



**Escola Politècnica Superior  
de Castelldefels**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

# TREBALL DE FI DE CARRERA

**TÍTOL DEL TFC:** Node autònom per la mesura de l'humitat i la temperatura del sòl.

**TITULACIÓ:** Enginyeria Tècnica de Telecomunicació, especialitat Sistemes de Telecomunicació

**AUTOR:** Joan Fité Sànchez

**DIRECTOR:** Manel Gasulla Forner

**DATA:** 13 de juliol de 2010

**Títol:** Node autònom per la mesura de l'humitat i la temperatura del sòl.

**Autor:** Joan Fité Sánchez

**Director:** Manel Gasulla Forner

**Data:** 13 de juliol de 2010

## **Resum**

El control del mediambient en entorns com el Campus del Baix Llobregat permeten fer l'ecosistema més sostenible. Amb aquesta línia de treball, en aquest projecte s'han implementat dos nodes autònoms per controlar l'humitat, la conductivitat elèctrica i la temperatura del sòl. El mínim consum i per tant el màxim temps de vida han sigut els punts claus i on hem dedicat més esforços en el treball. Aquest mínim consum no s'obté només amb la part de hardware referent als sensors, microcontrolador i el transceptor, sinó que també per l'eficiència en la programació.

El treball l'hem estructurat en els blocs que formen un node autònom: el sensor, el microcontrolador, el transceptor i la font d'alimentació. Hem analitzat cada bloc des de la perspectiva de cada sensor. Un cop caracteritzats tots els blocs, els hem unit implementant cadascun dels nodes.

La comunicació s'ha dut a terme a través de l'especificació Zigbee que garanteix un consum reduït i una fàcil implementació. Els nodes autònoms han sigut validats en una xarxa formada per ambdós nodes i el node central. En un futur seran implementats en la xarxa de sensors sense fils REALnet del Campus del Baix Llobregat.

**Title:** Autonomus node for measuring soil moisture and temperature

**Author:** Joan Fité Sànchez

**Director:** Manel Gasulla Forner

**Date:** July, 13th 2010

## **Overview**

The control of the environment in places such as the Campus of Baix Llobregat converts the ecosystem more sustainable. With this line of work, in this project two autonomous nodes has been implemented controlling the humidity, temperature and electrical conductivity of the soil. The minimum consumption and therefore the maximum life time have been the key points and where we have devoted more effort. The minimum consumption is obtained not only with the hardware part such as the sensor, the microcontroller and the transceiver, but also thanks to the programming efficiency.

The work has been divided into the blocks that form an autonomous node: the sensor, the microcontroller, the transceiver and the power suply. We analyze each block from the perspective of each sensor. Once we have characterized all the blocks, we join all of them implementing each node.

The communication is carried out through the Zigbee specification that ensures low consumption and easy implementation. The autonomous nodes have been validated in a network composed by both nodes and the central node. In the future they will be implemented in the wireless sensor network REALnet.

## **DEDICATÒRIA**

Per aquelles persones que durant anys m'han ajudat a tirar endavant compartint hores i hores de treballs en grup i d'estudi, però sobretot a tu, Marina.

# ÍNDIX

<b>INTRODUCCIÓ .....</b>	<b>2</b>
<b>CAPÍTOL 1. SENSORS .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1. Sensor EC-5.....</b>	<b>3</b>
1.1.1. Especificacions .....	3
1.1.2. Caracterització del sensor .....	4
1.1.3. Equacions de calibratge .....	4
1.1.4. Condicions d'ús.....	5
<b>1.2. Sensor 5TE.....</b>	<b>6</b>
1.2.1. Especificacions .....	6
1.2.2. Comunicació .....	8
1.2.3. Equacions de calibratge .....	9
1.2.3.1. Constant dielèctrica .....	10
1.2.3.2. Conductivitat elèctrica.....	11
1.2.3.3. Temperatura.....	11
1.2.4. Condicions d'ús.....	12
<b>CAPÍTOL 2. MICROCONTROLADOR.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1. Requisits .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2. Elecció del microcontrolador.....</b>	<b>13</b>
<b>2.3. Programació .....</b>	<b>14</b>
2.3.1. Codi base .....	14
2.3.2. Node autònom amb el sensor EC-5.....	16
2.3.3. Node autònom amb el sensor 5TE .....	18
<b>CAPÍTOL 3. TRANSEPTOR ETRX2.....</b>	<b>23</b>
<b>3.1. Protocol Zigbee i IEEE 802.15.4 .....</b>	<b>23</b>
<b>3.2. Especificacions del transceptor ETRX2 .....</b>	<b>24</b>
<b>3.3. Tipus de dispositius .....</b>	<b>25</b>
<b>3.4. Comandes AT .....</b>	<b>25</b>
<b>3.5. Configuració .....</b>	<b>26</b>
<b>CAPÍTOL 4. ALIMENTACIÓ DELS NODES.....</b>	<b>31</b>
<b>4.1. Node amb el sensor EC-5.....</b>	<b>31</b>
4.1.1. Interruptor lògic .....	31
4.1.2. Estimació del consum de corrent promig .....	32
<b>4.2. Node amb el sensor 5TE .....</b>	<b>33</b>
4.2.1. Regulador DC-DC.....	34

4.2.2. Estimació del consum de corrent promig .....	35
4.3. Sistema d'alimentació .....	36
4.4. Temps de vida.....	37
<b>CAPÍTOL 5. IMPLEMENTACIÓ DELS NODES .....</b>	<b>39</b>
5.1. Esquemàtic del node amb el sensor EC-5.....	39
5.2. Esquemàtic del node sensor 5TE .....	40
5.3. Encapsulat dels nodes .....	42
5.4. Preu dels nodes.....	42
5.5. Validació del sistema.....	43
5.6. Interfície amb el usuari final.....	44
<b>CAPÍTOL 6. CONCLUSIONS .....</b>	<b>45</b>
6.1. Objectius assolits.....	45
6.2. Treball futur .....	45
6.3. Impacte mediambiental .....	46
<b>REFERÈNCIES.....</b>	<b>47</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>48</b>
<b>ANNEX A. SENSORS CAPACITIUS .....</b>	<b>49</b>
<b>ANNEX B. FULL D'ESPECIFICACIONS PRINCIPALS DEL PIC16F690.....</b>	<b>50</b>
<b>ANNEX C. PILA ZIGBEE I IEEE 802.15.4.....</b>	<b>51</b>
<b>ANNEX D. FULL D'ESPECIFICACIONS PRINCIPALS DEL ETRX2.....</b>	<b>53</b>
<b>ANNEX E. COMANDES AT DEL ETRX2 .....</b>	<b>54</b>
<b>ANNEX F. CONFIGURACIONS DELS REGISTRES DEL ETRX2.....</b>	<b>56</b>
<b>ANNEX G. FULL D'ESPECIFICACIONS PRINCIPALS DE LES PILES ENERGIZER L91 .....</b>	<b>59</b>
<b>ANNEX H. CIRCUITS IMPRÈS DELS NODES .....</b>	<b>60</b>

<b>ANNEX I. CLASSIFICACIÓ D'ENCAPSULATS SEGONS LA NORMATIVA IP</b> .....	<b>61</b>
<b>ANNEX J. PREU DETALLAT DELS NODES.....</b>	<b>62</b>

# ÍNDIX DE FIGURES

<b>Fig. 1. 1</b>	Connector jack estèreo de 3.5mm .....	4
<b>Fig. 1. 2</b>	Gràfica de l' humitat segons el voltatge de sortida del sensor per diferents tipus de sòls.....	5
<b>Fig. 1. 3</b>	Volum mínim de substrat exigible per una correcta mesura.....	6
<b>Fig. 1. 4</b>	Components del sensor 5TE.....	7
<b>Fig. 1. 5</b>	Trama que envia el sensor 5TE .....	8
<b>Fig. 1. 6</b>	Exemple de transmissió en una mesura. ....	9
<b>Fig. 1. 7</b>	Transmissió de dades del sensor 5TE en el laboratori. ....	9
<b>Fig. 1. 8</b>	Gràfica de l'humitat segons el valor rebut del sensor per diferents tipus de sòls.....	11
<b>Fig. 2. 1</b>	Diagrama de flux del codi base .....	15
<b>Fig. 2. 2</b>	Temps d'estabilitació de la sortida del sensor al ser alimentat. ....	17
<b>Fig. 2. 3</b>	Trama d'informació enviada al mòdul ETRX2.....	17
<b>Fig. 2. 4</b>	Diagrama de flux del node amb el sensor EC-5.....	18
<b>Fig. 2. 5</b>	Trames d'informació enviades al mòdul ETRX2. ....	20
<b>Fig. 2. 6</b>	Diagrama de flux del node amb el sensor 5TE. ....	20
<b>Fig. 2. 7</b>	Diagrama de flux de l' interrupció del port UART del node amb el sensor 5TE.....	21
<b>Fig. 3. 1</b>	Format de comanda AT .....	25
<b>Fig. 3. 2</b>	Comanda AT per transmetre en mode broadcast. ....	25
<b>Fig. 3. 3</b>	Comanda AT per enviar dades al dispositiu sink .....	26
<b>Fig. 4. 1</b>	Diagrama de blocs del node amb el sensor EC-5.....	31
<b>Fig. 4. 2</b>	Diagrama de blocs del node amb el sensor 5TE.....	33
<b>Fig. 4. 3</b>	Esquemàtic MAX1795 per obtenir una tensió ajustable.....	34
<b>Fig. 4. 4</b>	Comparativa del temps de vida entre una pila de liti i una alcalina. ...	36
<b>Fig. 5. 1</b>	Diagrama de blocs d'un node sensor.....	39
<b>Fig. 5. 2</b>	Circuit del node amb el sensor EC-5.....	40
<b>Fig. 5. 3</b>	Esquemàtic del node amb el sensor 5TE.....	41
<b>Fig. 5. 4</b>	Protecció interna del pin RB5 del PIC16F690.....	41
<b>Fig. 5. 5</b>	Encapsulat i nodes integrats a dins el encapsulat.....	42
<b>Fig. 5. 6</b>	ETRX2 USB stick.....	43
<b>Fig. 5. 7</b>	Diagrama de la xarxa de validació del sistema .....	43
<b>Fig. 5. 8</b>	Interfície amb l'usuari final feta en LabView .....	44
<b>Fig. C. 1</b>	Pila de protocol de l'estàndard IEEE 802.15.4 i de l'especificació Zigbee. ....	51
<b>Fig. H. 1</b>	Circuit imprès del node amb el sensor EC-5 .....	60
<b>Fig. H. 2</b>	Circuit imprès del node amb el sensor 5TE.....	60
<b>Fig. J. 1</b>	Preu detallat del node amb el sensor EC-5.....	62
<b>Fig. J. 2</b>	Preu detallat del node amb el sensor 5TE .....	63



# ÍNDIX DE TAULES

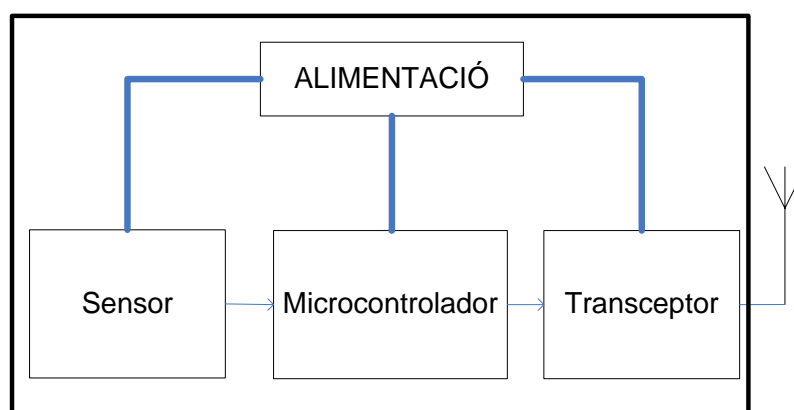
<b>Taula 1. 1</b>	Principals especificacions del sensor EC-5.....	3
<b>Taula 1. 2</b>	Principals especificacions del sensor 5TE. ....	7
<b>Taula 2. 1</b>	Comparativa de models dels microcontroladors de Microchip. ....	14
<b>Taula 3. 1</b>	Principals especificacions del mòdul Zigbee ETRX2 .....	24
<b>Taula 3. 2</b>	Consum del mòdul ETRX2 en cada estat. ....	29
<b>Taula 4. 1</b>	Funcionament d'un transistor MOSFET P.....	32
<b>Taula 4. 2</b>	Característiques elèctriques del conjunt EC-5, PIC16F690, ETRX2 i MOSFET FDN304P.....	32
<b>Taula 4. 3</b>	Consum de corrent del node amb el sensor EC-5 en funció del temps entre mesures.....	33
<b>Taula 4. 4</b>	Característiques elèctriques del conjunt 5TE, PIC16F690, ETRX2 i MAX1795. ....	35
<b>Taula 4. 5</b>	Consum de corrent promig del node amb el sensor 5TE en funció del temps entre mesures.....	36
<b>Taula 4. 6</b>	Corrent promig i temps de vida del node amb el sensor EC-5, segons el període de lectures. ....	37
<b>Taula 4. 7</b>	Corrent promig i temps de vida del node amb el sensor 5TE, segons el període de lectures.....	37
<b>Taula 5. 1</b>	Preu final dels nodes.....	43

## INTRODUCCIÓ

El treball està emmarcat en el projecte REAL (Recerca per a l' Excel·lència Ambiental del Campus del Baix Llobregat) dissenyant dos nodes sensors per la xarxa REALnet. REALnet és una xarxa de sensors sense fils per la monitorització ambiental del Campus Baix Llobregat, com per exemple el nivell i temperatura de l'aigua de l'estany. Un dels nodes mesura l'humitat del sòl mitjançant el sensor EC-5, mentre que l'altre monitoritza l'humitat, conductivitat elèctrica i temperatura del sòl amb el sensor 5TE. En aquest projecte es pretén tant sols el disseny dels nodes, deixant per treballs futurs la seva introducció a la xarxa REALnet i el processament de les dades adquirides.

Un dels punts més importants és el consum que tenen, el qual s'intenta minimitzar amb dispositius capaços de romandre adormits durant un llarg període de temps i protocols de transmissió sense fils de reduït consum com el Zigbee.

Els nodes sensors estan constituïts en 4 elements (**Fig. 0. 1**) que descriurem al llarg del treball: el sensor, el microcontrolador, el transceptor i el sistema d'alimentació. En el capítol 1 s'estudia els sensors que utilitzem per adquirir l'informació analitzant les seves característiques elèctriques així com també la forma com entreguen l'informació. Al capítol 2 es fa, primer de tot, una tria del microcontrolador adient pel projecte, per després explicar amb èmfasi el procés d'adquisició de dades per part d'aquest. Al capítol 3 es descriu el protocol Zigbee i IEEE 802.15.4, així com també el mòdul ETRX2 que utilitzem. En aquest capítol es descriu detalladament la configuració del transceptor ETRX2 en els nodes sensors i en el node central on tota l'informació serà enviada. En el capítol 4 fem una estimació de consum de cada node per tal de determinar quin és el sistema d'alimentació a piles més adient pels nostres dispositius. Al capítol 5 es descriu l'implementació dels nodes ajuntant tots els elements que el formen així com també es realitza l'encapsulat i un estudi del preu final de cada node. Per últim, al capítol 6 s'inclouen els objectius assolits, propostes de futur i l'impacte mediambiental que pot causar el projecte.



**Fig. 0. 1** Diagrama de blocs d'un node sensor.

# CAPÍTOL 1. SENSORS

Els sensors que utilitzem van ser adquirits abans de realitzar el projecte de tal manera que no hem realitzat cap estudi de mercat comparant aquests sensors amb altres de similars. En aquest primer capítol ens hem centrat en les especificacions del fabricant i en la forma de com es transmet l'informació també explicant l'ús correcte dels sensors. Explicarem cada sensor per separat per tal que el lector compregui de forma clara les característiques de cadascun.

## 1.1. Sensor EC-5

### 1.1.1. Especificacions

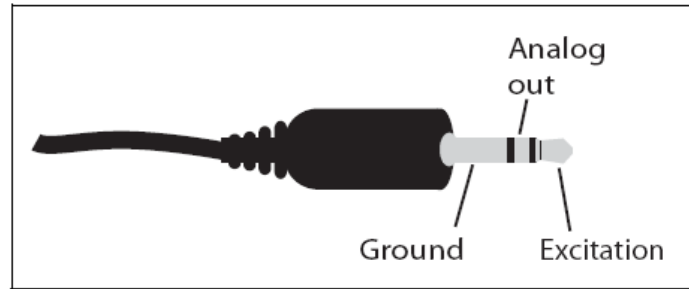
El sensor seleccionat per mesurar l'humitat del subsòl és el model EC-5 del fabricant Decagon Devices, que dona a la sortida un voltatge proporcional a l'humitat. És de tipus capacitiu, veure **annex A**, que mesura indirectament la constant dielèctrica del sòl utilitzant un oscilador intern de 70 MHz. A partir de la constant dielèctrica podem calcular l'humitat del sòl. La **Taula 1. 1** mostra les principals especificacions elèctriques del sensor facilitades pel fabricant.  $\Theta$  és l'humitat i  $V_{cc}$  és la tensió d'alimentació.

**Taula 1. 1** Principals especificacions del sensor EC-5.

Alimentació	2.5 VDC-3.6VDC @ 10 mA
Temps de mesura	10 ms
Precisió amb el sòl calibrat	$\pm 0.02 \text{ m}^3 / \text{m}^3 (\pm 2 \%)$ .
Resolució	$0.001 \text{ m}^3 / \text{m}^3 \theta$
Sortida	10-40% $V_{cc}$
Connector	Jack estèreo 3.5mm

En la **Fig. 1. 1** es pot veure el connector jack estèreo 3,5 mm on s'observen tres terminals: massa (ground), alimentació (excitation) i la sortida de tensió (analog out).

Aquest sensor ha estat dissenyat per ser connectat a dispositius d'adquisició de dades del mateix fabricant com el models Em5b, Em50, ProCheck i ECH<sub>2</sub>O. En aquest projecte el connectarem a una interfície electrònica de disseny propi.



**Fig. 1. 1** Connector jack estèreo de 3.5mm

### 1.1.2. Caracterització del sensor

S'ha mesurat el consum amb una tensió d'alimentació de 2,5 V, resultant en 7,87 mA. La mesura de corrent s'ha realitzat en el laboratori amb un multímetre. Tal i com es pot veure en el capítol 4, la tensió d'alimentació es situa entre 2,4 i 3 V, proporcionada per dues piles de liti disposades en sèrie.

Prenent 2,5 V com Vcc, a partir de la **Taula 1. 1**, les tensions de sortida teòriques es troben en l'interval de 250 mV a 1 V. De forma pràctica vam mesurar una tensió de sortida de 231mV al introduir el sensor en un got ple de terra seca. En un got ple d'aigua embotellada que presenta una molt baixa conductivitat, la tensió de sortida va ser de 806 mV.

### 1.1.3. Equacions de calibratge

Degut a que tots els sòls tenen característiques diferents s'ha de caracteritzar la lectura que ens dóna el sensor per tal d'obtenir el percentatge d'humitat de forma correcte.

El fabricant ens indica les següents equacions de calibratge segons el tipus de subsòl on situem el sensor:

- Substrat mineral:

$$\theta = 11.9 \cdot 10^{-4} \cdot (mV) - 0.401 \quad (1. 1)$$

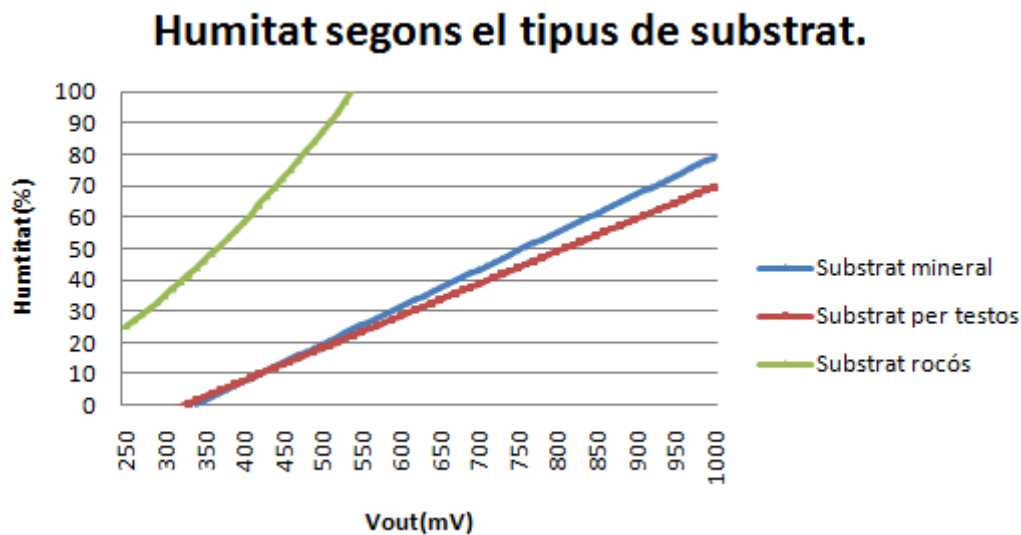
- Substrat per testos:

$$\theta = 10.3 \cdot 10^{-4} \cdot (mV) - 0.334 \quad (1. 2)$$

- Substrat rocós:

$$\theta = 2.63 \cdot 10^{-6} \cdot (mV)^2 + 5.07 \cdot 10^{-4} \cdot (mV) - 0.0394 \quad (1.3)$$

On  $mV$ , és el valor de tensió analògic proporcionat pel sensor expressat en milivolts, i  $\theta$  l'humitat.



**Fig. 1. 2** Gràfica de l' humitat segons el voltatge de sortida del sensor per diferents tipus de sòls.

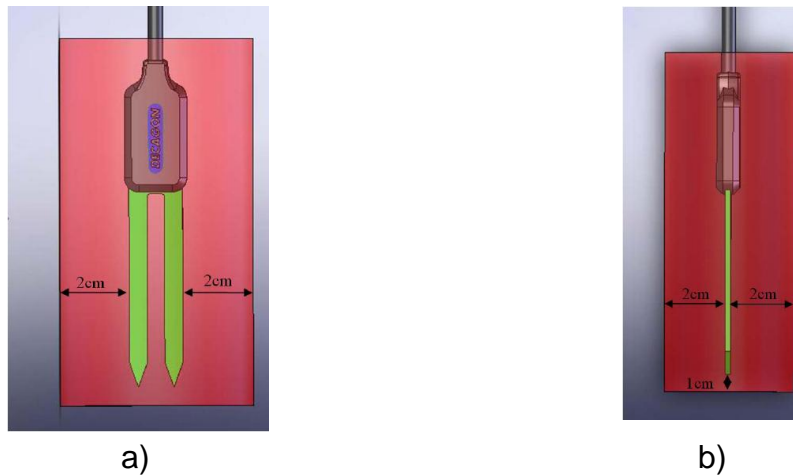
El processat de les dades no està inclòs en el projecte, per tant ens limitarem a especificar les equacions que facilita el fabricant i la seva representació gràfica (**Fig. 1. 2**), deixant per futurs treballs el processament d'aquestes.

#### 1.1.4. Condicions d'ús

Es important evitar les següents situacions per tal d'obtenir una mesura correcta:

- El sensor no pot estar a prop d' objectes metàl·lics ja que aquests poden influir al seu camp electromagnètic.
- Un subsòl mal compactat amb moltes bosses d'aire o per contra excessivament compactat provocarà canvis en les lectures.
- El fabricant recomana que hi hagi un mínim volum de substrat al voltant del sensor: 2 cm a banda i banda i 1 cm en profunditat tal i com es pot apreciar en la **Fig. 1. 3**.

- El sensor és sensible a la inclinació que està sotmès, on la posició òptima és totalment vertical i completament enterrat en el sòl.



**Fig. 1. 3** Volum mínim de substrat exigible per una correcta mesura.

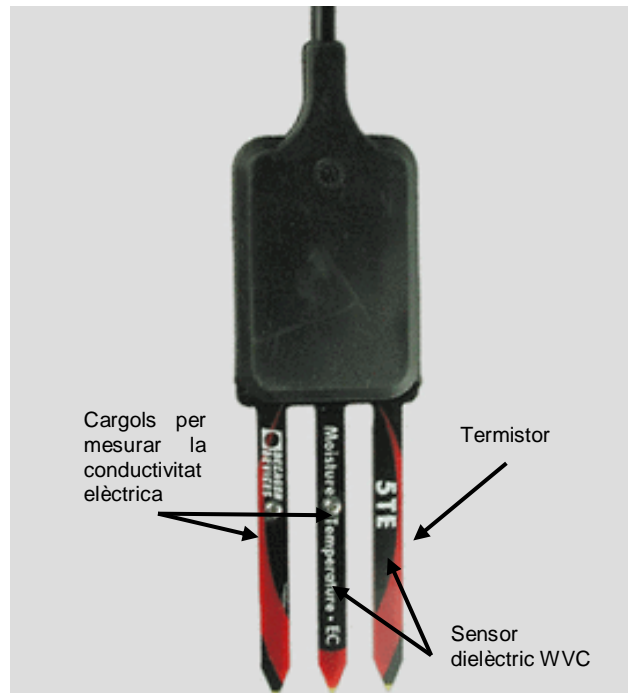
## 1.2. Sensor 5TE

### 1.2.1. Especificacions

El sensor 5TE, també de Decagon Devices, mesura l'humitat del sòl, però, a més a més, mesura la conductivitat elèctrica i la temperatura del terra. D'aquesta manera es pot caracteritzar i controlar com varia el substrat davant de múltiples canvis físics de forma més precisa que el sensor EC-5, tot i que la complexitat d'ús és major.

El sensor 5TE (**Fig. 1. 4**) té un oscil·lador intern de 70MHz, que mesura la constant dielèctrica per determinar el contingut d'aigua ( $\theta$ ). La mesura de la capacitat es realitza a través dels dos elèctrodes situats a la banda dreta de la **Fig. 1. 4**. A part també mesura la temperatura amb un termistor, situat a les puntes de la sonda. La conductivitat elèctrica utilitza els cargols de la sonda situats a la part superior dels dos elèctrodes de l'esquerra.

Aquest sensor, com succeïa en el sensor EC-5, ha estat dissenyat per treballar amb dispositius d'adquisició de dades com el Em50 o Em50R del mateix fabricant encara que en aquest projecte s'utilitzarà un sistema de disseny propi.



**Fig. 1. 4** Components del sensor 5TE

Per transmetre les dades utilitza una comunicació asíncrona RS232 (0 a 3,6 V) mitjançant el mateix tipus de connector que l'EC-5 (**Fig. 1. 1**). En aquest cas el jack estèreo de 3.5mm en comptes de tenir el terminal de sortida de tensió (analog out) té el terminal de transmissió sèrie (digital out). Les principals especificacions del sensor es poden apreciar a la **Taula 1. 2**.

**Taula 1. 2** Principals especificacions del sensor 5TE.

Alimentació	3.6-15VDC @ 0.3mA
Temps de mesura	150 ms @ 10mA
Freqüència de treball	70MHz
Marge Temperatures	-40 °C a 50 °C
Sortida	RS232 1200 baud
Connector	Jack estèreo 3.5mm
Rang de mesures	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Constant dielèctrica: 0 a 4094</li> <li>• Conductivitat elèctrica: 0 a 1022</li> <li>• Temperatura: 0 a 1022</li> </ul>

En el nostre cas, el sistema estarà alimentat a 3,8 V a través d'un regulador de tensió, tal i com està explicat en el capítol 4. El temps de mesura que indica el fabricant és el temps que tarda des de que s'alimenta al sensor fins a comunicar totes les dades. Les dades que transmet el sensor 5TE cal convertir-les adientment tal i com s'explica en l'apartat 1.2.3.

## 1.2.2. Comunicació

Quan s'hi aplica una tensió adient al terminal d'alimentació, el sensor comença a realitzar les mesures. Aquestes són transmeses de forma asíncrona com un string de caràcters ASCII a 1200 baud amb 8 bits de dades, sense paritat i un bit de parada. Els nivells de tensió són TTL de 0 a 3.6 V. Per tornar a realitzar una mesura s'ha de deixar d'alimentar el sensor i tornar-l'hi a aplicar de nou la tensió d'alimentació.

El sensor té l'opció d'utilitzar el protocol de comunicació SDI-12, el qual s'ha descartat ja que el sensor ha d'estar contínuament alimentat, cosa que provocaria un alt consum.

La cadena de caràcters que el sensor envia està formada per les tres mesures separades per espais, l'informació dels sensor i la validació de la lectura, tal i com es pot apreciar en la **Fig. 1. 5**.

D4	D3	D2	D1	<20>	E4	E3	E2	E1	<20>	T4	T3	T2	T1	<0D>	z	Checksum	<0D>	<0A>
----	----	----	----	------	----	----	----	----	------	----	----	----	----	------	---	----------	------	------

**Fig. 1. 5** Trama que envia el sensor 5TE

On

- D4 a D1 són els 4 bytes per transmetre el valor de la constant dielèctrica, sent D4 el més significatiu.
- <20> representa l'espai.
- E4 a E1 són els 4 bytes per transmetre la conductivitat elèctrica, sent E4 el més significatiu.
- T4 a T1 són els 4 bytes per transmetre la temperatura, sent T4 el més significatiu
- <0D> és el retorn de línia ocupant un byte.
- z indica el tipus de sensor, ocupant un byte: z pel model 5TE i x pel 5TM.
- Checksum és la comprovació de si la mesura és vàlida i s'envia com un caràcter ocupant un byte.
- <0A> indica el final de línia ocupant un byte.

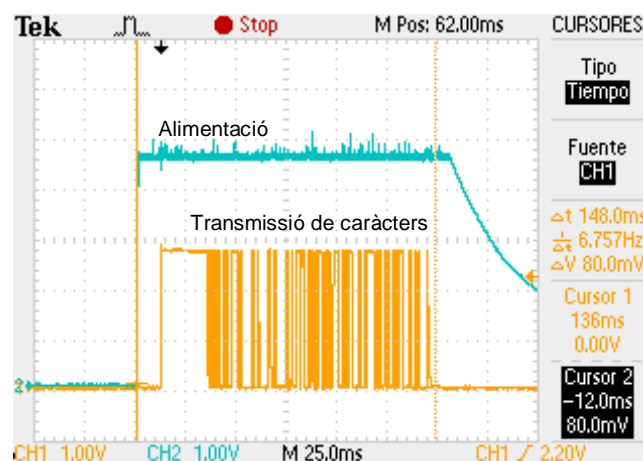


En la **Fig. 1. 6** podem veure un exemple dels caràcters que s'envien al realitzar una mesura. En l'exemple, G és el caràcter del checksum en que aplicant un algoritme amb les mesures del sensor es pot saber si la mesura és vàlida. L'algoritme de comprovació no l'hem implementat en el microcontrolador per les limitacions de recursos del microcontrolador escollit (capítol 2).

56 432 645 < 0D > zG < 0D > < 0A >

**Fig. 1. 6** Exemple de transmissió en una mesura.

La figura **Fig. 1. 7** mostra una captura d'oscil·loscopi realitzada en el laboratori on es pot apreciar la senyal del sensor i la senyal d'alimentació que es desactiva un cop completada la transmissió. Veiem que hi ha un retard d'uns 15 ms entre que s'alimenta el sensor i aquest comença a enviar les dades, quan en realitat el fabricant indica que hi ha un retard típic de 40 ms. Comprovem que el temps de mesura que especifica el fabricant de 150 ms concorda aproximadament amb els resultats pràctics (148 ms).



**Fig. 1. 7** Transmissió de dades del sensor 5TE en el laboratori.

### 1.2.3. Equacions de calibratge

El sensor 5TE, tal com succeeix amb l'EC-5, té varies equacions de calibració per l'obtenció de l'humitat segons el tipus de sòl on està situat. També s'ha d'aplicar conversions en la conductivitat elèctrica i la temperatura, malgrat que són independents del tipus de sòl.

### 1.2.3.1. Constant dielèctrica

La constant dielèctrica  $K$  del sòl ve donada per:

$$K = \frac{X_a}{50} \quad (1.4)$$

On  $x_a$  és el valor numèric que rebem del sensor referent a la constant dielèctrica. El rang és de 1,12 (56/12) que correspon a l'aire fins a 81,88 (4094/50) que correspon a l'aigua. A través de les següents equacions podem convertir la constant dielèctrica en humitat.

- Substrat mineral:

$$\theta = 4.3 \cdot 10^{-6} \cdot K^3 - 5.5 \cdot 10^{-4} \cdot K^2 + 2.92 \cdot 10^{-2} \cdot K - 5.3 \cdot 10^{-2} \quad (1.5)$$

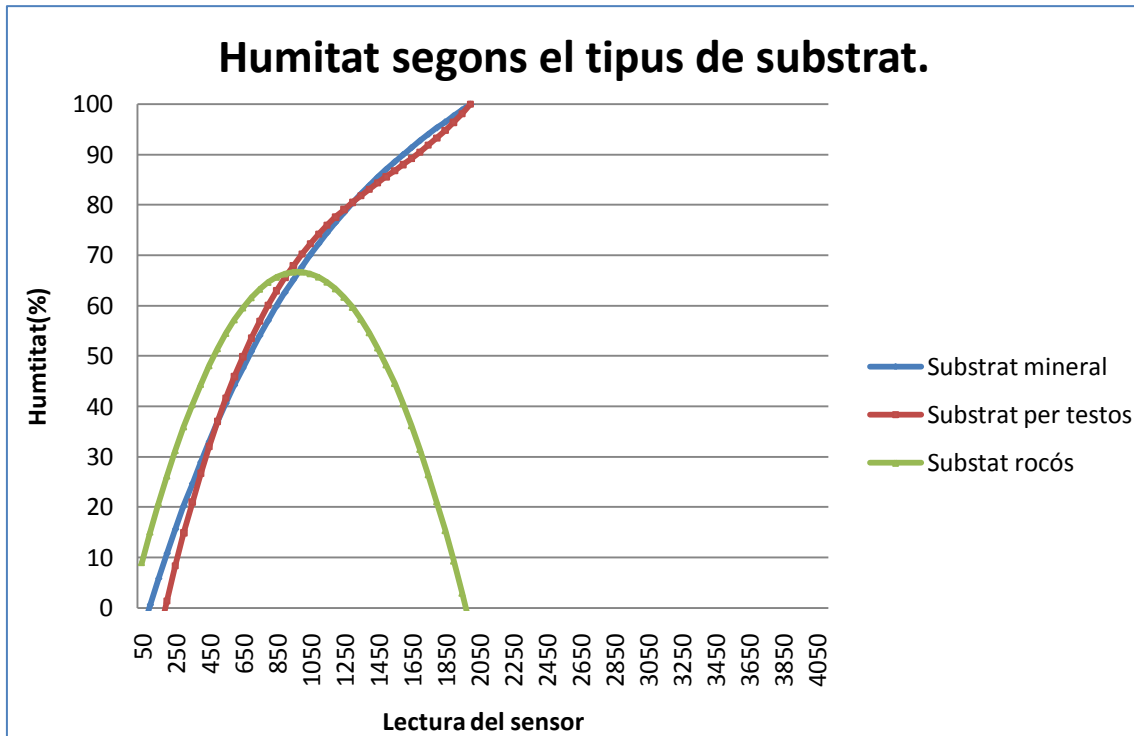
- Substrat per testos:

$$\theta = 2.25 \cdot 10^{-5} \cdot K^3 - 2.06 \cdot 10^{-3} \cdot K^2 + 7.24 \cdot 10^{-2} \cdot K - 0.247 \quad (1.6)$$

- Substrat rocós:

$$\theta = -1.68 \cdot 10^{-3} \cdot K^2 + 6.56 \cdot 10^{-2} \cdot K + 0.0266 \quad (1.7)$$

La **Fig. 1. 8** mostra la gràfica de l'humitat segons el tipus de substrat utilitzant les equacions anteriors, especificades pel fabricant.



**Fig. 1. 8** Gràfica de l'humitat segons el valor rebut del sensor per diferents tipus de sòls.

### 1.2.3.2. Conductivitat elèctrica

La conductivitat elèctrica  $\sigma$  (mS/cm) ve donada per:

$$\sigma = e_c/100 \quad (1. 8)$$

On  $e_c$  és el valor numèric que rebem del sensor referent a la conductivitat elèctrica. El marge de sortida de  $\sigma$  és de 0 a 102,2.

### 1.2.3.3. Temperatura

La temperatura  $T$  (°C) ve donada per:

$$T = (t - 400)/10 \quad (1. 9)$$

On  $t$  és el valor numèric referent a la temperatura que s'obté del sensor. El marge de  $T$  és de -40 °C a 62,2 °C.

#### **1.2.4. Condicions d'ús**

Abans d'instal·lar el sensor és important evitar les següents situacions:

- El sensor no pot estar a prop d' objectes metàl·lics ja que aquests poden influir al seu camp electromagnètic.
- Un subsòl mal compactat amb moltes bosses d'aire o per contra excessivament compactat provocarà canvis en les lectures.
- No s'ha de forçar el sensor en substrats densos ja que les puntes es podrien trencar.
- El sensor pot estar posicionat tant verticalment com horitzontalment.

## CAPÍTOL 2. MICROCONTROLADOR

El node autònom que dissenyem ha d'estar controlat tot el temps per un dispositiu que executi les ordres corresponents en cada moment i es aquí on entra en joc el microcontrolador. Explicarem els requisits que ha de complir el microcontrolador que després triarem. Primer de tot, comentarem el diagrama de flux comú dels dos nodes, on seguidament descriurem l'específic de cada node.

### 2.1. Requisites

Per garantir el funcionament òptim del node, el microcontrolador ha de complir amb els criteris de:

- Baix consum: Es vol reduir al màxim el consum en el node per tal que tingui un llarg temps de vida alimentat a piles.
- Estat mode sleep: Necessitem que executi mesures cada cert instant de temps, però no de forma contínua. La resta de temps ha d'estar en mode sleep per estalviar consum.
- Timer / Watchdog: Aquest bloc permetrà despertar el microcontrolador de l'estat sleep executant una interrupció de forma periòdica.
- Port UART: El microcontrolador ha de controlar el transceptor i llegir les dades del sensor 5TE que utilitza una comunicació sèrie.
- Conversor A/D<sup>1</sup>: El sensor EC-5 té com a sortida una tensió analògica que l'haurem de digitalitzar.
- Baix preu.

### 2.2. Elecció del microcontrolador

Per l'elecció d'un microcontrolador es va decidir utilitzar un del fabricant Microchip ja que són dispositius barats, hi ha molts exemples de programes disponibles i ja l'havíem treballat durant els estudis a l'EPSC. En la **Taula 2. 1.** mostrem una llista de dispositius que compleixen els criteris esmentats anteriorment.

---

<sup>1</sup> Un conversor analògic-digital converteix una tensió analògica en un valor digital.

Model	Rang de Tensió (V)	Nº pins	Bits AD	Sleep Mode	WDT	Timer1 Osc	Tipus comunicació	I/O
PIC16LF722/723/726	[1.8,3.6]	28	8	20nA	500nA	600nA a 31KHz	AUSART	25
PIC16LF1933/36/38	[1.8,3.6]	28	10	60nA	500nA	600nA a 31KHz	USART	25
PIC18LF13K22/14K22	[1.8,3.6]	20	10	34nA	460 nA	650nA a 31KHz	EUSART	18
PIC18F23/24/25/26K20	[1.8,3.6]	28	10	100nA	800nA	800nA a 31KHz	EUSART	25
PIC16F631/77/85/87/89/90	[2,5.5]	20	10	50nA	1uA	11uA a 31 KHz	EUSART	18

**Taula 2. 1** Comparativa de models dels microcontroladors de Microchip.

Vam decidir finalment que el model ideal seria el PIC16F690 ja que complia les especificacions necessàries exposades i era el més barat i fàcil d'obtenir. Per veure informació més detallada consultar l' **annex B** i la del fabricant **[1]**.

## 2.3. Programació

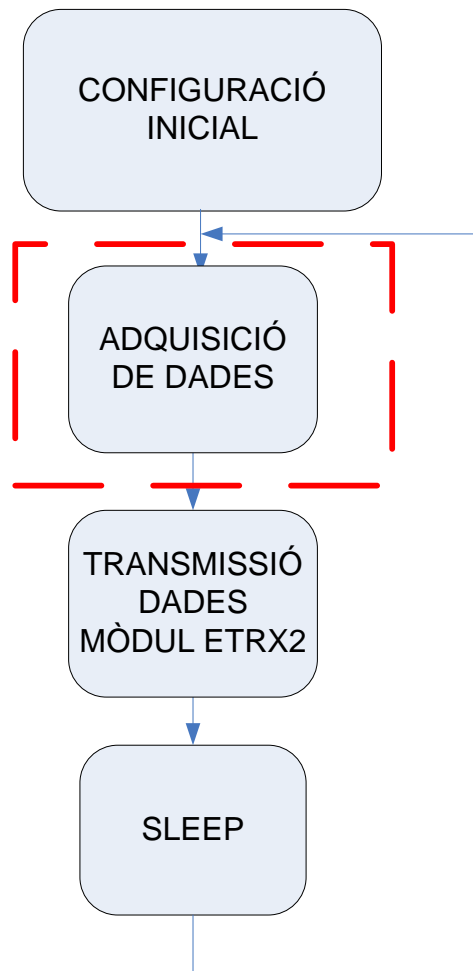
El dispositiu de gamma mitja té només un conjunt de 35 instruccions de programació en ensamblador, cosa que el converteix en un microcontrolador fàcil i ràpid de programar. Tot i així, en el nostre cas hem triat l'opció de programar-lo en C ja que disposem de múltiples llibreries que ens facilitaran la feina de programació.

### 2.3.1. Codi base

Encara que implementarem dos nodes autònoms cadascun amb un sensor amb característiques diferents a l'altre, el codi base serà el mateix, l'únic que variarà serà el mètode d'adquisició de les dades.

La **Fig. 2. 1** mostra el diagrama de flux d'aquest codi base en que hi ha la configuració inicial on s'inicialitzen tots els ports i blocs a utilitzar per després entrar en un bucle. En ell efectuem l' adquisició de dades, ja sigui amb el convertidor A/D pel sensor EC-5 o el port UART pel sensor 5TE. Un cop adquirides les dades, les comunicarem al transceptor qui les enviarà al node

central de la xarxa. Finalment, adormirem el microcontrolador i el transceptor durant un temps preestablert minimitzant el consum. Explicarem els blocs CONFIGURACIÓ INICIAL i SLEEP, que són comuns pels dos nodes sensors. El bloc ADQUISICIÓ DE DADES (emmarcat en línia discontinua) i el bloc TRANSMISSIÓ DADES MÒDUL ETRX2, diferents per cada node, seran comentats en els apartats 2.3.2 i 2.3.3.



**Fig. 2. 1** Diagrama de flux del codi base

### **CONFIGURACIÓ INICIAL:**

En aquest bloc es realitzen totes les configuracions del microcontrolador:

- Oscil·lador: Configurat a 125KHz utilitzant l'oscil·lador intern. Aquesta freqüència és la mínima que garanteix la recepció, a través del port UART, de la senyal digital del sensor 5TE. També és la mínima en que treballa el transceptor que utilitzem, tal i com es veurà en el capítol 3.

- Watchdog: Habilitat i configurat perquè executi una interrupció segons el temps preestablert, en el nostre cas de 10 min 40 segons, el màxim que permet el microcontrolador
- Interrupció Timer0: Habilem l' interrupció del Timer0 que és el registre on es troba el Watchdog.
- PORT UART<sup>2</sup>: La transmissió de dades cap al transceptor es fa a través del pin RB7, configurat com el pin de transmissió del port UART. Aquest està configurat a una velocitat de 1200 baud, 8 bits, sense paritat i amb 1 bit de parada.
- Registre AD (només EC-5): Utilitzem com a tensió de referència del convertidor A/D la pròpia tensió d'alimentació del microcontrolador. Com que la sortida del sensor està en relació a la tensió d'alimentació, que és la mateixa que la del microcontrolador, el codi digital resultant no variarà amb la tensió de la bateria.
- Interrupció UART (només 5TE): Habilem l'interrupció UART per detectar quan es reben dades.

### **SLEEP:**

Canviarem l'estat del transceptor, reduint el consum, a través de les interrupcions IRQ0 i IRQ1 del transceptor. Aquestes interrupcions (capítol 3) són activades a nivell alt (1 lògic) per 2 pins digitals I/O del microcontrolador. Reduint el consum del transceptor, executarem la funció sleep, que canviarà també l'estat del microcontrolador al mode de mínim consum.

### **2.3.2. Node autònom amb el sensor EC-5**

El diagrama de flux del node autònom amb el sensor EC-5, veure **Fig. 2. 4**, segueix l'estructura del codi base on els passos emmarcats en línia discontinua indiquen el bloc d'adquisició de dades. Explicarem el bloc ADQUISICIÓ DE DADES i TRANSMISSIÓ DADES AL MÒDUL ETRX2.

### **ADQUISICIÓ DE DADES:**

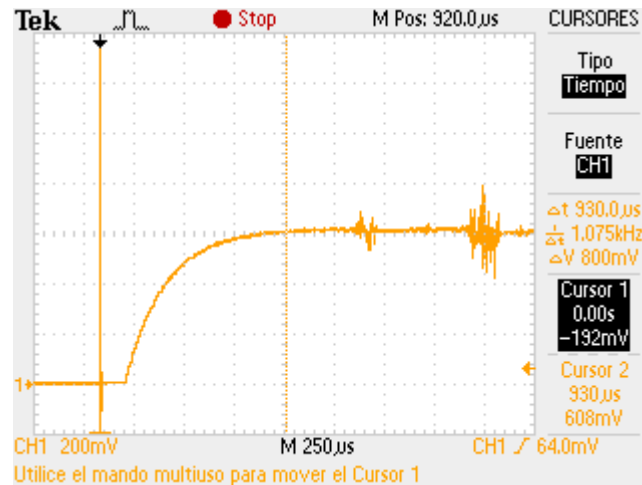
- SENSOR ON:  
Alimentem el sensor, que amb la configuració del hardware que tenim, veure capítol 4, s'activa a nivell baix a través de la sortida digital RC7 del microcontrolador.

---

<sup>2</sup> UART és l'acrònim de Universal Asynchronous Receiver Transmitter, que és un protocol de transmissió de dades digitals amb nivells TTL.



- **DELAY TEMPS ESPERA:**  
Efectuem un retard de TEMPS\_ESPERA (en milisegons), que és el temps que tarda entre que s'alimenta el sensor i s'estabilitza la tensió de sortida. Aquest temps mesurat en el laboratori (**Fig. 2. 2**) era de 930  $\mu$ s, però vam decidir deixar una marge de seguretat fins a 2ms.



**Fig. 2. 2** Temps d'estabilització de la sortida del sensor al ser alimentat.

- **LECTURA AD, SENSOR OFF i PROMIG MOSTRES:**  
Un cop s'ha produït el retard, efectuem MOSTRES lectures de la tensió de sortida del sensor, a través del convertor AD. MOSTRES és una constant de valor 10, que indica el número de mostres que prenem per després fer un promig d'elles. El motiu d'aquest promig és la variabilitat del senyal. Abans de realitzar el promig deixem d'alimentar el sensor per minimitzar el temps actiu.

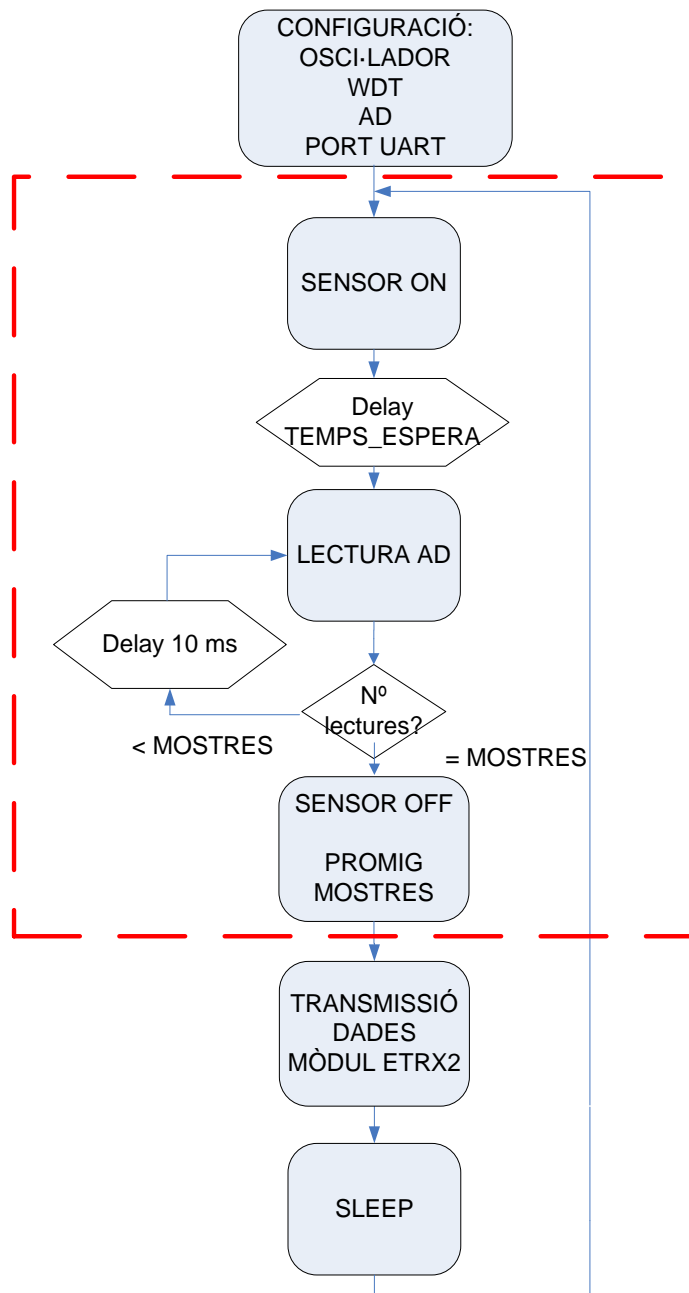
### **TRANSMISSIÓ DE DADES MÒDUL ETRX2:**

En aquest bloc és on enviem pel port UART les dades al mòdul transceptor. L'informació és enviada mitjançant comandes AT al node de la forma especificada en la figura **Fig. 2. 3**.

at + scast:	EC5:	XXXX
-------------	------	------

**Fig. 2. 3** Trama d'informació enviada al mòdul ETRX2

On XXXX és el promig de les lectures del convertor A/D. D'aquesta manera la trama queda composta per la comanda AT en el primer camp, el nom del sensor en el segon i en el tercer el promig.



**Fig. 2. 4** Diagrama de flux del node amb el sensor EC-5

### 2.3.3. Node autònom amb el sensor 5TE

El diagrama de flux del node autònom amb el sensor 5TE, veure **Fig. 2. 6** difereix del explicat anteriorment en que per adquirir les dades s'utilitza la interrupció del port UART. Així doncs, seguint la mateixa estructura que el codi base, veure **Fig. 2. 1**, hi haurà una configuració inicial, l'adquisició de les dades a través de l'interrupció del port UART i el posterior enviament al mòdul ETRX2.

L'adquisició de dades es realitza a través del flux principal del programa i a través de l'interrupció del port UART. Primer de tot explicarem el flux del codi principal, seguidament del bloc TRANSMISSIÓ DE DADES MÒDUL ETRX2 i per acabar la interrupció del port UART.

### ADQUISICIÓ DE DADES:

- SENSOR ON:  
Alimentem el sensor que amb la configuració del hardware que tenim, veure capítol 4, s'activa a nivell baix a través de la sortida digital RA1 del microcontrolador.
  
- DELAY, SENSOR OFF :  
Un cop hem alimentat esperem 50 ms i deixem d'alimentar el sensor que amb la configuració del hardware que tenim, veure capítol 5, es desactiva a nivell alt. En condicions normals, abans de que s'esgotin els 50 ms, s'activa la interrupció del port UART, degut a la transmissió de dades del sensor, executant la rutina d'interrupció (**Fig. 2. 6**). Al final de la rutina d'interrupció el sensor es desactiva.  
La duem a terme per seguretat i per dotar de robustesa al node en el cas que el sensor connectat no transmetés les dades. Sense aquesta mesura de seguretat, el node es mantindria despert esperant rebre dades cosa que faria esgotar les piles ràpidament.
  
- TX?:  
El valor de la variable TX determina si es transmeten les dades al transceptor. La variable TX és inicialment 0 i s'actualitza a 1 quan s'ha rebut totes les dades transmises pel sensor. Si TX=1 es realitzen les següents operacions:
  - RESET VARIABLES:  
Abans de processar les dades, preparem les variables on es guardarà l'informació fent un reset d'elles per tal d'evitar problemes en el processat.
  
  - SEPARAR DADES:  
Es separa la trama de dades d'interès del sensor en tres variables: dielectric (constant dielèctrica), electrical (conductivitat elèctrica), temperature (temperatura) que seran enviades posteriorment pel port UART al mòdul ETRX2.

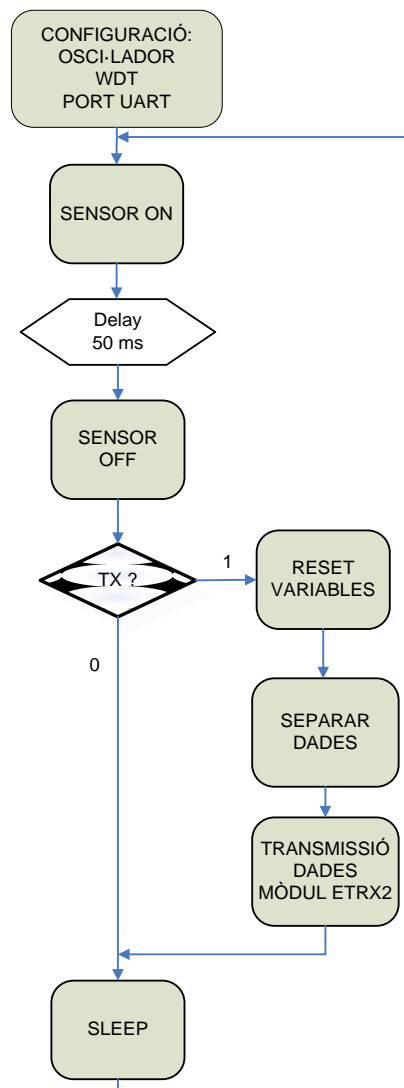
### TRANSMISSIÓ DE DADES MÒDUL ETRX2:

En aquest bloc és on enviem, pel pin de transmissió del port UART les dades al mòdul zigbee ETRX2. L'informació és enviada mitjançant comandes AT al node central. La nostre trama d'informació que enviem al mòdul ETRX és la següent:

<code>at+scast:</code>	<code>5TE:</code>	<code>D</code>	<code>Dielectric</code>
<code>at+scast:</code>	<code>5TE:</code>	<code>E</code>	<code>Electrical</code>
<code>at+scast:</code>	<code>5TE:</code>	<code>T</code>	<code>Temperature</code>

**Fig. 2. 5** Trames d'informació enviades al mòdul ETRX2.

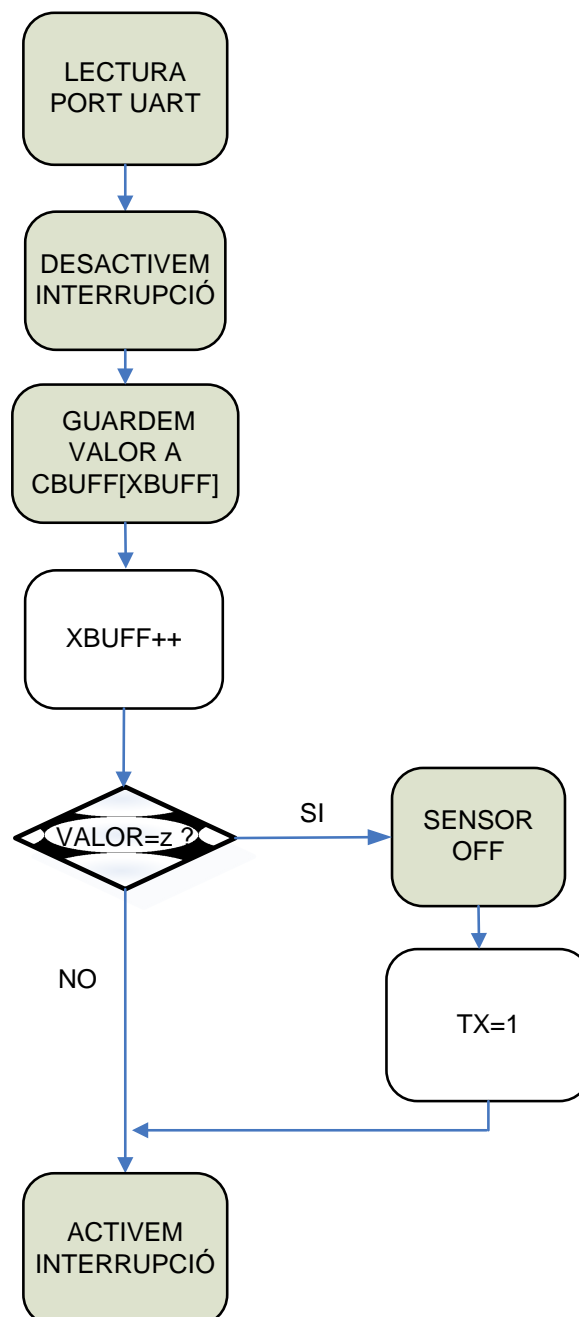
D'aquesta manera la trama queda composta per quatre camps, un més que en el node EC-5. En el primer camp hi ha la comanda AT seguit del nom del sensor en el segon. En el tercer camp hi ha el tipus de magnitud, on D és la capacitat dielèctrica, E la conductivitat elèctrica i T la temperatura. Per últim en el quart camp hi ha el valor de la dada que enviem. Les dades es transmeten com a caràcters.



**Fig. 2. 6** Diagrama de flux del node amb el sensor 5TE.

## INTERRUPCIÓ DEL PORT UART:

Un cop s'ha alimentat el sensor i es comencen a enviar les dades del sensor al microcontrolador, s'activa el flag de l'interruptió del port UART i s'executa el codi del diagrama de flux de la **Fig. 2. 7**.



**Fig. 2. 7** Diagrama de flux de l' interrupció del port UART del node amb el sensor 5TE.

Seguirem la mateixa metodologia de treball que anteriorment explicant bloc a bloc del diagrama de flux.

- LECTURA PORT UART:  
Al alimentar el sensor, les dades es transmeten al port UART en el pin RB5 on efectuarem la lectura de ella.
- DESACTIVEM INTERRUPCIÓ:  
D'aquesta manera evitem que es torni a executar el codi de la interrupció mentre s'està executant.
- GUARDEM VALOR A CBUFF[XBUFF]:  
Un cop hem llegit la dada la guardem en el vector de dades CBUFF a la posició XBUFF que serà incrementada cada cop que la interrupció s'executi.
- Valor=z?:  
Tal i com hem vist en el punt 1.2.2, la trama d'informació del sensor 5TE conté al final de totes les mesures transmises el caràcter z que indica el model de sensor. Així doncs esperarem a rebre aquest caràcter z per començar a processar el vector CBUFF que es on hi ha tota la trama transmesa guardada. Si valor=z es realitzen les següents operacions:
  - SENSOR OFF:  
Un cop hem llegit totes les dades d'interès, deixem d'alimentar el sensor, a través de la sortida digital RA1 del microcontrolador.
  - TX=1  
Aquesta variable habilitarà en el codi principal la part de codi corresponent a la transmissió de dades al transceptor.
- ACTIVEM INTERRUPCIÓ:  
Tornem a activar l'interrupció per tal que a la pròxima vegada que es rebin dades aquestes puguin ser adquirides.

## CAPÍTOL 3. TRANSCPTOR ETRX2

Els nodes autònoms a implementar transmeten l'informació a un node coordinador a través d'una xarxa sense fils i l'encarregat d'efectuar aquesta comunicació és el mòdul ETRX2. El model i fabricant que utilitzem ha estat utilitzat en altres projectes, veure [2], per integrar la xarxa REALnet. Abans d'entrar en detall en el transceptor ETRX2, explicarem de forma resumida l'estàndard de comunicació Zigbee que utilitza per la comunicació.

### 3.1. Protocol Zigbee i IEEE 802.15.4

El Zigbee és una especificació de comunicacions sense fils destinat a aplicacions de reduït consum i cost com per exemple xarxes PAN (Personal Area Network), perifèrics d'ordinador i domòtica entre d'altres. Aquest estàndard de comunicacions va ser creat per la Zigbee Alliance, un consorci dels fabricants més importants de dispositius de comunicacions sense fils. El Zigbee complementa l'estàndard IEEE 802.15.4 (veure **annex C**) proporcionant una pila completa de protocols que permeten la comunicació sense fils entre multitud de dispositius d'una forma senzilla però sobretot eficient.

Les característiques més important de Zigbee són:

- Varies bandes de treball segons l'ús dels dispositius[3]:
  - Ús industrial, científic i mèdic:
    - 868 MHz a Europa (1 canal)
    - 915 MHz a Nord Amèrica, Austràlia i altres països (10 canals).
  - Banda lliure internacional: 2,4 GHz a tot el món (16 canals).
- Direccionament a nivell de xarxa (16 bits).
- Encaminament de paquets.
- Topologia de xarxa mallada (almenys un dels nodes té més d'una connexió), d'estrella (el coordinador es situa al centre), en arbre (el coordinador és l'arrel de l'arbre).
- Dos tipus de dispositius
  - FFD (Full Function Device): És el dispositiu encaminador de missatges entre dispositius Zigbee. Per la tasca que realitza ha d'estar despert el màxim de temps possible ja que esta escoltant constantment tots els dispositius de la xarxa. Dintre d'aquest tipus de dispositiu existeix el coordinador (COO) que és un FFD que ha començat ell la xarxa, és el pare de tots.
  - RFD (Reduce Function Device): És el dispositiu final sense responsabilitat d'encaminament que pregunta als seus pares si hi ha algun missatge per ell.

- Mètodes d'accés al canal: CSMA-CA (Carrier Sense Multiple Acces with Collision Avoidance)<sup>3</sup>.
- 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. Especificacions del transceptor ETRX2

El mòdul ETRX2 de Telegesis està basat en el xip EM250 [4], fabricat per Ember, que integra un microcontrolador i un transceptor. L'EM250 compleix amb les característiques que volem que tingui la nostra xarxa: econòmica, ampliable i robusta.

Els mòduls de Telegesis permeten ser programats de forma senzilla a través de comandes AT; com a contrapartida tenim un control limitat sobre les funcionalitats internes del dispositiu tot i que suficients per la tasca a complir. El firmware R212 està basat en la pila EmberZNet2. En la **Taula 3. 1** es poden apreciar les principals especificacions del mòdul especificades pel fabricant, per informació més detallada veure l'**annex D** i [5].

**Taula 3. 1** Principals especificacions del mòdul Zigbee ETRX2

Alimentació	2.1-3.6 V
Temperatura	-40°C a +85°C
Mides	37,5 x 20,5 x 3,2 mm
Antena RF	3 models disponibles: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Antena ceràmica integrada</li> <li>• Connector coaxial Hirose UFL</li> <li>• Port pad 50Ω</li> </ul>
Interfície comunicació	<ul style="list-style-type: none"> <li>• UART amb accés directe a la memòria (DMA).</li> <li>• Opcionalment I2C i SPI</li> </ul>
Actualització de firmware	Via RS232 o per aire (protegit per contrasenya).
Modes de funcionament	SED (Sleep end device) MED (Moving end device) SINK (Coordinador xarxa)
Consum	Diferents modes de consum des de 0,7µA a 9mA sense transmetre dades. En la transmissió i recepció de dades el consum és de 36 mA.

<sup>3</sup> Analitza el medi per saber si existeix presència de portadora en els moments que s'ocupa el canal. D'aquesta manera s'eviten colisions.



### 3.3. Tipus de dispositius

La pila EmberZnet en la que treballa el transceptor ETRX2 defineix tres nous objectes no definits en l'especificació Zigbee:

- MED (Moving End Device): És un dispositiu final (RFD) mòbil que es desunirà de la xarxa quan perdi connexió amb els nodes i s'unirà a qualsevol altre xarxa permesa.
- SED (Sleepy End Device): És un dispositiu final (RFD) que no es desunirà de la xarxa quan perdi connexió amb els nodes. Aquest dispositiu desactiva certs mòduls de la seva arquitectura per tal de reduir el seu consum. Aquest és el tipus de dispositiu que implementarem en el nostre node ja que estarà connectat permanentment a una xarxa determinada i no anirà connectant-se a altres xarxes zigbee.
- SINK: És el dispositiu que realitza les funcions de magatzem de dades. Aquesta funció només la pot exercir un dispositiu FFD.

### 3.4. Comandes AT

El transceptor és controlat per un microcontrolador amb una sèrie d'instruccions AT [6] que fan que gent no experta en comunicacions sense fils pugui implementar un sistema de forma ràpida. En la figura **Fig. 3. 1** podem veure el format de comanda AT, on FUNCIO és una de les funcions predefinides en el microcontrolador del transceptor.

AT	+	FUNCIO
----	---	--------

**Fig. 3. 1** Format de comanda AT

Així per exemple si volem transmetre un missatge en broadcast (comunicació a tots els nodes de la xarxa), utilitzarem la comanda de la figura **Fig. 3. 2**, on si nn és 1 transmet la informació <data> als veïns directes i si es 0 a tota la xarxa. A l'**annex E** es pot veure el llistat de comandes AT.

AT	+	BCAST:nn,<data>
----	---	-----------------

**Fig. 3. 2** Comanda AT per transmetre en mode broadcast.

En el nostre cas volem transmetre la informació des del node fins al coordinador o central també anomenat sink i no a tota la xarxa. Llavors, utilitzarem la funció SCATST de la figura **Fig. 3. 3** on <data>, amb format de caràcters, conté les mesures dels sensors processades pel microcontrolador.

AT	+	SCAST:<data>
----	---	--------------

**Fig. 3. 3** Comanda AT per enviar dades al dispositiu sink

### 3.5. Configuració

El dispositiu es configura a través de diversos registres. A continuació descriurem els més importants, deixant la descripció completa i la seva configuració per l'**annex F**.

#### S00 Channel Mask

Configura la mascara de canal representada en 16 bits als canals disponibles en Zigbee que van del 11 al 26. En el nostre cas l'hem configurat amb el valor 18 (12 en hexadecimal).

S00=0012 (node sensor)  
S00=0012 (node coordinador)

#### S01 Preferred Pan ID

Permet preestablir la identitat de la xarxa PAN a que es connectarà per defecte. La nostra xarxa ha estat configurada des del coordinador amb el número 18 com a identitat (12 en hexadecimal). Per defecte aquest registre està configurat com a FFFF que significa que no té cap xarxa preferida.

S00=0012 (node sensor)  
S00=0012 (node coordinador)

#### S06 Main Function

Defineix el comportament del dispositiu dins la PAN i la forma d'unir-se aquesta. Aquest és un registre de 16 bits amb les següents característiques:

- Bit F: Bit reservat.
- Bit E: Si val 1 el registre de lectura remot no espera ACK<sup>4</sup>.
- Bit D: Si val 1 les comandes UCAST i SCAST esperen ACK.
- Bit C: Si val 0 (configuració de fàbrica) accepta automàticament un canal.
- Bit B: Quan és 1 no permet que s'uneixi a la xarxa.
- Bit A: En 1 el dispositiu queda configurat com a Moving End Device (MED) i en 0 (configuració de fàbrica) com a Sleep End Device (SED).
- Bit 9: Si és 1 el dispositiu queda configurat com un End Device.
- Bit 8: El dispositiu és un SINK en el cas que valgui 1.

<sup>4</sup> Missatge que confirma que la transmissió de dades s'ha produït correctament.

- Bit 7: Si val 1 al escriure al registre S03 tindrà efecte immediat.
- Bit 6: Si val 1 mostra un RSSI<sup>5</sup> quan s'executen les funcions AT+SN, AT+REMSN i AT+PING.
- Bit 5: Al valer 1 s'inclou el valor de tensió Vcc en les transmissions de dades.
- Bit 4: Si és 1 quan el dispositiu s'intenta connectar a la xarxa utilitza la clau del registre S03.
- Bit 3: Si val 1 (configuració de fàbrica) permet la connexió de forma insegura mitjançant un node local.
- Bit 2: En 1 permet la connexió de forma segura mitjançant un node local.
- Bit 1: Al prendre el valor 1 (configuració de fàbrica) permet la connexió insegura a través d'un Trust Centre.
- Bit 0: Si val 1 permet la connexió segura a través d'un Trust Centre.

El node sensor queda configurat com a End Device del tipus SED i permet la connexió insegura a través d'un Trust Centre.

S06=0202 (0000 0010 0000 0010) (node sensor)

Per altre banda, el node coordinador queda configurat com a Sink i també permet la connexió insegura a través d'un Trust Centre.

S06=0102 (0000 0001 0000 0010) (node coordinador)

## S0B Uart Setup

Defineix la velocitat del port UART del dispositiu ETRX2. Aquest disposa d'un ampli ventall de velocitats des de 1200 baud fins a 115200. Per tal de disminuir el consum i per coherència amb la velocitat que utilitza el sensor 5TE triem la velocitat de 1200 baud i 8 bits d'informació, sense paritat i un bit de parada que és la configuració per defecte. En el cas del node coordinador prenem el valor de 9600 ja que aquest va connectat a l'ordinador.

Els valors que pot prendre són:

- 00: 1200 baud
- 01: 2400 baud
- 02: 4800 baud
- 03: 9600 baud
- 04: 14400 baud
- 05: 19200 baud (configuració de fàbrica)
- 06: 28800 baud
- 07: 38400 baud
- 08: 50000 baud
- 09: 57600 baud
- 0A: 76800 baud
- 0B: 100000 baud
- 0C: 115200 baud

---

<sup>5</sup> *Receive Signal Strength Indication*: Utilitzat per indicar la força del senyal rebut normalment en xarxes WIFI. Quan més alt és el valor amb més força arriba la senyal.

S0B=00 (node sensor)  
S0B=03 (node coordinador)

### S15 Immediate functionality at IRQ0

Describeix l'acció immediata a l'interruptió de IRQ0 (Pin 15 del ETRX2). Aquesta s'activarà a través d'una sortida digital del microcontrolador (capítol 2). Si està configurat com a 0 l'interruptió està desactivada. En cas contrari el valor del registre fa executar la funció preestablerta corresponent de les 58 possibles en la pila EmberZnet.

El node sensor efectuarà la funció 0004, al produir-se l'interruptió, que canviarà al mode de consum més baix (estat 3 de la **Taula 3. 2**).

S15=0004 (node sensor)

En el node coordinador desactivem l'interruptió.

S15=0000 (node coordinador)

L'interruptió s'activa per flanc de pujada, com l'hem configurat més endavant en el registre S2E.

### S16 Immediate functionality at IRQ1

Com succeeix en el registre S15, descriu l'acció immediata a l'interruptió de IRQ1 (Pin 16 del ETRX2). Si està configurat com a 0 l'interruptió està desactivada. En cas contrari el valor del registre fa executar la funció preestablerta corresponent de les 58 possibles en la pila EmberZnet.

Triem la funció 0001 per al node sensor, que canviarà al mode en plenes funcionalitats amb consum major (estat 0 de la **Taula 3. 2**).

S16=0001 (node sensor)

En el node coordinador desactivem l'interruptió.

S16=0000 (node coordinador)

L'interruptió s'activa també per flanc de pujada, com l'hem configurat més endavant en el registre S2E.

### S29 Power Mode

Defineix l'estat de consum en que es troba el transceptor en el moment actual. En la **Taula 3. 2** podem veure el consum en cada estat, així com també el mode de funcionament de cada part del transceptor (MCU, Radio i Timers).

**Taula 3. 2** Consum del mòdul ETRX2 en cada estat.

Mode	MED, SED			
	MCU	Radio	Timers	I
0	Despert	Dormit	Definit per l'usuari	9 mA
1	En espera	Dormit	Definit per l'usuari	4,5 mA
2	Dormit	Dormit	Definit per l'usuari	0,7 mA
3	Dormit	Dormit	Definit per l'usuari	0,7 uA

Aquest registre és volàtil, és a dir, al retirar l'alimentació es borra el contingut. El registre s'inicialitza amb el registre S2A. En el nostre cas triem el mode 0, tot i que aquesta configuració anirà variant amb les interrupcions IRQ0 i IRQ1.

S29=00 (node sensor)  
S29=00 (node coordinador)

### S2A Initial Power Mode

Com en el registre S29, aquest registre també fa referència a l'estat de consum del mòdul. En aquest cas és un registre no volàtil que inicialitza el registre S29. Aquest registre no es modificarà davant les interrupcions IRQ0 i IRQ1, que només modifiquen el registre S29. Seguint la **Taula 3. 2** prenem com a estat inicial el 0.

S2A=00 (node sensor)  
S2A=00 (node coordinador)

### S2E Device Specific

Defineix el comportament específic del dispositiu davant certs events com per exemple interrupcions externes. El valor del registre es representa amb 16 bits com a hexadecimal.

- Bit F: Si val 1 el pin I/O3 queda definit com a PWM (pulse width modulation). En contra si val 0 (configuració de fàbrica) queda definit com un pin normal.
- Bit E-D: Reservats.
- Bit C: Al valer 1 el transmissor afegeix l'identitat de la PAN amb la funció AT+RDATAB. Configurat en fàbrica com a 0.
- Bit B-9: Reservats.
- Bit 7: Si està configurat com a 1 el pin I/O8 esdevé en el A/D3<sup>6</sup> del mòdul ETRX.
- Bit 6: Si val 1 el pin I/O0 es pren com a referència del A/D.

<sup>6</sup> A/D són les sigles que s'utilitzen per anomenar els convertors analògics digital.

- Bit 5: En 1 desperta el transceptor al rebre dades pel port UART.
- Bit 4: Si és 1 activa el filtratge de possibles variacions en els pins IRQ degut a soroll o altres causes no desitjades. En anglès aquesta acció s'anomena *debouncing*.
- Bit 3: Si val 1 l'interrupció IRQ1 es produeix en flanc de pujada.
- Bit 2: Si val 1 (configuració de fàbrica) l'interrupció IRQ1 es produeix en flanc de baixada.
- Bit 1: Si val 1 l'interrupció IRQ0 es produeix en flanc de pujada.
- Bit 0: Si val 1 (configuració de fàbrica) l'interrupció IRQ0 es produeix en flanc de baixada.

Configurem el node sensor amb les interrupcions IRQ1 i IRQ0 en flanc de pujada.

S2E=000A (0000 0000 0000 1010) (node sensor)

Deixem el node coordinador amb la configuració de fàbrica al no utilitzar les interrupcions.

S2E=0005 (0000 0000 0000 0101) (node coordinador)

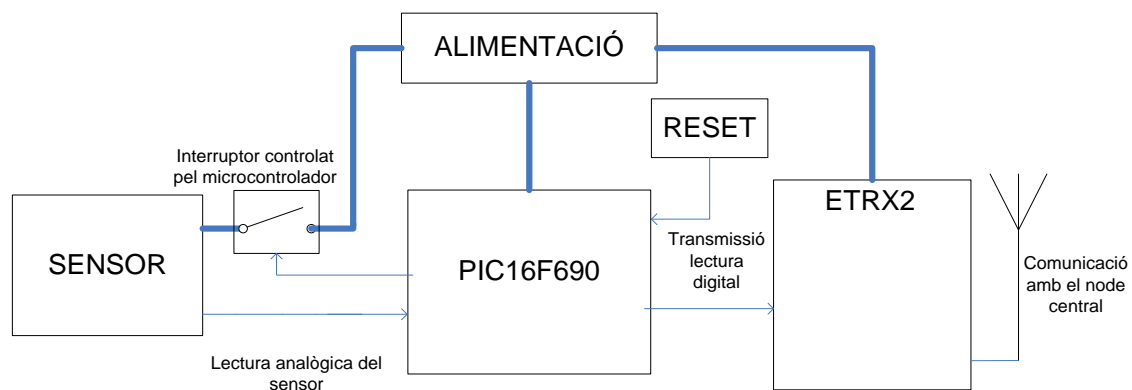
## CAPÍTOL 4. ALIMENTACIÓ DELS NODES

Els nodes que volem implementar han de garantir un llarg temps de vida alimentats a piles i això s'aconsegueix minimitzant el consum i fent una bona elecció del sistema d'alimentació. Un requisit del projecte era realitzar l'alimentació a piles.

Degut a que cada node té necessitats energètiques diferents, explicarem l'alimentació, l'adaptació de la tensió d'alimentació procedent de les piles a cada element i estimarem el consum en cadascun d'ells.

### 4.1. Node amb el sensor EC-5

L'idea per allargar el temps de vida dels nostres nodes, és alimentar el sensor tant sols en el moment que volem adquirir les mesures i enviar-les al node central. És per això que descartarem l'opció de tenir el sensor EC-5 connectat directament a la font d'alimentació. Utilitzarem un interruptor lògic controlat pel microcontrolador per alimentar o no el sensor (**Fig. 4. 1**). Vam descartar alimentar directament el sensor des d'un dels pins del microcontrolador perquè la tensió del pin era menor a la tensió de referència del convertidor A/D cosa que provocava lectures errònies. En aquest node no serà necessari adaptar els nivells de tensió del sensor ja que la sortida serà digitalitzada amb un convertidor A/D integrat en el propi microcontrolador.



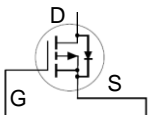
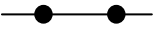

**Fig. 4. 1** Diagrama de blocs del node amb el sensor EC-5.

#### 4.1.1. Interruptor lògic

Per implementar l'interruptor lògic, controlat pel microcontrolador, hem utilitzat el transistor MOSFET del tipus P FDN304P, que es comporta com un interruptor tancat a nivell baix. És a dir, perquè pugui circular corrent del drenador al sortidor, el voltatge de porta ha de ser un 0 lògic (0 V) com mostra la **Taula 4**.

1. Connectarem al sortidor (S) l'alimentació procedent de les piles i al drenador (D) al pin d'alimentació del sensor . Si volem alimentar el sensor, en la porta (G) ha de haver-hi un 0 lògic, procedent del pin I/O RC7 del microcontrolador.

**Taula 4. 1** Funcionament d'un transistor MOSFET P

Esquemàtic	$V_G$	Zona de treball	Interruptor
	"0"	Saturació	
	"1"	Tall	

#### 4.1.2. Estimació del consum de corrent promig

La **Taula 4. 2** presenta les característiques elèctriques dels diferents components que formen el node sensor. Podem veure que el sistema d'alimentació ha d'entregar una tensió entre 2,5 V i 3,6V i una intensitat de 46,2 mA en estat actiu.

**Taula 4. 2** Característiques elèctriques del conjunt EC-5, PIC16F690, ETRX2 i MOSFET FDN304P.

Component	$I_{SLEEP}$	$I_{AWAKE}$	Tensió alimentació
SENSOR EC-5	0A	10mA	2,5-3,6 V
PIC16F690	1 $\mu$ A	200 $\mu$ A	2-5,5 V
ETRX2	0,7 $\mu$ A	36mA	2,1-3,6V
MOSFET FDN304P	0,1 $\mu$ A	1 $\mu$ A	-
GLOBAL	1,8 $\mu$ A	46,2mA	2,5 a 3,6 V

Així doncs, si sabem que el temps que tarda el microcontrolador, a executar el codi d'adquisició de dades i enviar-les al node central és de 120ms, podem calcular el corrent promig:

$$I_{av} = \left( \frac{t_{sleep} \cdot 1,8\mu A + 0,12 \text{ seg} \cdot 46,2mA}{t_{sleep} + 0,12 \text{ seg}} \right) \quad (4. 1)$$

On  $t_{sleep}$  és el temps que hi ha entre mesures. La **Taula 4. 3** mostra com varia el consum en funció del temps d'espera entre mesures, de tal manera que com més gran és l'interval de mesura més petit serà el consum.



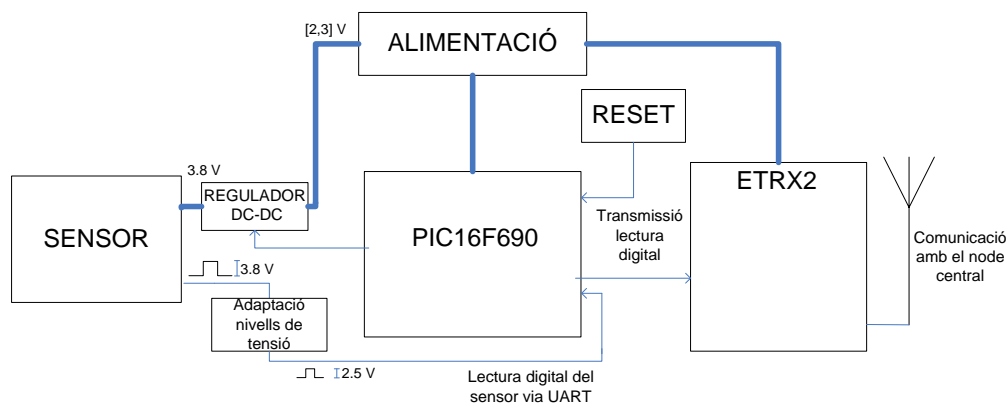
**Taula 4. 3** Consum de corrent del node amb el sensor EC-5 en funció del temps entre mesures.

Període de lectures	Corrent promig (mA)
640 (10 min 40 seg)	0,010
320 (5 min 20 seg)	0,019
160 (2 min 40 seg)	0,036
80 (1 min 20 seg)	0,071
40	0,140
20	0,277
10	0,550
5	1,085

Com que les mesures que prenem no varien ràpidament, realitzarem lectures cada 640 segons (màxim temps permès pel watchdog) maximitzant el temps de vida del node.

## 4.2. Node amb el sensor 5TE

En aquest node tenim diferents rangs de tensió en els elements que el componen. El microcontrolador i el mòdul ETRX2 poden ser alimentats directament de les piles, en canvi el sensor 5TE no ja que necessita 3,6V. Aquest fet ens comportarà a utilitzar un regulador DC-DC per tal d'eleva la tensió necessària pel sensor 5TE. També haurem d'adaptar la senyal de sortida del sensor 5TE de nivells TTL fins a 0 a 2,5V <sup>7</sup>. Per l'adaptació de nivells de tensió utilitzarem la configuració hardware dels pins del propi PIC16F690. De no fer aquesta adaptació de nivells faríem malbé el port UART del microcontrolador de tal manera que no podríem adquirir les dades. La **Fig. 4. 2** mostra el diagrama de blocs del sensor 5TE on es pot veure la funció del regulador DC-DC i l'adaptació de nivells.



**Fig. 4. 2** Diagrama de blocs del node amb el sensor 5TE.

<sup>7</sup> El voltatge el qual estan alimentats el microcontrolador i el ETRX2 no és fix ja que estan connectats a les bateries que es van descarregant poc a poc. Per tal de simplificar aquesta descàrrega prenem 2,5V com a voltatge constant.

### 4.2.1. Regulador DC-DC

Amb el regulador DC-DC volem aconseguir una tensió de 3,8V<sup>8</sup> a partir de una tensió variable entre 2 i 3 V i poder alimentar el sensor. Vam decidir que el regulador que utilitzaríem seria el MAX1795 (Maxim) que disposa d'un terminal per desconnectar o connectar el dispositiu de tal manera que el consum sigui mínim.

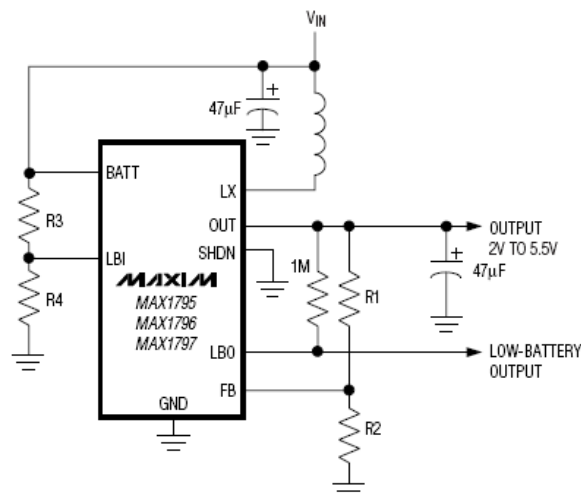
La figura **Fig. 4. 3** mostra la configuració en el MAX1795 per obtenir una tensió ajustable a partir dels valors de les resistències R1 i R2 de la següent manera:

$$R1 = R2 \left[ \frac{V_{OUT}}{V_{FB}} - 1 \right] \quad (4.1)$$

On  $V_{OUT}$  és la tensió de sortida desitjada i  $V_{FB}$  és una constant que val 1,245V. Si R1 i R2 valen respectivament 430 K $\Omega$  i 200 K $\Omega$  aleshores tenim a la sortida una tensió de 3,79 V. Un altre paràmetre que es pot controlar és el nivell de bateria a través del pin Low Battery Output que indica si el nivell de bateria està més baix que un llindar preestablert. Aquest llindar s'estableix a partir de les resistències R3 i R4 de la forma següent:

$$R3 = R4 \left[ \frac{V_{TRIP}}{0,85} - 1 \right] \quad (4.2)$$

On  $V_{TRIP}$  és el llindar de tensió. Aleshores si R3 i R4 valen respectivament 430 K $\Omega$  i 300 K $\Omega$  el nostre llindar de tensió estarà situat a 2,06V. Tot i així vam decidir no implementar aquesta funcionalitat al sistema.



**Fig. 4. 3** Esquemàtic MAX1795 per obtenir una tensió ajustable

Un dels paràmetre a tenir més en compte en un regulador de tensió és l'eficiència ( $\eta$ ) d'aquest, que sota les condicions de càrrega de 10 mA (sensor

<sup>8</sup> Amb una tensió de 3,6V el sensor 5TE funciona correctament, tot i així per deixar un marge de seguretat fixem la tensió a 3,8V.

5TE) correspon per aquest regulador al 90%. Així podem saber la intensitat que consumeix el regulador:

$$I_C = \frac{V_{OUT} \cdot I_{OUT}}{n \cdot V_{IN}} = 3,79V \cdot \frac{10mA}{0,9 \cdot 2,5V} = 16,84mA \quad (4.3)$$

Aquesta intensitat serà la que consumeixi en estat actiu ja que el dispositiu pot ser desactivat amb el pin SHDN (Shutdown) que actua a nivell baix. D'aquesta manera a través d'un pin del microcontrolador podrem activar el regulador o desactivar amb un 0 lògic i un 1 lògic respectivament. En el cas d'estar desactivat, el dispositiu passa a consumir 2  $\mu$ A, tal i com especifica el fabricant, en comptes dels 16,84 mA.

El fabricant recomana que el valor de la bobina sigui de 22  $\mu$ H, tot i que també funciona amb bobines de 10  $\mu$ H i 47  $\mu$ H. Un dels models que aconsella el fabricant, escollit pel projecte, és el Sumida CR32-220 de 22  $\mu$ H. Els condensadors recomanats, escollits pel projecte, són el Sanyo POSCAP 6TPA47M de 47  $\mu$ F i el AVX TPSD476M016R0150 de 47  $\mu$ F. Els dos condensadors són de tàntal, on el primer és el condensador connectat a  $V_{in}$  i el segon a la sortida (output).

Amb aquesta configuració el sensor 5TE, tal i com succeïa en el EC-5, és activat a nivell baix a través del pin I/O RA1 del microcontrolador.

#### 4.2.2. Estimació del consum de corrent promig

La **Taula 4. 4** presenta les característiques elèctriques dels diferents components que integren el node. Podem veure que el sistema d'alimentació ha d'entregar una tensió entre 2 V i 3,6V i una intensitat igual que en l'altre node.

**Taula 4. 4** Característiques elèctriques del conjunt 5TE, PIC16F690, ETRX2 i MAX1795.

Component	$I_{SLEEP}$	$I_{AWAKE}$	Tensió alimentació
SENSOR 5TE	0A	10mA	3,6-15 V
PIC16F690	1 $\mu$ A	200 $\mu$ A	2-5,5 V
ETRX2	0,7 $\mu$ A	36mA	2,1-3,6V
MAX1795	2 $\mu$ A	16,84 mA	0,7-3,8V
GLOBAL	1,7 $\mu$ A	63,04mA	2-3,6 V

Com abans, podem calcular el corrent promig demanat sabent que el temps que tarda el microcontrolador a executar el codi d'adquisició de dades i enviar-les al node central és de 210 ms.

$$I_{av} = \left( \frac{t_{sleep} \cdot 1,7 \mu A + 0,21 \text{ seg} \cdot 63,04 \text{ mA}}{t_{sleep} + 0,21 \text{ seg}} \right) \quad (4.2)$$

On  $t_{sleep}$  és el període de lectures. La **Taula 4. 5** ensenya com varia el consum en funció del temps d'espera entre mesures de tal manera que com més gran és l'interval de mesura més petit serà el consum.

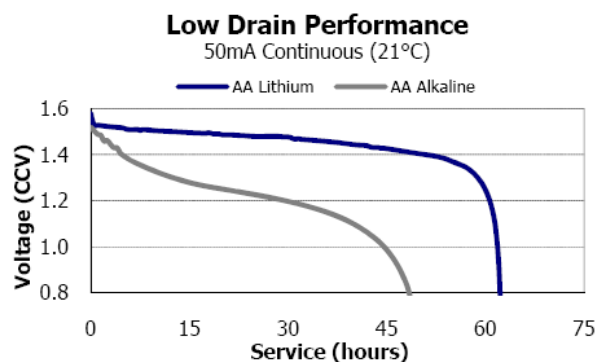
**Taula 4. 5** Consum de corrent promig del node amb el sensor 5TE en funció del temps entre mesures.

Període de lectures	Corrent promig (mA)
640 (10 min 40 seg)	0,024
320 (5 min 20 seg)	0,045
160 (2 min 40 seg)	0,086
80 (1 min 20 seg)	0,169
40	0,333
20	0,659
10	1,300
5	2,545

Per seguir amb la línia marcada anteriorment farem lectures cada 640 segons maximitzant el temps de vida del sensor.

### 4.3. Sistema d'alimentació

Per l'alimentació s'utilitzaran dos piles de liti AA de 1,5V disposades en sèrie en ambdós nodes. La **Fig. 4. 4** mostra una comparativa de piles alcalines davant la pila de liti L91 del fabricant Energizer. La gràfica ha sigut extreta del datasheet del fabricant (veure **annex G**). Les piles de liti ofereixen més temps de vida i una corba de descàrrega de la tensió més plana.



**Fig. 4. 4** Comparativa del temps de vida entre una pila de liti i una alcalina.

El node amb el sensor 5TE, es podria alimentar amb piles alcalines, ja que garanteixen el nivell de tensió mínim necessari de 2V (1V cada pila). En canvi en el node EC-5, no es pot alimentar el sistema amb piles alcalines ja que no garanteixen el nivell de tensió mínim necessari de 2,5 V (1,25V cada pila). Utilitzarem piles de liti en ambdós nodes.

#### 4.4. Temps de vida

Les piles de liti L91 proporcionen una tensió entre 1,6V i 1,3V (garanteixen una tensió entre 3,2 V i 2,6V emprant dos piles en sèrie) i una càrrega de 3000mA (**annex G**). La **Taula 4. 6** i la

**Taula 4. 7** mostren el corrent promig i el temps de vida de cadascun dels nodes, mitjançant els consums calculats en l'apartat 4.1.2 i 4.2.2 i la càrrega de la pila.

**Taula 4. 6** Corrent promig i temps de vida del node amb el sensor EC-5, segons el període de lectures.

Període de lectures	Corrent promig (mA)	Temps vida (Dies)	Temps vida (Anys)
640 (10 min 40 seg)	0,010	2124,75	5,82
320 (5 min 20 seg)	0,019	581,40	1,59
160 (2 min 40 seg)	0,036	152,64	0,42
80 (1 min 20 seg)	0,071	39,19	0,11
40	0,140	9,95	0,03
20	0,277	2,52	0
10	0,550	0,64	0
5	1,085	0,16	0

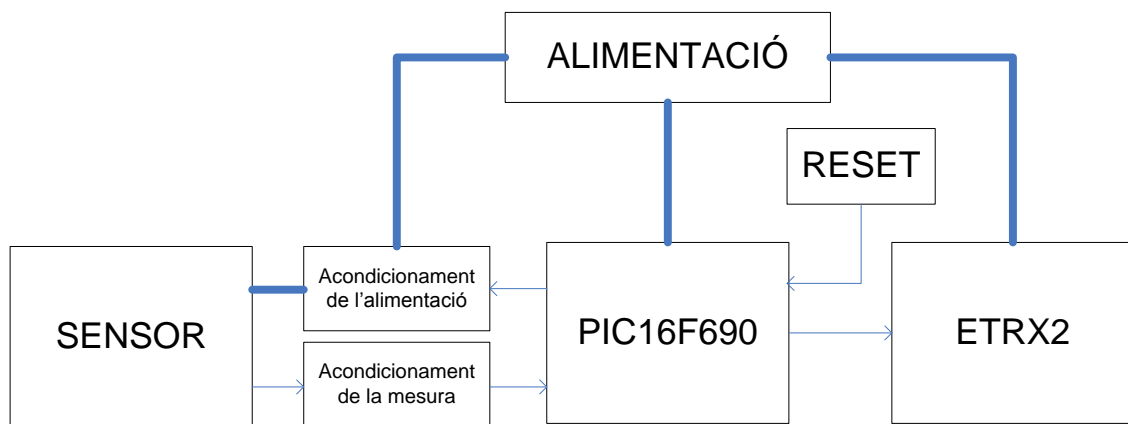
**Taula 4. 7** Corrent promig i temps de vida del node amb el sensor 5TE, segons el període de lectures.

Període de lectures	Corrent promig (mA)	Temps vida (Dies)	Temps vida (Anys)
640 (10 min 40 seg)	0,024	911,91	2,50
320 (5 min 20 seg)	0,045	246,85	0,68
160 (2 min 40 seg)	0,086	64,44	0,18
80 (1 min 20 seg)	0,169	16,51	0,05
40	0,333	4,19	0,01
20	0,659	1,07	0
10	1,300	0,27	0
5	2,545	0,07	0

Els consums teòrics de cada node, van ser provats amb una sonda de corrent i vam veure que coincidien aproximadament amb els pràctics.

## CAPÍTOL 5. IMPLEMENTACIÓ DELS NODES

En aquest capítol presentarem els esquemàtics dels nodes implementats, juntament amb l'encapsulat, així com també les proves que s'han efectuat per la validació del seu funcionament. El nostre node sensor ha de seguir el diagrama de blocs que mostra la figura **Fig. 5. 1**. El microcontrolador i el mòdul ETRX2 estaran connectats directament a la font d'alimentació. L'alimentació del sensor serà acondicionada pel microcontrolador activant, desactivant i adaptant els nivells de tensió necessaris. Un cop s'hagi alimentat el sensor adequadament podrem adquirir les lectures acondicionant-les pel microcontrolador.



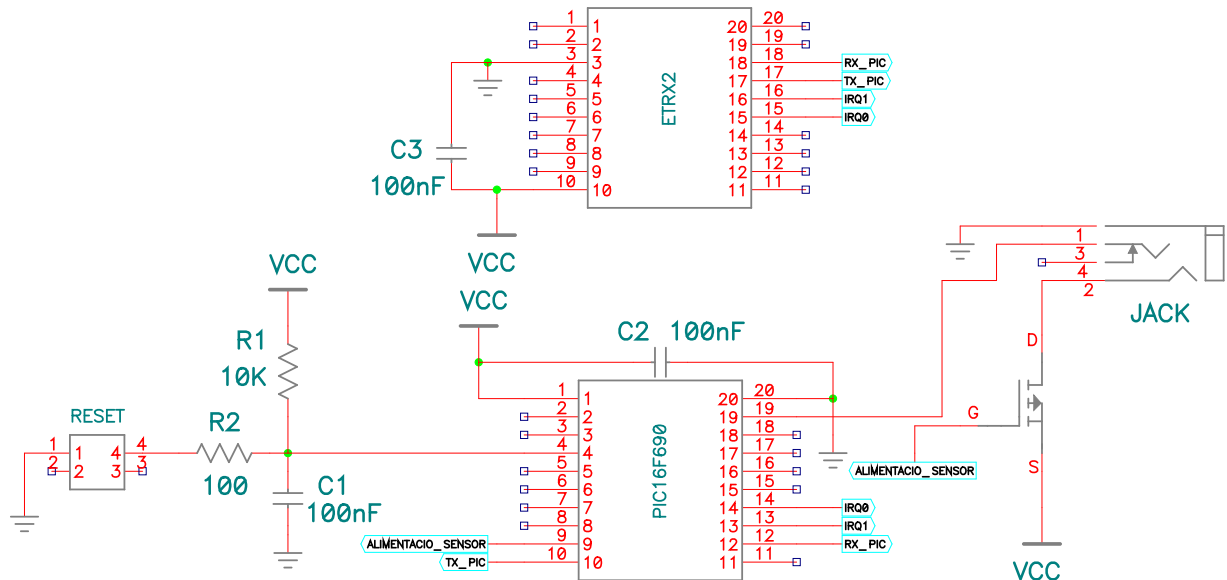
**Fig. 5. 1** Diagrama de blocs d'un node sensor.

Afegirem a més a més l'opció de poder fer un reset al microcontrolador. Ens servirà per reiniciar el microcontrolador en cas que es produeixi efectes no esperats com bucles infinits. Aquest serà manual a través d'un polsador cosa que farà estar presencialment davant del dispositiu cada cop que es vulgui reiniciar.

### 5.1. Esquemàtic del node amb el sensor EC-5

La figura **Fig. 5. 2** mostra el circuit del node sensor EC-5 amb tots els elements connectats on  $V_{cc}$  és la tensió d'alimentació procedent de les dos piles. El reset és a nivell baix, és a dir quan es prem el polsador es transmet un 0 lògic al pin MCLR (pin 4) que provoca el reinici del programa. El pin 9 del microcontrolador, anomenat ALIMENTACIÓ\_SENSOR, és el pin I/O que habilita l'alimentació al sensor. El pin 10, anomenat TX\_PIC, és el pin per on s'envien les dades al transceptor. Mentre que el pin 12, anomenat RX\_PIC, és el pin per on reben les dades al microcontrolador. En aquest node no es reben dades pel port UART, però es va decidir fer la connexió del port UART receptor del microcontrolador amb el transmissor del ETRX2 per ampliacions en treballs futurs. Els pins 13 i 14 del microcontrolador, anomenats IRQ1 i IRQ0

respectivament, són els pins I/O que provoquen el canvi del mode de consum del ETRX2. Com a mesura de protecció contra interferències s'han introduït uns condensadors de 100nF entre la massa i la tensió d'alimentació del ETRX2 i del PIC16F690.



**Fig. 5. 2** Circuit del node amb el sensor EC-5

Tots els components estan detallats en la **Fig. J. 1** de l' **annex J**. En la **Fig. H. 1** del **annex H** podem veure el circuit imprès d'aquest node sensor.

## 5.2. Esquemàtic del node sensor 5TE

La figura **Fig. 5. 3** mostra el circuit del node sensor 5TE amb tots els elements descrits en els capítols anteriors connectats. El reset té la mateixa configuració que en el node amb el sensor EC-5 actuant a nivell baix. Els pins 5 i 6 del microcontrolador, anomenats IRQ1 i IRQ0 respectivament, són els pins I/O que provoquen el canvi del mode de consum del ETRX2. Com en al node EC-5, el pin 10, anomenat TX\_PIC, és el pin per on s'envien les dades al transceptor. El pin 12, anomenat RX\_PIC, és el pin per on reben les dades procedents del sensor al microcontrolador. El pin 18 del microcontrolador, anomenat ALIMENTACIÓ\_SENSOR, és el pin I/O que habilita l'alimentació al sensor.

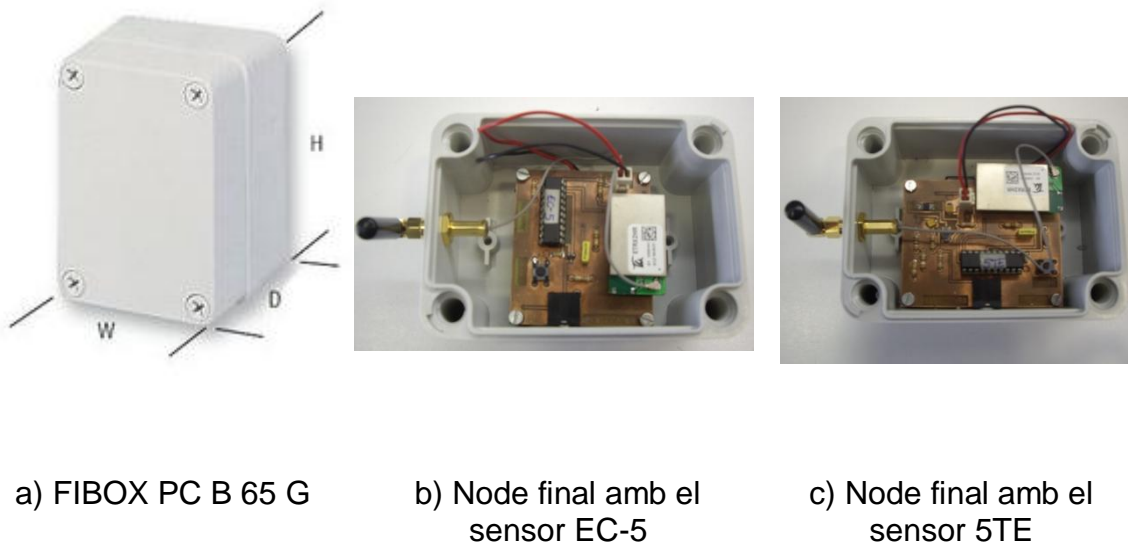




### 5.3. Encapsulat dels nodes

El nostre node estarà situat a l'exterior i ha d'estar preparat per suportar diverses condicions climàtiques. Per tal d'escollir l'encapsulat adequat pel dispositiu que hem dissenyat cal respectar la norma UNE-20-324-93 que defineix els graus de protecció proporcionats pels encapsulats. Aquesta norma és la versió oficial de la norma europea EN 60529. La norma classifica els envoltants a través del tipus IP (Ingress Protection) definida a través de dos dígits que indiquen el grau de protecció de l'encapsulat. L'**annex I** especifica el significat d'aquests dos digitis així com també els valors que poden prendre.

El nostre dispositiu ha d'estar protegit contra l'inserció de pols i d'aigua i en aquest sentit la nostra envoltant serà del rang IP66 o IP67. El encapsulat final que hem triat és de policarbonat IP67 del fabricant FIBOX [7] amb unes dimensions de 110 mm de longitud (H), 80 mm d'amplada (W) i 65 mm de profunditat. La figura **Fig. 5. 5** es pot veure l'encapsulat original i l'encapsulat amb els nodes sensors implementats.



**Fig. 5. 5** Encapsulat i nodes integrats a dins el encapsulat.

### 5.4. Preu dels nodes

A part del temps de vida dels nodes, un altre factor molt important és el preu. La **Taula 5. 1** mostra el preu final dels nodes. En l'**annex J** es pot veure el preu detallat component a component [8].

**Taula 5. 1** Preu final dels nodes

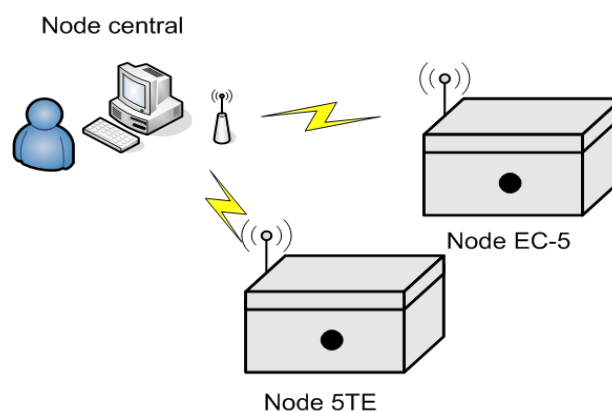
Producte	Preu
Node amb el sensor EC-5	169,21 € (78,26 € sense sensor EC-5)
Node amb el sensor 5TE	373,62 € (90,57 € sense sensor 5TE)

## 5.5. Validació del sistema

El sistema l'hem validat mitjançant una xarxa de proves formada pels dos nodes autònoms i un node central que rebia les dades. Com a node central hem utilitzat el dispositiu ETRX2 USB stick del fabricant Telegesis (**Fig. 5. 6**).

**Fig. 5. 6** ETRX2 USB stick

La **Fig. 5. 7** mostra el diagrama de la xarxa creada per validar el sistema, on els nodes autònoms realitzen les mesures i les envien al node central, que està connectat a l'ordinador a través del port USB.

**Fig. 5. 7** Diagrama de la xarxa de validació del sistema

## 5.6. Interfície amb el usuari final

En un inici vam validar el funcionament dels nodes amb el software Telegesis Terminal que mostrava les dades adquirides en una llista de comandes. Degut a la poca interactivitat amb l'usuari vam decidir, tot i que no estava previst dins del projecte, personalitzar l'interfície final amb LabView. L'interfície desenvolupada, com mostra la figura, conté 4 gràfiques per mostrar les dades adquirides: el codi AD del sensor EC-5 i la constant dielèctrica, conductivitat elèctrica i temperatura del sensor 5TE.

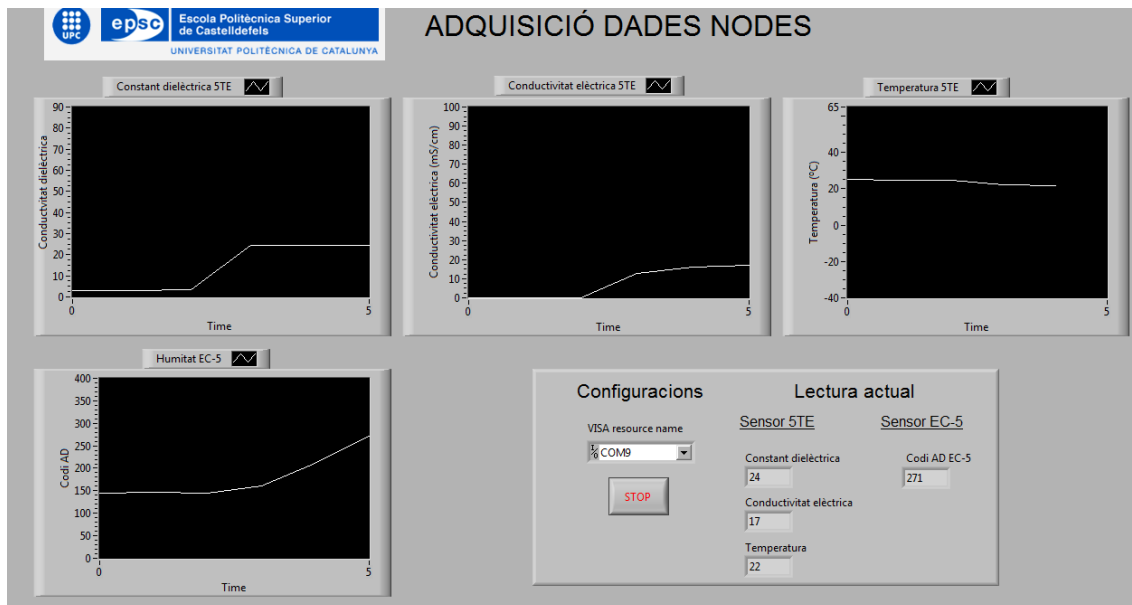


Fig. 5. 8 Interfície amb l'usuari final feta en LabView

## CAPÍTOL 6. CONCLUSIONS

### 6.1. Objectius assolits

L'objectiu del projecte ha sigut implementar dos node autònoms capaços de poder adquirir i transmetre les lectures efectuades pels sensors EC-5 i 5TE. Aquesta transmissió de dades s'ha portat a terme amb els mòduls Zigbee de Telegesis ETRX2 que garanteixen un baix consum seguint la filosofia de les xarxes de sensors sense fils (WSN).

Un dels punts més importants del projecte ha sigut el consum dels nodes ja que han de ser dispositius remots amb un llarg temps de vida. En aquest sentit hem implementat un sistema amb un temps de vida de 5,82 i 2,5 anys pels sensor EC-5 i 5TE respectivament, prenent mesures cada 640 segons (10 minuts i 40 segons).

Cada sensor entrega les dades de forma diferent de tal manera que s'ha hagut d'implementar l'adquisició per cadascun d'ells. El sensor EC-5 entrega una tensió analògica en funció de l'humitat del subsòl, mentrés el 5TE estableix una comunicació sèrie. Aquesta conté l'humitat del subsòl, la conductivitat elèctrica i la temperatura.

Un cop adquirides les dades, els nodes es comuniquen amb el node central on tota la informació es processada i es comunicada l'usuari final. El funcionament del sistema ha estat validat amb el software Telegesis Terminal del fabricant Telegesis i una aplicació en LabView que mostrava l'historial de les lectures en forma de gràfica.

### 6.2. Treball futur

Actualment els nodes s'han provat en una petita xarxa WSN on hi ha els dos nodes sensor i un node central. En un futur, aquests nodes han de ser implementats a la xarxa REALnet que hi ha al Campus del Baix Llobregat a Castelldefels que permetrà visualitzar les dades amb l'interfície web d'aquesta xarxa.

A banda de monitoritzar les dades adquirides es podria implementar un sistema que regués els arbres i plantes del campus en cas que l'humitat sigui menor a un cert llindar.

Un altre línia de treball, seria implementar la bidireccionalitat en la xarxa. En el node amb el sensor EC-5 es podria utilitzar el pin de recepció del port UART ja que ara tant sols envia dades del node sensor al central. En el sensor 5TE no es podrà efectuar aquesta bidireccionalitat a través del port UART, ja que el sensor 5TE ocupa el pin de recepció de dades en el microcontrolador. Tot i així es podrien utilitzar altres protocols de comunicació per comunicar el microcontrolador i el transceptor. D'aquesta manera es podria controlar el

temps de mesura. Seria també interessant provocar el reset del microcontrolador de forma remota i controlar l'estat de les piles.

També seria bo fer autosuficients els nodes sensor mitjançant plaques solars de tal manera que el temps de vida de 5,82 i 2,5 anys seria millorat.

L'utilització d'un microcontrolador extern com el PIC16F690 es podria estalviar fent un ús a baix nivell del microcontrolador EM250 que integren els mòduls Zigbee ETRX2 de Telegesis.

### **6.3. Impacte mediambiental**

El Campus del Baix Llobregat disposa d'un entorn propici per l'ús de tecnologies que fagin més sostenible el medi. En el projecte s'ha implementat dos nodes que monitoritzen l'humitat del sòl cosa que permet optimitzar la quantitat d'aigua que s'utilitza per regar.

El treball s'ha orientat en l'estalvi energètic minimitzant el més possible el consum amb piles AA de liti, molt més duradores que les alcalines.

S'ha triat un encapsulat on la seva instal·lació sigui la menys complexa possible, així com un tamany reduït per tal de no causar un impacte visual en la fauna i flora de l'entorn.

Gràcies a nodes sensors com aquests i els que hi han integrats a la xarxa REALnet es pot monitoritzar l'entorn fent estudis de comportament i millorar la situació ambiental.

## REFERÈNCIES

- [1] Datasheet del PIC16F690  
URL: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41262E.pdf>  
[accés 04/10]
  
- [2] Xarxa de sensors sense fils per la monitorització ambiental de l'estany del Campus del Baix Llobregat, PFC (EPSC-UPC), Febrer 2007.  
URL: <http://hdl.handle.net/2099.1/4053>  
[accés 05/10]
  
- [3] Banda de freqüències de l'estàndard Zigbee.  
URL: [http://www.zigbee.org/imwp/idms/popups/pop\\_download.asp?contentID=11745](http://www.zigbee.org/imwp/idms/popups/pop_download.asp?contentID=11745)  
[accés 07/10]
  
- [4] Característiques EM250.  
URL: [http://www.ember.com/pdf/120-0082-000\\_EM250\\_Datasheet.pdf](http://www.ember.com/pdf/120-0082-000_EM250_Datasheet.pdf)  
[accés 07/10]
  
- [5] Característiques del mòdul ETRX2 de Telegesis  
URL: [http://www.telegesis.com/products/test\\_page\\_1.htm](http://www.telegesis.com/products/test_page_1.htm)  
[accés 06/10]
  
- [6] Comandes AT mòdul ETRX2 de Telegesis  
URL: <http://www.telegesis.com/downloads/general/TG-ETRX-R212-Commands.pdf>  
[accés 04/10]
  
- [7] Característiques FIBOX PC B 65 G.  
URL: <http://es.farnell.com/fibox/pc-b-65-g/caja-policarbonato-ip67-tapa-gris/dp/1004114>  
[accés 07/10]
  
- [8] Distribuïdor Farnell  
URL: <http://es.farnell.com/>  
[accés 07/10]
  
- [9] Tipler, Paul Allen; Mosca, Gene, "Energía electrostática y capacidad", Cap. 24 en *Física para la ciencia y la tecnología*, Editorial Reverté, Barcelona, 2005, pp 699-713.

## BIBLIOGRAFIA

- García Breijo E., *Compilador C CCS y simulador Proteus para microcontroladores PIC*, Marcombo Ediciones Técnicas, Barcelona, 2009.
- Valdes Perez F.E, Pallàs Areny R., *Microcontrollers Fundamentals and Applications with PIC*, CRC press, Boca Raton, 2009.
- Alcubilla González R., Pons Nin J., Bardés Llorensí D., *Diseño digital Una perspectiva VLSI-CMOS*, Edicions UPC, Barcelona, 2001.



## ANNEX A. SENSORS CAPACITIUS

Un sensor capacitiu és un tipus de sensor elèctric que relaciona la magnitud a mesurar en funció de la variació de la capacitat d'un condensador.

Michael Faraday<sup>9</sup> va descobrir que quan l'espai entre dos conductors d'un condensador es veu ocupat per un dielèctric, la capacitat augmenta en un factor  $K$  que és característic del dielèctric [9]. La raó d'aquest increment és que el camp elèctric entre les plaques del condensador es debilita per causa del dielèctric. Així per una nova carrega determinada sobre les plaques, la diferència de potencial es redueix i la relació  $Q/V$  s'incrementa.

Considerem inicialment un condensador de plaques planes i paral·leles sense cap material dielèctric on la seva capacitat ve donada:

$$C_0 = \frac{Q}{V} = \frac{\epsilon_0 A}{d} \quad (\text{A. 1})$$

On  $\epsilon_0$  és la permitivitat dielèctrica del buit (8.85 pF/m),  $A$  és l'àrea de cada placa i  $d$  la distància entre elles. Si afegim un material dielèctric entre les seves plaques veiem que la nova capacitat  $C$  és:

$$C = K \cdot C_0 \quad (\text{A. 2})$$

Sabem que càrrega ( $Q$ ), capacitat ( $C$ ) i tensió ( $V$ ) estan relacionades tal que:

$$V = \frac{Q}{C} = \frac{Q}{K \cdot C_0} = \frac{V_0}{K} \quad (\text{A. 3})$$

D'aquesta forma la senyal física es converteix en una senyal elèctrica mesurable.

---

<sup>9</sup> Físic i químic anglès que va estudiar l'electromagnetisme i l'electroquímica (Newington 22 de Setembre de 1791, Londres 25 d'Agost de 1867). És conegut principalment pel descobriment de l'inducció magnètica i les lleis de l'electròlisi.

## ANNEX B. FULL D'ESPECIFICACIONS PRINCIPALS DEL PIC16F690

### 20-Pin Flash-Based, 8-Bit CMOS Microcontrollers with nanoWatt Technology

#### High-Performance RISC CPU:

- Only 35 Instructions to Learn:
  - All single-cycle instructions except branches
- Operating Speed:
  - DC – 20 MHz oscillator/clock input
  - DC – 200 ns instruction cycle
- Interrupt Capability
- 8-Level Deep Hardware Stack
- Direct, Indirect and Relative Addressing modes

#### Special Microcontroller Features:

- Precision Internal Oscillator:
  - Factory calibrated to  $\pm 1\%$
  - Software selectable frequency range of 8 MHz to 32 kHz
  - Software tunable
  - Two-Speed Start-up mode
  - Crystal fail detect for critical applications
  - Clock mode switching during operation for power savings
- Power-Saving Sleep mode
- Wide Operating Voltage Range (2.0V-5.5V)
- Industrial and Extended Temperature Range
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Brown-out Reset (BOR) with Software Control Option
- Enhanced Low-Current Watchdog Timer (WDT) with On-Chip Oscillator (Software selectable nominal 268 Seconds with Full Prescaler) with Software Enable
- Multiplexed Master Clear/Input Pin
- Programmable Code Protection
- High Endurance Flash/EEPROM Cell:
  - 100,000 write Flash endurance
  - 1,000,000 write EEPROM endurance
  - Flash/Data EEPROM retention: > 40 years
- Enhanced USART Module:
  - Supports RS-485, RS-232 and LIN 2.0
  - Auto-Baud Detect
  - Auto-wake-up on Start bit

#### Low-Power Features:

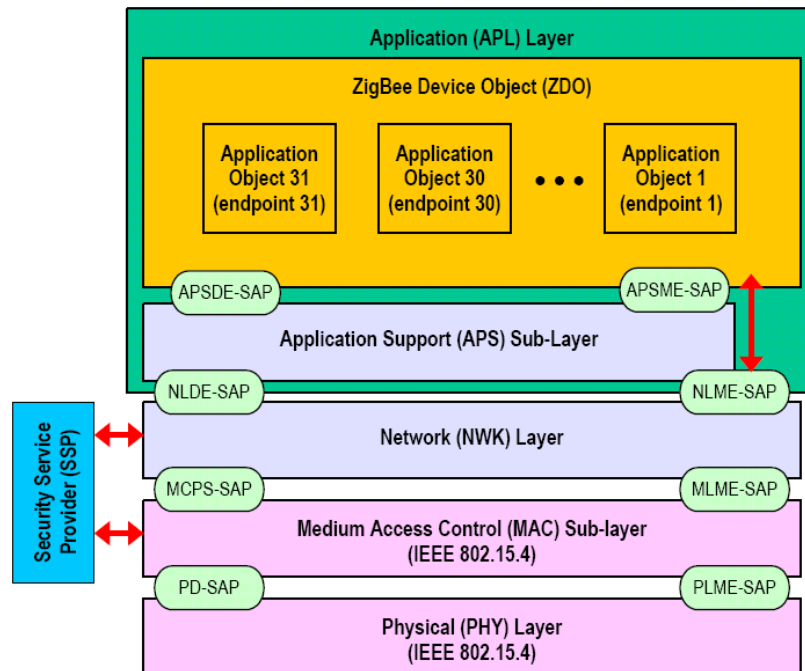
- Standby Current:
  - 50 nA @ 2.0V, typical
- Operating Current:
  - 11  $\mu$ A @ 32 kHz, 2.0V, typical
  - 220  $\mu$ A @ 4 MHz, 2.0V, typical
- Watchdog Timer Current:
  - <1  $\mu$ A @ 2.0V, typical

#### Peripheral Features:

- 17 I/O Pins and 1 Input-Only Pin:
  - High current source/sink for direct LED drive
  - Interrupt-on-Change pin
  - Individually programmable weak pull-ups
  - Ultra Low-Power Wake-up (ULPWU)
- Analog Comparator Module with:
  - Two analog comparators
  - Programmable on-chip voltage reference ( $V_{REF}$ ) module (% of  $V_{DD}$ )
  - Comparator inputs and outputs externally accessible
  - SR Latch mode
  - Timer 1 Gate Sync Latch
  - Fixed 0.6V  $V_{REF}$
- A/D Converter:
  - 10-bit resolution and 12 channels
- Timer0: 8-bit Timer/Counter with 8-bit Programmable Prescaler
- Enhanced Timer1:
  - 16-bit timer/counter with prescaler
  - External Timer1 Gate (count enable)
  - Option to use OSC1 and OSC2 in LP mode as Timer1 oscillator if INTOSC mode selected
- Timer2: 8-bit Timer/Counter with 8-bit Period Register, Prescaler and Postscaler
- Enhanced Capture, Compare, PWM+ Module:
  - 16-bit Capture, max resolution 12.5 ns
  - Compare, max resolution 200 ns
  - 10-bit PWM with 1, 2 or 4 output channels, programmable "dead time", max frequency 20 kHz
  - PWM output steering control
- Synchronous Serial Port (SSP):
  - SPI mode (Master and Slave)
- I<sup>2</sup>C™ (Master/Slave modes):
  - I<sup>2</sup>C™ address mask
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via Two Pins

## ANNEX C. PILA ZIGBEE i IEEE 802.15.4

La **Fig. C. 1** mostra la pila del protocol IEEE 802.15.4 juntament amb l'especificació Zigbee, basant-se amb el model de referència de la pila de protocols OSI de la ISO (International Standard Organization). Les dues primeres capes, la capa física (PHY) i la de control d'accés al medi (MAC), corresponen al protocol IEEE 802.15.4 mentre que les capes de més alt nivell pertanyen a l'especificació Zigbee.



**Fig. C. 1** Pila de protocol de l'estàndard IEEE 802.15.4 i de l'especificació Zigbee.

La capa física realitza les funcions de detecció d'energia del canal, activació i desactivació del transceptor de radio, indicació de la qualitat de l'enllaç, selecció del canal de comunicació, avaluació de l'estat del canal i la transmissió i recepció a través del canal radio.

En una capa superior es troba la capa control d'accés al medi, que a través del protocol CSM/CA comprova abans de transmetre, l'absència de tràfic en un medi compartit.

La capa de xarxa, la primera capa definida per l'especificació Zigbee, s'encarrega d'oferir un enllaç entre la capa d'accés al medi i la capa d'aplicació. Aquesta capa suporta models de xarxa en estrella, malla i arbre on en tots aquests models hi ha un sol node que actua com a coordinador.

Per últim, tenim la capa d'aplicació que el Zigbee defineix en dos blocs: Zigbee ZDO (Zigbee Device Objects) i el suport a l'aplicació APS (Application support

sublayer). El ZDO s'encarrega de la definició del rol que realitza cada dispositiu de la xarxa i els serveis que ofereixen. Amb aquesta informació pot establir enllaços segurs amb dispositius externs i contestar peticions d'associació a la xarxa. Per altre banda, el APS opera com a punt d'unió entre el nivell de xarxa i la resta d'objectes implementats pel fabricant. També és qui manté actualitzada la taula de dispositius a la xarxa, en forma de base de dades.

# ANNEX D. FULL D'ESPECIFICACIONS PRINCIPALS DEL ETRX2



## MODULE FEATURES

- Small form factor, SMT module 37.75 x 20.5mm.
- Optional board-to-board or board-to-cable connector.
- 3 antenna options: Integrated ceramic antenna, Hirose U.FL coaxial connector or single port 50Ω pad.
- XAP16b microcontroller with non-intrusive debug interface (SIF).
- 128k flash and 5kbytes of SRAM.
- UART interface with DMA, optional software support for hardware I<sup>2</sup>C and SPI.
- Wide supply voltage range (2.1 to 3.6V).
- Module ships with standard Telegesis AT-style software interface based on the EmberZnet 2.xx meshing stack.
- Can act as an End Device, Router or Coordinator.
- 12 general-purpose I/O lines and 2 analogue inputs (all 17 GPIOs of the SN250 are accessible).
- Supports 4 different power modes for extended battery life.
- Current consumption below 1uA in deep sleep mode with self wakeup.
- Firmware upgrades via RS232 or over the air (password protected).
- Hardware supported encryption (AES-128).
- Tested for CE and FCC compliance (with integrated antenna), FCC modular approval.
- Operating temperature range: -40°C to +85°C.
- Future Options: On board, low power voltage regulator, DC/DC regulator and watch crystal.

## RADIO FEATURES

- Based on the Ember Corporation EM250 single chip ZigBee / IEEE802.15.4 solution.
- 2.4GHz ISM Band.
- 250kbit/s over the air data rate – NB Actual usable data throughput with ZigBee is 20kbps.
- 16 channels (802.15.4 Channel 11 to 26).
- +3dBm output power (+5dBm in boost mode).
- High sensitivity of -98dBm typ. at 1% packet error rate.
- Hardware acceleration for IEEE 802.15.4 compliant transmissions.

## ETRX2 – (ZigBee Technology) Wireless Mesh Networking Module

The Telegesis ETRX2 module is a low power, 2.4GHz ISM band transceiver, based upon the Ember Corporation EM250 single chip ZigBee / IEEE802.15.4 solution and EmberZNet 2.xx meshing technology.

Designed for integration into any device without the need for RF expertise the ETRX2 enables you to add powerful wireless networking capability to your products and bring them quickly to market. The comprehensive Telegesis AT command line interface allows for quick integration without complex software engineering.

## SUGGESTED APPLICATIONS

- AMR – Automatic Meter Reading.
- Wireless Alarms and Security.
- Home/Building Automation.
- Wireless Sensor Networks.
- M2M Industrial Controls.
- Future ZigBee systems.
- PC Peripherals.
- IEEE 802.15.4 Systems.
- Item Tracking.

## DEVELOPMENT KITS

- Two complementary development kits consisting of two or three modules and a single development board with USB connectivity and I/O breakouts.
- AT-style software interface command dictionary can be modified for high volume customers.
- Custom software development available upon request.

## EXAMPLE AT-STYLE COMMANDS

AT+BCAST	Sends a Broadcast
AT+UCAST:<address>	Sends a Unicast
AT+EN	Establish PAN network

Unlike many other module command layers the Telegesis AT-Style command set fully mirrors the functionality of the EmberZNet mesh networking stack. With the ETRX2 module there is therefore no requirement for any embedded firmware expertise when engineering your mesh networking solution.

**The ETRX2 is available in Power Amplified form – see ETRX2-PA for range & specification details.**

## ANNEX E. COMANDES AT DEL ETRX2

En aquest annex es mostren les 40 comandes AT que disposem pels dispositius ETRX-2.

Comanda	Descripció
ATI	Mostra 'identificació.
ATZ	Reset del software.
AT&F	Restaura la configuració de fàbrica.
AT+BLOAD	Recàrrega el firmware.
AT+CLONE	Copia el firmware local a un altre node.
AT+RECOVER	Reinicia el dispositiu en cas que falli la copia del firmware local.
ATS	Accés als registres S locals.
ATSALL	Escriu tots els registres S remots.
AT+TOKDUMP	Ensenya tots els registres S locals.
ATSREM	Accés als registres S remots.
AT+ESCAN	Escaneig de l'energia de tots els canals.
AT+EN	Estableix una xarxa PAN (Personal Area Network).
AT+JN	S'uneix a la millor xarxa.
AT+PANSCAN	Escaneig de les PAN actives.
AT+JPAN	S'uneix a una xarxa específica
AT+DASSL	Es desuneix el dispositiu local de la PAN.
AT+DASSR	Es desuneix el dispositiu remot de la PAN.
AT+NTABLE	Mostra la taula de veïns.
AT+N	Mostra els paràmetres de la xarxa.
AT+CTABLE	Mostra la llista local de fils de la PAN.
AT+PARENT	Mostra l' identitat del pare de la PAN.
AT+POLL	Pregunta al pare de la PAN per nova informació.
AT+SN	Escaneig la xarxa per buscar altres nodes.
AT+REMSN	Escaneig la xarxa per dispositius remots de veïns directes.
AT+LINKCHECK	Comprova els paràmetres de connexió amb els veïns directes.
AT+PING	Indica la presència en la xarxa.
AT+BCAST	Transmissió d'un broadcast.
AT+BCASTB	Transmissió d'un broadcast de informació binària.
AT+UCAST	Transmissió d'un unicast.
AT+UCASTB	Transmissió d'un unicast de informació binària.

AT+SCAST	Transmissió d'informació al sink.
AT+ SCASTB	Transmissió d'informació binària al sink.
AT+SSINK	Busca un sink.
AT+SINK	Mostra l'identitat del sink.
AT+OPCHAN	Obre un canal amb el node remot.
+++	Tanca el canal.
AT+OPLCHAN	Obre un canal limitat amb el node remot.
AT+ACKCHAN	Accepta un canal.
AT+RDATA	Envia informació binària bruta.
AT+IDENT	Fa sonar un vibrador en un placa remota devboard del mòdul ETRX2DVKA.

## ANNEX F. CONFIGURACIONS DELS REGISTRES DEL ETRX2

A continuació es poden apreciar els registres configurats pel node sensor i el node coordinador. Comentar que només hem modificat els registres necessaris per complir la tasca desitjada, els altres els hem deixat tal i com venien de fàbrica.

Registre	Descripció	Node sensor	Node coordinador
S00	Mascara de canals	0012	0012
S01	Identificador preferit de xarxa	0012	0012
S02	Potència de transmissió	0	0
S03	Contrasenya d'enciptació	<hidden>	<hidden>
S04	Nom identificatiu del sensor definit per l'usuari	SENSOR	SINK
S05	Contrasenya per l'informació de l'identitat.	0000	0000
S06	Funcions principals	0202	0102
S07	Funció extensa 1	0000	0000
S08	Funció extensa 2	0000	0000
S09	Contrasenya	<hidden>	<hidden>
S0A	Número de firmware	212X	212X
S0B	Configuració del UART	0000	0000
S0C	Activació del Pull-up.	0000	0000
S0D	Direcció de l'informació en el mòdul I/O.	0FFC	0FFC
S0E	Configuració inicial de S0D	FFFC	FFFC
S0F	Buffer de sortida del mòdul I/O	00F0	00F0
S10	Configuració inicial de S0F	00F0	00F0
S11	Buffer d'entrada del I/O	00F3	00F3
S12	Lectura del A/D1	04B0	04B0



S13	Lectura del A/D2	04B0	04B0
S14	Lectura del A/D3	FFFF	FFFF
S15	Funcionalitat a l'interrupció IRQ0	0004	0000
S16	Funcionalitat a l'interrupció IRQ1	0001	0000
S17	Timer/Counter 0	0004	0004
S18	Funcionalitat del Timer/Counter 0	0011	0011
S19	Timer/Counter 1	00F0	00F0
S1A	Funcionalitat del Timer/Counter 1	0013	0013
S1B	Timer/Counter 2	00F0	00F0
S1C	Funcionalitat del Timer/Counter 2	0014	0014
S1D	Timer/Counter 3	00F0	00F0
S1E	Funcionalitat del Timer/Counter 3	0016	0016
S1F	Timer/Counter 4	0000	0000
S20	Funcionalitat del Timer/Counter 4	0000	0000
S21	Timer/Counter 5	0000	0000
S22	Funcionalitat del Timer/Counter 5	0000	0000
S23	Timer/Counter 6	0000	0000
S24	Funcionalitat del Timer/Counter 6	0000	0000
S25	Funcionalitat inicial del Timer/Counter 6	0000	0000
S26	Timer/Counter 7	0000	0000
S27	Funcionalitat del Timer/Counter 7	0000	0000
S28	Funcionalitat inicial del Timer/Counter 7	0000	0000
S29	Estat de consum	00	00
S2A	Estat inicial de consum	00	00
S2B	Conté el text A utilitzat per algunes de les funcions a elegir de les interrupcions	BUTTON3	BUTTON3
S2C	Conté el text B utilitzat per algunes de les funcions a elegir	BUTTON4	BUTTON4

	de les interrupcions		
S2D	Conté l'identitat EU164 del pare en cas que l'unitat sigui SED o MED	<n/a>	<n/a>
S2E	Configuració específica del dispositiu.	000A	0005
S2F	Operació en la funció especial pin1	3A98	3A98
S30	Configuració inicial de S2F	3A98	3A98
S31	Operació en la funció especial pin 2	1D4C	1D4C
S32	Configuració inicial de S31	1DAC	1DAC
S33	Voltatge d'alimentació (mV)	2573	3284

# ANNEX G. FULL D'ESPECIFICACIONS PRINCIPALS DE LES PILES ENERGIZER L91

## PRODUCT DATASHEET



1-800-383-7323 US/CAN  
www.energizer.com

### ENERGIZER L91 Ultimate Lithium



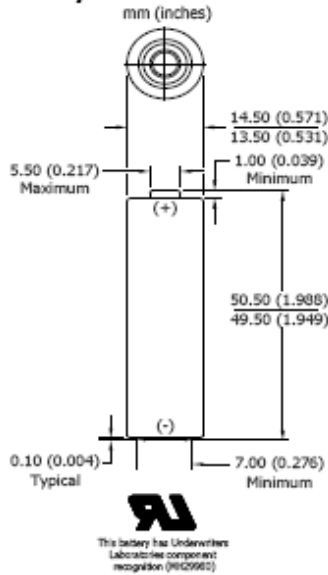
### Specifications

**AA**

**Classification:** "Cylindrical Lithium"  
**Chemical System:** Lithium/Iron Disulfide (Li/FeS<sub>2</sub>)  
**Designation:** ANSI 15-LF, IEC-FR6  
**Nominal Voltage:** 1.5 Volts  
**Storage Temp:** -40°C to 60°C (-40°F to 140°F)  
**Operating Temp:** -40°C to 60°C (-40°F to 140°F)  
**Typical Weight:** 14.5 grams (0.5 oz.)  
**Typical Volume:** 8.0 cubic centimeters (0.5 cubic inch)  
**Max Discharge:** 2.0 Amps Continuous  
 (single battery only)  
**Max Rev Current:** 3.0 Amps Pulse (2 sec on / 8 sec off)  
 2 uA  
**Typical Li Content:** 0.98 grams (0.03 oz.)  
**Typical IR:** 90 to 150 milliohms\*  
**Shelf Life:** 15 years at 21°C (90% of rated capacity)  
**Transportation:** For complete details, please reference:  
 Global (except US): Special Provision A45 of the International  
 Air Transport Association Dangerous  
 Goods Regulations  
 United States: 49 CFR 173.185

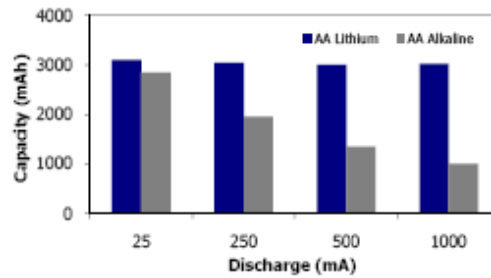
\* For additional information, please reference the IR technical white paper

### Industry Standard Dimensions



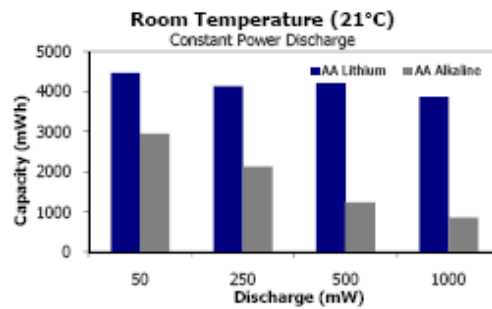
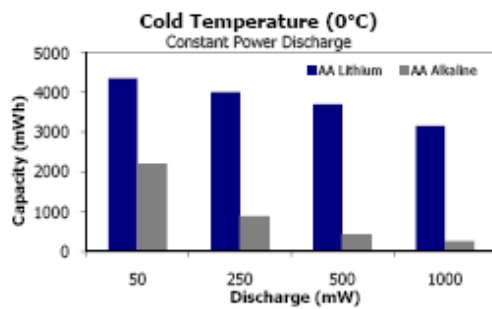
### Milliamp-Hours Capacity

Constant Current Discharge to 0.9 Volts at 21°C



### Milliwatt-Hours Capacity at Cold/Room Temperature

Constant Power Discharge to 1.0 Volts at 0°C and 21°C



### Important Notice

This datasheet contains typical information specific to products manufactured at the time of its publication.  
 ©Energizer Holdings, Inc. - Contents herein do not constitute a warranty.

## ANNEX H. CIRCUITS IMPRÈS DELS NODES

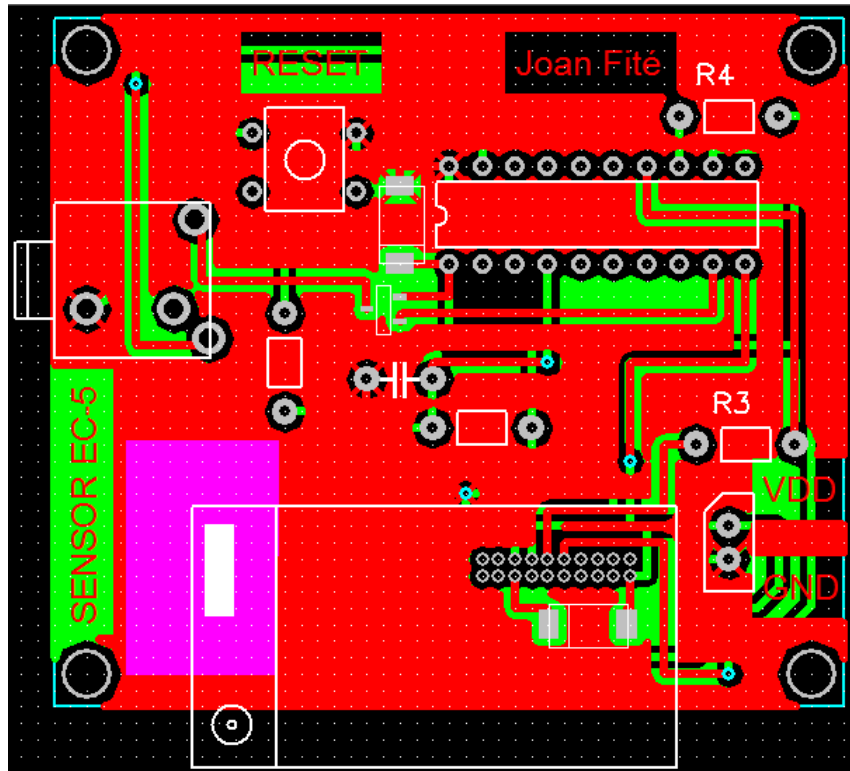


Fig. H. 1 Circuit imprès del node amb el sensor EC-5

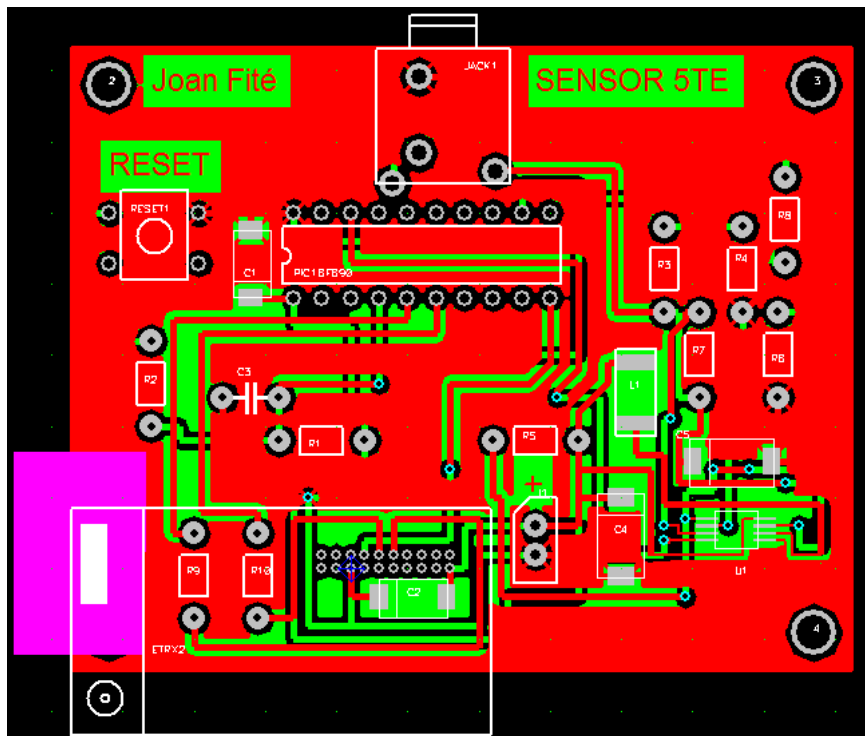


Fig. H. 2 Circuit imprès del node amb el sensor 5TE

## ANNEX I. CLASSIFICACIÓ D'ENCAPSULATS SEGONS LA NORMATIVA IP

	Primer dígit (protecció contra sòlids)	Segon dígit (protecció sobre líquids)
IP0	Sense protecció	Sense protecció
IP1	Protegit contra objectes sòlids de més de 50mm	Protegit contra degoteig vertical
IP2	Protegit contra objectes sòlids de més de 12mm	Protegit contra rajos d'aigua fins a 15° de la vertical
IP3	Protegit contra objectes sòlids de més de 2.5mm	Protegit contra ruixats d'aigua fins a 60° de la vertical
IP4	Protegit contra objectes sòlids de més de 1mm.	Protegit en totes direccions contra ruixats d'aigua
IP5	Protegit contra una quantitat limitada de pols	Protegit en totes direccions contra potents raigs d'aigua
IP6	Totalment protegit contra el pols.	Protegit en totes direccions contra onades del mar
IP7	-	Protegit sota immersió fins a 1m
IP8	-	Protegit sota immersió de més de 1m

## ANNEX J. PREU DETALLAT DELS NODES

Les figures **Fig. J. 1** i **Fig. J. 2** mostren el preu total dels nodes detallat component a component. El preu de tots els components són els del Distribuidor Farnell [9] a Juliol del 2010.

Component	Preu unitari	Quantitat	Preu
EC-5	90,95	1	90,95
ETRX2	22,81	1	22,81
PIC16F690	2,55	1	2,55
R 10k	0,0125	1	0,0375
R 100	0,0125	1	0,0125
C 100nF	0,15	1	0,15
C 100nF SMD	0,15	2	0,3
Zocal 20 pins	0,26	1	0,26
Pulsador	0,61	1	0,61
Jack estèreo	0,682	1	0,682
Conector mascle polaritzat	0,5	1	0,5
Conectar femella polaritzat	0,5	1	0,5
Porta piles AA	3,04	1	3,04
Energizer L91	3,4425	2	6,885
FDN304P	0,62	1	0,62
FIBOX PC B 65 G	22,25	1	22,25
Separador	0,155	4	0,62
Visos	0,0161	4	0,0644
Antena ETRX2	16,39	1	16,39
TOTAL			169,21

**Fig. J. 1** Preu detallat del node amb el sensor EC-5

Component	Preu unitari	Quantitat	Preu
5TE	283,05	1	283,05
ETRX2	22,81	1	22,81
PIC16F690	2,55	1	2,55
R 10k	0,0125	1	0,0125
R 100	0,0125	1	0,0125
C 100nF	0,15	1	0,15
R 430K	0,0125	2	0,025
R 200K	0,0125	1	0,0125
R 300k	0,0125	1	0,0125
R 1M	0,0125	1	0,0125
C 47uF	0,15	2	0,3
L 20uH	3,78	1	3,78
R 360K	0,0125	1	0,0125
MAX1795	8,78	1	8,78
C 100nF SMD	0,15	2	0,3
Zocal 20 pins	0,26	1	0,26
Pulsador	0,61	1	0,61
Jack estèreo	0,682	1	0,682
Conector mascle polaritzat	0,5	1	0,5
Conectar femella polaritzat	0,5	1	0,5
Porta piles AA	3,04	1	3,04
Energizer L91	3,4425	2	6,885
FIBOX PC B 65 G	22,25	1	22,25
Separador	0,155	4	0,62
Visos	0,0161	4	0,0644
Antena ETRX2	16,39	1	16,39
TOTAL			373,62

**Fig. J. 2** Preu detallat del node amb el sensor 5TE