Implementació d'un sistema de mesura ambiental portàtil alimentat amb energia solar

Marc Soler Vallespir, B. Alorda

PFC d'Enginyeria Tècnica Industrial, especialitat en Electrònica Industrial
msoler87@gmail.com

***Resum*— El present document mostra el procés realitzat en el projecte de fi de carrera que ha consistit en el disseny i fabricació d'un sistema de mesura ambiental incorporat en una motxilla. El sistema està dividit en dos mòduls: alimentació i mesura.**

El mòdul d'alimentació adapta l'energia procedent de la radiació solar a les necessitats del sistema per garantir el seu funcionament. L'energia requerida també pot provenir d'una connexió a la xarxa elèctrica. A més, el sistema carrega unes bateries recarregables que també serveixen com a font d'entrada d'energia.

El mòdul de mesura capta la informació de diferents paràmetres meteorològics a través de sensors i guarda aquestes dades en una memòria externa extraïble. En aquesta memòria es crea un fitxer amb les dades que és accessible a través d'un ordinador, amb el qual es podran visualitzar els resultats. A més, el sistema té implementada una interfície per connectar-hi un mòdul GPS.

I. Introducció

A través de l'estudi dels fenòmens que ocorren a l'atmosfera, la meteorologia tracta de definir el clima, predir el temps, comprendre la interacció de l'atmosfera amb altres subsistemes, etc. El coneixement de les variacions climàtiques ha estat sempre de gran importància per al desenvolupament de l'agricultura, la navegació, les operacions militars i la vida en general.

Avui en dia, hi ha petites estacions meteorològiques portàtils que permeten prendre mesures amb més llibertat i flexibilitat que les tradicionals estacions de camp. En el grup de Sistemes Electrònics de la Universitat de les Illes Balears s'està iniciant el desenvolupament de sistemes que utilitzin sensors atmosfèrics juntament amb dispositius de posicionament global. Aquest projecte s'emmarca dins aquesta iniciativa.

El disseny global del sistema dissenyat es pot veure a la figura 1.

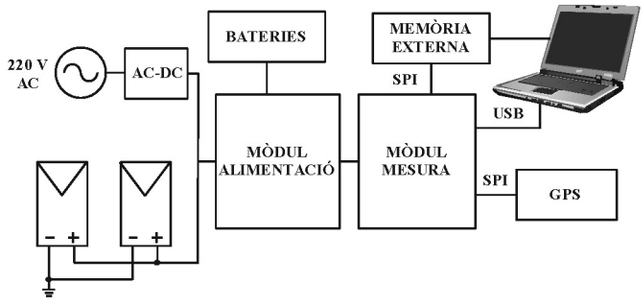

Fig. 1 Esquema global del sistema

El mòdul d'alimentació obté l'energia necessària per al funcionament del sistema a partir de dos panells solars connectats en paral·lel, alimentació externa o bateries, i el mòdul de mesura capta dades ambientals de temperatura, humitat relativa i pressió atmosfèrica i les guarda en una memòria externa.

II. Mòdul d'Alimentació

A. Especificacions

La funció principal d'aquest mòdul és obtenir un senyal en contínua estable per alimentar el mòdul de mesura i que aquest pugui funcionar correctament.

L'elecció de la font d'entrada (panells solars o xarxa elèctrica) es fa de manera automàtica.

Simultàniament, el sistema carrega unes bateries recarregables que serveixen per alimentar el mòdul de mesura quan cap de les dues fonts d'entrada estan disponibles.

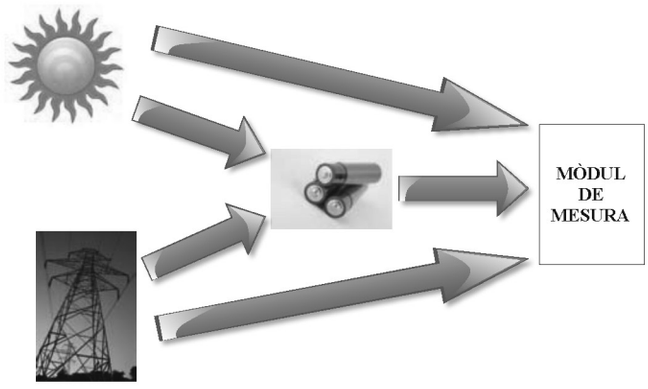

Fig. 2 Possibles fonts d'alimentació del mòdul de mesura

B. Disseny en blocs funcionals

El disseny del mòdul d'alimentació es pot veure a la figura 3. S'utilitza un convertidor dc-dc configurat com a reductor-elevador connectat a la sortida de les dues fonts d'entrada. La potència que proporcionen els dos panells solars pot variar significativament respecte als valors que indica el fabricant, ja que aquests valors només es donen en situacions estàndards. En realitat el corrent elèctric que generen els panells solars depèn de diferents factors com la irradiància del Sol, l'angle d'incidència dels rajos solars o la temperatura dels panells. El fet d'utilitzar un convertidor dc-dc del tipus reductor-elevador garanteix un nivell de voltatge estable a la sortida del

convertidor tant si la diferencia de potencial dels panells és menor o major a aquesta tensió de sortida.

Per carregar les bateries s'utilitza un circuit integrat que detecta la presència de bateries connectades i mitjançant un algoritme controla el procés de càrrega de manera eficient i segura.

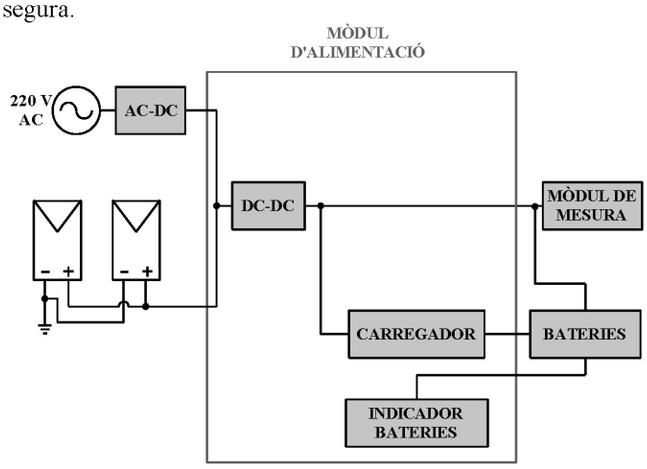

Fig. 3 Disseny en blocs funcionals del mòdul d'alimentació

C. Descripció dels principals components

1) Panell solar

Actualment disposem d'aparells que ens permeten convertir directament l'energia solar en altres formes d'energia. Així, les cèl·lules fotovoltaiques ens permeten obtenir directament electricitat a partir de la llum que ens arriba provinent del Sol i es poden utilitzar diferents processos, però tots aquests es basen en el mateix principi: l'efecte fotovoltaic.

L'efecte fotovoltaic consisteix en la conversió de llum (energia llumínica) en energia elèctrica. D'aquí prové el seu nom, conversió de fotons (partícules de llum) en un potencial elèctric (Volt), utilitzable com a font d'energia.

El sistema disposa de dos petits panells solars policristal·lins del fabricant *BP SOLAR* connectats en paral·lel. El model dels panells és el *MSX-01* que té les següents principals característiques:

TAULA I
CARACTERÍSTIQUES ELÈCTRIQUES DEL PANELL SOLAR [1]

Paràmetre	Valor	Unitat
Potència màxima (P_M)	1.2	W
Tensió nominal (V_N)	6	V
Tensió amb potència màxima (V_M)	7.5	V
Corrent típic a V_M (I_M)	150	mA
Tensió en circuit obert (V_{OC})	10.3	V
Corrent de curtcircuit (I_{SC})	160	mA

Aquests valors s'obtenen sota les condicions STC (*Standard Test Conditions*) que són de 1000W/m^2 de irradiància, 25ºC de temperatura del panell i una massa d'aire de 1.5. El corrent i la potència de sortida del panell són aproximadament proporcionals a la intensitat de la radiació. A un determinat nivell de radiació, el voltatge de sortida del panell ve determinat per les característiques de la càrrega.

2) Convertidor ac-dc

És un component bàsic dins qualsevol sistema electrònic que proporciona una tensió continua fixa i estable a partir d'una tensió alterna d'entrada. També es coneix com a font d'alimentació. Dins un convertidor ac-dc es troben 4 blocs: transformador, rectificador, filtre i regulador.

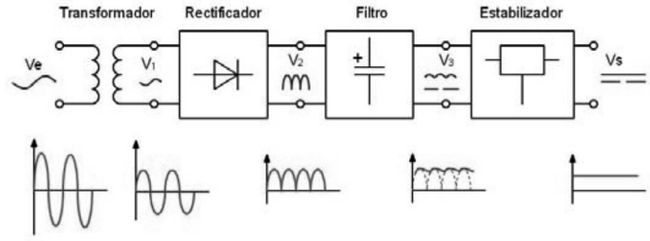

Fig. 3 Blocs d'un convertidor ac-dc [2]

En aquest sistema el senyal d'entrada prové de la xarxa elèctrica (220V i 50 Hz) i la sortida és de 6V i 500 mA.

3) Convertidor dc-dc

Un convertidor dc-dc és un circuit electrònic de potència que converteix una tensió contínua en un altre nivell de tensió contínua. Els principals convertidors dc-dc sense aïllament són el reductor, l'elevador i el reductor-elevador.

El convertidor seleccionat és el model LTC1624 del fabricant *Linear Technology*, que pot funcionar amb qualsevol de les 3 varietats.

En aquest cas el convertidor s'ha dissenyat per funcionar com SEPIC (*Single Ended Primary Inductor Converter*) que és un tipus de reductor-elevador amb aïllament galvànic. El seu ús es degut a la resposta canviant que presenten els panells solars.

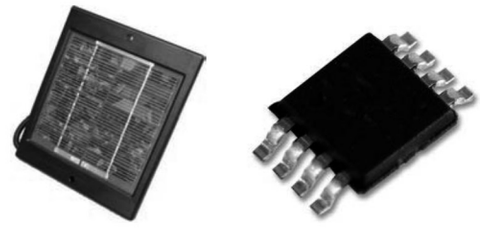

Fig. 4 Panell solar i convertidor dc-dc utilitzats [1]

4) Bateries

S'utilitzen 8 bateries recarregables per acumular energia elèctrica que pugui servir quan cap de les dues fonts d'entrada estan disponibles (panells solars i alimentació externa). Les bateries utilitzades són de níquel i hidrur metàl·lic (Ni-MH) amb una capacitat nominal de 2400mA/h.

5) Carregador

Per carregar les bateries s'ha de fer circular corrent elèctric a través d'elles. El control del procés de càrrega es fa mitjançant l'integrat *BQ2000T* de *Texas Instruments*. Es tracta d'un circuit integrat de 8 pins que primer detecta el tipus de

bateries connectades i després les carrega seguint un algoritme. Permet carregar les bateries amb un procés de càrrega ràpida i el procés de càrrega s'atura automàticament quan les bateries estan totalment carregades per evitar possibles danys.

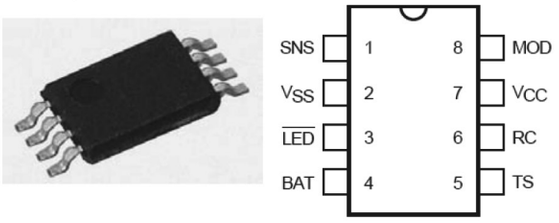

Fig. 5 Integrat *BQ2000T* i disposició dels pins [1]

El procés de càrrega és el següent:
- Inicialització i pre-càrrega.
- Càrrega ràpida
- Detecció de final de càrrega
- Carrega de manteniment

6) Indicador de bateries

El fet de tractar-se d'un sistema portàtil i que, en ocasions, el seu correcte funcionament depengui exclusivament de que el nivell de càrrega de les bateries sigui suficient, resulta útil disposar d'un sistema que indiqui en cada instant el nivell de càrrega de les bateries.

S'utilitza un circuit amb dos diodes LED (un verd i un vermell) per indicar el nivell de càrrega de les bateries.

TAULA III
ESTAT DE LES BATERIES SEGONS L'INDICADOR

LED verd (D13)	LED vermell (D14)	Bateries
Encès	Encès	OK
Apagat	Encès	Necessiten càrrega
Apagat	Apagat	Descarregades

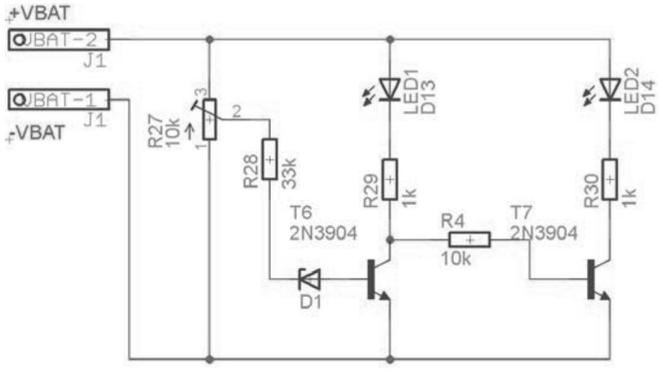

Fig. 6 Disseny esquemàtic de l'indicador de bateries

D. Disseny esquemàtic

Amb els components seleccionats i els seus respectius circuits de condicionament es realitza el disseny esquemàtic del mòdul d'alimentació mitjançant el software EAGLE. En aquest disseny s'estableixen les diferents connexions elèctriques i els valors dels components.

E. Layout

Un cop dissenyat l'esquema elèctric, es realitza el disseny de la placa de circuit imprès, PCB (*Printed Circuit Board*). Aquest disseny es coneix com a *layout* i consisteix en elegir la ubicació dels diferents components damunt la placa i definir les traces de les pistes de senyal.

El *layout* del mòdul d'alimentació es pot veure a la figura 7. La PCB ha estat dissenyada en dues capes i s'ha utilitzat un pla de massa a la capa inferior. D'aquesta manera es simplifica l'espai i es millora el rendiment elèctric.

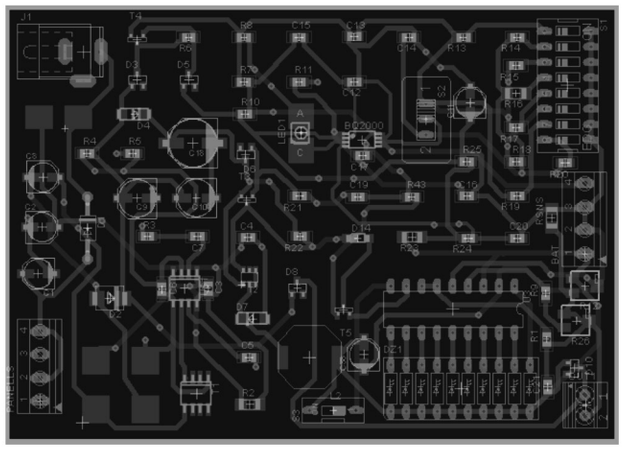

Fig. 7 *Layout* del mòdul d'alimentació

L'indicador de càrrega definitiu s'ha implementat en una petita placa separada que es connecta directament al connector de les bateries de la placa d'alimentació.

F. Prototipus

A partir del *layout* es porta a terme el procés de fabricació de la PCB. Per això s'utilitza una màquina fresadora que perfora els terminals del components sobre la PCB i realitza les pistes de senyal. A continuació es realitza el metal·litzat de la PCB mitjançant diferents processos químics.

Una vegada fabricat el circuit imprès, s'inicia el procés de soldadura del diferents components. A la següent figura es pot observar el resultat final de mòdul d'alimentació:

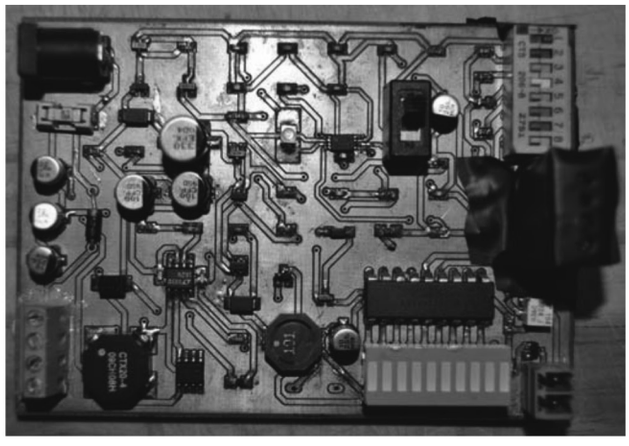

Fig. 8 Prototipus del mòdul d'alimentació

III. Mòdul de Mesura

A. Especificacions

La funció principal d'aquest mòdul és obtenir els valors de diferents paràmetres ambientals per mitjà de sensors. Aquests paràmetres seran la temperatura, la pressió atmosfèrica i la humitat relativa.

L'alimentació necessària pel funcionament d'aquest mòdul prové del mòdul d'alimentació dissenyat.

El sistema guarda les dades dels sensors en una memòria externa. Aquestes dades es podran visualitzar a un ordinador connectant-hi aquesta memòria.

Aquest mòdul també té instal·lada una interfície per connectar-hi un mòdul GPS.

B. Disseny en blocs funcionals

El disseny del mòdul de mesura es pot veure a la figura 9. El sistema de control es realitza per mitjà d'un microcontrolador que capta la informació dels sensors i processa aquestes dades per guardar-les en una memòria externa.

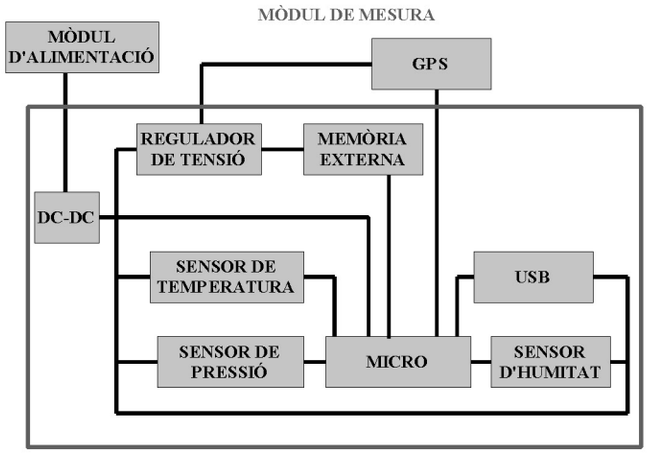

Fig. 9 Disseny en blocs funcionals del mòdul de mesura

C. Descripció dels principals components

1) Microcontrolador

Els microcontroladors són dispositius programables capaços de realitzar diferents activitats que requereixen els processament de dades digitals i el control i comunicació de diferents dispositius. En aquest projecte s'utilitza un microcontrolador PIC (*Programable Integrated Circuit*) del fabricant *Microchip*. El model escollit és el PIC18F2455.

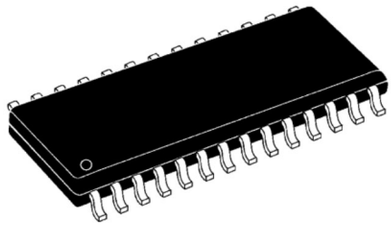

Fig. 10 Prototipus del mòdul d'alimentació [1]

Disposa de 24 línies d'entrada i sortida, 2K bytes de RAM i 256 bytes de ROM. A més, porta incorporat el protocol de comunicació USB. Pel seu correcte funcionament necessita un senyal de rellotge que es genera amb un oscil·lador extern de 4MHz.

2) Sensor de temperatura

El sensor de temperatura seleccionat és el model *MCP9801* de *Microchip*. És un sensor digital capaç de mesurar temperatures entre -55ºC i +125ºC amb una precisió de 1ºC (per temperatures entre -10ºC i +85ºC) de i amb una resolució que es pot seleccionar entre 9 i 12 bits.

La principal causa que justifica l'elecció d'aquest sensor és la seva bona relació qualitat/preu. El rang de mesura és molt ampli i la precisió és suficient per a les característiques del projecte.

Fig. 11 Sensor de temperatura MCP9801 i disposició dels pins [1]

La comunicació entre el sensor i el PIC es fa a través de I2C, que és un bus de comunicacions sèrie síncron molt utilitzat a la indústria principalment per comunicar circuits integrats entre sí que es troben en un mateix circuit imprès, com és el cas. Mitjançant una transferència de lectura el PIC obté del sensor el valor de la temperatura.

3) Sensor d'humitat

El sensor d'humitat escollit és el model *HCH-1000-001* del fabricant *Honeywell*. Es tracta d'un sensor capacitiu fabricat amb tecnologia de semiconductors que ofereix una gran resistència a la contaminació. És un dels sensors d'humitat més econòmics del mercat encara que les seves especificacions tècniques són suficients i acceptables per aquest disseny.

Necessita un circuit de condicionament de senyal per transformar la variació de capacitat en una altra magnitud fàcil de mesurar. El fabricant recomana utilitzar un circuit que genera un conjunt de polsos de freqüència a la sortida utilitzant el model d'oscil·lador 555 (figura 12).

Connectant la sortida del 555 al microcontrolador es pot determinar fàcilment el període del senyal, i a partir de les fórmules que aporta el fabricant s'obté el valor de la humitat relativa.

4) Sensor de pressió atmosfèrica

El sensor escollit per mesurar la pressió atmosfèrica és el model *MPXH6300A* del fabricant *Freescale Semiconductor*. És un circuit integrat amb un petit sensor de silici per mesurar la pressió absoluta. A més, en el propi encapsulat s'inclou un circuit de condicionament de senyal i elements per a la compensació i calibratge en funció de la temperatura.

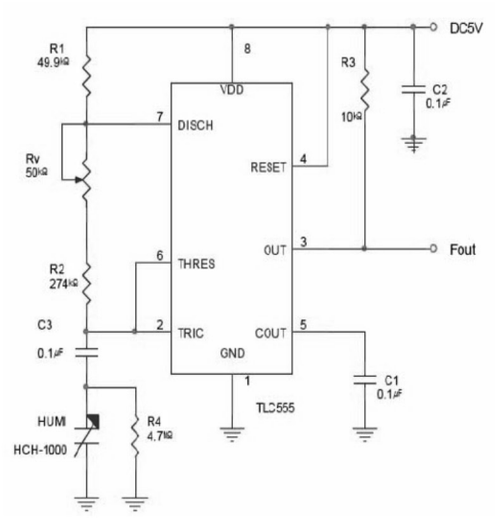

Fig. 12 Circuit de condicionament del sensor d'humitat [1]

El mòdul de condicionament, format per un amplificador operacional bipolar i un conjunt de resistències proporciona un senyal de sortida analògic compensat a la temperatura i que varia al llarg d'un ampli rang en funció de la pressió aplicada.

La sortida del sensor es connecta directament al convertidor analògic-digital del PIC i es calcula la tensió de sortida. A través de la fórmula del fabricant s'obté el valor de la pressió atmosfèrica.

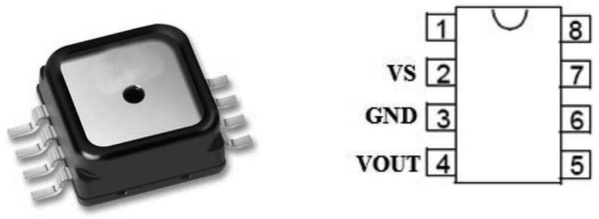

Fig. 13 Sensor de pressió MPXH6300A i disposició dels pins [1]

5) Targeta de memòria SD

Per aquest sistema és necessari l'ús d'una memòria externa, ja que les memòries que porten incorporades els PICs comercials no són suficients. L'objectiu d'aquest sistema de mesura ambiental portàtil és capturar les dades dels sensors de forma regular i emmagatzemar-les en una memòria que no es buidarà fins que no es transmetin a un ordinador.

Per guardar les dades s'utilitza una targeta de memòria flash SD. L'ús d'aquest tipus de memòries es troba a la majoria de dispositius portàtils que requereixen guardar grans quantitat de dades (càmeres, reproductors multimèdia, etc.).

Fig. 14 Targeta de memòria SD

D. Layout

Una vegada implementat el disseny esquemàtic es realitza el disseny del *layout*. El resultat es pot veure a la figura 15. S'ha dividit en dos blocs: part analògica i part digital. S'utilitzen dos plans de massa, un per a cada part, i s'uneixen en un únic punt mitjançant un nucli de ferrita. D'aquesta manera s'aconsegueix reduir el renou electromagnètic.

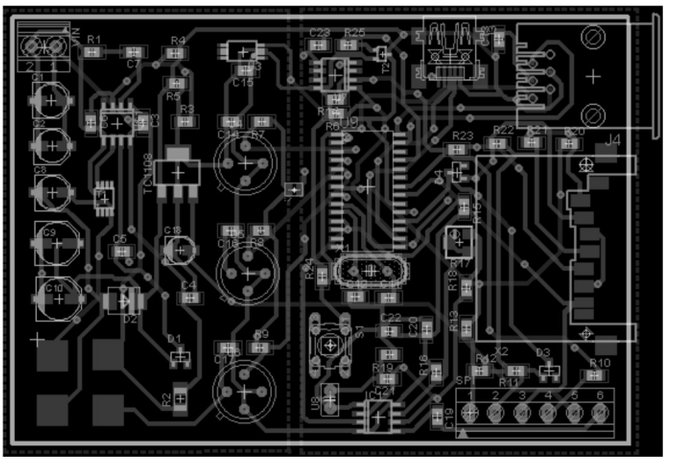

Fig. 15 *Layout* del mòdul de mesura

E. Prototipus

El resultat del mòdul de mesura una vegada soldats tots els components es pot veure a la següent figura:

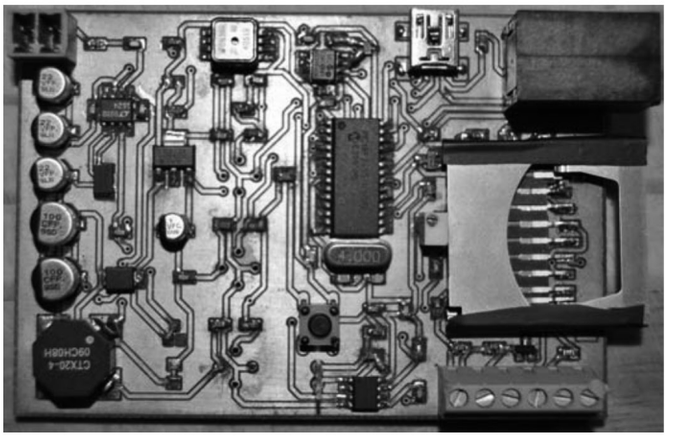

Fig. 16 Prototipus del mòdul de mesura

E. Disseny del software

Per a que el sistema realitzi totes les funcions desitjades s'ha de programar el PIC. El llenguatge de programació escollit ha estat C per la seva major facilitat per programar tasques complexes i depuració d'errors.

El següent pas és seleccionar el compilador que tradueix el programa escrit en C a codi màquina generant fitxers en format hexadecimal necessaris per programar un PIC. El compilador utilitzat és el PCW de l'empresa CCS que s'integra en un entorn de desenvolupament integrat, que permet tasques com l'edició i compilació del codi o la depuració d'errors.

El darrer pas consisteix en realitzar la programació del PIC que es realitza a través d'un programador que proporciona la mateixa empresa CCS que es coneix com a ICD (*In Circuit Debugger*).

Es programa el PIC per obtenir les dades dels 3 sensors: temperatura, humitat relativa i pressió atmosfèrica. Per guardar les dades es crea un fitxer a la targeta de memòria flash SD. Per fer-ho s'utilitza el sistema FAT (*File Allocation Table*), que és un sistema d'arxius estàndard extensament utilitzat per a l'intercanvi de dades entre ordinadors i dispositius de gairebé qualsevol tipus. El sistema FAT crea una taula separada en blocs (*clusters*) que contenen les diferents posicions de memòria. En aquest sistema s'utilitza la varietat FAT32 degut a les seves millors prestacions.

Els resultats es guarden en 3 vectors en les unitats de mesures estàndards, és a dir, la temperatura en ºC, la humitat relativa en % i la pressió atmosfèrica en kPa.

IV. Prototipus Final

El sistema dissenyat s'incorpora dins una capsa de fusta que ofereix gran protecció i fixació.

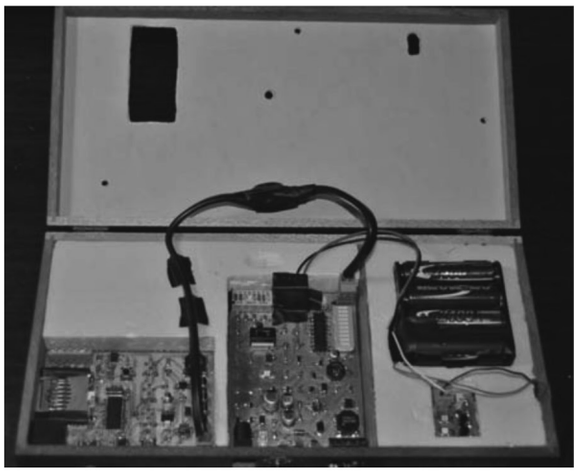

Fig. 17 Targeta de memòria SD

Finalment, es fixen els dos panells a l'exterior d'una motxilla i s'incorpora la capsa amb el sistema a l'interior.

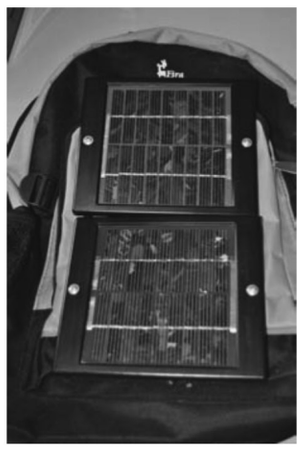

Fig. 18 Targeta de memòria SD

V. Resultats

Per comprovar el funcionament es realitza una prova que consisteix en una ruta pel campus de la UIB amb la motxilla.

L'arxiu resultant amb les dades es pot obrir amb una fulla de càlcul i permet expressar els resultats en gràfiques.

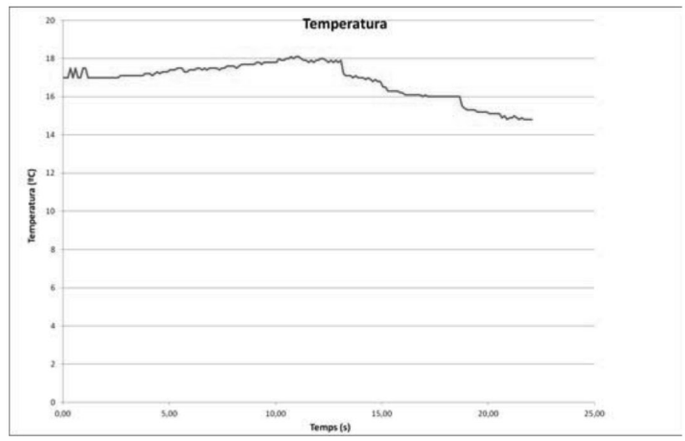

Fig. 19 Gràfica de la variació de temperatura

VI. Conclusions

Disposar d'informació sobre els paràmetres ambientals és de gran utilitat en molts d'àmbits, i sovint resulta una necessitat disposar d'aquestes dades per poder fer prediccions meteorològiques per el desenvolupament d'un gran nombre d'activitats.

En el mercat existeixen una gran varietat de sistemes de mesura ambiental portàtils, però la gran majoria no disposen de la possibilitat de funcionar amb energia solar. El sistema presentat en aquest projecte requereix un nivell baix de radiació i, a més, simultàniament a partir d'aquesta energia, també carrega unes bateries recarregables que ofereixen al sistema una gran autonomia i flexibilitat per a operar a partir d'una font d'energia renovable i neta, encara que les condicions de radiació no siguin les més favorables.

Referències

Tots les fulles de característiques dels components utilitzats es poden consultar al portal web del distribuïdor *Farnell*.

[1] Pàgina web del distribuïdor Farnell. http://es.farnell.com
[2] Blocs d'una font d'alimentació. http://www.portaleso.com/usuarios/Toni/web_electronica_3/electronica_indice.html
[3] Targeta de memòria SD. http://en.wikipedia.org/wiki/SD_Card

Marc Soler Vallespir. Enginyer Tècnic Industrial, especialitat en Electrònica Industrial.

Bartomeu Alorda. Enginyer de Telecomunicacions (UPC, 2000) i Doctor en Física, (UIB, 2005). És professor del Departament de Física a la Universitat de les Illes Balears en el grup de recerca de Sistemes Electrònics.