàcil de manipular. Les instruccions s'han d'escriure una a una. No permet fer cap tipus de processat.

## CAPÍTOL 4. MESURES EXPERIMENTALS

En aquest capítol es procedeixen a validar, tant al laboratori com en proves de camp, els nodes dissenyats i implementats.

### 4.1 Validació del sistema de mesura al laboratori

La validació al laboratori inclou el node sensor que realitza les mesures i el node central que rep les dades.

En aquest apartat s'engloben totes les mesures realitzades per validar el sistema amb valors de capacitat i resistència discrets. També es calibra el sensor capacitiu implementat. No cal fer-ho amb el sensor resistiu emprat perquè ha estat convenientment calibrat en [1]. Totes les mesures d'aquest punt s'han realitzat amb alimentació a bateries i amb transmissió de dades sense fils fent ús del node central com receptor.

#### 4.1.1 Valors discrets de capacitat i resistència

Les mesures de valors discrets realitzades amb el node sensor s'han comparat amb mesures realitzades amb un analitzador d'impedàncies (HP4192A) a 10 kHz i amb un sistema de mesura basat amb l'UTI [5]. La connexió entre l'UTI i un ordinador (per rebre les dades) es via el port sèrie i un optoacoblador 9SPOP2 [39].

La Taula 4.1 mostra les mesures realitzades amb valors discrets entre 2 pF i 180 pF, així com l'error de mesura entre el node sensor i l'analitzador HP, i la desviació estàndard de les mesures del node sensor (sobre 10 mostres). Els resultats presentats per a l'UTI i per al node sensor corresponen a la mitja de 10 mostres. El marge de mesura escollit és adient per emular al sensor de nivell implemenat. La capacitat de calibratge ( $C_c$ ) utilitzada tant en l'UTI com en el node sensor és de valor nominal 100 pF (100,08 pF mesurats amb el HP4192A a 10KHz) de tipus NP150 (5% de tolerància).

Com es pot observar, l'error del node sensor s'incrementa a mesura que el valor mesurat s'allunya del punt de calibratge. L'error màxim en el marge considerat és de -7,1 pF (4,12 % sobre fons d'escala). En [38] s'obté una expressió analítica per a l'error de la interfície de mesura. Per altra banda, si la resposta del node sensor és lineal, aquest error es pot compensar, com veurem en l'apartat 4.1.2.

**Taula 4.1** Resultats de les mesures amb capacitats discretes en el marge entre 2 pF i 180 pF. Els resultats de l'UTI i del node sensor són la mitja de 10 mostres. La desviació estàndard correspon al node sensor.

Valors (pF)	HP (pF)	UTI (pF)	Node sensor (pF)	Error (pF)	Error (cm)	desv. Est (pF)	desv. Est (cm)
2	2,1	2,1	1,0	1,1	0,81	0,0	0,00
15	15,2	15,2	10,7	4,4	3,13	0,1	0,09
22	21,9	21,9	17,3	4,6	3,26	0,0	0,00
39	39,4	39,4	35,2	4,2	2,97	0,1	0,04
71	67,5	67,3	64,9	2,6	1,86	0,1	0,07
101	97,5	97,4	96,9	0,6	0,41	0,2	0,11
150	154,1	153,9	157,8	-3,7	-2,63	0,2	0,14
180	174,3	173,9	181,4	-7,1	-5,03	0,4	0,28

La Taula 4.2 recull les mesures de resistències entre el marge de 5 k $\Omega$  i 30 k $\Omega$  corresponent al marge de temperatures que es pretén mesurar amb la NTC, entre 0°C i 40°C. Com a resistència de calibració [36] s'ha utilitzat una de tipus SMD amb una tolerància de 1% i un coeficient de variació amb la temperatura de 100ppm/°C de valor nominal 15 k $\Omega$  (14899  $\Omega$  mesurats amb el HP4192A). Els resultats del node sensor, com abans, són la mitja de 10 mostres. La desviació estàndard s'ha obtingut a partir de les mateixes mostres. L'error és la diferència entre el calculat per l'analitzador d'impedàncies (HP) i el node sensor.

**Taula 4.2** Resultats de mesurar resistències discretes en el marge d'interès entre 5 k $\Omega$  i 30 k $\Omega$ . Els valors del node sensor són la mitjà de 10 mesures i la desviació estàndard s'ha obtingut a partir de les mateixes mostres.

Valor ( $\Omega$ )	Node sensor ( $\Omega$ )	Error ( $\Omega$ )	Error (°C)	Des.Est. ( $\Omega$ )	Desv. Est. (°C)	Tequival. (°C)	Sensib. ( $\Omega$ /°C)
5503,7	5497,7	6	-0,02	0	0	37,02	245,57
7463,6	7448,4	15,2	-0,04	0,3	0,001	29,62	350,33
9969,4	9964,3	5,1	-0,01	1,3	0,003	22,91	490,53
14641,5	14641,5	0	0	1,4	0,002	14,44	765,74
19681,1	19695,4	-14,3	0,013	1,9	0,002	8,25	1077,60
26601,5	26603,0	-1,5	0,001	2,4	0,002	2,21	1524,69
29923,4	29919,1	4,3	-0,002	3,9	0,002	-0,08	1745,56

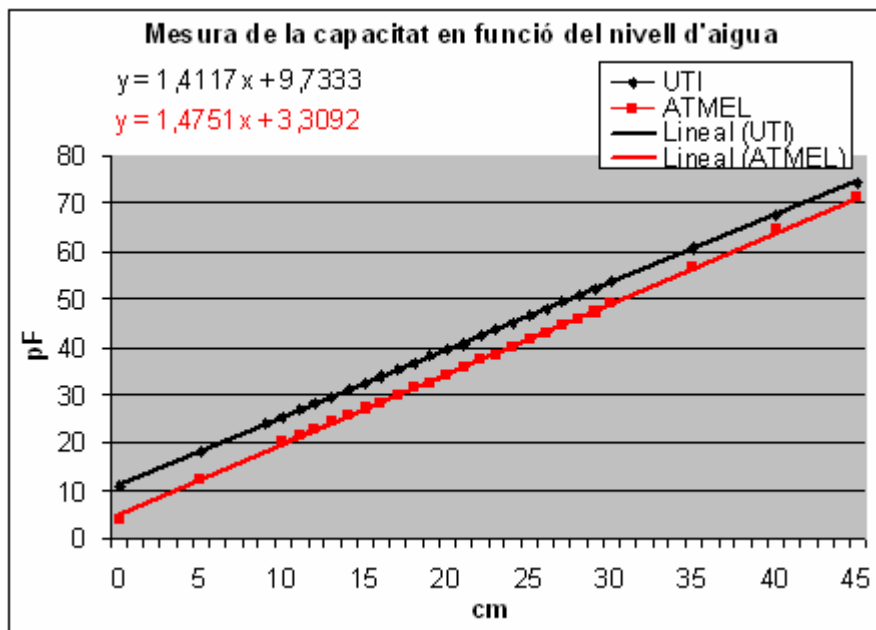
L'error màxim és de 15,2  $\Omega$  i la desviació estàndard màxima de 3,9  $\Omega$ . Aplicant (1.1) s'obté que l'error màxim és de 0,04°C (0,1% de fons d'escala) i la desviació estàndard de 0,002°C.

### 4.1.2 Sensor de nivell

El sistema de mesures dissenyat per al sensor de nivell s'ha validat experimentalment utilitzant el dispositiu descrit en l'apartat 1.1.2.

En aquesta experimentació es pretén no només caracteritzar el sensor dissenyat sinó també verificar el sistema final. Per aquest motiu s'han fet les mesures tant amb la interfície comercial UTI, que s'ha pres com a referència de caracterització del sensor i per fer els càlculs teòrics del treball, com amb el sistema dissenyat amb l'ATtiny2313, el node sensor.

La Fig. 4.1 mostra els resultats obtinguts amb el node sensor i amb l'UTI, que s'utilitza com a sistema de referència, juntament amb les rectes de regressió ajustades per mínims quadrats. Els resultats corresponen a una mitja de 10 mostres. Les dos rectes interseccionen en 101,32 pF (no mostrat), valor proper a la capacitat de calibració. Els valors de l'UTI són els mateixos que s'han presentat a la Fig. 1.4.



**Fig. 4.1** Mesura de la capacitat en funció del nivell de l'aigua

A partir de la recta de regressió del node sensor es pot extreure el nivell com:

$$\text{Nivell (cm)} = \frac{C_x (\text{pF}) - 9,8422}{1,4652} \quad (5.1)$$

L'error màxim de no linealitat és de 2 pF, del que se n'extreu a partir de l'equació (5.1) que les mesures tindran un error màxim de 1,3 cm (1,3% aproximat sobre el fons d'escala a 100 cm). D'altra banda la desviació típica màxima és de 1,2 pF que correspon a 0,82 cm.

## 4.2 Consum del node sensor

En aquest punt es tracta el consum del node sensor. El node coordinador (esquemàtic a l'ANNEX.J) no es considera ja que va alimentat a la xarxa elèctrica i, en tot cas, el seu consum no sobrepassa els 200 mW. El consum del node repetidor ja s'ha tingut present en el seu disseny, anar a l'ANNEX.I per més detalls.

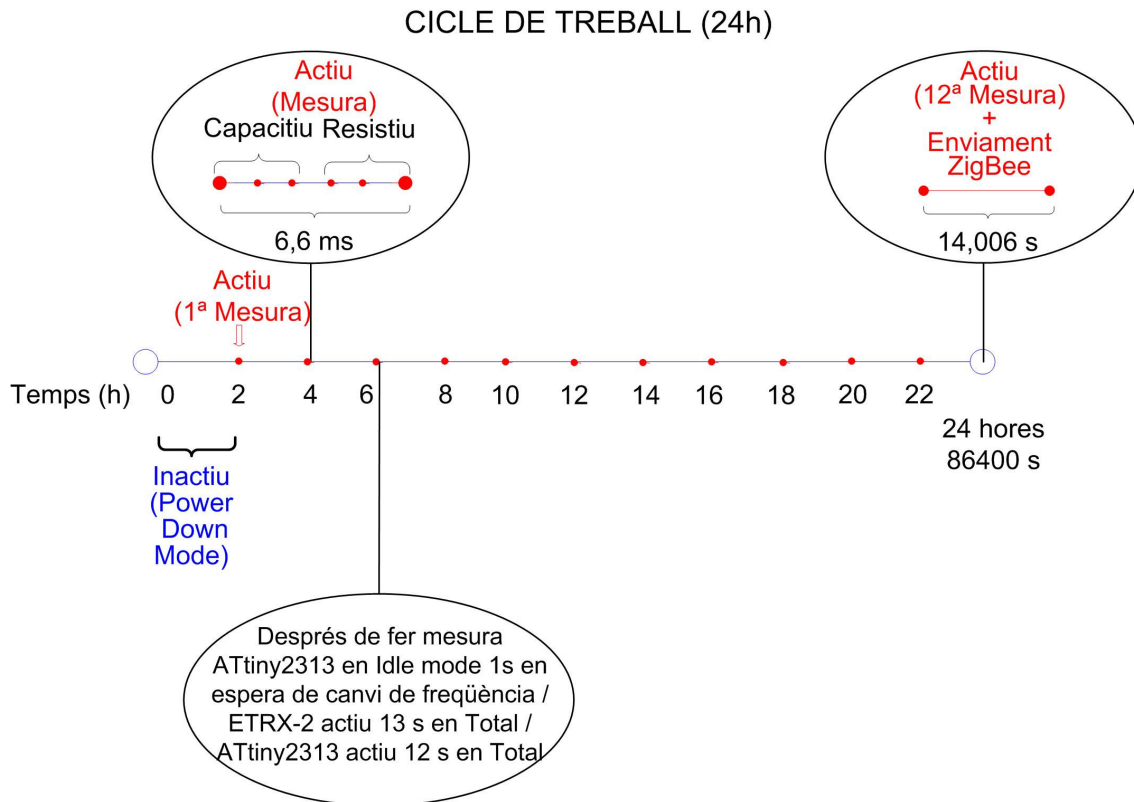
El node sensor és autònom i s'alimenta amb bateries (apartat 1.5), per tant és important definir i saber el seu consum. A continuació se'n fa un anàlisi, primer teòric i després pràctic.

### 4.2.1 Anàlisi teòric del consum del node sensor

El node sensor s'ha dissenyat amb el requisit de mínim consum possible. Per aquest motiu se n'ha reduït al màxim el nombre de dispositius. Només n'hi han dos, el transceptor ETRX-2 i el microcontrolador ATtiny2313, a banda dels components que intervenen en la interfície de mesura tant del sensor resistiu com del capacitiu.

Per tal de realitzar els càlculs s'ha de definir acuradament els temps de treball de cada estadi energètic. El període considerat pels càlculs serà d'un dia (mode diari). La Fig. 4.2 mostra el cicle de treball del node sensor al llarg del dia pel mode de funcionament diari. La major part del temps els dispositius estan en estadi de baix consum. Cada 2 hores el  $\mu\text{C}$  del node sensor es desperta, fa una mesura (6,65 ms) i acte seguit, durant 1 s en que pot rebre una petició de canvi de mode de funcionament a continu per part del node central. Aquest segon efectiu en què el  $\mu\text{C}$  està en *Idle* mode es correspon en 13 s aproximats d'activitat per al transceptor(cal despertar-se i unir-se a la xarxa, enviar dades i tornar a dormir) i també en conseqüència per al propi  $\mu\text{C}$  (12 s en actiu) que és el que desperta i adorm el transceptor. Si no rep cap ordre el node sensor es torna a dormir. Quan s'han efectuat 12 mesures s'activa el transceptor per a transferir les dades (14 s) al node central i després també es pot modificar el mode de funcionament. Després es torna a repetir tot el cicle diari.





**Fig. 4.2** Cicle de treball del node sensor

La Taula 4.3 mostra els consums estimats del  $\mu\text{C}$  suposant el mode de funcionament diari. S'observa que a pesar de que el consum en mode *Power Down* es molt reduït ( $6\ \mu\text{A}$ ) la seva contribució domina el resultat final. La Taula 4.4 fa el mateix amb transceptor. En aquest cas el consum en mode actiu domina clarament el consum final. A més, la contribució al consum del transceptor és unes vuit vegades la de  $\mu\text{C}$ . Per tant, reduint el temps de transmissió es podria reduir molt el consum global.

**Taula 4.3** Consum estimat de la interfície de mesura

	Estadi energètic	Temps diari (s)	Consum (mA)	Consum diari (mAs)
<b>ATtiny2313</b>	<b>Actiu</b>	146	2	292
	<b>Power Down</b>	86242,9	6,00E-03	517,4
	<b>Idle</b>	11	1	11
	<b>Mesura capacitiva</b>	4,1E-03	2,00E-03	8,2E-06
	<b>Mesura resistiva</b>	0,067	6,06E-03	4,1E-04
	<b>Total ATtiny2313</b>			

**Taula 4.4** Consum estimat de l'ETRX-2

ETRX-2	Estadi energètic	Temps diari (s)	Consum (mA)	Consum diari (mAs)
	Actiu	157	36	5652
	Power Down	86243	7,00E-03	603,7
	Total ETRX-2			6255,7

A partir de la Fig. 1.8, es pot considerar una durada de 60 hores per la bateria a una intensitat de descàrrega de 50 mA, el que dona una capacitat de 3 Ah o de 10,8 kAs. La Taula 4.5 mostra la durada estimada per a les bateries del node sensor. El sistema dissenyat compleix teòricament amb l'esperat. La duració de les bateries és elevada. S'estima que poden durar més de 4 anys.

**Taula 4.5** Estimació de durada de les bateries seleccionades segons el consum estimat

	Consum diari (mAs)	Dies estimats de durada	Anys
ATtiny2313	820,4	13164,3	15*
ETRX-2	6255,7	1726,4	4,7
Node Sensor	7076,10	1526,26	4,2

(\*) Temps de vida màxima de la bateria segons el fabricant [9].

#### 4.2.2 Anàlisi experimental del consum del node sensor

S'ha validat experimentalment el consum del node sensor. A tal fi, s'ha alimentant el node amb una font d'alimentació a 3,3V, s'ha inclòs una resistència entre la sortida de la font d'alimentació i el punt d'entrada d'alimentació del node sensor i s'ha mesurat la caiguda de tensió en la resistència amb un oscil·loscopi (Tektronix TDS5054a). El corrent es calcula dividint la tensió mesurada per la resistència utilitzada. Els valors de resistència utilitzats han sigut de 10  $\Omega$  o 10 k $\Omega$  segons la magnitud del corrent present per als diferents modes de funcionament. La Taula 4.6 mostra els valors obtinguts i la

Taula 4.7 mostra la duració estimada de la bateria tenint en compte els consums mesurats experimentalment, que s'aproxima als 4 anys (3,79 anys).

**Taula 4.6** Consum experimental del node sensor en mode diari

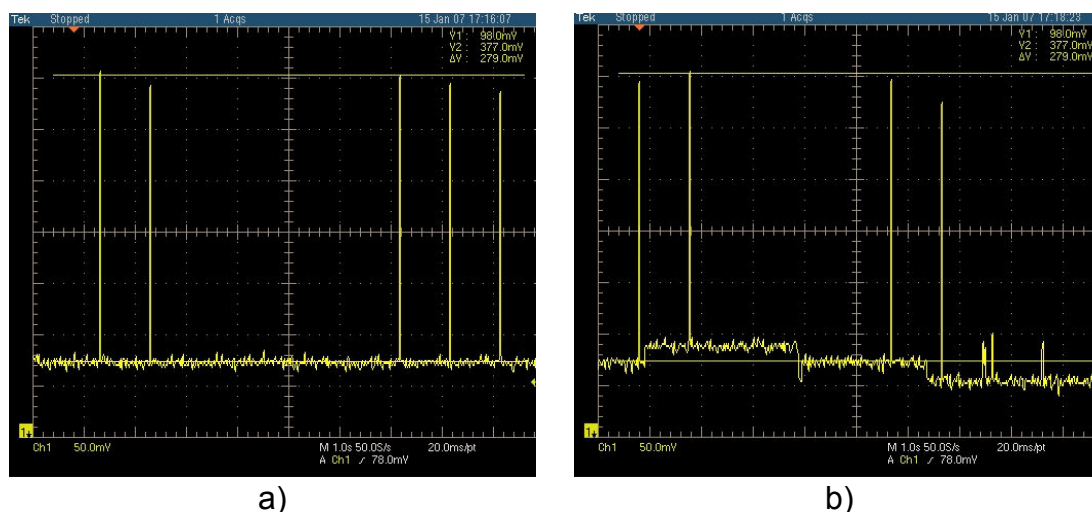
Estadi energètic	Temps (s)	Consum (mA)	Total (mAs)
Actiu(ATtiny2313 + ETRX-2)	157	37,7	5918,9
Inactiu	86243	0,022	1897,3

**Taula 4.7** Duració estimada de les bateries Energizer L91

	(mAs)	Dies estimats de durada	Anys
<b>Node sensor</b>	7816,2	1381,7	3,79

L'anàlisi anterior s'ha fet depreciant el consum en mode *idle* del  $\mu C$ , estem parlant de l'ordre de 11mA·s diari que no tindria conseqüències importants en el càlcul final. El mateix passa amb el consum de les mesures.

És important puntualitzar que el consum considerat és extrem tenint en compte que el valor escollit experimental i teòricament correspon als pics de transmissió del dispositiu transceptors. En conjunt, la majoria de temps que els mòduls estan actius, per efecte de l'ETRX-2, el consum és bastant menor tal i com es pot veure en la Fig. 4.3. Els 37,7 mA de consum estimats corresponen als pics de comunicació.



**Fig. 4.3** a) Captura de pantalla de l'oscil·loscopi de la caiguda de tensió en una resistència de  $10 \Omega$  a l'entrada d'alimentació del node sensor, quan s'ha despertat el transceptor i s'està unint a la xarxa; b) Captura de pantalla de l'oscil·loscopi, continuació de l'anterior, s'acaba de despertar el transceptor i es comencen a prendre mostres en mode diari

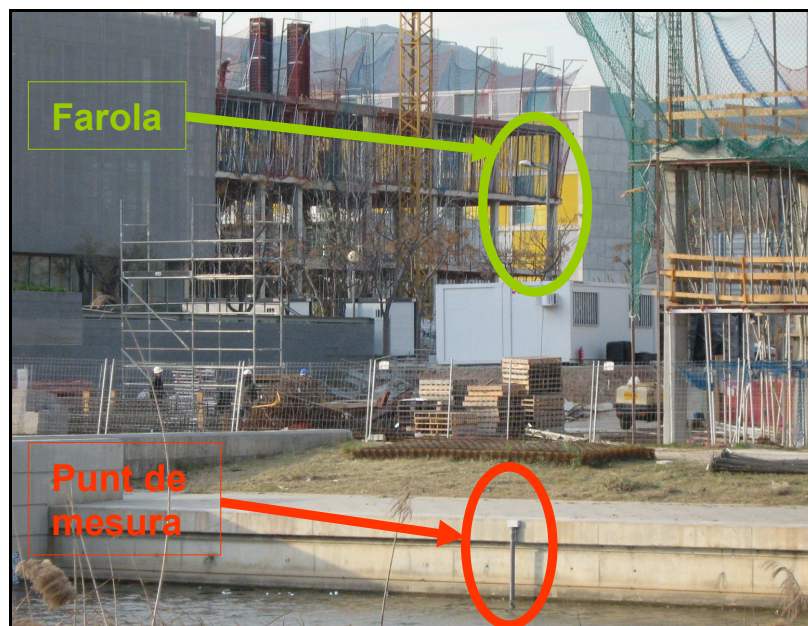
En mode continu la duració de les bateries seria d'uns pocs dies. L'ATtiny2313 i l'ETRX-2 en mode continu estan actius uns 30 s per minut. Amb aquestes dades i tenint en compte els càlculs anteriors les bateries aguantarien uns 3 dies sense necessitat de canviar-les. De totes formes, el mode continu és una funcionalitat excepcional que només s'hauria d'emprar en situació "d'emergència".

Per tant, com a conclusió a l'estudi de consum del node sensor, es pot dir que els valors obtinguts són sobredimensionats sobre el consum real. Amb tot es compleix amb els requerits imposats al començament del treball, autonomia mínima de 1 any en mode diari. Si s'aconsegueix caracteritzar els pics del consum del transceptor s'aconseguiran uns valors més reals del consum. Amb

tot és força destacat assegurar en les condicions d'estudi actuals 3,79 anys d'autonomia del node sensor.

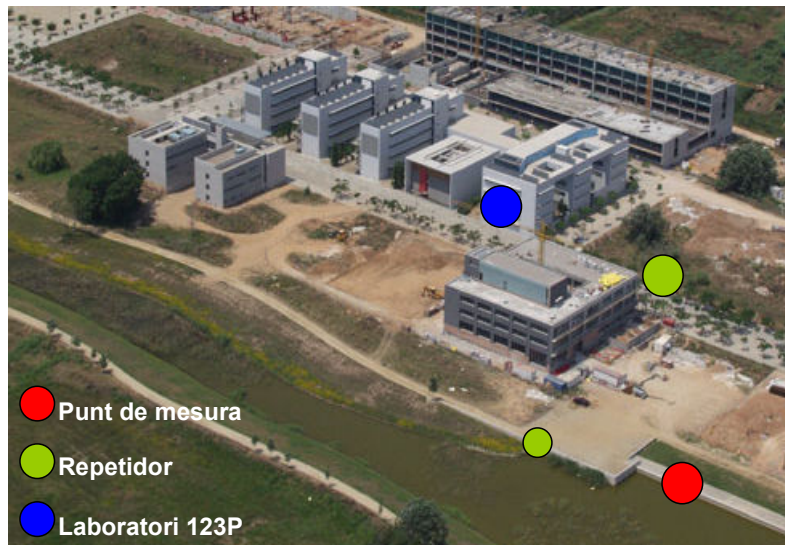
### 4.3 Validació del sistema final

Un cop definits cadascun dels nodes que integren la xarxa, es va procedir a la seva implementació. La Fig. 1.9 mostra una visió general de la ubicació dels tres nodes. El node central s'ha situat al laboratori 123P amb l'antena (Fractus Julia 12) a l'exterior, a la façana enfrontada amb el CTTC i amb màxima directivitat en direcció a la farola on està situat el repetidor. La connexió entre el transceptor i l'antena es fa a través de la finestra. El node repetidor s'ha instal·lat a mitja altura de la farola que està situada entre els edificis del IN3 i de l'ICFO. El node sensor està ubicat en el mur que dona a l'estany, paral·lel a l'ICFO (Fig. 4.5). Durant un dia es validà el funcionament del node repetidor, enviant dades cada minut cap al node central amb informació de la corrent de càrrega de la placa solar i de la tensió d'alimentació del mòdul. Els resultats han estat satisfactoris. La comunicació entre el node sensor i el repetidor, però, no fou possible. El motiu principal són les obres que s'estan fent al nou edifici de l'ICFO amb la presència de viguetes, encofrats, casetes metàl·liques i tota mena d'eines de la construcció, que impedeixen la visibilitat directa entre els dos nodes (veure Fig. 4.4). La freqüència de treball de 2,4 GHz és crítica i la senyal s'atenua molt en travessar obstacles.



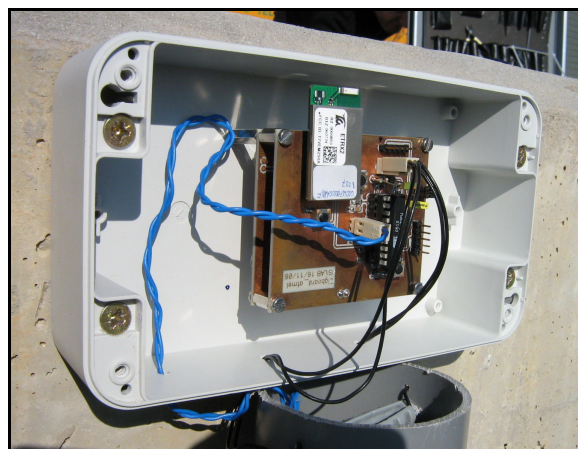
**Fig. 4.4** Node sensor amb la farola al fons on hi ha el repetidor(no es veu tapat per la caseta dels obrers). Es poden observar les obres de l'edifici ICFO entre ambdós punts

Com a solució temporal, fins que finalitzin les obres, s'han realitzat proves amb un repetidor addicional, ubicat a sobre del mur frontal de l'estany i encarat amb el repetidor de la farola (Fig. 4.5). La comunicació entre el punt de mesura (node sensor) i el laboratori 123P (node central) és en aquest cas correcta.



**Fig. 4.5** Esquema final de la xarxa. S'ha incorporat un repetidor provisional

La Fig. 4.6 mostra el node sensor en el mur el dia de la instal·lació. Es pot veure la placa de circuit imprès amb el  $\mu\text{C}$ , el transceptor ETRX-2 i el sensor de temperatura (cable trenat blau) i el de nivell (cables negres abans de trenar-los).



**Fig. 4.6** Node sensor muntat sobre el mur de l'estany

A les 10 hores del matí del dia 2 de febrer de 2007, la temperatura i el nivell de l'aigua de l'estany eren respectivament  $9,01\text{ }^{\circ}\text{C}$  i  $105,1\text{ cm}$  segons el sistema implementat (node sensor). El nivell de l'aigua s'ha comparat amb els valors obtinguts amb el limnímetre de l'estany i un regla de fusta graduat de  $2,05\text{ metres}$ . La temperatura de l'aigua s'ha comparat amb les dades proporcionades per un termòmetre calibrat (WTW multi340i). En la Taula 4.8 es mostra el quadre resum amb les dades anteriors que han estat obtingudes per separat, primer mesurant amb el sensor de nivell i un component discret emulant al sensor de temperatura (resistència de  $7\text{ K}\Omega$ ), després amb el sensor

de temperatura i un component discret emulant al sensor de nivell (condensador de 47 pF).

**Taula 4.8** Mesures fetes amb el sistema propi respecte als elements de calibració

	Referència	Sistema implementat
Temperatura (°C)	8,9	9,01
Nivell (cm)	104	105,2

Les mesures a l'estany han fet veure que el sistema de mesures implementat no és del tot òptim. La interfície directa sensor a microcontrolador tal i com s'ha dissenyat presenta problemes. Quan es pretén fer mesures amb els dos sensors alhora, les dades obtingudes no són correctes per al cas del sensor de nivell. Si es mesura independentment un sol sensor, sigui quin sigui, amb un component discret emulant l'altre sensor, els càlculs són correctes.

Pel que sembla, el retorn capacitiu via els cables del sensor resistiu es tanca a través de la capacitat (100 nF) utilitzada per la mesura resistiva (veure ANNEX.A). D'aquesta manera quan es fan mesures de nivell amb les comptes obtingudes segons (1.8) no s'obté un valor fiable.

De moment, les mesures hauran de ser de temperatura o nivell.

## CAPÍTOL 5. CONCLUSIONS

### 5.1 Objectius aconseguits

L'objectiu del projecte ha estat muntar una xarxa bàsica de comunicacions que permetés remotament obtenir mesures del nivell i la temperatura de l'aigua de l'estany de laminació del Campus del Baix Llobregat.

La xarxa s'ha dissenyat per a que sigui bidireccional. Els nodes dialoguen entre ells i l'usuari final amb ells. Al ser una xarxa orientada a sensors remots de baix consum, s'ha decidit fer ús en les comunicacions de l'estàndard Zigbee. Es defineixen 3 nodes: Un de central al laboratori 123P de l'EPSC, preparat per rebre les dades que arriben de l'estany, processar-les i mostrar-les per pantalla. Un repetidor per assegurar la correcta visibilitat punts en un punt intermedi. Finalment un node definit com a sensor que s'encarrega de fer mesures a l'estany i de transmetre les dades cap al laboratori.

El node central s'encarrega de rebre les dades de l'estany així com de vetllar pel correcte funcionament de la xarxa. És un node senzill, consta d'una antena molt directiva (Julia-12 de Fractus), encarada cap al repetidor, i d'una placa de circuit imprès que suporta el transceptor emprat per a tots els nodes, l'ETRX-2 de Telegesis. S'ha programat amb LabVIEW una funcionalitat que permet processar les dades rebudes i mostrar per pantalla el valor de les mesures obtingudes de l'estany així com l'estat de l'alimentació d'aquell node. També permet la gestió remota de tota la xarxa. En un futur aquesta aplicació estarà disponible a Internet.

El node repetidor s'ha instal·lat en una farola del passeig central del Campus amb visibilitat directa a l'estany. S'ha realitzat un estudi energètic en que s'ha conclòs que el més òptim era alimentar-lo amb un sistema fotovoltaic. S'ha dissenyat per a que estigui disponible les 24 hores del dia tot i que es pot gestionar el seu estadi energètic remotament des del node central. Disposa d'una antena directiva (Julia-10 de Fractus) encarada cap al punt de mesura de l'estany.

El node sensor és el que s'encarrega de fer les mesures del nivell i de la temperatura de l'aigua. S'ha fixat en el mur enfront del nou edifici de l'ICFO (actualment en construcció) del Campus. Consta d'una placa amb un microcontrolador, l'ATtiny2313, que per interfície directa amb els sensors obté els valors de les mesures d'aquests. També gestiona els temps de consum, adormint i despertant el dispositiu quan pertoca. Mitjançant el transceptor envia les dades al node central.

El sensor de nivell ha estat dissenyat, implementat i convenientment testat i validat en el treball. El marge de mesura a l'estany és d'entre 70 cm i 170 cm amb una resolució inferior als 0,5 cm especificats d'inici. A l'estany sembla que no hi han les interferències que impedièen aconseguir la fita en el laboratori, on la resolució era de 0,82 cm.

El sensor de temperatura mesura entre 0 °C i 40 °C amb una resolució de 0,01 °C.

El node sensor s'alimenta amb bateries de tipus AA de Liti i se li estima una autonomia de 3,79 anys realitzant mesures cada 2 hores i transmetent les dades al node central un cop al dia.

El sistema contempla la possibilitat de creixuda del nivell de l'aigua i la necessitat d'incrementar la freqüència de presa de mostres a mode continu, enviament cada 30 s.

La gestió de xarxa i el canvi en la freqüència de mesura es fa via ràdio sense necessitat de desplaçar-se in situ a cap node. Només en cas d'avaría s'haurà d'anar a reparar qualsevol punt de la xarxa.

Finalment els sistema complet s'ha validat. S'han comprovat les comunicacions. No s'ha aconseguit suficient visibilitat entre el node repetidor i el node sensor. Les obres de l'ICFO n'impedeixen la correcta transmissió. Per això es fa necessària la presència, de moment, d'un altre node repetidor de característiques similars a l'existent.

El projecte s'ha realitzat amb èxit. S'ha concretat la xarxa tal i com s'havia planificat. Els nodes es comuniquen entre ells i les mesures es fan bé. Es troba en fase de validació. Sembla que existeix un problema en la mesura conjunta dels sensors. No així quan es fa amb components discrets ni per separat una mesura de l'altra. El sistema final mesura nivell o temperatura. De moment s'hauran d'emprar dos nodes sensors separats per a cada mesura si es volen rebre els dos valors a la vegada.

## 5.2 Treball futur

En el treball s'han tractat les mesures de temperatura i nivell de l'aigua. En el futur caldrà afegir més paràmetres com la conductivitat de l'aigua, la temperatura, humitat i pressió a l'aire, i la humitat al subsòl

Això anirà acompanyat d'un increment dels nodes. En un futur s'haurà d'expandir la xarxa que haurà de suportar aquest augment.

És possible sincronitzar els nodes repetidors en xarxes petites i controlades i fer que s'adormin si cal. Per això calen algorismes de sincronització que s'hauran de desenvolupar. És una operació de risc si no es fa ben feta, però que paga la pena intentar ja que pot permetre reduir el dimensió del circuit i de les cel·les fotovoltaïques suposant a la vegada un estalvi energètic considerable.

L'estudi de consum realitzat en el treball ha estat sobreestimat. Si es fa amb major precisió, de la mateixa manera que s'ha comentat en el paràgraf anterior, es poden reduir les necessitats energètiques, amb circuits, cel·les solars i bateries molt més petites. En el treball s'han mostrat els pics de treball del



mòdul transceptor que seria interessant caracteritzar enfront dels 36 mA continus considerats.

Dissenyar un punt d'accés al laboratori 123P, dotat de l'antena en la mateixa orientació del node central, que connecti directament des de fora amb la placa d'avaluació actual del node central, a l'interior sobre escriptori, i permeti eliminar la connectivitat interior-exterior actual via cable. Es podria pensar en un dispositiu tipus node repetidor o inclòs pensar en fer ús d'alternatives energètiques com el *power harvesting*.

La interfície gràfica ha de permetre una fàcil gestió remota a l'usuari en plenes funcionalitats. Potser fóra bo canviar de programa (LabVIEW) i realitzar una aplicació en Visual Basic o anàleg que permeti una major gestió dels recursos. Sobretot fóra important controlar un a un els paràmetres que intervenen en la comunicació a fi de gestionar-los millor.

S'estan utilitzant dispositius transceptors, els ETRX-2, programats pel seu fabricant. Fóra bo poder tenir les eines per crear i controlar pas a pas la xarxa implementada. A més s'està fent un malbaratament de costos ja que en el node sensor està treballant amb 2 microcontroladors, l'ATtiny2313 i l'EM250 inclòs en l'ETRX-2. Es podria integrar. Desenvolupar un dispositiu propi que treballés a mercès de les necessitats de qui desenvolupa la xarxa, i a més realitzés mesures.

La validació de camp dels sensors implementats no serà prou fiable si no es fa amb un recull extens de mostres, que només es podran obtenir amb el temps. Caldrà observar com es comporta el sensor de nivell amb el pas dels dies, a mesura que augmenta i disminueix el nivell de l'aigua i van variant els paràmetres del medi. El mateix amb el sensor de temperatura.

### **5.3 Impacte ambiental**

El Campus del Baix Llobregat disposa d'un entorn ideal per tal d'experimentar en busca de solucions futures que assegurin la sostenibilitat del medi. En aquest treball s'ha aprofitat aquest entorn per desenvolupar tecnologies que poden ajudar a preveure situacions adverses per a la natura.

Un sensor de nivell monitoritzant un pantà pot servir per indicar el percentatge d'embassament d'aigua. Un conjunt de sensors de nivell disposats en la trajectòria d'un riu pot ajudar a preveure i controlar riuades. Si es canvia el paràmetre de mesura, i es mesura conductivitat o PH de l'aigua, en una xarxa distribuïda de sensors, és possible detectar abocaments incontrolats en rius i mars. D'aquí la importància de treballs com aquest en busca del desenvolupament tecnològic d'eines que permetin monitoritzar l'entorn i assegurar una millor existència.

En el treball s'han tingut molt en compte les premisses d'estalvi energètic tant en la programació (major part del temps en repòs) com en el disseny dels sistemes d'alimentació. En el node repetidor s'ha dissenyat un sistema

fotovoltaic. El node sensor s'ha dissenyat mirant d'assegurar un consum molt reduït, alimentat amb piles AA de Liti, molt més duradores que les alcalines i menys contaminants que les de botó, s'ha aconseguit una autonomia de prop de 4 anys.

També s'ha estat molt curós en els materials utilitzats en la instal·lació dels nodes fent ús d'encloses (IP66) i suports (reciclats) adequats i en la pròpia ubicació ja que s'han aprofitat construccions i instal·lacions ja fetes per tal de no malmetre l'entorn.

Per últim destacar que el treball s'emmarca dins del projecte Laboratori REAL de la UPC [40].

## REFERÈNCIES

- [1] Moran Garcia J. X., *Sistema Autònom per a la mesura de paràmetres ambientals de l'estany del Campus de Castelldefels*, PFC(EPSC-UPC), Juliol 2006.  
URL: <http://biblioteca.upc.es/PFC/arxius/migrats/54644-1.pdf>  
[accés 01/07]
- [2] Reverter F., Pallàs-Areny R., *Direct Sensor-to-Microcontroller interface circuits*, Marcombo, Barcelona 2005.
- [3] NTC 10K3A5421.  
URL: <http://www.farnell.com/datasheets/5660.pdf>  
[accés 01/07]
- [4] Rivera Marquí C., (Becari), Supervisor: Gasulla, M., *Mesures del nivell de l'aigua a l'estany artificial del Parc Mediterrani de la Tecnologia*. Document intern del grup ISI, UPC.
- [5] Smartec Universal Transducer Interface (UTI).  
URL: <http://www.smartec.fr/fr/pdf/dsuti.pdf>  
[accés 01/07]
- [6] Reverter, F., Pallàs-Areny, R., *Uncertainty reduction techniques in microcontroller-based time measurements*, Sensors and actuators 127, 2006, pp 74 – 79.  
URL: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)  
[accés 01/07]
- [7] Baker B., *Use a watchdog timer even with perfect code*, EDN Europe, May 2003, page 28.
- [8] ATTiny 2313 datasheet  
URL: [http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc2543.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2543.pdf)  
[accés 01/07]
- [9] ETRX-2 module Product Manual.  
URL: <http://www.telegesis.com/pdf/Zigbee/TG-ETRX2-PM-01-102.pdf>  
[accés 01/07]
- [10] Puccinelli, D., Haenggi, M., *Wireless Sensor Networks: Applications Challenges of Ubiquitous sensing*, IEEE circuits and systems magazine, Third quarter 2005, pp19-29.
- [11] ENERGIZER HOLDINGS CO.  
URL: <http://www.energizer.com>  
[accés 12/06]

- [12] ENERGIZER L91 battery.  
URL: <http://data.energizer.com/PDFs/l91.pdf>  
[accés 11/06]
- [13] ENERGIZER Technical Bulletin, Version 1.1.0, December 2005.  
URL: <http://data.energizer.com/PDFs/BatteryLR.pdf>  
[accés 11/06]
- [14] Servei Meteorològic de Catalunya, Dades meteorològiques històriques de les poblacions de Catalunya.  
URL: [http://www.meteocat.net/marcs/marc\\_dades.html](http://www.meteocat.net/marcs/marc_dades.html)  
[accés 01/07]
- [15] Distribuïdor Farnell.  
URL: <http://www.farnellinone.com>  
[accés 01/07]
- [16] Distribuïdor RS-Amidata.  
URL: <http://www.amidata.es>  
[accés 01/07]
- [17] JTAGICE MKLL Quick Start Guide. ATMEL application notes.  
URL: <http://www.atmel.com>  
[accés 12/06]
- [18] Ember Co.  
URL: <http://www.ember.com>  
[accés 12/06]
- [19] Starcase enclosures ROLEC  
URL: <http://www.farnell.com/datasheets/81221.pdf>  
[accés 12/06]
- [20] Zigbee alliance  
URL: <http://www.zigbee.org/en/>  
[accés 12/06]
- [21] Telegesis Co. TG-ETRX-R208-AT-Commands  
URL: <http://www.telegesis.com/pdf/Zigbee/TG-ETRX-R207.pdf>  
[accés 12/06]
- [22] Ember250 single-chip Zigbee/802.15.4 solution.  
URL: [http://www.ember.com/pdf/EM250\\_Datasheet.pdf](http://www.ember.com/pdf/EM250_Datasheet.pdf)  
[accés 01/07]
- [23] Tome Castro, J. M., *Diseño de un módulo Zigbee de bajo coste*, TFC (EPSC-UPC), Juliol 2006.  
URL: <http://biblioteca.upc.es/PFC/arxius/migrats/53948-1.pdf>  
[accés 01/07]

- [24] Johanson 2450AT43A100 datasheet.  
URL:[http://www.johansontechnology.com/products/rfc/JTI\\_RF-Components\\_2006-11](http://www.johansontechnology.com/products/rfc/JTI_RF-Components_2006-11)  
[accés 01/07]
- [25] Fractus Compact Reach Xtend / Julia-10 / Julia-12 datasheet.  
URL: <http://www.fractus.com>  
[accés 01/07]
- [26] Data sheet U.FL-Series 2004.2 Hirose Ultra Small Surface Mount Coaxial Connectors- Low Profile 1.9mm or 24mm Mated Height  
URL: [www.hirose.co.jp/cataloge\\_hp/e32119372.pdf](http://www.hirose.co.jp/cataloge_hp/e32119372.pdf)  
[accés 01/07]
- [27] Penella M., Supervisor: Gasulla M., *Dimensionado de un sistema fotovoltaico. Ejemplo: Repetidor Zigbee*, Document intern del grup ISI(UPC), desembre de 2006.
- [28] Castañer L. *Energia solar fotovoltaica*, Barcelona, 1994, ISBN: 84-7653-375-6.
- [29] European Commission, *SoDA: Services for Professionals in Solar Energy and Radiation*.  
URL: [http://www.soda-is.com/eng/services/meteo\\_eng.html](http://www.soda-is.com/eng/services/meteo_eng.html)  
[accés 12/06]
- [30] Ansmann Energy, AA-NiMH 2700 mAh 5030841 Ansmann battery datasheet.  
URL: <http://www.farnell.com/datasheets/74896.pdf>  
[accés 12/06]
- [31] I. Buchmann, *Batteries in a portable world*, 2 ed. Richmond, Canada: Cadex Electronics, 2001, ISBN: 0-9682118-2-8
- [32] Fairchild Semiconductor, FDN304P P-channel 1.8V Specified PowerTrench MOSFET datasheet.  
URL:<http://www.datasheetarchive.com/search.php?q=FDN304&sType=part>,  
[accés 12/06]
- [33] ST Microelectronics, BAT47 Small signal schottky diode datasheet.  
URL:[http://www.datasheetcatalog.com/datasheets\\_pdf/B/A/T/4/BAT47.shtml](http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/B/A/T/4/BAT47.shtml)  
[accés 12/06]
- [34] Maxim Microprocessor voltage monitor with dual Over/Undervoltage detection datasheet  
URL: [http://www.maxim-ic.com/quick\\_view2.cfm/qv\\_pk/1674](http://www.maxim-ic.com/quick_view2.cfm/qv_pk/1674)  
[accés 12/06]

- [35] Analog Devices, AD8603 Precision Single MicroPower Rail to Rail Input/Output Low Noise CMOS Operational Amplifier datasheet.  
URL:[http://www.analog.com/en/prod/0,,759\\_786\\_AD8603,00.html](http://www.analog.com/en/prod/0,,759_786_AD8603,00.html)  
[accés 12/06]
- [36] Neohm Thick film chip resistors datasheet.  
URL:<http://sabotin.p-ng.si/~sstanic/belle/reader/parts/223-0332.pdf>  
[accés 12/06]
- [37] F.Reverter, Xiujun Li, G.Mejer, *Characterisation of a liquid-level measurement system based on a grounded capacitive sensor*. Electronics'2006. September 2006. pp 122 - 126
- [38] Reverter, F.; Gasulla, M.; Pallas-Areny, R. *A low-cost microcontroller interface for low-value capacitive sensors*. Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2004. IMTC 04. IEEE Volume 3,18-20 Maig 2004. pp. 1771 - 1775 Vol.3
- [39] Optoacoplador 9SPOP2  
URL:<http://elec.com/bb-elec/literature/9spop2-3903ds.pdf>  
[accés 01/07]
- [40] Programa Real de la UPC (Web de medi Ambient)  
URL: <http://www.upc.es/mediambient/recerca/real1.html>  
[accés 02/07]
- [41] IEC60529 Ingress Protection (IP) AMPNetConnect  
URL: <http://www.ampnetconnect.com/etherseal>  
[accés 09/06]
- [42] European Comission. European Directives  
URL: [http://ec.europa.eu/enterprise/electr\\_equipment/emc/directiv/](http://ec.europa.eu/enterprise/electr_equipment/emc/directiv/)  
[accés 02/07]

## BIBLIOGRAFIA

- Reverter F., Pallàs-Areny P., *Direct Sensor-to-Microcontroller interface circuits*, Marcombo. Barcelona, 2005.
- Edgar H., Caldwell Jr., *Wireless Sensor Networks*, Auerbach, 2005.







A fi i efecte de seguir amb exactitud les explicacions s'haurà de tenir present la Fig A.1

Aquest circuit consta de dues parts. Una que integra el transceptor, i l'altra amb el microcontrolador i el seu acondicionament. Destaca la no presència de regulador de tensió. Tampoc no hi ha cap dispositiu per adequar-se als nivells de RS-232 ja que es fa servir un cable compacte dissenyat pel grup ISI que ja integra el dispositiu adaptador. Per tant només cal el punt d'accés via connector. S'hi pot accedir per 2 punts al circuit. En concret es permet accedir tant al transceptor com al microcontrolador, caldrà moure el jumper segons convingui ja que si està abaixat es prima la comunicació sèrie entre transceptor i microcontrolador.

Hi ha 2 botons de reset per tal de reinicialitzar independentment els dispositius.

El microcontrolador accepta interrupcions externes via pin, per aquest motiu com a funcionalitat extra, que no es fa servir en el treball, s'ha instal·lat un polsador.

La interconnexió entre els dispositius transceptors i microcontroladors es fa via entrades/sortides sèrie dels dispositius. També hi ha interconnexió entre pins aprofitant les entrades d'interrupció del transceptor ETRX-2 que s'usen per canviar l'estadi energètic, de màxim a mínim consum en el treball.

Les resistències emprades són de muntatge superficial SMD [36]. La tolerància és del 1% i el coeficient de temperatura de 100 ppm/°C.

Els condensadors de desacoblament són de muntatge superficial SMD disponibles en [16], ceràmics i de baixa tolerància(COG) de Kemet.

La resta de condensadors usats són ceràmics i de tipus NP0(1% de tolerància) o NP150(5% de tolerància) segons la capacitat, i disponibles en [16].

## ANNEX.B Data Sheet de la NTC emprada (10K3A5421)

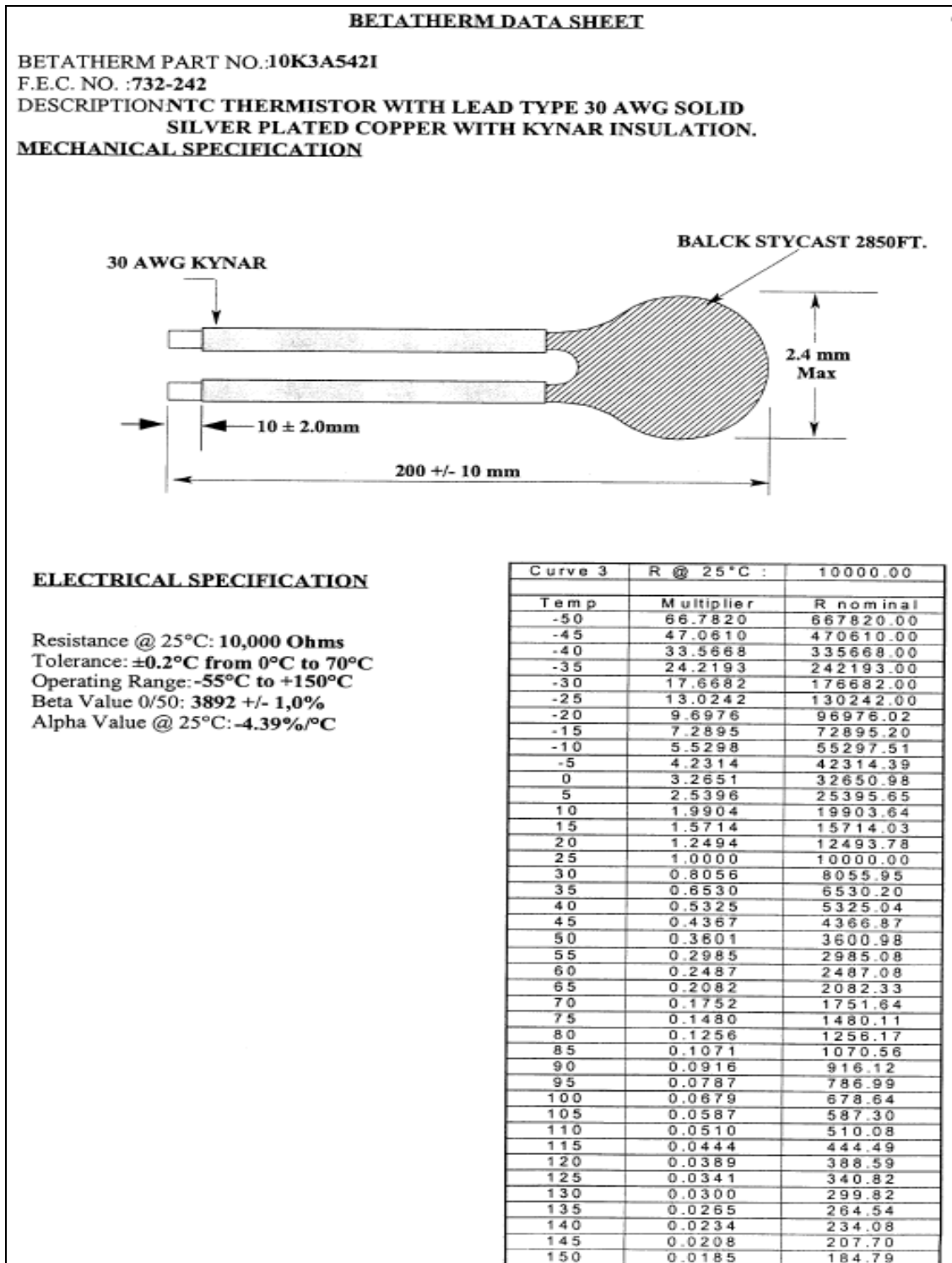
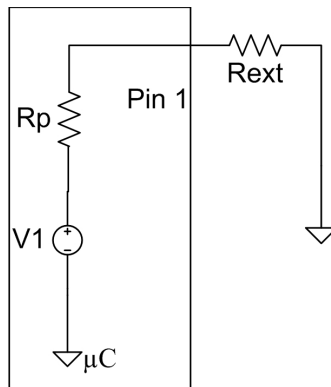


Fig B.1 Datasheet de la NTC 10K3A5421

## ANNEX.C Caracterització del microcontrolador

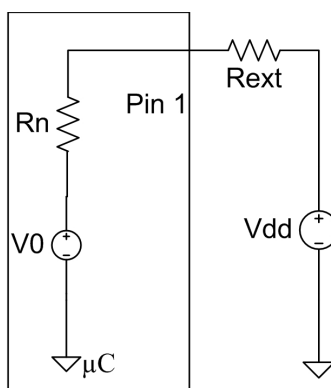
S'han caracteritzat les resistències internes dels ports I/O del microcontrolador ATtiny2313 configurats com sortides, en estat alt ( $R_p$ ) i baix ( $R_n$ ). Els pins utilitzats han estat INT0/PD2 per a  $R_p$  i PB7/SCK per a  $R_n$ . Totes les mesures s'han fet emprant un multímetre Wawetek Meterman 85XT i alimentant el microcontrolador amb dues bateries AA energizer L91. Els valors mesurats per a l'alimentació ( $V_{DD}$ ) i per a les tensions en circuit obert de les sortides en estat alt ('1' digital) i baix ('0' digital) han estat respectivament 3,303 V, 3,279 V i 0,003 V.

Per al càlcul de les resistències internes s'ha fet servir un divisor de tensió, mitjançant una resistència externa  $R_{ext}$  de valor 98  $\Omega$  (mesurat amb l'analitzador d'impedàncies HP4192A). La Fig C.1 mostra el circuit emprat per a obtenir el valor de  $R_p$  on s'ha configurat el port de sortida a nivell alt.



**Fig C.1** Circuit per mesurar  $R_p$

La Fig C.2 mostra el circuit per al càlcul de  $R_n$  on s'ha configurat el port de sortida a nivell baix.



**Fig C.2** Circuit per mesurar  $R_n$

El valor obtingut per  $R_p$  és de 77 $\Omega$  i per a  $R_n$  de 27 $\Omega$ , bastant similars als valors obtinguts per [2] on es va utilitzar un  $\mu C$  de la mateixa família.

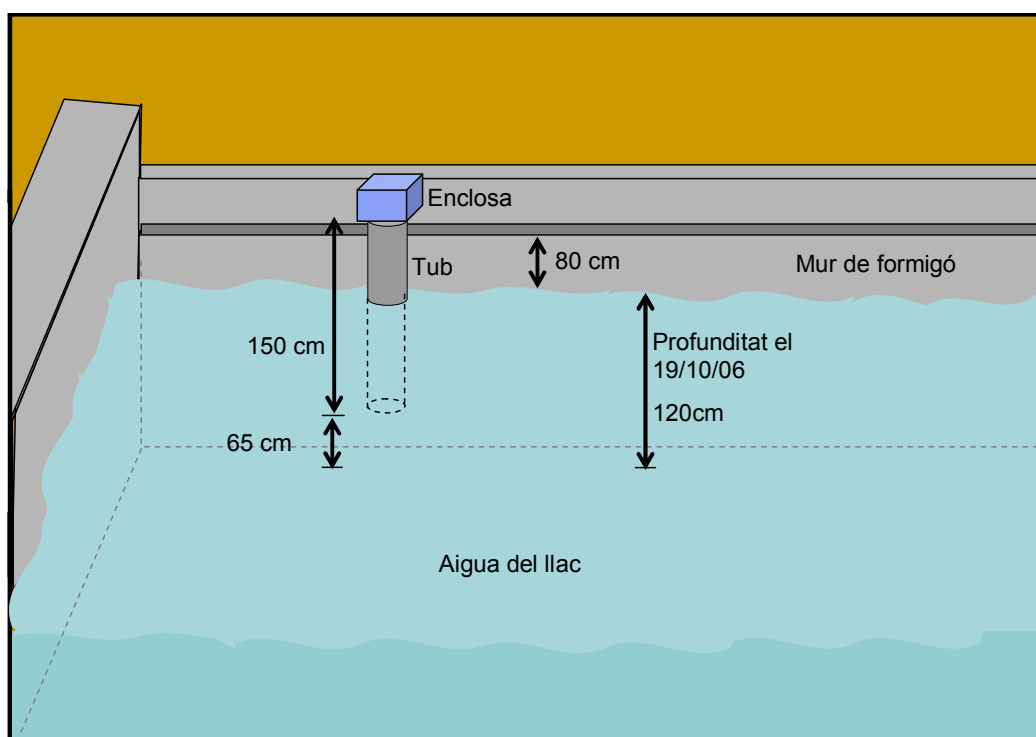
Un altre mètode per a calcular els valors és col·locar un condensador a la sortida del port connectat a terra per l'altre extrem. Configurant la sortida a nivell alt es carrega el condensador a través de  $R_p$ . Configurant la sortida a nivell baix es descarrega a través de  $R_n$ . Mesurant la constant de temps de càrrega i descàrrega es pot obtenir els valors de les resistències internes. Les mesures s'han realitzat amb un oscil·loscopi portàtil alimentat a bateries (model TEKTRONIK THS710A). Per a  $R_p$  s'ha obtingut el mateix valor que amb el primer mètode,  $77\Omega$ . Per a  $R_n$  s'ha obtingut un valor de  $52\Omega$ . Això es justificable si tenim en compte la limitació del corrent d'entrada dels pins ( $40\text{mA}$ ). Quan s'inicia la descàrrega s'arriba a aquest límit, cosa que comporta un major temps global de descarregada.

## ANNEX.D Punt de mesura

La ubicació del punt físic de mesura s'ha triat per a tenir, d'una banda, la capacitat d'accedir-hi fàcilment, i de l'altra, visibilitat directa amb el node repetidor per assegurar una correcta comunicació.

La Fig D.1 mostra la ubicació escollida, en el mur situat davant de l'ICFO. Amb les dades històriques de nivell de que es disposen, el nivell de l'aigua de l'estany ha oscil·lat entre els 70cm fins als 130cm mesurats des del fons (Fig. 0.6). Durant els mesos en els que s'ha desenvolupat aquest treball, l'aigua ha variat des dels 90 cm (mes de juliol) fins als 120cm (octubre), amb una mitjana de 108cm a partir de les mostres preses 2 cops al mes, des de juliol i fins al desembre de 2006.

El marge de mesura que escollim finalment es de 70 cm a 170 cm respecte al fons que correspon a un marge de 5 cm fins a 105 cm respecte a la part inferior del tub. El punt de calibració, 129 cm mesurats des del fons de l'estany, correspon a un nivell de 64 cm mesurats des de la part inferior del tub, és a dir la meitat del marge de mesura previst.



**Fig D.1** Punt de mesura a l'estany

Per tal de fer les mesures, i tenir un punt de referència, hi ha instal·lat al llac un limnímetre. És un regle que senyala el nivell d'aigua que hi ha a l'estany(veure Fig D.2).



**Fig D.2** Limnímetre situat al mur de l'estany del Campus del Baix Llobregat


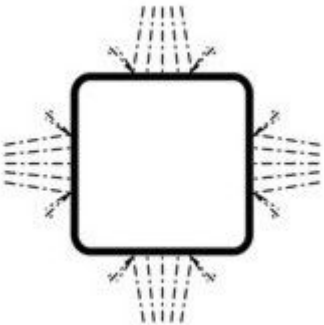

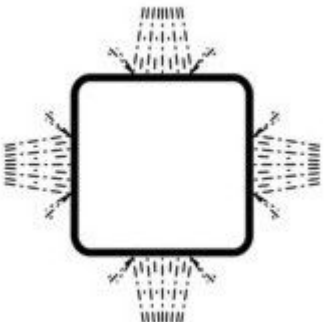
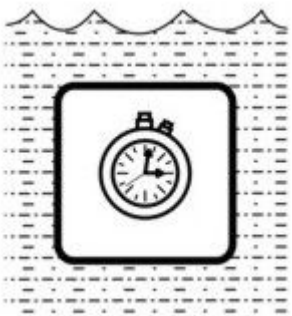
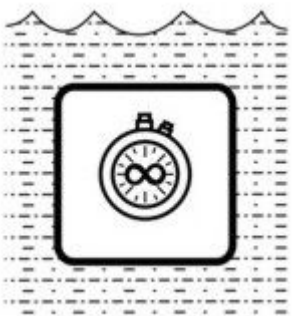
El dia de la fotografia, hi havia 110 cm d'aigua que van ser mesurats amb un regle de fusta graduat de 2,05 metres.

## ANNEX.E Codificació IP-XY gràfica

A continuació es mostra de forma gràfica els nivells de protecció marcats per la IEC-60259 tipus IP. De forma gràfica es pot veure l'elecció del nivell de protecció. La informació ha estat extreta de [41].

X Protection from foreign objects		Y Protection from water	
0	Unprotected	0	Unprotected
1	Protected from penetration of solid objects $\geq 50.0\text{mm } \varnothing$ .	1	Protected from vertically falling drops of water.
2	Protected from penetration of solid objects $\geq 12.5\text{mm } \varnothing$ .	2	Protected from vertically falling drops of water, while enclosure is tilted up to $15^\circ$ .
3	Protected from penetration of solid objects $\geq 2.5\text{mm } \varnothing$ .	3	Protected from water sprayed up to $60^\circ$ from both sides of vertical.
4	Protected from penetration of solid objects $\geq 1.0\text{mm } \varnothing$ .	4	Protected from water slashed from all directions.



5		Partially protected from dust. Dust shall not penetrate in quantities to interfere with proper operation or safety	5		Protected from jets of water spraying from all directions.	
6		Dust-tight.	6		Protected from powerful jets of water spraying from all directions.	
				7		Protected from immersion in water for 30 minutes at a depth of 1 meter.
				8		Protected from continuous immersion in water for time and depths more severe than 7.

**Fig E.1** Representació gràfica dels codis IP (IEC-60259)

## ANNEX.F Estudi de radiació sobre Castelldefels

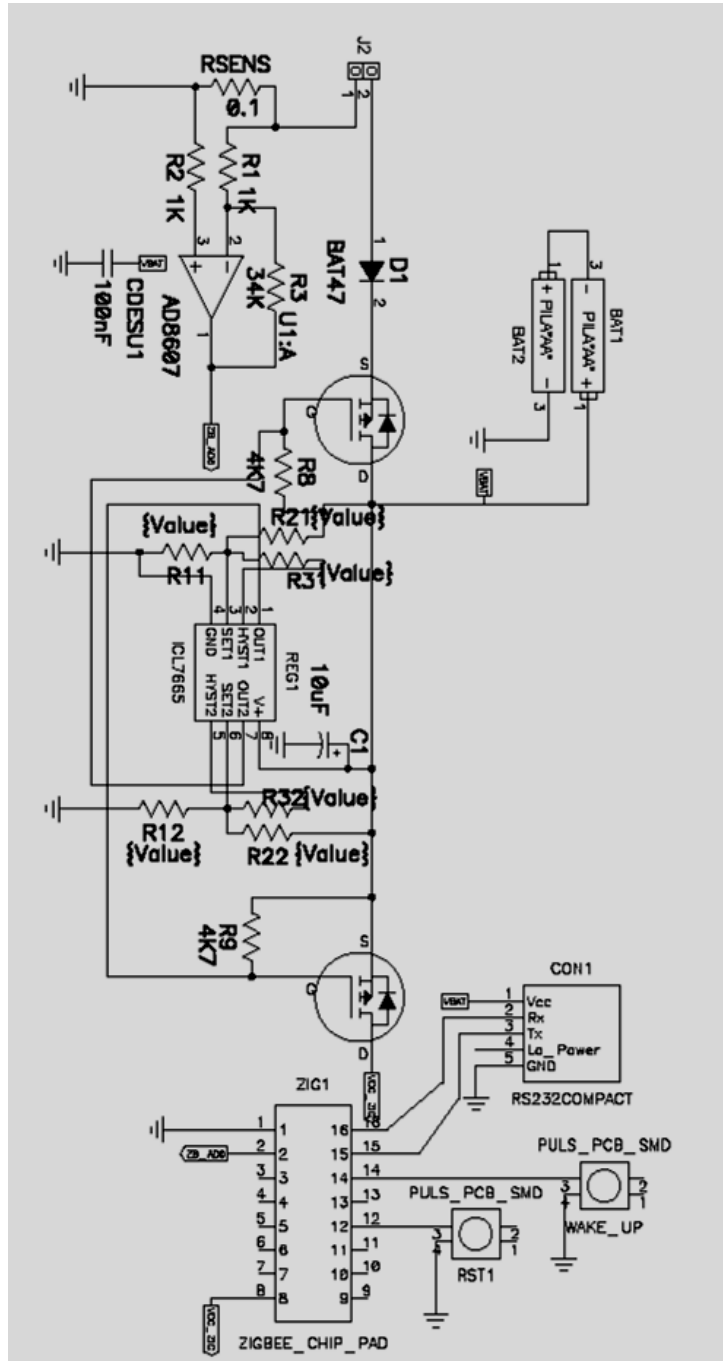
La Taula. F.1 mostra la radiació mitjana en els diferents dies de la segona quinzena de desembre de 1989, així com la capacitat generada, la consumida i la seva diferència. S'han ressaltat les dades del període continuat més crític, on la capacitat consumida supera a la generada.

**Taula. F.1** Balanç energètic per a l'última quinzena de desembre de 1989

Irradiació mitjana diària 60° / W/m <sup>2</sup>	$\frac{C_G}{Ah}$	$\frac{C_C}{Ah}$	$\frac{C_C - C_G}{Ah}$
155,99	1,109154	1,0284	-0,080754
73,89	0,525388	1,0284	0,503011
192,935	1,371848	1,0284	-0,343448
129,3075	0,919430	1,0284	0,108969
178,5675	1,269689	1,0284	-0,241289
182,6725	1,298877	1,0284	-0,270477
176,515	1,255095	1,0284	-0,226695
197,04	1,40103	1,0284	-0,372636
178,5675	1,269689	1,0284	-0,241289
94,415	0,671330	1,0284	0,357069
59,5225	0,423229	1,0284	0,605170
121,0975	0,861053	1,0284	0,167346
143,675	1,021589	1,0284	0,006810
110,835	0,788083	1,0284	0,240316
174,4625	1,240501	1,0284	-0,212101

## ANNEX.G Esquema circuital del node repetidor. Consideracions al disseny del circuit

En aquest punt es faran consideracions al disseny final del circuit del sistema d'alimentació del node repetidor. A fi i efecte de seguir amb exactitud les explicacions s'haurà de tenir present la Fig G.1.



**Fig G.1** Esquema de la placa dissenyada per al node repetidor

El díode  $D_1$ , BAT47[33], serveix per evitar que el mòdul solar(connectat a  $J_2$ ) es converteixi en càrrega de la bateria en períodes d'il·luminació insuficient. Així

s'evita la descàrrega de la bateria i també possibles danys en la cel·la solar. El díode escollit és de tipus shottky per a que la caiguda de tensió sigui petita (0,5 V màxim) i s'ha buscat un model amb corrent de fugues despreciable respecte al consum del sistema (1  $\mu\text{A}$ ).

Els transistors PMOS (FDN304[32]) junt amb el circuit ICL7665 [34] i les resistències  $R_{1X}$ ,  $R_{2X}$  i  $R_{3X}$ , formen un circuit de protecció de la bateria contra sobrecàrregues (es desconnecta la cel·la solar si es sobrepassen els 2,9 V) i descàrregues profundes (es desconnecta la càrrega si la tensió en la bateria cau per davall del llindar, en aquest cas 2,35V). S'implementa també una histèresis per controlar que el sistema no es desconnecti ja que al connectar la càrrega la tensió cau lleugerament tot i que posteriorment es torna a recuperar. Els valors de les resistències  $R_{1X}$ ,  $R_{2X}$  i  $R_{3X}$  s'han escollit per fixar els llindars i les histèresis desitjades. El transistor FDN304 s'ha escollit per la seva baixa resistència de conducció (0,1  $\Omega$  max) per als nivells d'activació ( $V_{GS} = 0,8$  típica) i per les corrents de fuga (0,1  $\mu\text{A}$ ). El ICL7665 s'ha elegit per la seva baixa tensió d'alimentació (1,6 V- 16 V), el reduït consum (3  $\mu\text{A}$ ) i la possibilitat de definir els llindars de sobrecàrrega i descàrrega profunda mitjançant resistències externes.

L'AD8607 [35] s'ha configurat per formar un mesurador de corrent que com s'ha comentat en el CAPÍTOL 2, es pot monitoritzar des del laboratori la intensitat generada per la cel·la solar.

Les resistències emprades són de muntatge superficial SMD [36]. La tolerància és del 1% i el coeficient de temperatura de 100 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ .

Tota la informació referent als components utilitzats es pot trobar amb major detall en [27].

## ANNEX.H Búsqueda de módulos fotovoltaics

S'ha fet una búsqueda exhaustiva de mòduls solars. A la Taula. H.1 es mostren els dispositius trobats, amb les seves característiques i el preu en \$.

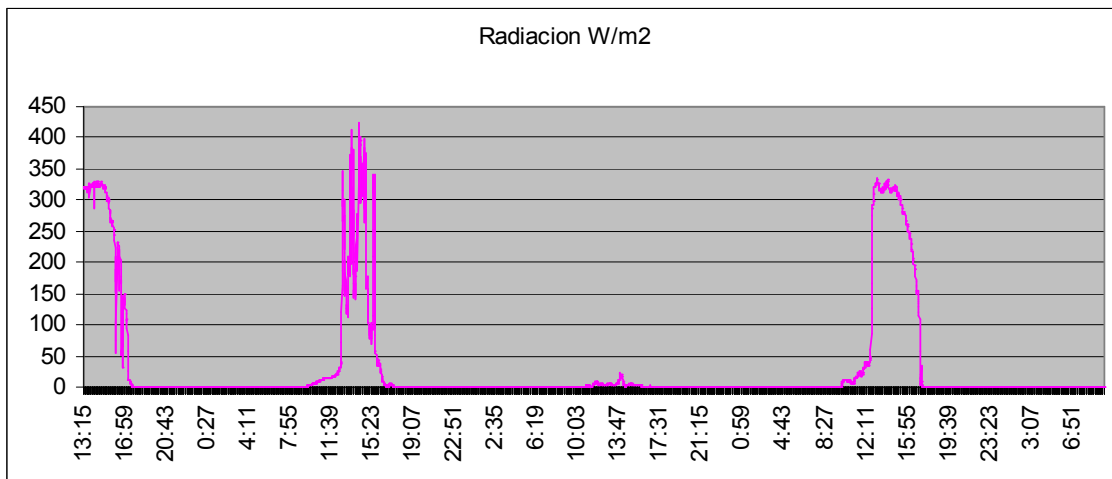
**Taula. H.1** Característiques de les cel·les solars possibles per a emprar en el dimensionat del sistema solar

PowerFilm					
Model #	V <sub>OC</sub> / V	I <sub>SC</sub> / mA	Dimensions / mm	Pes / g	Preu / \$
MTP3.6-150	4,8	120	73,66 x 149,86 x 0,25	2,83	16
Solar cells					
Model #	V <sub>OC</sub> / V	I <sub>SC</sub> / mA	Dimensions / mm	Pes / g	Preu / \$
04-1193	0,55	450	25,4 x 63,65	0,24	1,60
04-1189	0,55	600	40,64 x 63,65	0,33	2,00
04-1194	0,55	1200	63,65 x 63,65	0,66	2,90
04-1195	0,55	2200	63,65 x 127	1,2	3,45
04-1196	0,55	4100-4500	127 x 127	2,3	8,50
Epoxlite Series					
Model #	V <sub>OC</sub> / V	I <sub>SC</sub> / mA	Dimensions / mm	Pes / g	Preu / \$
04-1090	4,5	200-275	85,09 x 115,06	1,2	13,95
04-1090A	4,5	66,67	85,09 x 66,4	0,4	6,50
Solarex					
Model #	V <sub>OC</sub> / V	I <sub>SC</sub> / mA	Dimensions / mm	Pes / g	Preu / \$
MSX-005	4,6	160	114,3 x 66,8 x 3	0,5	19,10

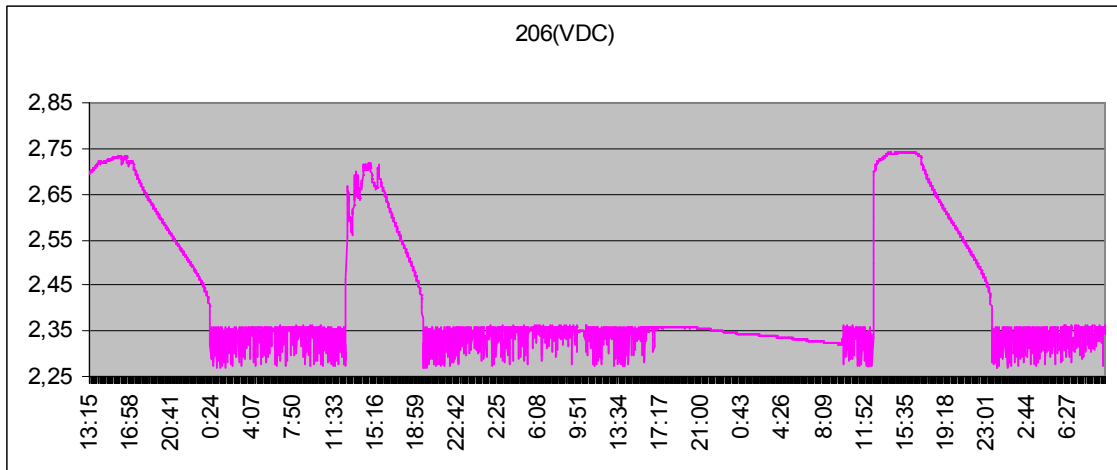
## ANNEX.I Verificació experimental del circuit d'alimentació del node repetidor

Durant el mes de desembre (des del migdia del 16 fins a la matinada del 20) s'han realitzat diverses proves amb el circuit a la finestra oest del laboratori 123P. En les següents gràfiques es poden veure els valors obtinguts durant 4 dies. Les proves s'han realitzat amb el sistema d'adquisició Agilent 34970A configurat amb una resistència d'entrada  $> 10 \text{ G}\Omega$ . Les mesures s'han realitzat cada minut. Inicialment la bateria estava carregada a 2,67 V, però no tenia el 100% de la càrrega emmagatzemada. La càrrega s'ha simulat col·locant una resistència de  $100 \Omega$  que correspon a un corrent entre 20 i 30 mA per a una tensió d'alimentació entre 2 i 3 V. Les bateries utilitzades en la validació experimental són de NiMH de capacitat 2250 mAh.

La situació del no era l'adequada però s'ha pogut verificar el funcionament dels interruptors (sobre descàrrega) i la correcta càrrega de la bateria (Fig I.1 i Fig I.2). Per exemple durant el quart dia (3 hores i 30 minuts) es genera una mitjana de 90 mA. En principi es tenen 315 mAh ( $90 \text{ mA} \times 3,5 \text{ h} = 315 \text{ mAh}$ ) emmagatzemats a la bateria. Aquesta càrrega proporciona suficient energia per alimentar el sistema durant 10,5 h. El sistema funciona des de les 13 hores fins les 23 hores (10 hores). Quan l'interruptor actua, tot i que la tensió en la bateria comença a decaure molt ràpidament hi ha encara càrrega emmagatzemada (l'interruptor s'activa i es desactiva contínuament degut a que la tensió es recupera per sobre dels 2,4 V, tensió superior a la d'histèresis, però al activar-se la càrrega fa caure la tensió per davall de 2,35 V, valor inferior de la d'histèresis) i la càrrega s'acaba durant el tercer dia, on deixa d'haver arribat en la tensió en la bateria (l'interruptor continua obert seguidament).



**Fig I.1** Perfil de radiació extret a partir de la intensitat mesurada



**Fig I.2** Tensió mesurada en la bateria

## ANNEX.J Esquemàtic del circuit emprat en el node central

El circuit emprat en el node central, és un placa d'avaluació creada pel grup ISI per treballar amb els dispositius de Telegesis, tant el model ETRX-1 com el ETRX-2. A continuació es farà una breu descripció que es convenient seguir amb l'ajuda de la Fig J.1.

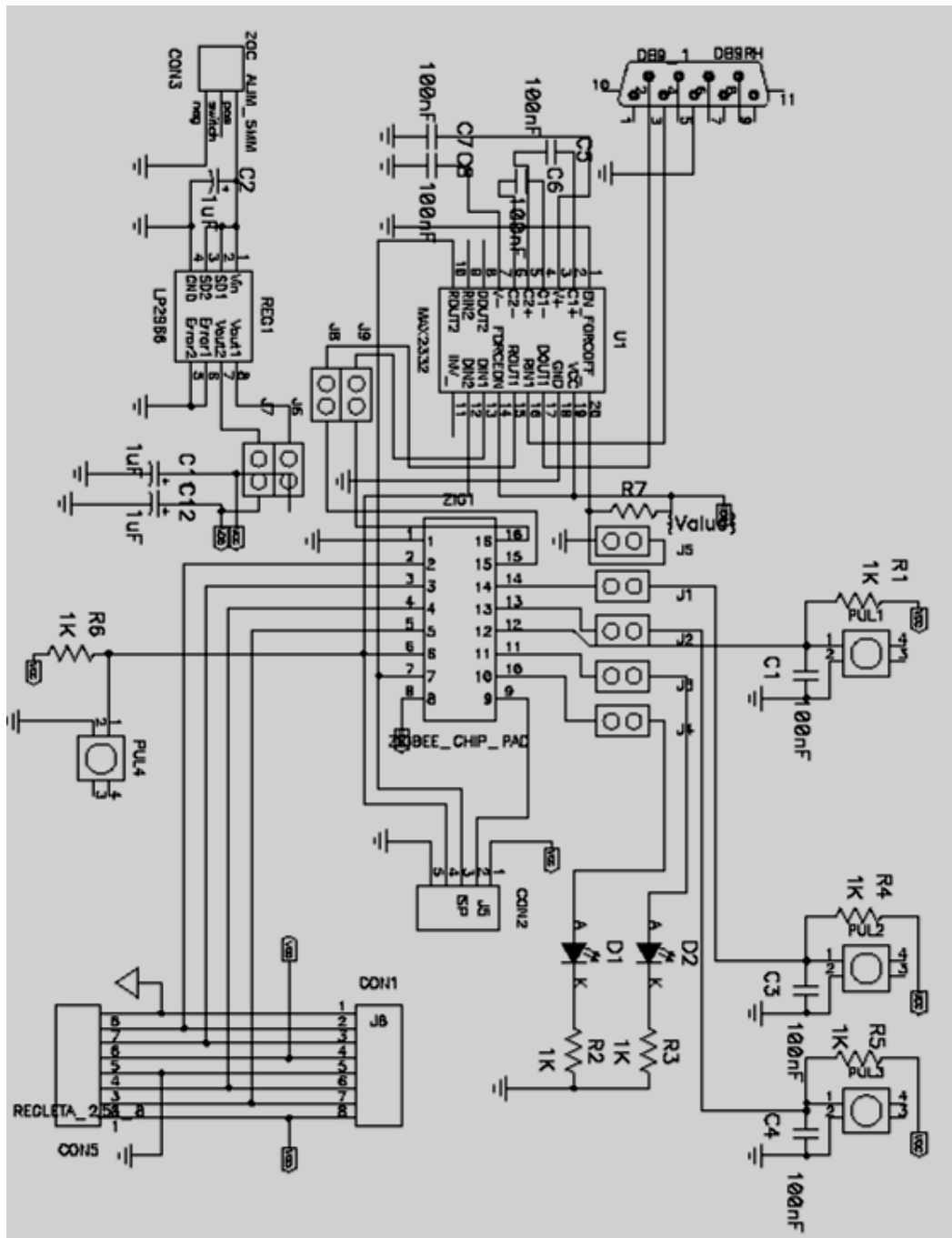


Fig J.1 Esquemàtic del circuit emprat en el node central



Els dispositius que integren el circuit són l'ETRX-2, el MAX2332, i el regulador LP266. Disposa d'una sèrie de polsadors, que convenientment habilitats són d'ús per resetejar o simplement interactuar aprofitant els pins d'entrada i les interrupcions externes del transceptor. També disposa de 2 *leds* que són útils per visualitzar certes execucions.

Està preparada per alimentar-se mitjançant convertidor AC/DC o bé fent ús de bateries sempre sota administració energètica del regulador.

Sobre aquesta placa s'han desenvolupat les funcionalitats desenvolupades en el treball per a l'ETRX-2 ja que se'n disposen d'algunes en el laboratori de treball.

## ANNEX.K Mesures de radiació de les antenes

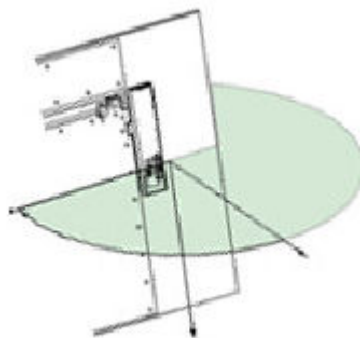
Per tal de comprovar la distància a la que arriben els mòduls transceptors es van fer una sèrie de mesures en camp obert. La prova va consistir en utilitzar el circuit del node sensor i descarregar-hi un codi que executava instruccions tipus "AT+SCAST:x\r" on la x anava incrementant contínuament. A l'altra banda hi havia un portàtil, connectat a una placa d'avaluació alimentada a bateries amb un mòdul ETRX-2 que simulava ser el node central i coordinador de la xarxa. En aquest portàtil i mitjançant el programa hyperterminal es capturaven els paquets rebuts en cada instant i es visualitzaven a mesura que allunyàvem la placa del node sensor. Amb això es va poder estimar en quin moment es produïa la pèrdua de connectivitat i també la màxima i la mínima radiació i els màxims plans d'emissió i recepció de les antenes .

La prova es va fer amb antenes SMD, tant amb les Johanson com amb les de Fractus. D'aquí es va deduir que les segones no funcionaven bé doncs no es va aconseguir mai superar els 40 metres d'emissió directa en pla de teòrica màxima radiació. Amb les altres es va poder establir una distància màxima en pla de màxima radiació de 155 metres. En pla de mínima radiació comuna es van assolir els 70 metres.

Per a les antenes amb connector SMA s'han fet proves d'una banda amb la Julia-12. S'han realitzat entre la mateixa i un mòdul amb antena SMD. Els resultats obtinguts han sigut molt satisfactoris ja que s'ha aconseguit una distància màxima de 183 metres en màxima radiació i un mínim de 149 metres en totes direccions.

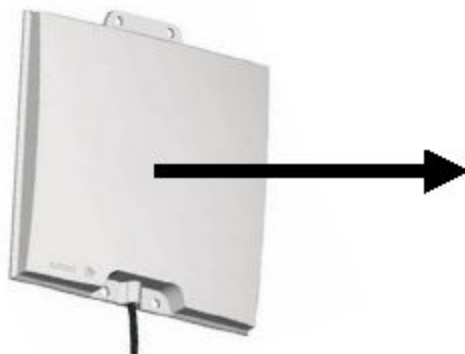
De l'altra s'ha testat la Julia-10. L'experimentació s'ha realitzat entre la mateixa i un mòdul amb antena de tipus SMD. Els resultats han estat extraordinaris, en totes direccions s'aconsegueixen fins a 210 metres. En màxima directivitat comuna s'han aconseguit els 385 metres.

Per tant per al llac col·locarem un mòdul equipat amb una antena de tipus SMD, la Johanson 24AT43A100. Ho farem en la màxima directivitat segons la Fig K.1.



**Fig K.1** Màxima radiació de l'antena tipus SMD emprada

Per al repetidor es pot posar una antena Julia-10, en màxima directivitat cap al llac hi haurà comunicació. Cap a l'edifici de l'EPSC en totes direccions s'hi pot atansar. Descartem la Julia-12 per les seves dimensions ja que pot ser contraproduent per al mecanitzat del node repetidor. El pla de màxima radiació de la Julia-12 es pot veure en la següent figura.



**Fig K.2** Fractus-12 en màxima radiació

Finalment si que es pot posar al node central l'antena Julia-12, la més gran i de major alcanç i directivitat. La comunicació és delicada perquè s'ha de donar entre el laboratori 123P i la farola del passeig. L'orientació és igual com en la Julia-10 frontal al panell.

La disposició del les tres antenes no ha estat satisfactòria. Si bé existia connectivitat entre el mòdul de la farola i el del laboratori, no s'ha pogut establir amb el node sensor. Les obres de l'ICFO són un obstacle insuperable per a la nostra comunicació. És l'inconvenient de treballar a tant alta freqüència. S'haurà d'instal·lar un altre node repetidor per tal d'assegurar la comunicació fins que no acabin les obres.

**Taula. K.1** Resultats de les proves de distància amb antenes

	SMD Thomson Màxim	SMD Thomson Mínim	SMA Fractus Julia 10	SMA Fractus Julia 12
SMD Thomson Màxim	155 metres	123 metres	183 metres	385 metres
SMD Thomson Mínim	123 metres	70 metres	149 metres	220 metres

## ANNEX.L Compatibilitat electromagnètica

En aquest annex es mostren les taules resum amb els estàndards sobre compatibilitat electromagnètica. Han estat obtingues de la pàgina Web de la Comissió Europea sobre directives de compatibilitat electromagnètica [42].

**Taula. L.1** Estàndards europeus per emissions

Standard	Applications
EN 50 081 part1	European Generic emission standard(replaced by EN61000-6-3) for domestic, commercial and light industry environment
EN 50 081 part2	European Generic emission standard for industrial environment
EN 55 014	European limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of household appliances and power tools(replaced by EN55014-1); (immunity part now in EN55014-2)
EN 60 055 part2 & part3	Disturbances of power supply network (part2) and power fluctuations (part3) caused by household appliances and power tools (replaced by EN61000-3-2 and by EN61000-3-3)

**Taula. L.2** Estàndards per a immunitat intrínseca

Standards	Applications
EN 50 082 part1	European immunity standard(Replaced by EN 61000-6-1) for domestic, commercial and light industry environment
EN 50 082 part2	European immunity standard for industrial environment
EN 50 093	Immunity to short dips in the power suply

## ANNEX.M Analog comparator per a monitoritzar l'estat de les bateries

La tensió de la bateria del node sensor es mesura amb una funcionalitat de l'ETRX-2 de Telegesis que permet llegir directament la tensió d'alimentació. Aquí es proposa una tècnica alternativa desenvolupada i provada que finalment no s'ha implementat.

Una de les funcionalitats de l'ATtiny2313 és l'*analog comparator*. Consta d'una tensió de referència a 1,2 V. Quan es sobrepassa aquest valor pot actuar de dues formes diferents. D'una banda generant una interrupció, de l'altra fent ús del *module capturer* i per tant obtenint el valor temporal del temps que ha passat des de que s'ha activat el comptador fins que s'ha sobrepassat el llindar de referència.

La tècnica consistiria en, tenint present la Fig. 1.5, carregar el condensador C a través del Pin 1, per posteriorment descarregar-lo a través de del Pin 4 que posem com a entrada a '0'. En el moment de la descàrrega s'activa el *timer* de l'*analog comparator*. Quan el valor de la tensió cau per sota de la  $V_{ref}$  s'atura el comptador.

Aquest procés de descàrrega també s'ha fet en l'obtenció del valor de les comptes de la resistència  $R_{c2}$ . Aquests dos valors ens permeten fer una calibració a dos punts segons [2]. Es té el valor de la diferència de comptes amb independència de les derives dels components.

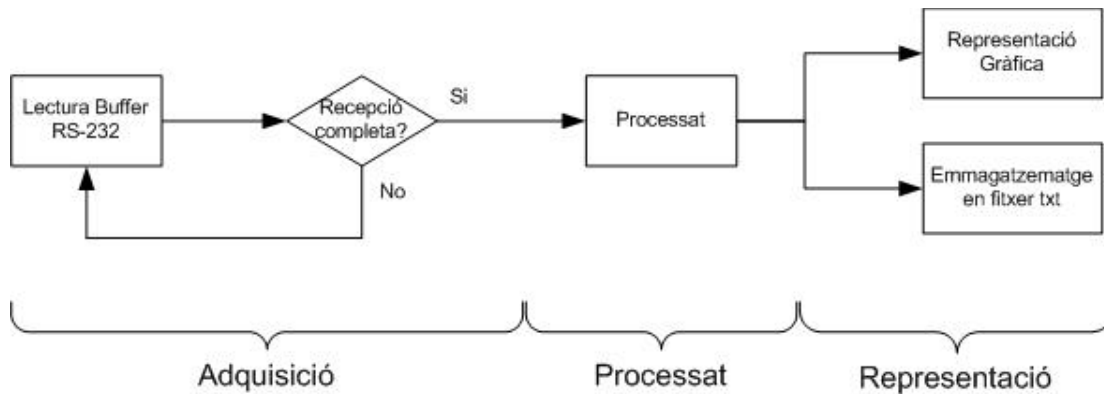
El que realment s'està avaluant és la tensió de sortida dels pins quan se'ls ordena un '1' logic. Aquest valor varia segons la tensió d'alimentació.

Comparant les dades obtingudes quan les bateries estan carregades respecte el valor obtingut en l'última mesura es pot saber si les bateries s'han degradat molt o poc.

Finalment no s'ha decidit la implementació de la tècnica ja que els dispositius ETRX-2 ja inclouen la funcionalitat gracies a que els xips Ember250 inclouen una tensió de referència, curiosament també de 1,2 V.

## ANNEX.N Diagrama de blocs del programa d'adquisició i processat fet amb LabVIEW

Aquest annex mostra el diagrama de flux del programa fet en LabVIEW. És un complement a les explicacions fetes en CAPÍTOL 2 i CAPÍTOL 3. Coincideix amb el fet en [1].



**Fig N.1** Diagrama de blocs del programa fet en LabVIEW

El diagrama correspon als programes (\*.vi) Visualització en mode continu i Visualització en mode diari. Fins que no s'han rebut les dades, 239 Bytes en mode continu i 547 Bytes en l'altre mode. Un cop adquirides es processen i es representen en pantalla via gràfica o requadre numèric a la vegada que s'emmagatzemen i es treuen per fitxer.

## ANNEX.O Registres programats dels ETRX-2

En aquest annex es mostren els 33 registres de control de mòdul i de xarxa configurats en els dispositius ETRX-2. Tal i com s'ha comentat en el CAPÍTOL 3. La primera columna correspon al transceptor del coordinador, la segona al del repetidor i la tercera al sensor.

**Taula. O.1** Registres programats als transceptors ETRX-2

S00:FFFF	S00:FFFF	S00:FFFF
S01:FFFF	S01:FFFF	S01:FFFF
S02:4	S02:4	S02:4
S03:<hidden>	S03:<hidden>	S03:<hidden>
<b>S04:Coordinator</b>	<b>S04:Router</b>	<b>S04:Sensor</b>
S05:0000	S05:0000	S05:0000
S06:0101	S06:0001	S06:0201
S07:0000	S07:0000	S07:0000
S08:0306	S08:0000	S08:0000
S09:<hidden>	S09:<hidden>	S09:<hidden>
S0A:207	S0A:207	S0A:207
S0B:0300	S0B:0300	S0B:0300
S0C:<reserved>	S0C:<reserved>	S0C:<reserved>
S0D:00F8	S0D:00F8	S0D:00F8
S0E:00F8	S0E:00F8	S0E:00F8
S0F:00F0	S0F:00F0	S0F:00F0
S10:00F0	S10:00F0	S10:00F0
S11:0FF3	S11:0FF3	S11:0FF3
S12:8336	S12:837A	S12:837A
S13:8336	S13:8392	S13:8392
S14:<reserved>	S14:<reserved>	S14:<reserved>
S15:0001	S15:0001	S15:0001
S16:0001	S16:0001	S16:0001
S17:0004	S17:0004	S17:0004
S18:0011	S18:0011	S18:0011
S19:00F0	S19:00F0	S19:00F0
S1A:0013	S1A:0013	S1A:0013
S1B:00F0	S1B:00F0	S1B:00F0
S1C:0014	S1C:0014	S1C:0014
S1D:00F0	S1D:00F0	S1D:00F0
S1E:0016	S1E:0016	S1E:0016
S1F:0000	S1F:0000	S1F:0000
S20:0000	S20:0000	S20:0000
S21:0000	S21:0000	S21:0000
S22:0000	S22:0000	S22:0000
S23:0000	S23:0000	S23:0000
S24:0000	S24:0000	S24:0000
S25:0000	S25:0000	S25:0000
S26:0000	S26:0000	S26:0000
S27:0000	S27:0000	S27:0000
S28:0000	S28:0000	S28:0000
S29:00	S29:00	S29:00
S2A:00	S2A:00	S2A:00
S2B:BUTTON3	S2B:BUTTON3	S2B:BUTTON3
S2C:BUTTON4	S2C:BUTTON4	S2C:BUTTON4

S2D:<reserved>	S2D:<reserved>	S2D:<reserved>
S2E:0005	S2E:0005	S2E:0005
S2F:FFFF	S2F:FFFF	S2F:FFFF
S30:0000	S30:0000	S30:0000
S31:0000	S31:0000	S31:0000
S32:0000	S32:0000	S32:0000
S33:3381	S33:2701	S33:3342

El registre més important és el S06 ja que és el que especifica la funcionalitat principal del dispositiu. Aquí es programa la funció en la xarxa (COO, FFD o SED) i la seguretat (COO com a *trust centre*). El registre S08 és una extensió de S06, s'utilitza per habilitar o deshabilitar les funcionalitats de *prompt* del missatges. Per al FFD Coordinador s'han deshabilitat ja que no es volen contestes que incrementin el nombre de Bytes rebuts en el programa ja que el Labview és sensible i això perjudicaria el processat. De totes formes la deshabilitació és local i no afecta a la resta de nodes ni té incidència en el protocol de gestió de xarxa.

Des del registre S17 fins al S1F, es programen les funcionalitats pròpies del dispositiu. És per tots els mòduls iguals. Per exemple al registre S17, de valor 4, per tant cada segon fa l'acció programada en S18 de valor 0011, pregunta per enquesta al pare, si és fill, si té alguna dada per a ell. Per la resta d'accions mirar [21].

El registre S33 es el que diu la tensió d'alimentació de cada mòdul. I per extensió també de cada node. Es fa servir per saber l'estat de les bateries. Com es pot veure en la taula d'aquest annex, aquest valor varia segons l'alimentació de cada mòdul.

La resta de funcionalitats del mòdul i de la xarxa seguir en [21].

Hi ha registres que són privats com el S03, codi AES i el S09, a contrasenya del dispositiu. D'altres com el mateix S06 necessiten de la contrasenya per ser modificats.