UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

TREBALL FI DE GRAU

Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica

UNITAT DE MONITORITZACIÓ DEL SISTEMA D'ALIMENTACIÓ FOTOVOLTAIC D'UN HABITATGE UNIFAMILIAR AÏLLAT DE LA XARXA

Volum I

Memòria tècnica

Autor: Pol Castañé Guzman
Director: Manuel Manzanares Brotons

Convocatòria: Gener 2017

Resum

El present projecte es divideix en dues parts: primerament el dimensionat d'una instal·lació solar fotovoltaica per alimentar un habitatge unifamiliar aïllat de la xarxa, i d'altra banda, el disseny d'una unitat de monitorització basada en microcontroladors PIC per supervisar el correcte funcionament de la instal·lació. La instal·lació fotovoltaica es dimensionarà respecte a un habitatge i uns consums ficticis per tal que serveixi com a exemple d'aplicació per a l'adquisició de dades per part de la unitat de monitorització.

La unitat de monitorització serà l'encarregada de mesurar i registrar els diferents paràmetres de la instal·lació amb la possibilitat de connectar-se amb un ordinador per fer un bolcat de dades i crear un històric per tal de veure com ha evolucionat la instal·lació.

Resumen

El presente proyecto se divide en dos partes: primeramente, el dimensionado de una instalación solar fotovoltaica para alimentar una vivienda unifamiliar aislada de la red, y por otro lado, el dimensionado de una unidad de monitorización basada en microcontroladores PIC para supervisar el correcto funcionamiento de la instalación. La instalación fotovoltaica se dimensionará en base a una vivienda y unos consumos ficticios para que sirvan de ejemplo de aplicación para la adquisición de datos por parte de la unidad de monitorización.

La unidad de monitorización será la responsable de medir y registrar los diferentes parámetros de la instalación con la posibilidad de conectarse a un ordenador para hacer un volcado de datos y crear un histórico para ver cómo ha evolucionado la instalación.

Abstract

This project is divided into two parts: One explain the sizing of a photovoltaic installation. The purpose of this installation is to supply a single family house isolated from the grid. The other part describes the design of a monitoring device based in PIC microcontrollers, used to check correct operation of the installation. The photovoltaic installation will be dimensioned based on fictitious dwelling and consumption to serve as an example of application for the monitoring unit.

The monitoring unit will be responsible for measuring and recording the different parameters of the installation with the possibility to be connected with a computer in order to download the data and create a historical to see how the installation has evolved.

Agraïments

Agrair al meu tutor del projecte, Manolo Manzanares, tot el seu esforç, suport i orientació al llarg de tot el treball de fi de grau.

Índex memòria tècnica

RESUM I

RESUMEN II

ABSTRACT III

AGRAÏMENTS V

1. OBJECTE DEL PROJECTE 1

1.1. Objectius del treball 1

1.2. Abast del treball 1

1.2.1. Instal·lació solar fotovoltaica 1

1.2.2. Unitat de monitorització 1

2. MOTIVACIÓ I JUSTIFICACIÓ 2

3. ESPECIFICACIONS BÀSIQUES 4

3.1. Instal·lació fotovoltaica aïllada 4

3.1.1. Definició 4

3.1.2. Generalitats 4

3.1.3. Generadors fotovoltaics 5

3.1.4. Acumuladors 5

3.1.5. Reguladors de carrega 6

3.1.6. Inversors 6

3.1.7. Esquemàtic d'una instal·lació fotovoltaica aïllada 7

3.2. Sistema de monitorització 7

4. DIMENSIONAT DE LA INSTAL·LACIÓ SOLAR 9

4.1. Localització i consideracions prèvies 9

4.2. Estimació del consum diari d'energia. 9

4.3. Dimensionat i selecció dels elements 11

4.3.1. Generador fotovoltaic 11

4.3.2. Sistema d'acumulació 17

4.3.3. Regulador 21

4.3.4. Inversor 22

4.4. Resum de la instal·lació 24

5. PRESA DE DADES I SELECCIÓ DE VARIABLES 25

5.1. Tipus de monitorització 25
5.1.1. Monitorització analítica 25
5.1.2. Monitorització global 25
5.2. Variables registrades. 26
5.3. Descripció de les variables i selecció dels sensors 27
5.3.1. Irradiància (G) 27
5.3.2. Temperatura ambient a la ombra (T_A) 28
5.3.3. Temperatura dels panells (T_{PS}) 29
5.3.4. Comptador volumètric (C_{VOL}) 30
5.3.5. Data (D) i Hora (H) 31
5.3.6. Intensitat dels panells solars (I_{PSn}) i intensitat del generador fotovoltaic (I_{PS}) 31
5.3.7. Tensió del generador fotovoltaic (V_{PS}) 32
5.3.8. Intensitat de les bateries (I_{BAT}) 33
5.3.9. Tensió de les bateries (V_{BAT}) 34
5.3.10. Intensitat sortida regulador (I_{DC}) 34
5.3.11. Tensió sortida regulador (V_{DC}) 34
5.3.12. Intensitat carregues en DC ($I_{C,DC}$) 35
5.3.13. Potència carregues en DC ($P_{C,DC}$) 35
5.3.14. Intensitat entrada inversor (I_{IN}) 36
5.3.15. Intensitat carregues en AC ($I_{C,AC}$) 36
5.3.16. Tensió carregues en AC ($V_{C,AC}$) 36
5.3.17. Potència carregues en AC ($P_{C,AC}$) 37

6. POSSIBLES SOLUCIONS I SOLUCIÓ ESCOLLIDA 39
6.1. Emmagatzematge de dades 39
6.2. Transmissió de dades 39
6.3. Sistema de visualització 39
6.4. Captació de dades 40

7. UNITAT DE MONITORITZACIÓ 41
7.1. Introducció 41
7.2. Elements bàsics 41
7.2.1. Font d'alimentació 42
7.2.2. Microcontroladors 43
7.2.3. Rellotge en temps real 46
7.2.4. Memòria externa 47
7.2.5. MAX232 (TTL / RS-232) 49
7.2.6. Display LCD 51

7.2.7. Polsadors 52
7.2.8. Connexió amb PICkit 54
7.2.9. Sensors 55
7.3. Presa de dades i selecció de variables 56
7.3.1. PIC18F4550 56
7.3.2. PIC 16F883 (1) 57
7.3.3. PIC 16F883 (2) 57
7.3.4. PIC 16F883 (3) 58
7.3.5. PIC 16F883 (4) 59
7.4. Connexió dels sensors 59
7.4.1. Sensors del PIC 18F4550 60
7.4.2. PIC 16F883 (1) 62
7.4.3. PIC 16F883 (2) 64
7.5. Interacció amb la unitat 66
7.6. Visualització de dades 66
7.7. Comunicacions 67
7.7.1. Comunicació I^2C 67
7.7.2. Comunicació RS-232 68
7.7.3. Comunicació USB 70
7.8. Prototip de probes 71

8. SOFTWARE 72

8.1. Programes utilitzats 72
8.1.1. Proteus 72
8.1.2. Eagle 72
8.1.3. CCS compiler IDE 72
8.1.4. PICkit 2 73
8.1.5. Hercules 73
8.1.6. VSPE 73
8.2. Programa unitat de monitorització 73
8.2.1. Definicions 73
8.2.2. Configuració prèvia 74
8.2.3. Polsadors 74
8.2.4. Lectura de variables 75
8.2.5. Monitorització 75
8.2.6. Menú 76

9. SIMULACIONS 80

9.1. Primers passos 80
9.2. Simulació parcial del disseny 81
9.3. Comunicació RS-232 82
9.4. Limitacions 82
9.4.1. Comunicació entre PICs 82
9.5. Alternatives descartades 83

10. ANÀLISI DE L'IMPACTE AMBIENTAL 85

10.1. Introducció 85
10.2. Valoració d'impactes 85
10.2.1. Valoració d'impactes en la fase de producció i instal·lació 85
10.2.2. Valoració d'impactes en la fase d'explotació 86
10.2.3. Valoració d'impactes en la fase de desús 86
10.3. Mesures preventives i correctores 86
10.3.1. Mesures en la fase de producció i instal·lació 87
10.3.2. Mesures en la fase d'explotació 87
10.3.3. Mesures en la fase de desús 87
10.4. Conclusió 87

NORMATIVA APLICABLE 89

PLANIFICACIÓ I DIAGRAMA DE GANTT 90

Planificació 90
Disseny del hardware i software 90
Muntatge del hardware 90
Depuració del software 90
Probes funcionals 91
Redacció de la documentació 91
Diagrama de Gantt 91

CONCLUSIONS I POSSIBLES MILLORES 93

Comunicació per USB 93
Connexió amb Labview 94
Exportar dades 94
Potencia activa 94

BIBLIOGRAFIA 96

Referències bibliogràfiques 96

1. Objecte del projecte

La energia solar fotovoltaica és una forma d'energia que produeix electricitat de forma renovable. Aquest tipus d'energia s'utilitza per innumerables aplicacions, en aquest projecte la veurem aplicada al abastiment d'un habitatge aïllat de la xarxa, per el qual s'ha dissenyat una unitat de monitorització que permetrà avaluar el rendiment de la instal·lació.

1.1. Objectius del treball

El objectiu del present projecte es dissenyar una unitat de monitorització que permeti obtenir dades sobre una instal·lació solar fotovoltaica per a un habitatge unifamiliar aïllat de la xarxa, amb la finalitat de monitoritzar en temps real els paràmetres de la instal·lació que s'han cregut oportuns, amb l'opció de descarregar a un ordinador el històric de dades que s'han emmagatzemat en la unitat.

1.2. Abast del treball

El projecte es divideix essencialment en dos parts: el dimensionat d'una instal·lació solar, i el disseny d'una unitat de monitorització basada en microcontroladors PIC per supervisar el correcte funcionament de la instal·lació.

Cal tenir en compte que la instal·lació serveix com a base d'exemple per la unitat de monitorització.

1.2.1. Instal·lació solar fotovoltaica

Per al dimensionat de d'instal·lació solar fotovoltaica aïllada de la xarxa, s'escull un habitatge en la localització especificada en Capítol 4, en aquest apartat es defineix també el tipus d'habitatge i els consums diaris que es preveuen.

1.2.2. Unitat de monitorització

Pel que fa a la unitat de monitorització, es vol incorporar a la instal·lació fotovoltaica un sistema que permeti monitoritzar els paràmetres més importants de la instal·lació i guardar-los, per tal de poder fer un bolcat de dades en un ordinador i fer un estudi sobre la instal·lació durant el seu funcionament.

2. Motivació i justificació

Sent la lluita contra el canvi climàtic més important que mai, el desenvolupament sostenible és un dels objectius que s'hauran d'assolir en el futur i les energies renovables hi tenen un paper molt important.

Degut a aquesta creixent demanda d'energia renovable, la fabricació de cèl·lules solar i instal·lacions fotovoltaiques ha crescut i avançat considerablement en els ultima anys. Entre els anys 2001 i 2015 s'ha produït un creixement exponencial de la producció d'energia fotovoltaica a nivell mundial, duplicant-se aproximadament cada dos anys. A finals de 2015 s'estimava que hi ha instal·lats en tot al món a prop de 230 GW de potencia fotovoltaica i en el futur serà encara major.

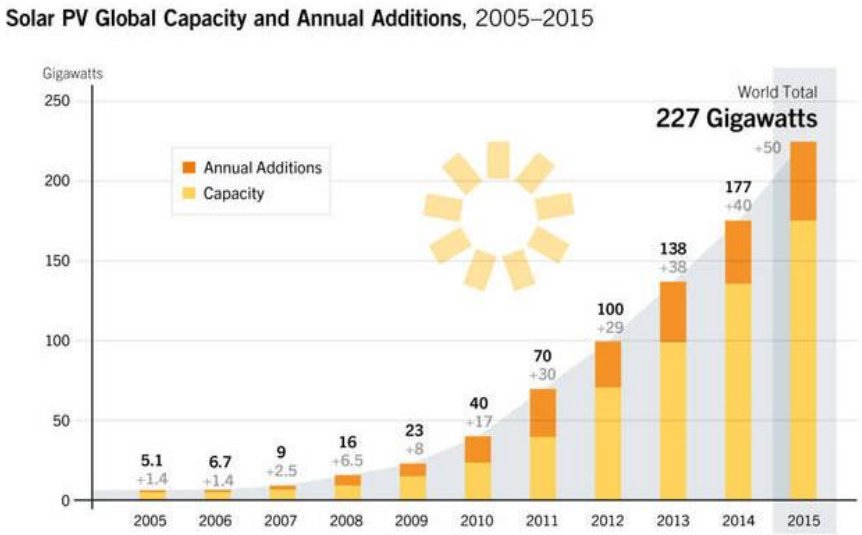

Figura 1.1. Potencia fotovoltaica mundial instal·lada fins a 2015. [1]

Tenint en compte el context d'aquesta tecnologia, quan l'enfoquem a petita escala per a l'abastiment d'habitatges unifamiliars aïllats de la xarxa s'ha de tenir en compte que el seu funcionament no és estable, ja que depèn de factors externs.

Una monitorització continua d'aquest tipus d'instal·lacions i la posterior realització d'un històric de dades, permet observar el funcionament de la instal·lació durant el seu ús i ajuda a veure si la instal·lació s'ha dimensionat correctament.

Un altre factor a tenir en compte es el deteriorament de les plaques solars amb el temps, ja que van reduint el seu rendiment. Els fabricants garanteixen la seva durabilitat durant un temps determinat, mitjançant la monitorització es pot observar aquesta disminució i avaluar l'energia que ens proporcionen per al nostre abastiment i saber de manera precisa si es necessari o no la substitució dels panells.

D'igual manera que en el cas anterior es pot determinar si els panells no estan produint tota l'energia que haurien degut a una mala captació solar degut principalment a la pols o al sobreescalfament dels panells.

Un dels aspectes mes importants d'aquest tipus d'instal·lacions es el emmagatzemant d'energia. S'utilitzen bateries per tal de poder aguantar grans cicles de carga i descarrega, sent les descarregues profundes un gran problema ja que disminueixen la vida útil de les bateries en gran mesura. Una bona monitorització també ajuda a preveure quan pot passar això i prendre mesures addicionals.

3. Especificacions bàsiques

En aquest capítol es descriuen els elements basics pels que estan formades les instal·lació solars fotovoltaiques aïllades, així com les funcions bàsiques de la unitat de monitorització .

3.1. Instal·lació fotovoltaica aïllada

3.1.1. Definició

Una instal·lació solar fotovoltaica aïllada és un sistema que genera electricitat a través de la llum del sol sense connexió amb la xarxa elèctrica.

Un sistema fotovoltaic aïllat per un habitatge unifamiliar està format pels següents elements bàsics:

- Panells solars
- Regulador de carrega
- Acumuladors solars
- Inversor fotovoltaic

A continuació es definiran i explicaran aquests elements.

3.1.2. Generalitats

La instal·lació complirà amb les exigències de protecció i seguretat de les persones, entre elles les expressades per el Reglament Electrotècnic de Baixa Tensió o legislació posterior.

Com a principi general s'assegurarà com a mínim un grau d'aïllament elèctric de tipus basic (classe 1) per a equips i material.

S'inclouran tots els elements necessaris de seguretat per protegir les persones davant de contactes directes i indirectes.

S'inclouran totes les proteccions necessàries per protegir la instal·lació contra curtcircuits, sobrecàrregues i sobretensions.

Els materials situats a la intempèrie es protegiran contra els agents ambientals, en particular contra l'efecte de la radiació solar i la humitat. Tots els equips exposats a la intempèrie tindran un grau mínim de protecció IP65, i els d'interior, IP20.

Els equips electrònics de la instal·lació compliran amb les directives comunitàries de seguretat elèctrica i compatibilitat electromagnètica.

3.1.3. Generadors fotovoltaics

Els panells o mòduls fotovoltaics són els encarregats de captar la radiació solar i transformar-la en energia elèctrica.

Un panell o mòdul fotovoltaics és un conjunt de cèl·lules fotovoltaiques interconnectades entre si i encapsulades entre materials que les protegeixen dels efectes de la intempèrie. La cèl·lula solar o fotovoltaica, és el dispositiu que transforma la energia solar en energia elèctrica.

Els panells solars es poden associar de diferents maneres, en sèrie en paral·lel o una barreja entre els dos, però en general, tot el conjunt de panells associats és el que es coneix com generador fotovoltaic en una instal·lació solar fotovoltaica.

Hi ha dos tipus de panells fotovoltaics:

- Panells amb cèl·lules de silici monocristal·lines: Tenen un rendiment elevat, però el cost de producció es més gran.
- Panells amb cèl·lules de silici policristal·lines: Formades a partir de silici monocristal·lí i presenten rendiments més baixos, el seu procés de producció és mes senzill. Aquest tipus és el més comú en el mercat.

Per a aquest projecte, s'escolliran panells policristal·lins.

El rendiment dels panells disminueix amb el pas del temps, i els fabricants garanteixen un tant per cent de rendiment durant un cert temps, aproximadament d'uns 20 o 25 anys.

El rendiment dels panells també es veu afectat per la qualitat de radiació que els incideix, el angle d'incidència i la temperatura dels panells.

Una característica important dels generadors és la potència màxima del generador o potència de pic, es defineix com la màxima potencia que pot entregar en condicions estàndard de mesura [V].

3.1.4. Acumuladors

Per als sistemes fotovoltaics aïllats de la xarxa, un element molt important són els acumuladors, ja que són els responsables de l'autoabastiment inclús en els dies més desfavorables.

S'entén per acumulador la associació elèctrica de bateries, una bateria és una font de tensió formada per un o mes vasos electroquímics interconnectats, generalment de 2V cada un.

Es poden trobar instal·lacions amb acumuladors de 12 V, 24V o 48 V. El cas que es tractarà s'escull una tensió de les bateries de 24 V, que és el més comú.

Per a aquestes instal·lacions es recomana que els acumuladors siguin de plom-àcid i preferentment estacionàries, ja que permeten suportar descarregues profundes i proporcionen corrent de forma permanent o esporàdica. Generalment aquest tipus d'acumuladors són els més comuns.

Un concepte molt important dels acumuladors es la profunditat de descarrega, que es defineix com la carrega extreta de una bateria i la seva capacitat nominal. S'expressa normalment en [%].

La característica més important de les bateries és la seva capacitat nominal, es defineix com la quantitat de carrega que pot extraure una bateria en un temps determinat, ve donada en [Ah].

3.1.5. Reguladors de carrega

El regulador de carrega és un dispositiu que s'encarrega de controlar la carrega i la descarrega de les bateries. Evita la sobrecarrega de les bateries quan ja estan carregades, així com no permet descarregues profundes que perjudicarien la vida útil de les bateries.

El regulador mesura el estat de les bateries per veure si estan o no carregades. Si el voltatge de les bateries es molt baix interromp el subministrament d'electricitat a les carregues de consum, per altre banda si el voltatge de les bateries és molt alt, s'interromp la connexió entre el generador fotovoltaic i les bateries o bé es regula gradualment la corrent entregada.

Una característica important dels reguladors és la corrent màxima que poden suportar [A].

3.1.6. Inversors

El inversor o convertidor de corrent continua a corrent alterna, és el encarregat de transforma la tensió de 24 V en continua, a un estàndard de 230 V de corrent alterna per al seu us domèstic.

Per a la instal·lació que tractarem hi haurà una petita carrega de consum en DC i una carrega important en AC, la carrega en DC sortirà abans del inversor, mentre que la carrega en AC surt després.

Una característica important dels inversors és la seva potencia nominal, que ve especificada per el fabricant i que el inversor es capaç d'entregar de forma continua. [W]

3.1.7. Esquemàtic d'una instal·lació fotovoltaica aïllada

En el següent esquema es pot veure una representació senzilla dels elements anteriorment descrits i la seva connexió.

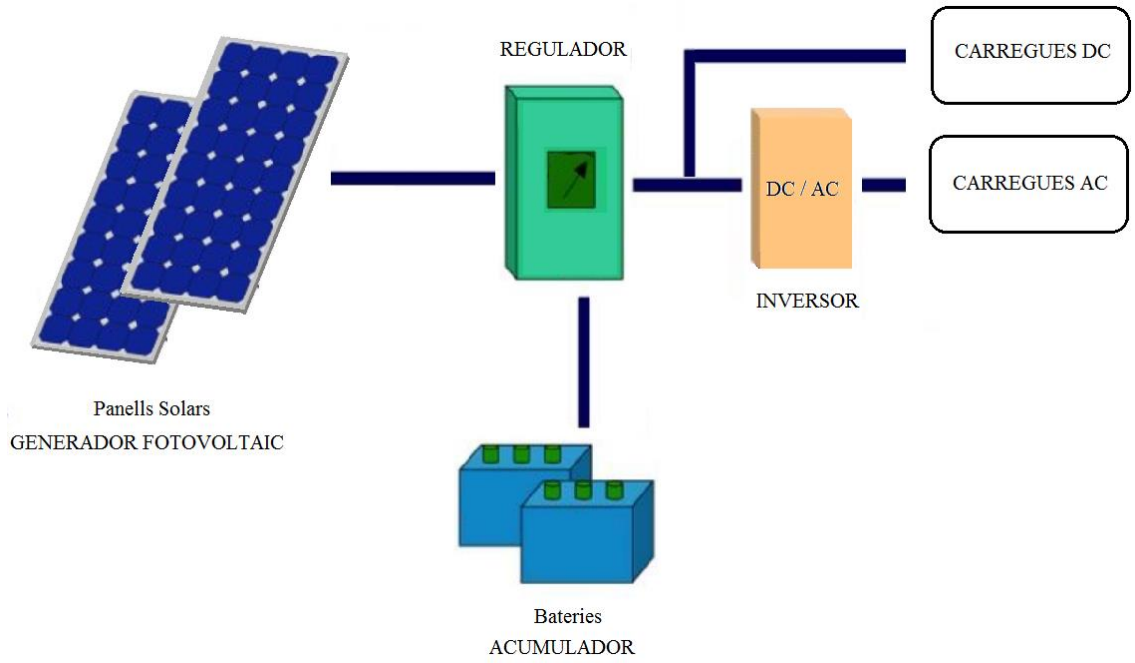

Figura 3.1. Esquemàtic instal·lació solar fotovoltaica aïllada. [2]

3.2. Sistema de monitorització

El sistema de monitorització, quan s'instal·li, proporcionarà mesures de les següents variables:

- Tensió i corrent DC del generador fotovoltaic.
- Tensió i corrent DC de les bateries.
- Tensió i corrent DC a la sortida del regulador.
- Intensitat i Potència DC consumida per les carregues si n'hi ha.
- Intensitat DC d'entrada al inversor.
- Tensió, intensitat i potencia AC consumida per les carregues.
- Comptador volumètric per determinar el nivell d'aigua d'un dipòsit per a instal·lacions de bombeig.
- Irradiació solar al pla dels mòduls.
- Temperatura ambient a l'ombra.
- Temperatura de les plaques.

Els temps d'adquisició, la precisió de les mesures i el format de presentació de les mateixes es farà d'acord al document del Centre Comú d'Investigació (més conegut com JRC, en anglès, *Joint Research Center*), *"Guidelines for the Assessment of Photovoltaic Plants - Document A"*, Report EUR 16338 EN [3], tal com s'explica en el capítol 6.

El JRC és una Direcció General de la Comissió Europea, que s'ocupa de proporcionar assessorament científic i tècnic a la Comissió Europea, així com als estats membres de la unió europea.

4. Dimensionat de la instal·lació solar

En aquest capítol es dimensionarà i seleccionaran tots els elements necessaris per una instal·lació solar per un habitatge unifamiliar aïllat de la xarxa.

Els passos a seguir per dimensionar un sistema fotovoltaic autònom són: informació sobre la localització, estimació del consum i per últim, dimensionat i selecció dels elements de la instal·lació.

4.1. Localització i consideracions prèvies

Degut a que la instal·lació serveix com a base d'exemple per la unitat de monitorització, el dimensionat es dura a terme per un habitatge fictici, ubicat en un municipi de la província de Barcelona, anomenat Arenys de Mar, situat a la comarca del Maresme.

Es tractarà d'un habitatge unifamiliar, d'ús durant tot l'any, situat en una zona rural a les afores del municipi, les seves coordenades geogràfiques en decimals seran latitud 41,34 i longitud 2,33. Al tractar-se d'un habitatge en una zona rural, no disposarà de cap servei bàsic com aigua, gas o llum.

El servei d'electricitat, es substituirà per una instal·lació solar fotovoltaica mentre que per l'obtenció d'aigua es recorre a un sistema de bombeig d'aigua amb una motobomba. El sistema de bombeig d'aigua es suposarà ja existent i amb un consum estimat.

Per la instal·lació elèctrica interior del habitatge es considera ja existent i formada per dues branques, una en DC (corrent continua) per alimentar punts de llum, i l'altre en AC (corrent alterna) per la resta de elements.

Per consum relacionat amb carregues de climatització com calefacció o escalfar aigua, es suposarà que el habitatge disposa d'un dipòsit de gasoil.

4.2. Estimació del consum diari d'energia.

Degut a que es tracta d'un habitatge fictici, la estimació del consum diari d'energia del habitatge es farà en base a un habitatge amb característiques similars.

El objectiu de la següent taula es determinar el consum mig diari de la instal·lació, en ella s'especifiquen els elements connectats a la xarxa, així com les hores de funcionament que s'esperen.

El consum del sistema de bombeig d'aigua amb motobomba s'estima en 200 Wh/dia.

Es recomana aplicar un marge de seguretat del 20% per possibles imprevistos a els elements connectats a la xarxa.

Taula 4.1. Estimació consum.

Servei	Unitats	Consum [W]	Hores de funcionament al dia [h/dia]	Total energia [Wh/dia]	Total + Marge de seguretat (20%) [Wh/dia]
Punts de llum (DC)	10	10	4	400	480
Televisor (AC)	2	40	4	320	384
Ordinador portàtil (AC)	1	65	5	325	390
Carregador telèfon mòbil (AC)	2	5	1	10	12
Forn (AC)	1	800	1	800	960
Nevera (AC)	1	120	12	1.440	1.728
Rentadora (AC)	1	350	1	350	420
Sistema de bombeig (AC)	1	100	2	200	240
Altres equips (AC)	-	25	2	50	60
TOTAL				**3.895**	**4.674**

També s'han de tenir en compte que en la instal·lació hi hauran pèrdues de rendiment degut a les bateries i al inversor, i això influeix en la energia necessària final.

Generalment, per a un bon dimensionament, es pren un rendiment de la bateria del 95%, i un rendiment del inversor del 90%. El rendiment dels conductors es suposa del 100%.

Per tant, per al càlcul del consum mig d'energia diari (E_d), s'ha de considerar la següent expressió:

$$\boldsymbol{E_d = \frac{E_{d,DC} + \frac{E_{d,AC}}{\eta_{inv}}}{\eta_{bat} \cdot \eta_{con}} = \frac{480 + \frac{4.194}{0,90}}{0,95 \cdot 1} = 5.410,53 \ {}^{Wh}/_{dia}} \qquad \textbf{(Eq. 4.1)}$$

On:

E_d = Consum mig d'energia diari d'energia total [Wh/dia].

$E_{d,DC}$ = Consum mig d'energia diari d'energia en corrent continua. [Wh/dia]

$E_{d,AC}$ = Consum mig d'energia diari d'energia en corrent alterna. [Wh/dia]

η_{inv} = Rendiment del inversor (90%).

η_{bat} = Rendiment de les bateries (95%).

η_{con} = Rendiment dels connectors (100%).

Com era d'esperar, el consum mig d'energia diari real, resulta ser lleugerament superior al nominal ja que té en compte les possibles pèrdues que podrien ocorre en la instal·lació i la aplicació d'un marge de seguretat.

4.3. Dimensionat i selecció dels elements

En aquest apartat es dimensionaran i seleccionaran els elements que conformen una instal·lació solar fotovoltaica.

4.3.1. Generador fotovoltaic

4.3.1.1. Dimensionat

Abans de procedir amb el dimensionat dels panells, s'ha d'introduir un concepte important, les hores de sol pic o HSP [hores]. Es pot definir com el nombre d'hores en què disposem d'una hipotètica irradiació solar constant de 1.000 W/m^2. És a dir, una hora de sol pic (HSP) equival a 1 kWh/m^2 o, el que és el mateix, 3,6 MJ/m^2. És una manera de comptabilitzar l'energia rebuda del sol agrupar-la en paquets, sent cada paquet de una hora rebent 1.000 W/m^2.

Cal tenir en ment la diferencia entre:

> Irradiància: És la magnitud que descriu la radiació o intensitat d'il·luminació solar que arriba fins a nosaltres mesurada com una potència instantània per unitat de superfície [W/m^2] o unitats equivalents.
>
> Irradiació: És la quantitat d'irradiància rebuda en un lapse de temps determinat, és a dir, la potència rebuda per unitat de temps i per unitat de superfície. En general es sol mesurar en [Wh/m^2], si es tracta el cas d'un dia, en [Wh/m^2/dia] o unitats equivalents.

Per calcular el valor de HSP, s'ha de dividir el valor de la irradiació incident entre el valor de la potència d'irradiància en condicions estàndard de mesura, ja que és en aquestes condicions on es compleixen les característiques elèctriques dels mòduls fotovoltaics. Aquest valor d'irradiància en condicions estàndard de mesura és de 1.000 W/m^2. És a dir, si es disposa de les dades d'irradiació solar d'un determinat dia [Wh/m^2] i es divideix entre 1.000 W/m^2, s'obtenen les HSP [h].

Amb aquests conceptes clars, es procedeix a dimensionar el generador fotovoltaic de la instal·lació.

Per al dimensionat dels panells solars es necessiten dades de radiació solar del lloc en qüestió, amb tal finalitat, es recorre a un software online i gratuït del JRC (*Joint Research Center*) anomenat PVGIS [4].

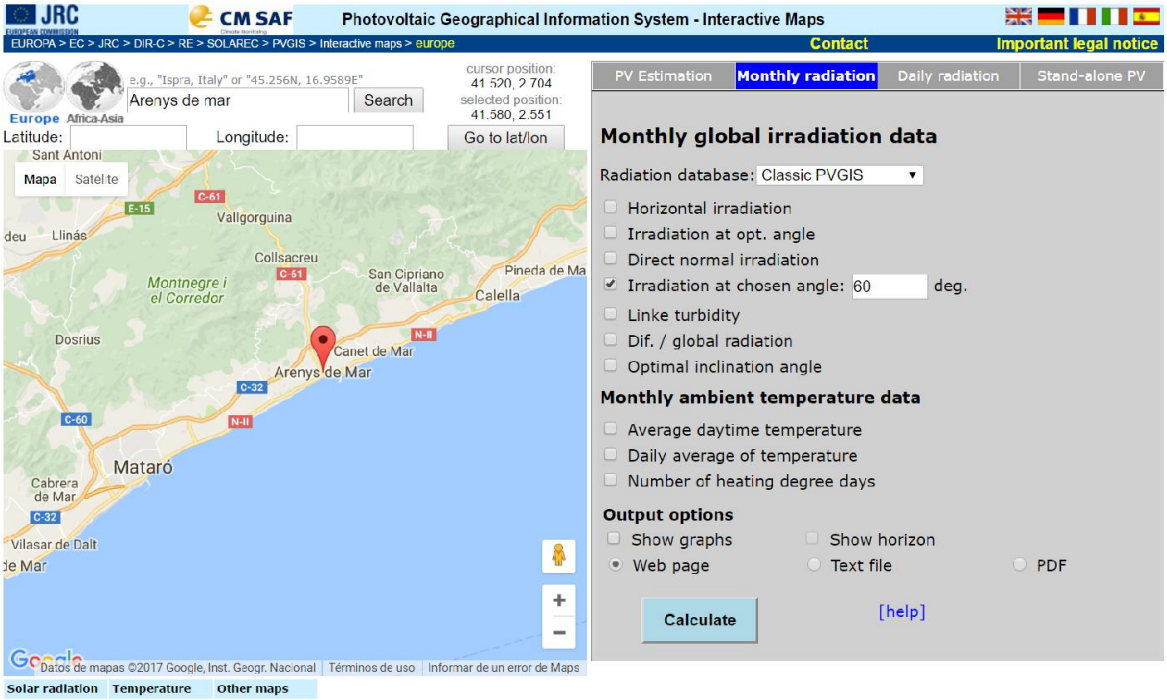

Figura 4.1. Software online PVGIS. [4]

Primerament s'ha de fer un petit estudi de la irradiació [Wh/m^2/dia] segons la inclinació que es vulgui donar als panells.

La següent taula recull la irradiació (H) en els casos de 30°, 40°, 50° i 60°.

Taula 4.2. Irradiacions per angles.

Mes	H(30) [Wh/m^2/dia]	H(40) [Wh/m^2/dia]	H(50) [Wh/m^2/dia]	H(60) [Wh/m^2/dia]
Gener	3.040	3.290	3.460	3.540
Febrer	3.600	3.790	3.890	3.890
Març	4.830	4.930	4.910	4.770
Abril	5.280	5.190	4.980	4.660
Maig	5.800	5.550	5.170	4.680
Juny	6.290	5.930	5.440	4.840
Juliol	6.570	6.220	5.740	5.140
Agost	6.140	5.970	5.660	5.220
Setembre	5.350	5.390	5.300	5.080
Octubre	4.230	4.410	4.490	4.450
Novembre	3.070	3.300	3.440	3.490
Desembre	2.810	3.080	3.260	3.360

A continuació s'ha de calcular la inclinació optima per a la instal·lació en qüestió, per això utilitzarem el criteri del mes crític.

Per realitzar aquest mètode cal preparar una taula amb el quocient consum per irradiació, però primer s'ha de passar tots els valor de irradiació de la taula de [Wh/m^2/dia] a HSP per dia [h/dia], com s'ha vist anteriorment cal dividir la irradiació per 1000 W/m^2.

Taula 4.3. HSP per angles.

Mes	HSP(30) [h/dia]	HSP(40) [h/dia]	HSP(50) [h/dia]	HSP(60) [h/dia]
Gener	3,04	3,29	3,46	3,54
Febrer	3,6	3,79	3,89	3,89
Març	4,83	4,93	4,91	4,77
Abril	5,28	5,19	4,98	4,66
Maig	5,8	5,55	5,17	4,68
Juny	6,29	5,93	5,44	4,84
Juliol	6,57	6,22	5,74	5,14
Agost	6,14	5,97	5,66	5,22
Setembre	5,35	5,39	5,3	5,08
Octubre	4,23	4,41	4,49	4,45
Novembre	3,07	3,3	3,44	3,49
Desembre	2,81	3,08	3,26	3,36

A continuació procedim a fer el quocient entre el consum estimat (5.410,52 Wh/dia) i tots els valors de irradiació en HSP per dia [h/dia], el que resulta en la següent taula:

Taula 4.4. Quocient consum (E_d) per HSP.

Mes	H(30) [W]	H(40) [W]	H(50) [W]	H(60) [W]
Gener	1.779,78	1.644,53	1.563,73	1.528,40
Febrer	1.502,92	1.427,58	1.390,88	1.390,88
Març	1.120,19	1.097,47	1.101,94	1.134,28
Abril	1.024,72	1.042,49	1.086,45	1.161,06
Maig	932,85	974,87	1.046,52	1.156,09
Juny	860,18	912,40	994,58	1.117,88
Juliol	823,52	869,86	942,60	1.052,63
Agost	881,19	906,28	955,92	1.036,50
Setembre	1.011,31	1.003,81	1.020,85	1.065,06
Octubre	1.279,08	1.226,88	1.205,02	1.215,85
Novembre	1.762,38	1.639,55	1.572,83	1.550,29
Desembre	1.925,45	1.756,66	1.659,67	**1.610,27**

Per a cada inclinació busquem el major valor de tots els quocients, pues es correspondran amb el moment del any on la relació entre el consum d'energia i la irradiació disponible és major, amb el que haurà de assegurar el subministrament d'energia sobretot en aquell mes, encara que això impliqui un sobredimensionament per els altres mesos, com per exemple al estiu, que hi haurà excedent d'energia.

Com es pot comprovar, com el consum es constant en tot l'any, aquests valors coincideixen el desembre, que és quan menys radiació solar hi ha.

Un cop es coneixen els valors, es tria el menor d'ells, en aquest cas es correspon al valor de 1.610,27 W a 60 °. La inclinació de la instal·lació serà de 60°.

Per calcular el numero total de mòduls solars necessaris utilitzarem la següent equació:

$$\boldsymbol{N_T = \frac{E_{d,mc}}{P_M \cdot HPS_c \cdot PR}} \qquad \textbf{(Eq. 4.2)}$$

On:
N_T = Nombre total de panells.
$E_{d,mc}$ = Consum mig d'energia diari mensual per al mes crític, (en aquest cas, sempre és 5.410,52 Wh/dia, ja que el consum diari es constant tot l'any).
P_M = La potència màxima del panell en condicions estàndard de mesura [W].
HSP_c = Hores de sol pic del mes crític (desembre, a 60°) [h/dia].
PR = Factor global de funcionament, pot variar entre 0,65 i 0,90. S'utilitza 0,90 per defecte.

Per resoldre aquest equació cal saber la potencia pic del panell, pel que s'ha de escollir un model en concret. S'ha escollit un panell de 24 V, de la marca Solarworld model Sunmodule Plus SW260 Poly, com veurem en breus.

Amb el panell escollit, cal trobar la seva potència de pic, que en la seva fulla de dades (disponible als annexos) indica que és de 260 W, per tant:

$$N_T = \frac{E_{d,mc}}{P_{MPP} \cdot HPS_c \cdot PR} = \frac{5.410{,}52}{260 \cdot 3{,}36 \cdot 0{,}9} = 6{,}88 \qquad \textbf{(Eq. 4.2)}$$

El nombre total de panells que disposarà la instal·lació es de 7 panells.

Finalment, respecte a la connexió dels panells calculats en sèrie o paral·lel, tenint en compte que el SW260 Poly te una tensió màxima (V_M) de 31,4 V, la disposició dels panells serà la següent:

$$N_{sèrie} = \frac{V_{BAT}}{V_M} = \frac{24}{31{,}4} = 0{,}76 = 1 \qquad \textbf{(Eq. 4.3)}$$

On:

N_{serie} = Nombre de panells connectats en sèrie.

V_{BAT} = Tensió de les bateries, per a la instal·lació es decideix utilitzar bateries de 24 V.

V_M = Tensió màxima dels panells [V].

$$N_{paral\cdot lel} = \frac{N_T}{N_{sèrie}} = \frac{7}{1} = 7 \qquad \textbf{(Eq. 4.4)}$$

On:

$N_{paral\cdot lel}$ = Nombre de panells connectats en paral·lel.

N_T = Nombre total de panells.

N_{serie} = Nombre de panells connectats en sèrie.

Així dons, es connectaran 7 branques en paral·lel, amb un panell per branca per cobrir les necessitats del sistema, tal com indica en la figura següent:

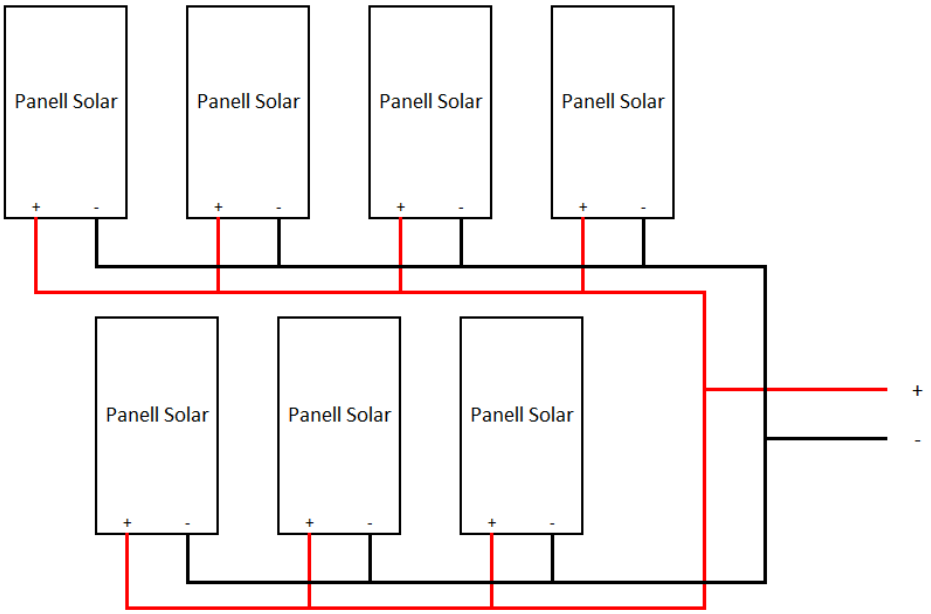

Figura 4.2. Connexió dels panells.

4.3.1.2. Selecció

Com s'ha comentat anteriorment, s'ha seleccionat un panell de la marca Solarworld, model Sunmodule Plus SW260 Poly.

Figura 4.3. Panell SW260 Poly [5].

L' elecció dels panells solars ha estat basada en la recomanació per part de la empresa SunFields Europe, una empresa de equips fotovoltaics que recomana el us d'aquest panell per a aquest tipus de instal·lacions.

4.3.2. Sistema d'acumulació

4.3.2.1. Dimensionat

El següent pas del procés és el càlcul de les bateries. Hi ha tres paràmetres importants pel que fa al dimensionat de les bateries:

Màxima profunditat de descarrega diària ($PD_{max,d}$): Coeficient entre la carrega extreta de una bateria i la seva capacitat nominal per dia, per norma general es pren del 15%.

Màxima profunditat de descarrega estacional ($PD_{max,e}$): Coeficient entre la carrega extreta de una bateria i la seva capacitat nominal per estacions de temps, per norma general es pren del 70%.

Numero de dies d'autonomia (N): Dies que la instal·lació pot estar funcionant només amb les bateries, sense cap mena de carrega per part dels panells. El mínim de dies per a una instal·lació és de 3, però generalment s'escull entre 6 i 7 dies, en aquest cas es tria 6 dies d'autonomia.

Un cop es tenen aquests conceptes clars, es calcula la capacitat nominal de les bateries en funció de la màxima profunditat de descarrega estacional i diària. Un cop calculades es triarà la més gran ja que sinó es podria donar algun cas d'insuficiència energètica.

Primer es calcularà la capacitat nominal de la bateria en funció de la seva màxima descarrega diària ($C_{n,d}$).

$$C_{n,d}(Wh) = \frac{E_d}{PD_{max,d}} = \frac{5.410{,}52}{0{,}15} = 36.070{,}13\ Wh \qquad \textbf{(Eq. 4.5)}$$

On:

$C_{n,d}$ (Wh) = Capacitat nominal de la bateria expressada Wh.

E_d = Tensió de les bateries, per a la instal·lació es decideix utilitzar bateries de 24 V.

$PD_{max,d}$ = Màxima profunditat de descarrega diària [%].

$$C_{n,d}(Ah) = \frac{C_{n,d}(Wh)}{V_{BAT}} = \frac{36.070,13}{24} = 1.502,92\ Wh \qquad \textbf{(Eq. 4.6)}$$

On:

$C_{n,d}$ (Ah) = Capacitat nominal de la bateria expressada Ah.

$C_{n,d}$ (Wh) = Capacitat nominal de la bateria expressada Wh.

V_{BAT} = Tensió de les bateries [V].

A continuació es calcularà la capacitat nominal de la bateria en funció de la seva màxima descarrega estacional ($C_{n,e}$).

$$C_{n,e}(Wh) = \frac{E_d \cdot N}{PD_{max,e}} = \frac{5.410,52 \cdot 6}{0,7} = 46.375,89\ Wh \qquad \textbf{(Eq. 4.7)}$$

On:

$C_{n,e}$ (Wh) = Capacitat nominal de la bateria expressada Wh.

E_d = Tensió de les bateries, per a la instal·lació es decideix utilitzar bateries de 24 V.

N = Numero de dies d'autonomia.

$PD_{max,e}$ = Màxima profunditat de descarrega diària.

$$C_{n,e}(Ah) = \frac{C_{n,e}(Wh)}{V_{BAT}} = \frac{46.375,89}{24} = 1.932,33\ Wh \qquad \textbf{(Eq. 4.8)}$$

On:

$C_{n,e}$ (Ah) = Capacitat nominal de la bateria expressada Ah.

$C_{n,e}$ (Wh) = Capacitat nominal de la bateria expressada en Wh.

V_{BAT} = Tensió de les bateries, 24 V.

Finalment, s'escull la major dels dos casos, que és la capacitat de la bateria basada en la seva màxima descarrega estacional. Així dons, la capacitat nominal de les bateries serà de com a mínim 1932,33 Ah.

4.3.2.2. Selecció

Es fa una cerca de bateries per a suplir les necessitats del sistema, la capacitat nominal de les bateries ha de ser de 1932,33 Ah.

Després de consultar varies possibilitats es tria el model 12 OPZS 1500 de la marca Hoppecke. És un model de bateria estacionaria, de vasos de 2V amb una capacitat de C100 (Ah) de 2.230 Ah.

Figura 4.4. Bateries Hoppecke OPZS [6].

Aquest model presenta avantatges com una gran esperança de vida, un excel·lent cicle d'estabilitat i molta compatibilitat.

Per determinar la connexió de les bateries es determinen els elements en paral·lel i sèrie que formen el conjunt de bateries.

$$N_{Bp} = \frac{C_{n,e}(Ah)}{C_{BAT}} = \frac{1.932,33}{2230} = 0,87 = 1 \qquad \textbf{(Eq. 4.9)}$$

On:

N_{Bp} = Nombre de bateries connectades en paralel

$C_{n,e}$ (Ah) = Capacitat nominal de la bateria expressada en Ah.

C_{BAT} = Capacitat nominal de la bateria escollida [Ah] (S'escull de 2230 com es veurà a continuació).

$$N_{Bs} = \frac{V_{BAT}}{V_v} = \frac{24}{2} = 12 \qquad \textbf{(Eq. 4.10)}$$

On:

N_{Bp} = Nombre de bateries connectades en sèrie.

V_{BAT} = Tensió te les bateries, 24 V.

V_V = Tensio d'un vas d'una bateria, 2V.

Finalment, caldrà connectar 12 bateries de 2V en sèrie per suplir les necessitats del sistema, com mostra la seguent figura:

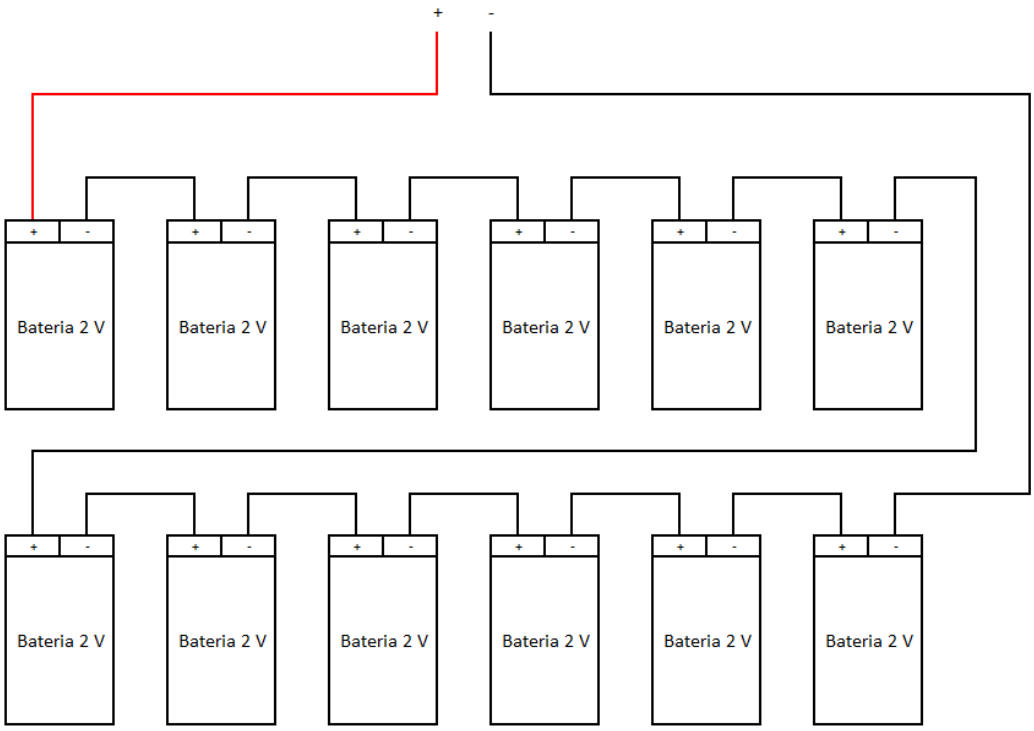

Figura 4.5. Connexió bateries.

4.3.3. Regulador

4.3.3.1. Dimensionat

Per fer el dimensionat del regulador primer s'ha de calcular quina és la màxima corrent que ha de suportar el regulador a la seva entrada i sortida.

Per calcular la corrent d'entrada al regulador fem el producte de la corrent de curtcircuit de un panell solar per la quantitat de branques que disposi la instal·lació.

El nombre de branques de la instal·lació és 7 i en la fitxa tècnica del panell solar SW260 Poly, ens indica que té una corrent de curtcircuit de 8,94 A.

$$I_{entrada} = FS \cdot I_{P,cc} \cdot N_p = 1{,}25 \cdot 8{,}94 \cdot 7 = 78{,}22\ A \qquad \textbf{(Eq. 4.11)}$$

On:

$I_{entrada}$ = Corrent d'entrada al regulador [A].

FS = Factor de seguretat per evitar possibles danys ocasionals al regulador, té un valor de 1,25.

N_P = Nombre de branques en paral·lel.

Per calcular el corrent a la sortida del regulador s'ha de valorar les potencies de les cargues en DC i en AC.

$$I_{sortida} = \frac{FS \cdot \left(P_{DC} + \frac{P_{AC}}{\eta_{inv}}\right)}{V_{BAT}} = \frac{1{,}25 \cdot (100 + \frac{1425}{0{,}95})}{24} = 83{,}33\ A \qquad \textbf{(Eq. 4.12)}$$

On:

$I_{sortida}$ = Corrent de sortida al regulador [A].

FS = Factor de seguretat per evitar possibles danys ocasionals al regulador, té un valor de 1,25.

P_{DC} = Potència de les carregues en continua [W].

P_{AC} = Potència de les carregues en alterna [W].

η_{inv} = Rendiment del inversor, del 95%.

V_{BAT} = Tensió de les bateries, 24 V.

4.3.3.2. Selecció

S'escull un inversor de la marca Victron energy, model Bluesolar MPPT 150/85, que garanteix les corrents fins a 85 A.

Figura 4.6. Regulador MPPT 150/85 [7].

4.3.4. Inversor

4.3.4.1. Dimensionat

Per últim s'ha de calcular el dimensionat del inversor, únicament s'ha de aplicar un marge de seguretat del 20% a la potència de les carregues en alterna.

$$P_{inversor} = FS \cdot P_{AC} = 1{,}2 \cdot 1550 = 1860\ W \qquad \textbf{(Eq. 4.13)}$$

On:

$P_{inversor}$ = Potència del inversor [W].

FS = Factor de seguretat per evitar possibles danys ocasionals al regulador, té un valor de 1,20.

P_{AC} = Potència de les carregues en alterna [W].

S'ha de tenir en compte un fet important, alguns electrodomèstics i estris amb motor tenen pics d'arrancat, com per exemple el frigorífic o la rentadora, el que suposa que durant l'arrencat poden demanar una potència 3 o 4 vegades superior a la potencia nominal prevista. Per aquest motiu es recomanable sobredimensionar el sistema perquè contempli pics d'arrancat.

$$P_{inversor} = FS \cdot P_{AC}{}' = 1{,}2 \cdot 2845 = 3414\ W \qquad \textbf{(Eq. 4.14)}$$

On:

$P_{inversor}$ = Potència del inversor [W].

FS = Factor de seguretat per evitar possibles danys ocasionals al regulador, té un valor de 1,20.

P_{AC}' = Potència de les carregues en alterna considerant pics de tensió [W].

4.3.4.2. Selecció

Així doncs tenint en compte aquesta potència en alterna, s'escull un inversor de la marca Riello Aros TL, model EVO 4000, que supleix les necessitats del sistema, ja que proporciona una potencia nominal de corrent alterna de 4000 W.

Figura 4.7. Riello Aros TL model EVO 4000 [8].

4.4. Resum de la instal·lació

Finalment, per sintetitzar tot el dimensionat de la instal·lació, s'adjunta una taula que recull tots els elements que conformen la instal·lació, així com els models que s'han escollit.

Taula 4.5. Resum dels elements de la instal·lació.

Element	Numero	Connexió	Marca	Model
Panells solar fotovoltaics	7	Paral·lel	SolarWorld	Sunmodule Plus SW 260 Poly
Bateries 2 V	12	Sèrie	HOPPECKE	12 OPZS 1500
Regulador	1	-	Victron Energy	Bluesolar MPPT 150/85
Inversor	1	-	Riello Aros TL	EVO 4000

La següent figura, és un esquemàtic de com aniria connectada la instal·lació amb tots els elements que s'han dimensionat.

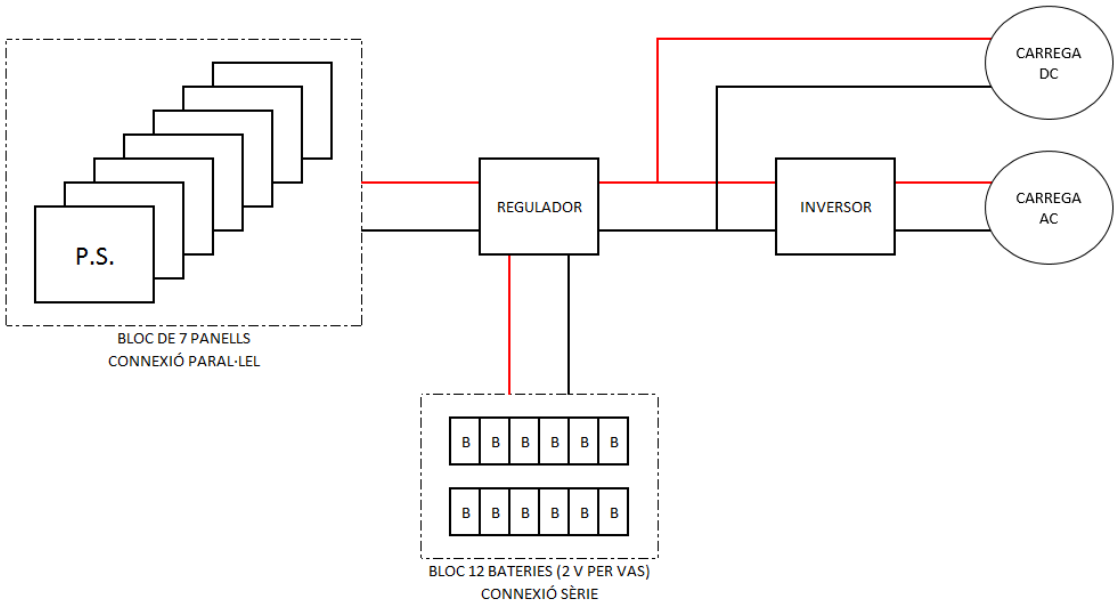

Figura 4.8. Esquemàtic instal·lació.

5. Presa de dades i selecció de variables

L'obtenció de dades durant l'ús d'una instal·lació fotovoltaica és d'interès per jutjar si s'han complert els objectius de disseny i s'ha dimensionat correctament. Són també d'importància per determinar si hi ha algun possible problema en la instal·lació. Un exemple d'això seria panells amb menys rendiment del que haurien, el que permet investigar la causa i trobar una solució. Finalment, haurien de proporcionar una base de dades per a la possible millora del sistema entre moltes altres coses.

La presa de dades es farà en base a la instal·lació fotovoltaica que s'ha dimensionat ja que serveix com a base d'exemple per a la unitat de monitorització.

En aquest capítol s'explica quines variables es mesuraran i registraran, així com quins sensors s'utilitzarà per fer-ho. El tractament de la gran quantitat d'informació recopilada amb fins de supervisió, requereix l'adopció de tècniques de gravació estàndard. També s'explicarà en quin format es faran les preses de dades.

5.1. Tipus de monitorització

En el document del Centre Comú d'Investigació (en anglès, *Joint Research Center*), *"Guidelines for the Assessment of Photovoltaic Plants - Document A"* [2], per a instal·lacions fotovoltaiques, proposen dos tipus de monitorització, monitorització analítica o global per a instal·lacions fotovoltaiques aïllades.

5.1.1. Monitorització analítica

Un sistema d'adquisició de dades automàtic es necessari per a realitzar aquest tipus de monitorització.

La presa de dades es realitza fen mostres instantànies de totes les variables d'interès amb intervals de 10 minuts de diferencia.

En aquest treball es realitzarà aquest tipus de monitorització.

5.1.2. Monitorització global

Per a aquest tipus de monitorització es requereix una presa de dades de forma manual, es recomana com a mínim a intervals d'un mes, recomanant preses setmanals o diàries a ser possible.

5.2. Variables registrades.

A continuació s'exposen les variables que es registraran amb la unitat de monitorització. En la següent figura es pot veure un esquemàtic de la instal·lació i la ubicació de les variables que es mesuraran.

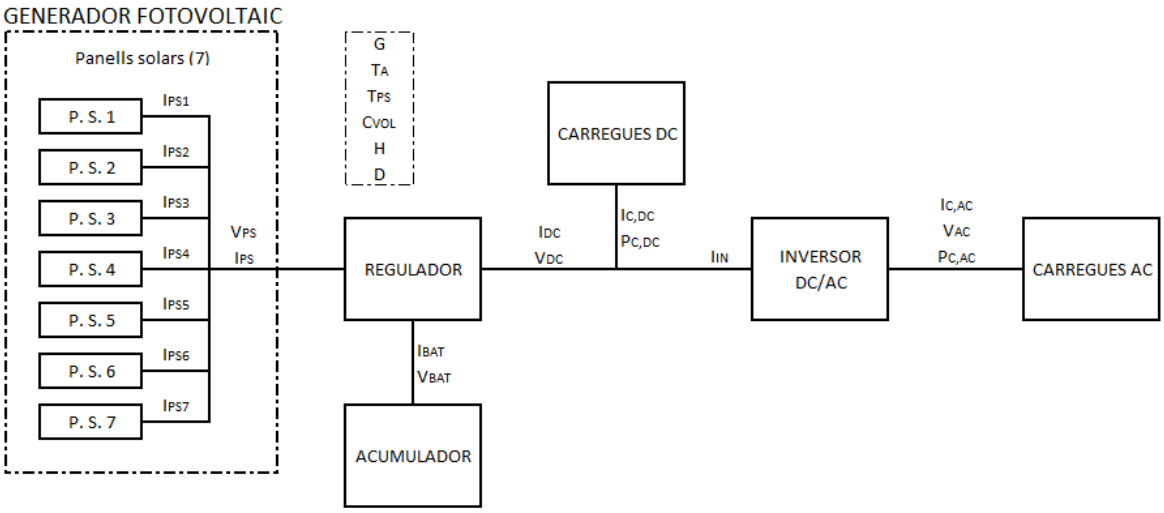

Figura 5.1. Variables de la instal·lació que es mesuraran.

La següent taula recull el nom de les variables, el seu símbol i les unitats:

Taula 5.1. Variables que es registraran amb símbols i unitats.

Variable	Símbol	Unitat
Irradiància	G	W/m^2
Temperatura ambient a la ombra	T_A	°C
Temperatura dels panells	T_{PS}	°C
Comptador volumètric	C_{VOL}	- [%]
Hora	H	-
Data	D	-
Intensitat del panell 1	I_{PS1}	A
Intensitat del panell 2	I_{PS2}	A
Intensitat del panell 3	I_{PS3}	A
Intensitat del panell 4	I_{PS4}	A
Intensitat del panell 5	I_{PS5}	A
Intensitat del panell 6	I_{PS6}	A
Intensitat del panell 7	I_{PS7}	A

Intensitat del generador fotovoltaic	I_{PS}	A
Tensió del generador fotovoltaic	V_{PS}	V
Intensitat bateries	I_{BAT}	A
Tensió bateries	V_{BAT}	V
Intensitat sortida regulador	I_{DC}	A
Tensió sortida regulador	V_{DC}	V
Intensitat carregues en DC	$I_{C,DC}$	A
Potència carregues en DC	$P_{C,DC}$	W
Intensitat entrada inversor	I_{IN}	A
Intensitat carregues en AC	$I_{C,AC}$	A
Tensió carregues en AC	$V_{C,AC}$	V
Potència carregues en AC	$P_{C,AC}$	W

Com s'ha explicat en l'apartat 6.1.1. per al tipus de monitorització que es proposa es prendran mesures instantànies cada 10 minuts de totes aquestes variables i s'emmagatzemarà en una memòria externa, per després poder fer un bolcat de dades a un ordinador.

5.3. Descripció de les variables i selecció dels sensors

En aquest apartat es descriuran les variables que es mesuren i els sensors que s'utilitzaran.

5.3.1. Irradiància (G)

Conèixer la irradiància [W/m^2] incident ens pot ajudar a determinar si els panells solars estan funcionant correctament ja que el rendiment dels panells depèn de diferents factors. Un exemple d'això és per exemple una mala captació de la irradiació per part dels panells quan aquests estan bruts.

5.3.1.1. Selecció del sensor

Per a la mesura de la irradiància es fa una cerca de diferents sensors que mesurin aquesta magnitud, finalment recorre a un sensor de la marca INGENIEURBÜRO, en concret el model Si-01TC-T, ja que apart de la irradiància, pot mesurar la temperatura de les plaques.

Figura 5.2. Sensor de irradiància Si-01TC-T [9].

Aquest sensor es pot alimentar a 5 V en DC i la seva sortida en tensió es de 0 a 1 V per a una entrada de 0 a 1.000 W/m^2. Amb aquestes dades, i la linealitat que garanteix el fabricant es pot obtenir la relació entre les magnituds.

$$V_{\mathrm{OUT}} = \frac{Irr}{1000} \qquad \textbf{(Eq.5.1)}$$

On:

V_{OUT} = Tensió de sortida [V].

Irr = Irradiància [W/m^2].

El sensor de radiació solar, es situarà a sobre l'estructura de les plaques solars, amb precaució de no fer ombra sobre els panells en cap moment i amb la mateix inclinació.

5.3.2. Temperatura ambient a la ombra (T_A)

Conèixer la temperatura ambient [°C] ens aporta informació addicional i es poden establir relacions amb diferents variables. Per exemple amb la temperatura dels panells o la irradiància.

5.3.2.1. Selecció del sensor

Per a la mesura de la temperatura ambient a la ombra s'ha optat per el sensor TMP36, que proporciona una sortida lineal del voltatge en funció de la temperatura.

Aquest sensor pot treballar a temperatures positives i negatives, amb la virtut que porta un offset que fabrica, que serveix perquè la seva sortida sigui sempre positiva, inclús al mesurar temperatures negatives. Això és molt útil ja que altres sensors similars no tenen aquesta característica i necessiten un tractament previ de la senyal.

Figura 5.3. Sensor de temperatura TMP36 [10].

La sortida del sensor és de 10 mV/°C i en la fitxa tècnica del sensor trobem la següent gràfica:

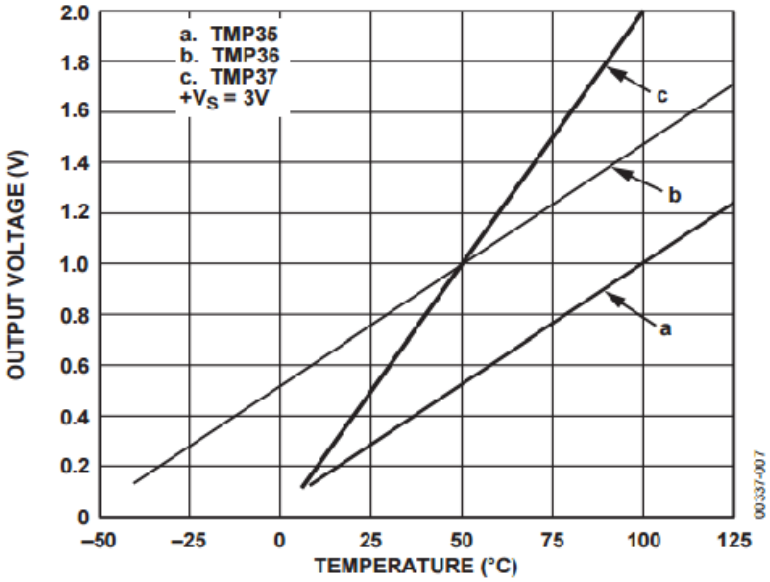

Figura 5.4. Voltatge vs Temperatura del sensor TMP36 [10].

La sortida d'aquest sensor no aprofita prou bé el fons d'escala del microcontrolador, així que es decideix aplicar una etapa preamplificadora, que multipliqui la tensió de sortida per 3.

5.3.3. Temperatura dels panells (T_{PS})

La temperatura dels panells [°C] és una dada molt important ja que el rendiment dels panells depèn directament de la temperatura a la que es troben.

5.3.3.1. Selecció del sensor

Per a la mesura de la temperatura dels panells s'utilitzarà el mateix sensor que s'ha utilitzat per la irradiància, ja que disposa d'una sortida dedicada a això. El sensor de la marca INGENIEURBÜRO model Si-01TC-T.

L'alimentació del sensor és a 5 V en DC i en la fulla tècnica del sensor s'indica que la seva sortida en tensió en funció de la temperatura de les plaques és la següent:

$$\boldsymbol{V_{\mathrm{OUT}} = 1,235 + T(°C) \cdot \frac{10\ mV}{°C}} \qquad \textbf{(Eq.5.2)}$$

On:

V_{OUT} = Tensió de sortida [V].

T (°C) = Temperatura en °C de les plaques.

La següent taula recull valors de sortida del sensor per algunes temperatures.

Taula 5.2. Valors d'entrada i sortida del sensor Si-01TC-T.

T (°C)	V_{out} (V)
-50	0,735
0	1,235
50	1,735
100	2,235
120	2,435

Es decideix aplicar una etapa preamplificadora per multiplicar el voltatge de la sortida per 2.

5.3.4. Comptador volumètric (C_{VOL})

Per a les instal·lacions que disposen de bombeig d'aigua es recomana saber el nivell d'aigua que hi ha en el dipòsit d'aigua, ja que el funcionament dels sistemes de bombeig d'aigua suposa un cost important d'energia. S'expressa en [%].

5.3.4.1. Selecció del sensor

Per al càlcul del volum d'aigua en el dipòsit d'aigua s'ha escollit el sensor d'ultrasons HC-SR04, un sensor amb un rang màxim de 4,5 m, que s'estimen oportuns pel cas en qüestió.

El seu funcionament es basa en el enviament d'un puls d'alta freqüència que rebota en les superfícies pròximes i retorna al sensor que disposa d'un micròfon adequat per la freqüència.

Mesurant el temps entre plusos i coneixent la velocitat del so, es pot estimar la distancia a la que esta el objecte o superfície en que ha rebotat. L'alimentació del sensor és de 5 V

Figura 5.5. Sensor d'ultrasons HC-SR04 [11].

5.3.5. Data (D) i Hora (H)

La captura d'aquestes variables es fa per software, a traves del rellotge en temps real i serveixen per determinar la data i l'hora en que es van fer les mesures, ja que són dades importants per establir relacions.

5.3.6. Intensitat dels panells solars (I_{PSn}) i intensitat del generador fotovoltaic (I_{PS})

Conèixer les intensitats individuals dels panells solars [A] és útil perquè haurien de ser semblants entre elles i es fàcil determinar si algun panell té algun problema.

La intensitat del generador fotovoltaic [A], es calcula per software com la suma de totes les intensitats dels panells solars.

La intensitat del generador també és d'interès ja que és un dels paràmetres utilitzats per dimensionar el regulador i és interessant saber si esta ben dimensionat.

5.3.6.1. Selecció del sensor

Degut a que en el dimensionat s'ha calculat que aquesta intensitat pot ser casi de fins a 83 A, s'ha d'utilitzar un sensor que mesuri aquet rang.

Per a tal propòsit s'ha escollit un sensor d'efecte Hall, model CYHCS-K200-50A, que mesura fins a un rang de 100 A.

Figura 5.6. Sensor Hall CYHCS-K200-50A [12].

Aquests sensor s'alimenta a 5 V i permet una mesura de corrent bidireccional, que en aquest cas no serà necessari, ja que a la sortida dels panells no s'esperen corrents negatives.

Proporciona una sortida en tensió lineal de fins a 5 V respecte a la entrada en corrent que detecta, porta un offset per a corrents negatives.

La relació entre la corrent d'entrada i el voltatge de sortida es pot veure en la següent taula:

Taula 5.3. Relació entrada sortida CYHCS-K200-50A .

Corrent d'entrada (A)	-100	-75	-50	-25	0	25	50	75	100
Voltatge de sortida (V)	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5

5.3.7. Tensió del generador fotovoltaic (V_{PS})

Degut a que els set panells solars estan connectats en paral·lel la tensió serà igual, i per tant es mesura la tensió a la sortida del generador fotovoltaic [V].

5.3.7.1. Selecció del sensor

La tensió del generador fotovoltaic serà de 24 V en DC, per això s'ha escollit un transformador DC que adapti la tensió per a l'entrada del PIC de 5 V.

S'escull el sensor CYVT03-34S0, ja que s'adapta a les necessitats de la instal·lació, s'escull un model amb alimentació de 24 V en DC per alimentar-lo mitjançant la tensió de 24 V de la instal·lació, i la seva sortida en tensió és de 0 a 5 V, per a tensions en ± 100 V en DC.

Figura 5.7. Sensor CYVT03-34S0 [13].

La relació entre el voltatge de entrada i el de sortida es mostra a la següent taula:

Taula 5.3. Relació entrada sortida CYVT03-34S0.

Voltatge d'entrada (V)	Voltatge de sortida (V)
-100	0
-50	1,25
0	2,5
50	3,75
100	5

5.3.8. Intensitat de les bateries (I_{BAT})

Conèixer la intensitat de les bateries [A] és molt important, ja que permet saber si estan en carrega o descarrega. Cal tenir en compte que el seu valor pot ser positiu, si les bateries s'estan carregant, o negatiu si les bateries estan descarregant.

Per aquest motiu s'ha de escollir un sensor que sigui bidireccional i permeti el sensat de corrents negatives i positives.

5.3.8.1. Selecció del sensor

Per al sensat de la intensitat de corrent a les bateries, s'ha de tenir en compte la possibilitat que el valor sigui negatiu. Quan les bateries es descarreguen el valor de la intensitat es negatiu, mentre que si les bateries es carreguen, el valor de la intensitat serà positiu.

Per tant s'ha de escollir un sensor que sigui bidireccional en corrent, tal com és el sensor que s'ha escollit per la intensitat del generador fotovoltaic, el sensor d'efecte Hall model CYHCS-K200-50A.

Proporciona una sortida en tensió lineal de fins a 5 V respecte a la entrada en corrent que detecta, porta un offset per tal de que les corrents negatives tinguin un valor positiu de voltatge a la sortida. Aquesta característica serà molt útil per el corrent negatiu de les bateries al descarregar-se.

5.3.9. Tensió de les bateries (V_{BAT})

La tensió a les bateries [V] permet conèixer el seu estat, ja que quan la seva tensió es màxima estan carregades i disminueix quan es descarreguen.

A més a més dona informació sobre el voltatge que deixa passar el regulador a les bateries, ja que aquest el pot interrompre o reduir si estan carregades.

5.3.9.1. Selecció del sensor

Degut a que la tensió de les bateries s'espera de 24 V, igual que en els panells, es recorre al mateix sensor model CYVT03-34S0, ja que s'adapta a les necessitats de la instal·lació, s'alimenta a 24 V (DC) i la seva sortida en tensió és de 0 a 5 V.

5.3.10. Intensitat sortida regulador (I_{DC})

La intensitat a la sortida del regulador [A] també és un paràmetre utilitzat per dimensionar el regulador i és interessant per saber si s'ha dimensionat correctament.

5.3.10.1. Selecció del sensor

Igual que per la corrent de entrada al regulador (intensitat del generador fotovoltaic), s'utilitza el mateix sensor d'efecte Hall, model CYHCS-K200-50A, que mesura fins a un rang de 100 A.

Aquests sensor s'alimenta a 5 V i permet una mesura de corrent bidireccional, que en aquest cas no serà necessari, ja que a la sortida del regulador no s'esperen corrents negatives. Proporciona una sortida en tensió lineal de fins a 5 V respecte a la entrada en corrent que detecta.

5.3.11. Tensió sortida regulador (V_{DC})

La tensió a la sortida del regulador [V], és molt important, ja que és una tensió comuna a les carregues en continua i al inversor.

Aquesta tensió permet el càlcul per software de la potència de les carregues en continua.

5.3.11.1. Selecció del sensor

Com en els casos anteriors en que s'ha mesurat tensió, la tensió que s'espera a la sortida del regulador és de 24 V, igual que en els panells i les bateries, es recorre al mateix sensor model CYVT03-34S0, ja que s'adapta a les necessitats de la instal·lació, s'alimenta a 24 V en DC i la seva sortida en tensió és de 0 a 5 V.

5.3.12. Intensitat carregues en DC ($I_{C,DC}$)

La intensitat de les carregues en DC [A], junt amb la tensió del regulador permet el càlcul per software de la potència de les carregues en continua.

5.3.12.1. Selecció del sensor

Com en els casos anteriors s'utilitza el mateix sensor d'efecte Hall, model CYHCS-K200-50A, ja és fàcil d'implementar i mesura fins a un rang de 100 A.

Aquests sensor s'alimenta a 5 V, permet una mesura de corrent bidireccional, que en aquest cas no serà necessari, ja que la intensitat de les carregues no serà negativa. Proporciona una sortida en tensió lineal de fins a 5 V respecte a la entrada en corrent que detecta.

5.3.13. Potència carregues en DC ($P_{C,DC}$)

La potencia de les carregues en continua [W] és un dels paràmetres utilitzats per dimensionar el generador fotovoltaic, i ens aporta informació sobre part del consum energètic de la instal·lació, per tant és important conèixer el seu valor.

L'obtenció de les potencies del sistema s'obté de forma indirecta a traves del producte de la intensitat i el voltatge corresponents.

En el cas de la potència en continua, el seu valor resulta del producte directe de la tensió per la intensitat.

$$\boldsymbol{P}_{\mathbf{C,DC}} = \boldsymbol{V}_{DC} \cdot \boldsymbol{I}_{\mathbf{C,DC}} \qquad \textbf{(Eq.5.3)}$$

On:

$P_{C,DC}$ = Potència carregues en DC [W].

V_{DC} = Tensió sortida regulador [V].

$I_{C,DC}$ = Intensitat carregues en DC [A]

5.3.14. Intensitat entrada inversor (I_{IN})

La intensitat d'entrada al inversor [A] permet saber quanta corrent en DC entra al inversor.

5.3.14.1. Selecció del sensor

Com en els casos anteriors s'utilitza el mateix sensor d'efecte Hall, model CYHCS-K200-50A.

Aquests sensor s'alimenta a 5 V, permet una mesura de corrent bidireccional, que en aquest cas no serà necessari, ja que la intensitat de les carregues no serà negativa. Proporciona una sortida en tensió lineal de fins a 5 V respecte a la entrada en corrent que detecta.

5.3.15. Intensitat carregues en AC ($I_{C,AC}$)

La intensitat de les carregues en AC [A] permet el càlcul per software de la potencia de les carregues en AC.

5.3.15.1. Selecció del sensor

Per al sensat de la corrent en AC es recorre a el sensor CR9550-50. Es tracta d'un sensor d'efecte Hall que genera una tensió de sortida de 0 a 5 V en DC proporcional al corrent AC que detecta. No necessita de tensió d'alimentació ja que és autoalimentat.

Figura 5.8. Sensor CR9550-50 [14].

5.3.16. Tensió carregues en AC ($V_{C,AC}$)

La tensió de les carregues en AC [V] junt amb la intensitat permet el càlcul per software de la potencia de les carregues en AC.

5.3.16.1. Selecció del sensor

Per al càlcul d'aquesta tensió es recorre a un sensor similar utilitzar per les tensions en continua, però tenint en compte que ara les tensions son en alterna.

El model escollit és el TM2U A76, aquest sensor té un voltatge d'entrada de fins a 250 V en AC, és autoalimentat i proporciona una tensió de sortida de 0 a 5 V.

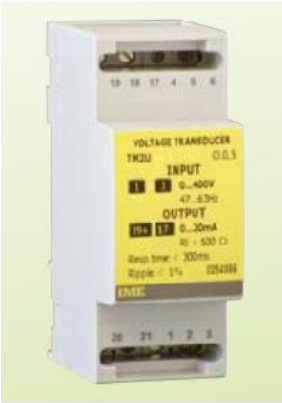

Figura 5.9. Sensor TM2U A76 [15].

Per saber la relació entre la entrada i la sortida simplement s'ha de considerar que a 250 V d'entrada tenim 5V de sortida.

Així dons tenim que:

$$\boldsymbol{V_{\text{out}} = V_{in} \cdot 0,02} \qquad \textbf{(Eq.5.4)}$$

On:

V_{out} = Tensió sortida en DC [V].

V_{in} = Tensió entrada en AC [V].

5.3.17. Potència carregues en AC ($P_{C,AC}$)

La potència de les carregues en AC [W] és una dada molt important ja que serveix tant per dimensionar el inversor com el generador fotovoltaic, a part ens aporta informació sobre part del consum energètic de la instal·lació, per tant és important conèixer el seu valor.

En el cas de la potència en alterna, per efectes simplificatius es calcularà la potència aparent, i es suposarà un factor de potència (cos φ) igual a 1. Es proposarà com a possible millora el càlcul de la potència activa.

$$\boldsymbol{P_{\mathrm{C,AC}} = V_{\mathrm{C,AC}} \cdot I_{\mathrm{C,AC}} \cdot \cos \varphi} \qquad \textbf{(Eq. 5.5)}$$

On:

$P_{C,AC}$ = Potència carregues en AC [W].

$V_{C,AC}$ = Tensió carregues en AC [V].

$I_{C,AC}$ = Intensitat carregues en AC [A].

cos φ = Factor de potència.

6. Possibles solucions i solució escollida

Durant la realització de la unitat de monitorització van sortit diferents possibilitats en quant al seu funcionament i la seva construcció. En aquest capítol veurem les solucions que es van escollir així com altres alternatives viables que es van descartar.

6.1. Emmagatzematge de dades

El emmagatzematge de dades es fa mitjançant una EEPROM externa, ja que el PIC per ell sol no pot guardar tanta informació, ometre la EEPROM per emmagatzemar dades, hagués implicat la necessitat d'un ordinador o un dispositiu (com Raspberry pi) connectat indefinidament a la unitat de monitorització per tal de emmagatzemar les dades que s'extreuen de la instal·lació fotovoltaica. Degut a que això no resulta còmode per al usuari, es va optar per la connexió d'una EEPROM externa al PIC que emmagatzemes les dades, a la espera de ser bolcades puntualment a un ordinador per al usuari.

6.2. Transmissió de dades

La transmissió de dades, en un dispositiu com la unitat de monitorització, es va plantejar de dos maneres, o per RS-232, o be per USB (Universal Serial Bus). Si que és cert que el port sèrie RS-232 ha quedat una mica obsolet en comparació al USB que s'ha imposat a nivell mundial, tot i així encara molts dispositius funcionen amb un port sèrie RS-232.

El motiu que la transmissió de dades es decidís fer per RS-232 i no per USB, va ser que aquest tipus de comunicació resulta molt fàcil d'implementar en PICs conjuntament amb un component anomenat MAX232 (explicat en més detall en el capítol 7), i és pot simular fàcilment en Proteus per veure el resultat, a més a més funciona a qualsevol ordinador sempre i quan es tingui un port sèrie o be un adaptador. Per altra banda la comunicació per USB necessita de la instal·lació de múltiples divers i presenta una configuració difícil, amb la possibilitat que algun ordinador no detecti la connexió.

Degut a això, finalment es va decidir per fer la comunicació per RS-232. Tot i així es deixa com a possible millora, amb tota la connexió necessària feta, la connexió per USB per a la unitat de monitorització.

6.3. Sistema de visualització

La navegació pel menú de la unitat de monitorització es du a terme mitjançant un display LCD i polsadors. Es va pensar en aquest sistema ja que resulta bastant intuïtiu i senzill. Es va decidir incloure un sistema d'aquesta mena per múltiples motius, un d'ells es que pogués funcionar de forma autònoma sense la necessitat d'un ordinador connectat constantment, i permetés decidir quan fer el

bolcat de dades a un ordinador, així com visualitzar el valor instantani de totes les variables i altres funcions com modificar la hora i la data de la unitat des de la mateixa unitat. El fet de no incloure el sistema de visualització hagués implicat una reducció molt significativa de la funcionalitat de la unitat de monitorització

6.4. Captació de dades

La captació de dades és un dels punts mes importants del projecte, essent el PIC 18F4550 insuficient per ell sol per manejar tantes variables, era necessari algun mecanisme que permetés adquirir més dades i processar-les.

Es van plantejar dos maneres per resoldre aquest problema, la primera mitjançant la connexió de multiplexors al PIC i per software anar variant els pins de control d'aquests per tal de adquirir totes les possibles variables connectades als multiplexors. La segona consistia en afegir mes microcontroladors PICs al disseny, que s'ocupessin exclusivament de la captació de variables i després les enviessin al PIC central.

La primera solució amb multiplexors, presentava una sèrie de inconvenients tant de hardware com de software. Respecte al hardware, un connexionat complicat, ja que feien falta aproximadament 4 multiplexors, i això requeria una connexió complicada. Pel que fa al software, el problema era un programa considerablement més complex, ja que es tenia que canviar constantment els pins de control dels multiplexors, i en funció d'aquests pins, tractar les dades que rebia el PIC d'una manera diferent.

La segona opció, afegir mes PICs al disseny, presentava mes avantatges que inconvenients. Primerament dotava al disseny de molta versatilitat, ja que els microcontroladors són molt més versàtils que els multiplexors. En segon lloc, els PICs permetien un primer processat de les variables que registraven, disminuint la carrega del PIC central. Pel que fa a la connexió, es realitza per I^2C, i només requereix de dos cables, un per les dades i un pel rellotge, per tant una connexió molt senzilla.

Finalment degut a totes les avantatges que presentava la opció dels PICs, es va decidir continuar amb aquesta opció.

7. Unitat de monitorització

En aquest capítol s'explica a fons el funcionament de la unitat de monitorització, els elements pels quals esta formada, com es comunica amb l'usuari i amb altres equips i els esquemes elèctrics.

7.1. Introducció

La unitat de monitorització és el cos d'aquest treball, com a tal, s'ocupa de prendre totes les dades que es volen mesurar del sistema, les processa, les emmagatzema i les guarda per al seu posterior bolcat a un ordinador.

La unitat de monitorització està basada en microcontroladors PIC, essent el seu principal microcontrolador el PIC 18F4550.

El seu funcionament s'ha intentat simplificar al màxim per al usuari, la interacció amb l'aparell es realitza a traves de polsadors que serveixen per navegar pel menú, que es visualitza en un display LCD. Permet visualitzar en temps real totes les variables que es mesuren, però de forma automàtica el aparell emmagatzema les dades en una unitat de memòria externa.

Pot funcionar de forma autònoma, sense necessitat d'altres equips, però la seva característica més important es que permet el bolcat de dades en un ordinador a traves d'una comunicació sèrie RS232.

7.2. Elements bàsics

En aquest apartat s'explicaran tots els elements que conformen la unitat de monitorització. A continuació s'adjunta un senzill esquema de blocs per il·lustrar els elements més importants que formen la unitat de monitorització.

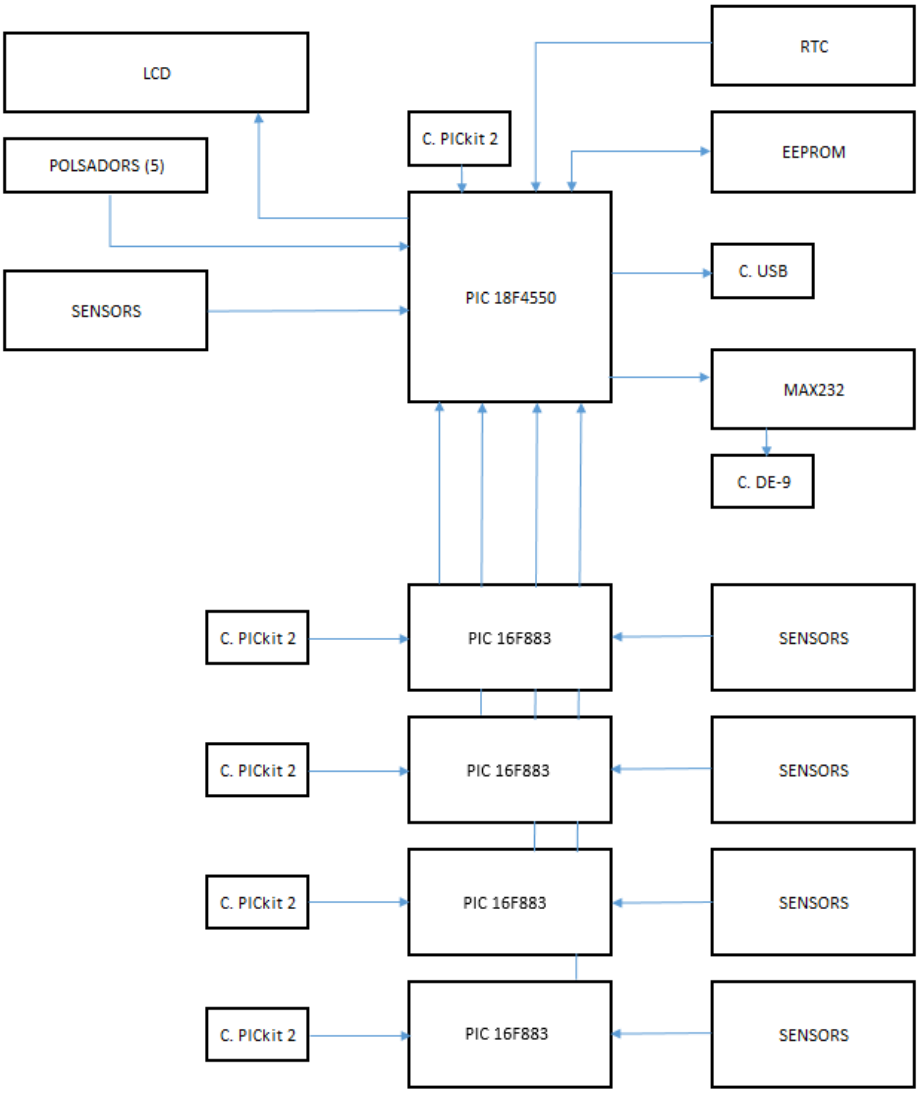

Figura 7.1. Diagrama de blocs de la unitat de monitorització.

7.2.1. Font d'alimentació

Per a la alimentació de la unitat de monitorització s'ha decidit comprar una font d'alimentació model RQ-125B. Es tracta d'una font d'alimentació commutada de 125 W amb quatre possibles sortides, 5, 12, -5 i -12 V.

S'ha escollit amb múltiples sortides, per alimentar etapes amplificadores dels sensors, on seran molt útils per alimentar amplificadors operacionals.

Aquesta font d'alimentació va alimentada a 230 V en AC, per tant anirà connectada a la part d'alterna de la instal·lació.

Figura 7.2. Font d'alimentació RQ-125 [16].

La següent taula defineix el patillatge i la tensió de les sortides de la font d'alimentació:

Taula 7.1. Patillatge font d'alimentació RQ-125.

Pin nº	Funció	Sortida [V]
1	AC/L	/
2	AC/N	/
3	Terra flotant (FG)	/
4	Sortida DC – V4	- 12 V
5	Sortida DC V3	- 5 V
6	Sortida DC + V2	12 V
7	Sortida DC COM	/
8	Sortida DC + V1	5 V

7.2.2. Microcontroladors

La unitat de monitorització esta basada en microcontroladors PIC. L'elecció dels microcontroladors es va escollir en base a diferents criteris i segons la seva necessitat, com per exemple, la quantitat de entrades analògiques i el numero de potes, la memòria interna, la disponibilitat de pins dedicats a comunicació RS232 i I2C entre altres factors.

7.2.2.1. Microcontrolador central

Aquest PIC es el centre de la unitat de monitorització, ja que tots els altres elements interactuen directament amb ell.

S'ocupa de interactuar amb l'usuari, mesurar algunes dades i de processar totes les que rep, d'enviar dades al display, de fer la connexió sèrie amb l'ordinador i I2C amb altres PICs i elements del disseny com el rellotge en temps real i la memòria externa. També disposa de connexió USB.

En base a totes les necessitats, finalment es va escollir el PIC 18F4550, és un PIC àmpliament reconegut, molt versàtil i potent. Es va escollir el seu model de 40 pins en DIP.

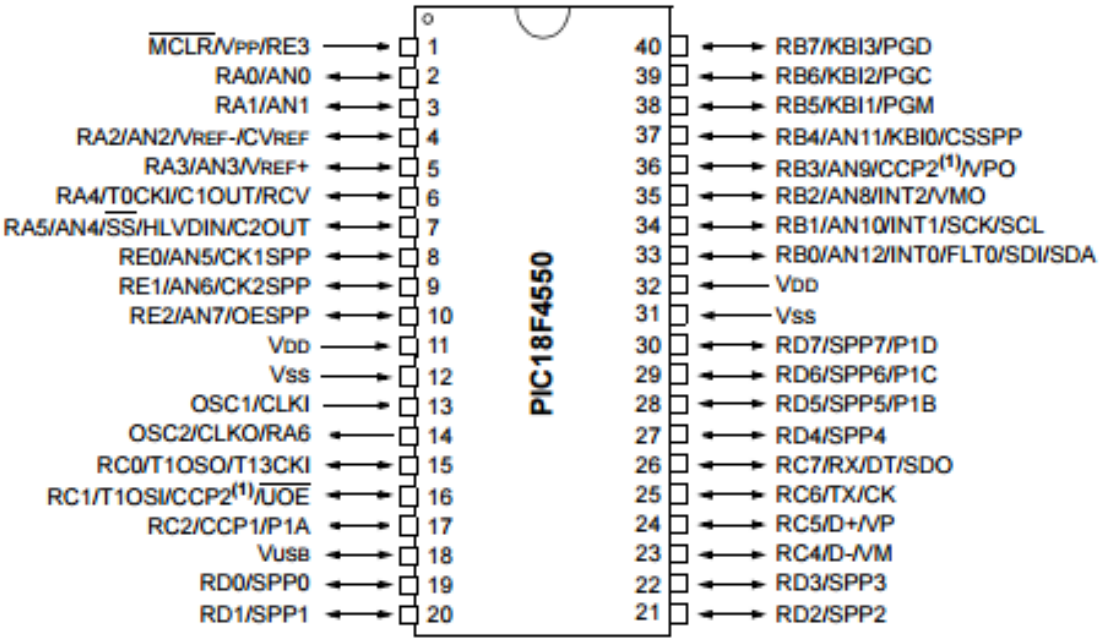

Figura 7.3. Esquemàtic del patillatge del PIC 18F4550.

A continuació s'adjunten algunes de les seves principals característiques extretes del seu datasheets.

Taula 7.2. Principals característiques del PIC 18F4550.

Característiques	PIC 18F4550
Freqüència d'operació	DC – 48 MHz
Memòria de programa (bytes)	32.768
Memòria de programa (instruccions)	16.384
Memòria de dades	2.048
Memòria EEPROM de dades (bytes)	256

Fonts d'interrupció	20
Ports I/O	Ports A, B, C, D,E
Temporitzadors	4
Mòduls captura/comparació/PWM	1
Comunicacions sèrie	MSSP, USART millorat
Mòduls USB	1
Mòduls analògic - digital (10 bits)	13 canals d'entrada
Comparadors	2

7.2.2.2. Microcontroladors esclaus

A part del microcontrolador central, el disseny disposa de quatre microcontroladors més, aquests s'ocupen de la presa de dades de diferents variables, així com d'un primer processat d'aquestes per treure carrega de treball al microcontrolador central.

Per a aquests microcontroladors s'ha escollit un PIC16F883, un model de microcontrolador semblant al primer però menys potent i amb menys potes, estan dedicats exclusivament a la presa de dades i es comuniquen a traves d'una connexió I2C, que s'explicarà en més detall en l'apartat 5.6.

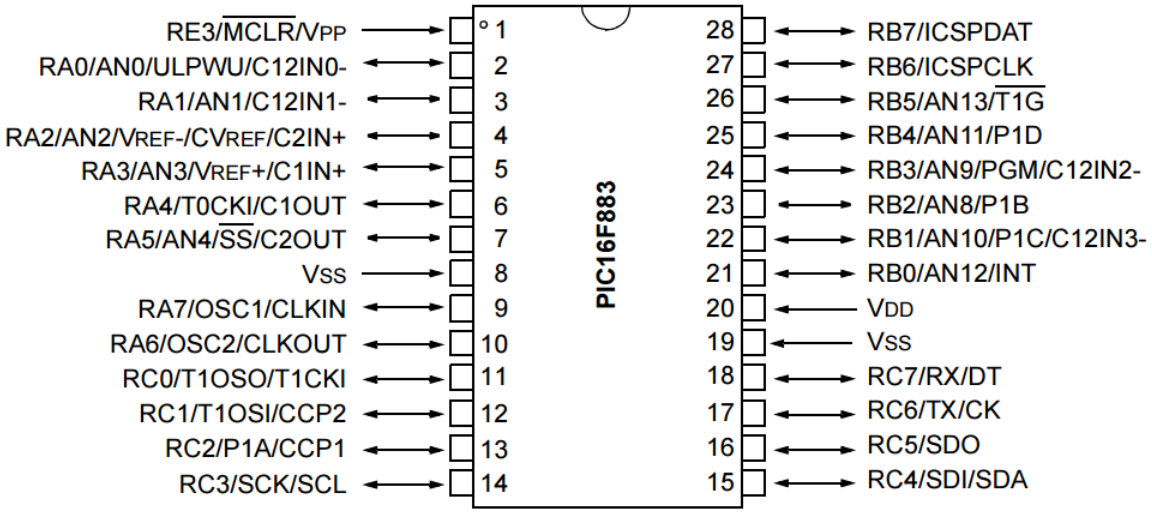

Figura 7.4. Esquemàtic del patillatge del PIC 16f883.

A continuació s'adjunten algunes de les seves principals característiques extretes del datasheet.

Taula 7.3. Principals característiques del PIC 16F883.

Característiques	PIC 16F883
Memòria de programa flash (paraules)	4.096
Memòria de dades SRAM (bytes)	256
Memòria de dades EEPROM (bytes)	256

I/O	24
Mòduls analògic - digital (10 bits)	13 canals d'entrada
ECCP/CCP	1/1
MSSP	1
Comparadors	2
Temporitzadors 8/16 bit	2/1

El fet de tenir aquets 4 microcontroladors comunicats amb el microcontrolador central, fa que sigui un sistema molt versàtil.

7.2.3. Rellotge en temps real

Una part important del disseny és la presa de dades, per a poder realitzar una bona gestió d'aquestes dades és important saber el moment en que es van prendre, el rellotge en temps real ens permet conèixer en tot moment la hora i data en que es prenen les mesures, així com per comptar intervals de temps.

Per a aquesta funció s'ha escollit un component anomenat DS1307 en el seu model DIP, un RTC (real time clock) de 8 potes que es comunica per I^2C amb el PIC 18F4550, alimentat a 5 V en DC i que disposa d'una bateria externa de 3,3 V i un cristall de 32 KHz per tal de que mantingui l'hora en cas de perdre l'alimentació.

A continuació s'adjunta el patillatge extret del datasheet.

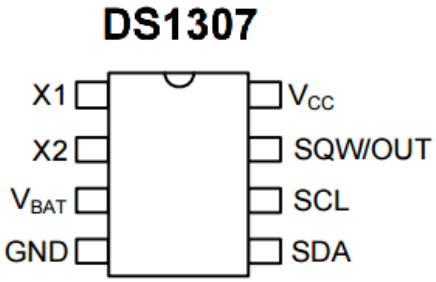

Figura 7.5. Patillatge del DS1307.

La següent taula defineix el nom i la funció del dels pins:

Taula 7.4. Funció pins DS1307.

Pin	Nom	Funció
1	X1	Connexió per cristall
2	X2	Connexió per cristall
3	V_{BAT}	Alimentació de reserva
4	GND	Massa
5	SDA	Serial Data input (I^2C)
6	SCL	Serial Clock input (I^2C)
7	SQW/OUT	Sortida ona quadrada
8	V_{CC}	Alimentació (5 V DC)

Per complementar aquest component, s'adjunta en detall la seva connexió en la unitat de monitorització.

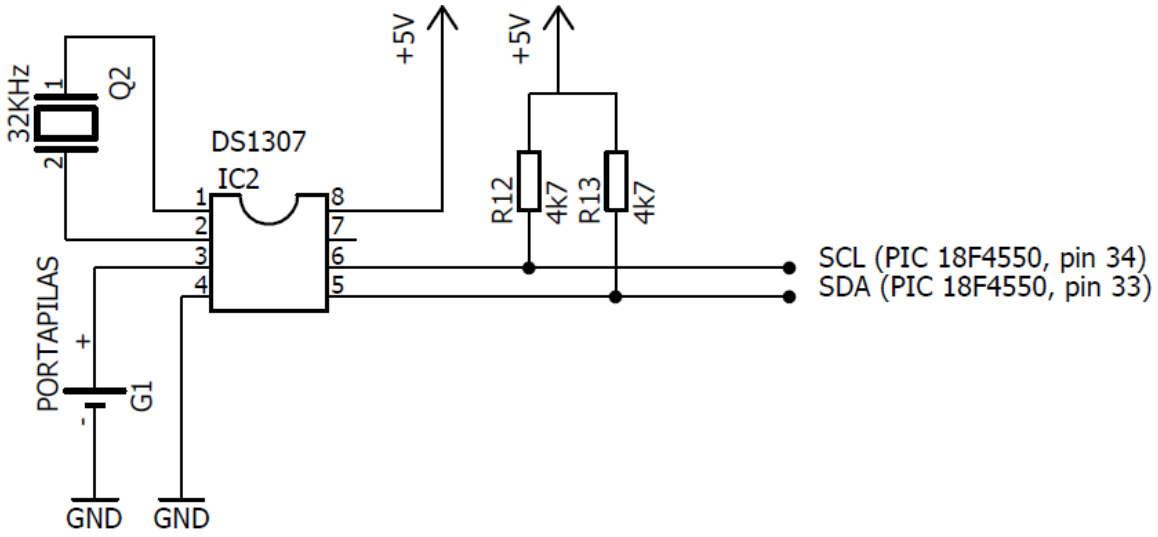

Figura 7.6. Connexió de DS1307.

7.2.4. Memòria externa

La EEPROM externa va connectada per I^2C al PIC 18F4550, i permet emmagatzemar totes les dades que es recullen del sistema fotovoltaic, com que guardar-les en la memòria dels PICs es inviable, s'ha optat per aquesta solució que guarda les dades contínuament cada 10 minuts i en el orde i format corresponent, per quan es necessari fer el bolcat al ordinador. S'ha escollit el model 24LC1025 que disposa d'una capacitat adequada per al nostre sistema.

En cas de que l'usuari vulgui, o be per necessitat, es pot sobreescriure el contingut de la memòria per software.

A continuació s'adjunta el seu patillatge extret del seu datasheet.

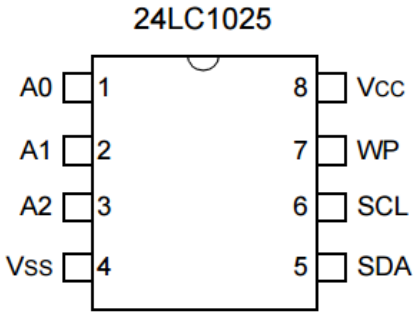

Figura 7.7. Descripció i patillatge de les dos EEPROM .

La següent taula defineix el nom i la funció del dels pins:

Taula 7.5. Funció pins 24LC1025.

Figura 7.4. Circuit típic d'aplicació del DS1307.

Pin	Nom	Funció
1	A0	Chip Select configurable
2	A1	Chip Select configurable
3	A2	Chip Select no configurable (Connexió amb V_{cc})
4	V_{SS}	Massa
5	SDA	Serial Data input (I^2C)
6	SCL	Serial Clock input (I^2C)
7	WP	Protecció escriptura
8	V_{CC}	Alimentació (5 V DC)

S'adjunta en detall la connexió de la memòria externa 24LC1025 a la unitat de monitorització.

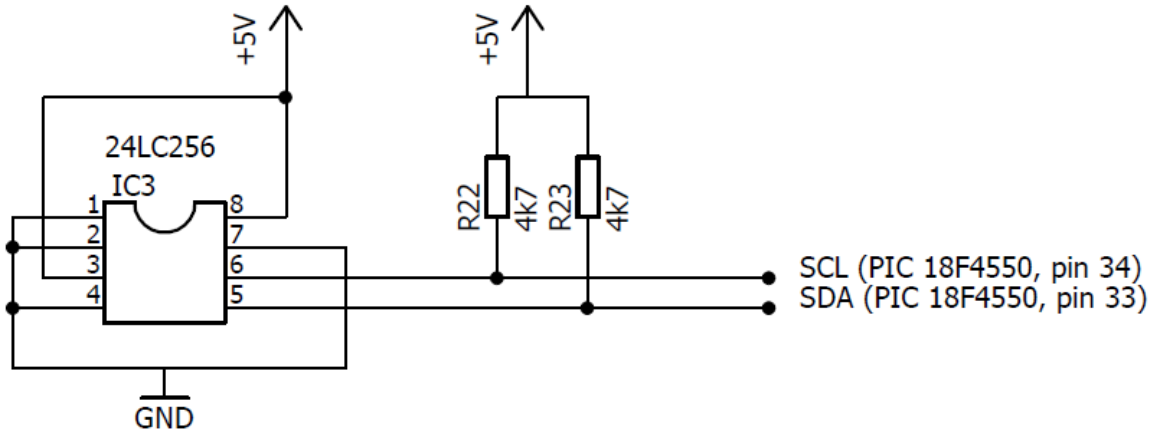

Figura 7.8. Connexió de la 24LC1025.

7.2.5. MAX232 (TTL / RS-232)

Per tal de poder comunicar el PIC 18F4550 amb un ordinador per fer el bolcat de dades, es va optar per fer una comunicació RS-232, degut a la facilitat en implementar aquesta comunicació. Per a tal propòsit, primer de tot, s'han de convertir els nivells TTL del microcontrolador a nivells RS-232.

El MAX232 és un component àmpliament conegut, és un circuit integrat que converteix les senyals d'un port sèrie RS-232 a senyals compatibles amb nivells TTL i viceversa.

El MAX232 té sortides amb nivells de voltatge de RS-232 (aproximadament ± 7,5 V) que les produeix a partir d'un voltatge d'alimentació de +5 V utilitzant multiplicadors de voltatge internament en el MAX232 amb l'addició de condensadors externs. Això és de molta utilitat per a la implementació de ports sèrie RS-232 en dispositius que tinguin una alimentació simple de +5 V, com és el cas dels microcontroladors que es fan servir en aquest treball.

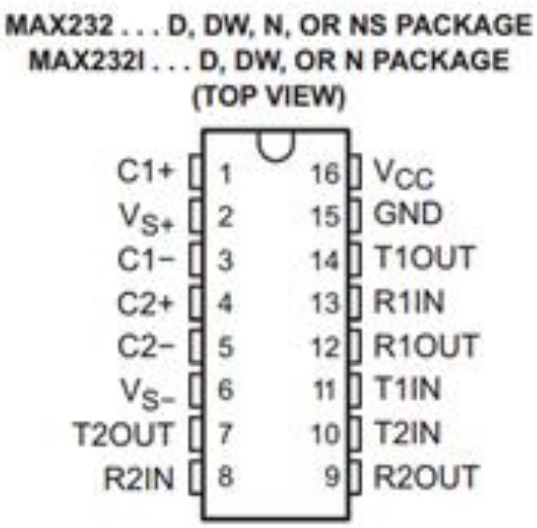

Figura 7.9. Patillatge MAX232 .

La següent taula defineix el nom i la funció del dels pins, així com el valors dels components que s'han utilitzat:

Taula 7.6. Funció pins MAX-32.

Pin	Nom	Funció
1	C1+	Connexió positiva condensador C1
2	V_{S+}	Connexió de sortida del voltatge positiu
3	C1-	Connexió negativa condensador C1
4	C2+	Connexió positiva condensador C2
5	C2-	Connexió negativa condensador C2
6	V_{S-}	Connexió de sortida del voltatge negatiu
7, 14	T2OUT, T1OUT	Línia sortida dades RS232
8, 13	R2IN, R1IN	Línia entrada dades RS232
9, 12	R2OUT, R1OUT	Sortida dades lògiques
10, 11	T2IN, T1IN	Entrada dades lògiques
15	GND	Massa
16	V_{CC}	Alimentació (5 V DC)

Degut a que la connexió d'aquest component resulta d'especial importància s'adjunta el seu circuit, junt amb el valors dels components que s'han utilitzat.

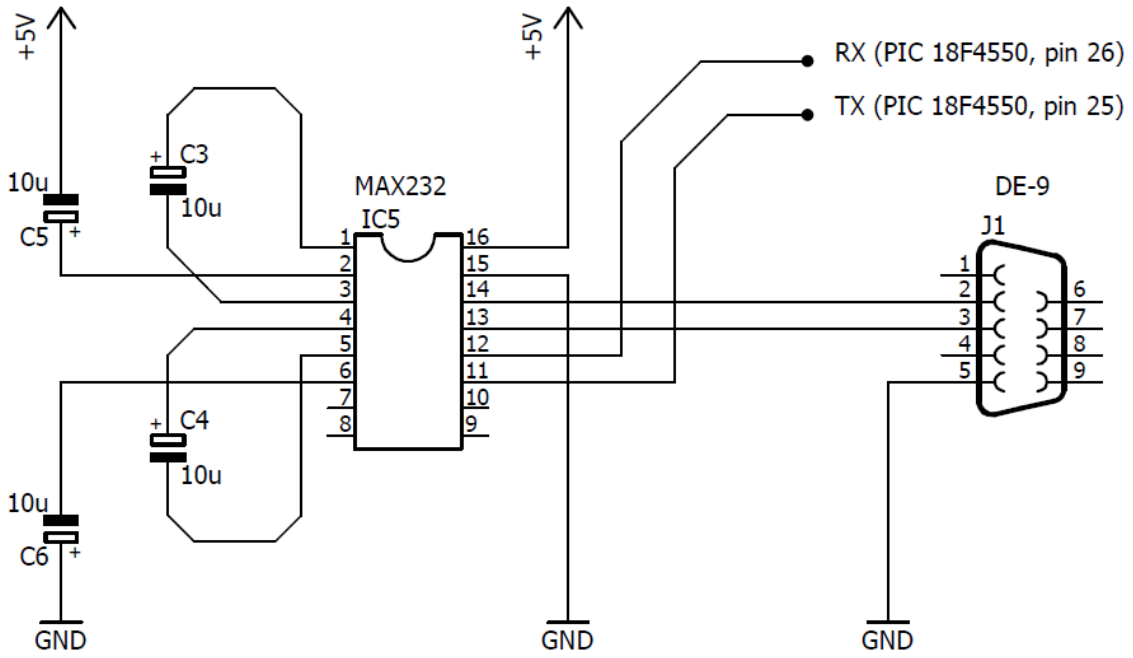

Figura 7.10. Connexió MAX232 .

Aquest component va connectat al PIC 18F4550 en els seus pins RX i TX, el que permet bolcar les dades emmagatzemades a la memòria a un ordinador que disposi de connexió sèrie. Com molt ordinadors actuals no disposen d'aquest tipus de ports, es recorre a un adaptador USB-RS232, que s'explicarà mes endavant.

7.2.6. Display LCD

El PIC 18F4550 interactua amb l'usuari amb un display LCD. En ell es visualitza, el menú del programa, així com el valor de les variables en temps real.

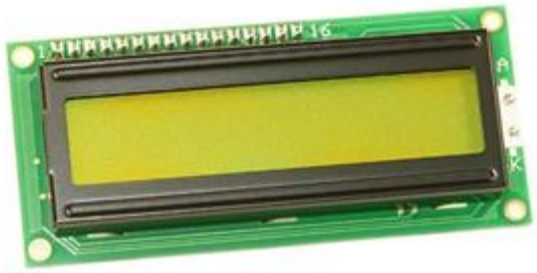

Figura 7.11. Display LCD utilitzat en la unitat de monitorització .

Per al disseny de la unitat de monitorització s'ha escollit un LCD de 16 caràcters i 2 files, ja que s'ha cregut suficient per mostrar la informació necessària per pantalla.

El patillatge del LCD és el següent:

Taula 7.7. Patillatge LCD.

Pin nº	Nom	Funció
1	Vss	Massa (GND)
2	Vcc	Alimentació (5V)
3	Vee	Ajust de contrast
4	RS	Selecció de registre
5	RW	Llegir/escriure
6	E	Activador
7	D0	Dades 0
8	D1	Dades 1
9	D2	Dades 2
10	D3	Dades 3
11	D4	Dades 4
12	D5	Dades 5
13	D6	Dades 6
14	D7	Dades 7
15	Vb+	Il·luminació posterior (5 V)
16	Vb-	Il·luminació posterior (GND)

La connexió del LCD amb el PIC 18F4550 s'ha realitzat amb quatre cables de dades, D4, D5, D6 i D7.

7.2.7. Polsadors

Els polsadors, van connectats al PIC 18F4550, i junt amb el display LCD permeten al usuari navegar pel menú de la unitat de monitorització.

Figura 7.12. Polsadors utilitzat en la unitat de monitorització .

Aquest tipus de polsadors tenen dos potes connectades internament entre si, que fan la connexió amb el altre bloc de potes quan es prem el polsador en si.

Hi ha cinc polsadors, el seu nom i funcionalitat es descriuen a continuació.

HOME — Al prémer aquest polsador s'estigui a la pantalla que s'estigui, es retorna a la pantalla inicial, on es mostra la data i l'hora.

UP — Al prémer aquest polsador es desplaça una posició endavant en el menú o s'incrementa una variable

DOWN — Al prémer aquest polsador es desplaça una posició enrere en el menú o disminueix una variable

OK — Al prémer aquest polsador es confirma l'opció que es té seleccionada i s'entra en un nou nivell del menú .

BACK — Al prémer aquest polsador es torna un nivell enrere en el menú.

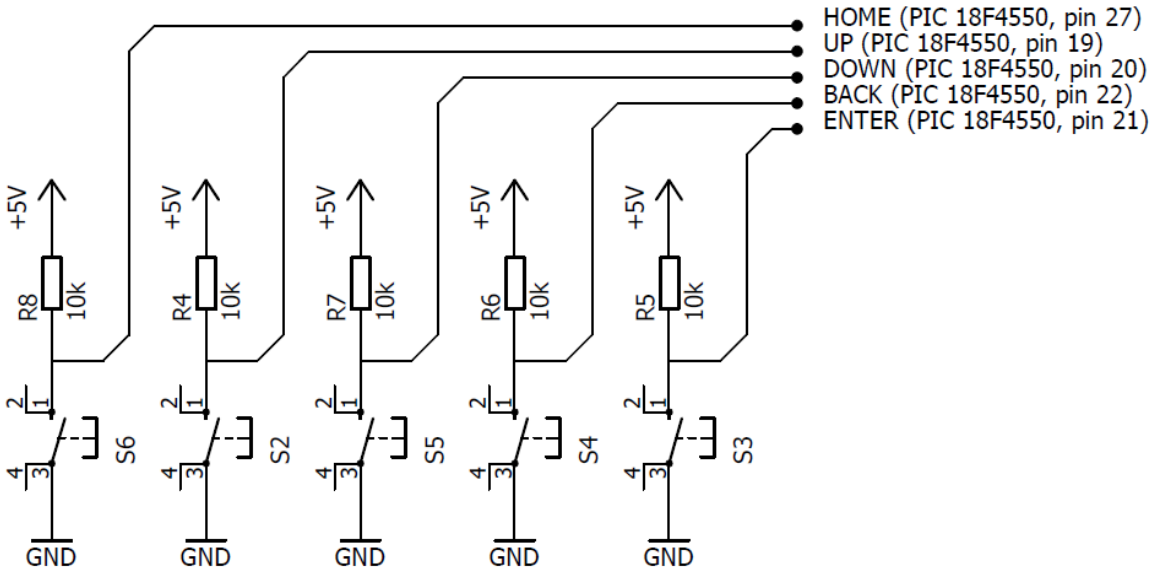

Figura 7.13. Connexió dels polsadors.

7.2.8. Connexió amb PICkit

Per tal de programar els microcontroladors, s'ha utilitzat un PICkit 2, un programador per microcontroladors PIC, creat per la empresa Microchip.

Figura 7.14. Imatge del PICkit 2 .

Tots els microcontroladors tenen la connexió necessària amb aquest instrument, cal connectar els 5 pins del PICkit 2, la tensió i la massa (pins 2 i 3 respectivament) són comunes en tots, però els pins 1,4 i 5 són individuals a cada PIC. El pin 6 (Auxiliary), no s'utilitza en aquest disseny.

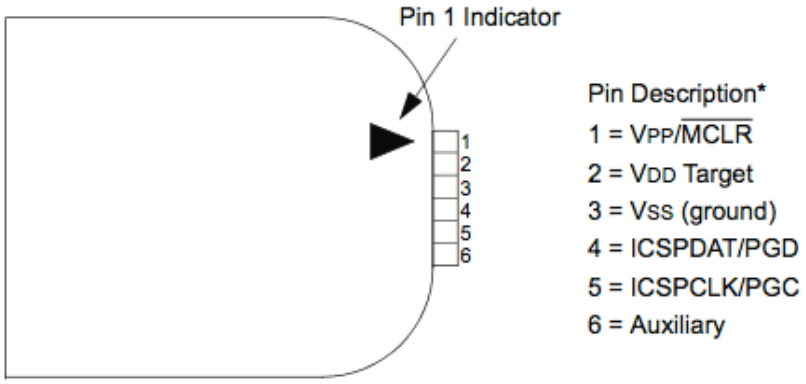

Figura 7.15. Patillatge del PICkit 2.

La següent taula defineix el nom i la funció del dels pins:

Taula 7.8. Patillatge PICkit2.

Pin nº	Nom	Funció
1	Vpp/$\overline{MCLR}$	Voltatge de programació
2	V_{DD}	Alimentació (5V)

3	V_{SS}	Massa
4	ICSPCLK/PGD	Programing clock
5	ICSPCLK/PGC	Programing data
6	Auxilary	Auxiliar

El software utilitzat per crear el programa ha estat el PIC C compiler, i per escriure'l al PIC el software PICkit 2.

7.2.9. Sensors

La unitat de monitorització necessita de sensors per capturar totes les variables que es mesuren i guardar-les a la memòria externa.

Tots els sensors que s'utilitzen són analògics i van connectats a les entrades analògiques dels PICs. Les entrades analògiques nomes poden rebre fins a 5 V en DC, per això tots els sensors s'han escollit amb una sortida en tensió de 0 fins a 5 V.

La taula de continuació recull tots els sensors que s'utilitzaran en la unitat de monitorització així com la variable que mesuren:

Taula 7.9. Sensors utilitzats en la unitat de monitorització.

Model del sensor	Variable que mesura	Unitat
Si-01TC-T	Irradiància	W/m^2
TMP36	Temperatura ambient a la ombra	°C
Si-01TC-T	Temperatura dels panells	°C
HC-SR04	Comptador volumètric	- [%]
CYHCS-K200-50A	Intensitat del panell 1	A
CYHCS-K200-50A	Intensitat del panell 2	A
CYHCS-K200-50A	Intensitat del panell 3	A
CYHCS-K200-50A	Intensitat del panell 4	A
CYHCS-K200-50A	Intensitat del panell 5	A
CYHCS-K200-50A	Intensitat del panell 6	A
CYHCS-K200-50A	Intensitat del panell 7	A
Sensor CYVT03-34S0	Tensió del generador fotovoltaic	V
CYHCS-K200-50A	Intensitat bateries	A
Sensor CYVT03-34S0	Tensió bateries	V
CYHCS-K200-50A	Intensitat sortida regulador	A
Sensor CYVT03-34S0	Tensió sortida regulador	V

CYHCS-K200-50A	Intensitat carregues en DC	A
Sensor CYVT03-34S0	Intensitat entrada inversor	A
CR9550-50	Intensitat carregues en AC	A
TM2U A76	Tensió carregues en AC	V

En aquesta taula només apareixen les variables resultat d'una mesura directa amb un sensor, ja que cal tenir en compte que algunes variables s'obtenen de forma indirecte a través de càlculs o per software.

7.3. Presa de dades i selecció de variables

La presa de dades es un factor clau per la unitat de monitorització, el microcontrolador central rep dades de dos maneres. La primera es de forma directa amb els propis conversos analògics digitals de que disposa, la segona es a través de la comunicació I^2C. El PIC 18F4550 rep dades dels quatre PICs 16F883 esclaus que mesuren variables, fan un primer processat de les dades i les envien per I^2C. També a traves del rellotge en temps real, que envia la data i l'hora.

A continuació s'explicarà quins sensors van connectats a cada PIC així com les variables que mesuren, també s'indicarà a quin pin analògic van connectats. Els PICs esclaus 16F883 s'han enumerat per distingir-los.

Cal tenir en ment que els pins analògics, anomenats AN, tenen la seva pròpia numeració que no es correspon amb el numero del pin del microcontrolador. Per exemple, en el cas dels microcontroladors que s'utilitzen, el pin analògic 0 (AN0), es correspon al pin 2 dels microcontroladors.

Pel que fa a les entrades analògiques que no s'utilitzen en el cas d'aquesta instal·lació, es reserven per a possibles diferencies entre instal·lacions fotovoltaiques, on podrien haver més variables a monitoritzar. La unitat de monitorització que s'ha dissenyat és versàtil per adaptar-se a múltiples instal·lacions.

7.3.1. PIC18F4550

El PIC 18F4550 és el centre de la unitat de monitorització, ell s'encarrega de guardar totes les variables a la memòria externa o de bolcar-les en un ordinador si és necessari, però pel que fa a la captació directe de dades amb sensors, només mesura quatre variables que estan assignades als pins analògics 0 al 4, es poden veure a la taula 7.6. També es responsable de guardar el valor de la data i l'hora gracies al rellotge en temps real, i de calcular la potencia de les carregues en DC i en AC en base als valors que rep.

Taula 7.10. Sensors i variables PIC 18F4550.

Sensor	Variable que mesura	Unitat	Pin analògic
Software	Hora	-	-
Software	Data	-	-
Si-01TC-T	Irradiància	W/m^2	AN0
TMP36	Temperatura ambient a la ombra	°C	AN1
Si-01TC-T	Temperatura dels panells	°C	AN2
HC-SR04	Comptador volumètric	- [%]	AN3 i AN4
Software	Potència carregues en DC	W	-
Software	Potència carregues en AC	W	-

7.3.2. PIC 16F883 (1)

Aquest primer microcontrolador esclau serà el encarregat de mesurar les intensitats dels panells solars de la instal·lació, així com de fer el càlcul de la intensitat del generador fotovoltaic, que és la suma de totes les intensitats dels panells. També s'ocupa de la mesura del voltatge dels panells.

Per tant aquest PIC s'ocupa principalment del generador fotovoltaics de la instal·lació. El generador fotovoltaic es el conjunt de tots els panells que formen la instal·lació.

Taula 7.11. Sensors i variables PIC 16F883 (1).

Sensor	Variable que mesura	Unitat	Pin analògic
CYHCS-K200-50A	Intensitat del panell 1	A	AN0
CYHCS-K200-50A	Intensitat del panell 2	A	AN1
CYHCS-K200-50A	Intensitat del panell 3	A	AN2
CYHCS-K200-50A	Intensitat del panell 4	A	AN3
CYHCS-K200-50A	Intensitat del panell 5	A	AN4
CYHCS-K200-50A	Intensitat del panell 6	A	AN8
CYHCS-K200-50A	Intensitat del panell 7	A	AN10
Software	Intensitat del generador fotovoltaic	A	-
CYVT03-34S0	Tensió del generador fotovoltaic	V	AN11

7.3.3. PIC 16F883 (2)

El segon microcontrolador esclau s'ocuparà de la resta de variables de la instal·lació fotovoltaica que es creuen oportunes, en general es monitoritzen totes les tensions i intensitats del sistema. Les aquí presents són les típiques de qualsevol instal·lació fotovoltaica per un habitatge unifamiliar aïllat de la xarxa.

Taula 7.12. Sensors i variables PIC 16F883 (2).

Sensor	Variable que mesura	Unitat	Pin analògic
CYHCS-K200-50A	Intensitat bateries	A	AN0
Sensor CYVT03-34S0	Tensió bateries	V	AN1
CYHCS-K200-50A	Intensitat sortida regulador	A	AN2
Sensor CYVT03-34S0	Tensió sortida regulador	V	AN3
CYHCS-K200-50A	Intensitat carregues en DC	A	AN4
Sensor CYVT03-34S0	Intensitat entrada inversor	A	AN8
CR9550-50	Intensitat carregues en AC	A	AN10
TM2U A76	Tensió carregues en AC	V	AN11

7.3.4. PIC 16F883 (3)

Aquest microcontrolador es reserva per instal·lacions on l'usuari estigui interessant en la monitorització de més variables de la de la pròpia instal·lació fotovoltaica.

Pot ser utilitzat de manera addicional, en instal·lacions on hi hagin masses panells per monitoritzar per un sol PIC i es recorri a aquest per la seva completa monitorització.

Moltes instal·lacions fotovoltaiques aïllades disposen de generadors de d'energia addicionals que funcionen amb combustible, en cas de que el subministrament elèctric per part de la instal·lació fotovoltaica falles per a qualsevol motiu. La monitorització de l'energia produïda per part d'aquets dispositius pot ser d'interès per l'usuari.

Figura 7.16. Generador elèctric dièsel.

Un altre exemple és per instal·lacions que estan connectades a la xarxa, i la fan servir de suport, en aquests casos el usuari pot voler monitoritzar el consum de la pròpia xarxa elèctrica.

7.3.5. PIC 16F883 (4)

Aquest microcontrolador es reserva per instal·lacions on l'usuari estigui interessant en la monitorització de més variables a part de les de la pròpia instal·lació fotovoltaica.

Un cas de monitorització addicional seria una instal·lació mixta, on hi hagi un altre tipus de generació d'energia, com per exemple eòlica. Pot ser interessant per al usuari la monitorització d'algunes variables relacionades amb aquesta font alternativa d'energia.

Finalment, també es pot utilitzar per monitoritzar qualsevol proposta per part del usuari, que la seva monitorització tingui interès.

7.4. Connexió dels sensors

Aquest apartat tractarà en detall la connexió de tots els sensors que van connectats a la unitat de monitorització.

Cal tenir en ment, que la unitat de monitorització disposa de connectors per connectar els sensors, en els següents esquemes les connexions als microcontroladors quedaran referenciades amb aquests connectors.

El connexionat de tots els elements inherents de la unitat de monitorització es pot trobar en el document de plànols d'aquest treball.

Per alguns sensors que no aprofitaven prou be el fons d'escala dels microcontroladors, s'ha decidit aplicar una petita etapa preamplificadora basada en un amplificador no inversor, el model del amplificador operacional escollit és el LM741. L'alimentació a +12 V i -12 V es treu de la font d'alimentació de la unitat de monitorització que disposa d'aquestes sortides.

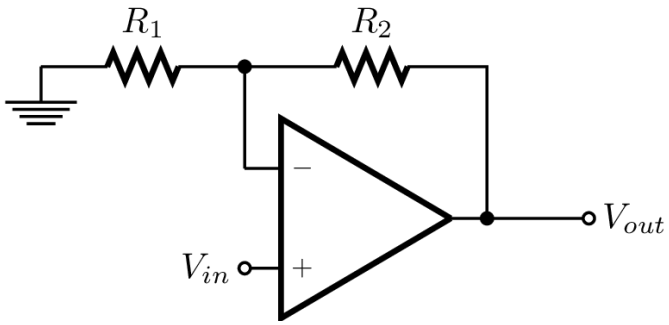

Figura 7.17. Amplificador no inversor.

En un muntatge d'aquest tipus, la sortida V_{out} ve donada per la següent equació:

$$V_{out} = V_{in} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \qquad \textbf{(Eq. 4.3)}$$

On:

V_{out} = Tensió de sortida de la etapa amplificadora.

V_{in} = Tensió de entrada de la etapa amplificadora.

R_2 i R_1 = Valor de les resistències R_2 i R_1 .

7.4.1. Sensors del PIC 18F4550

Primer es veurà les connexions del PIC central de la unitat de monitorització, disposa de quatre sensors connectats a ella, són els següents.

7.4.1.1. Irradiància

El sensor utilitzat és el Si-01TC-T, aquest sensor s'utilitza per mesurar dues variables, la irradiància i la temperatures de les plaques, ja que disposa de dues sortides diferents. La seva connexió amb el PIC es realitza a traves del port analògic 0, i l'esquemàtic es el següent:

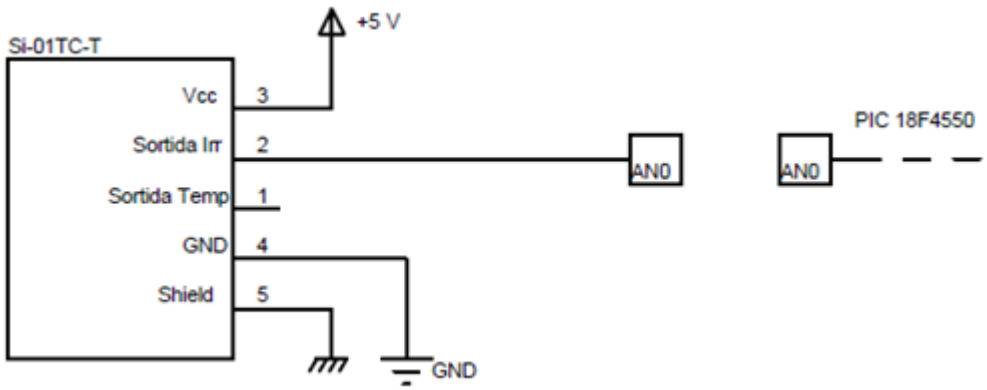

Figura 7.18. Connexió sensor Si-01TC-T.

7.4.1.2. Temperatura ambient a la ombra

Per a la mesura de la temperatura ambient a la ombra es recorre al sensor TMP36, ja que permet mesurar temperatures positives i negatives, gràcies a un offset de fabrica. Per a la sortida del sensor se l'hi a aplicat una etapa preamplificadora que multiplica el voltatge de la sortida del sensor per tres, això serveix per aprofitar millor el fons d'escala.

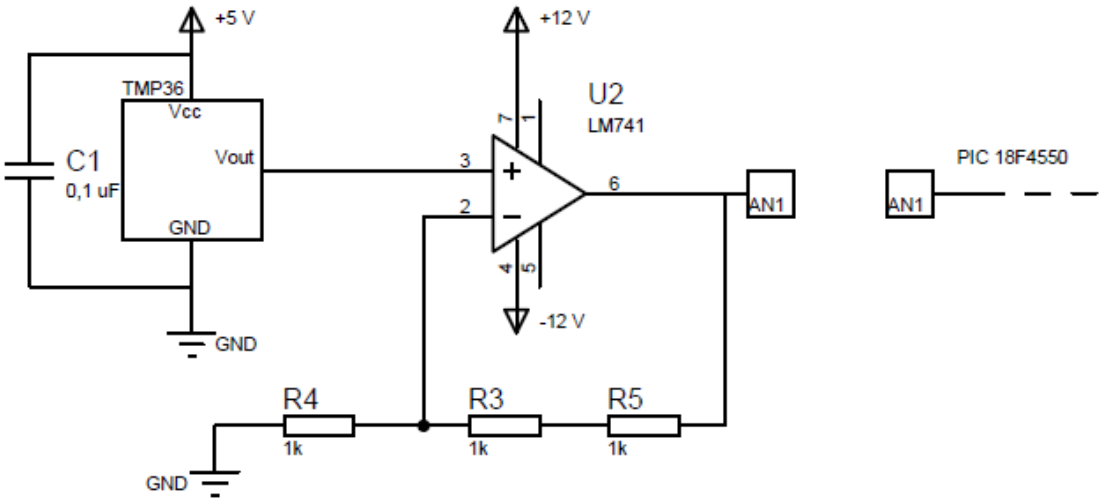

Figura 7.19. Connexió sensor de temperatura TMP36.

7.4.1.3. Temperatura dels panells

Per a la temperatura dels panells es fa servir, el mateix sensor que per a la irradiància, però amb una sortida diferent.

En aquest cas també s'ha aplicat una etapa preamplificadora per multiplicar el valor de tensió de sortida del sensor per dos.

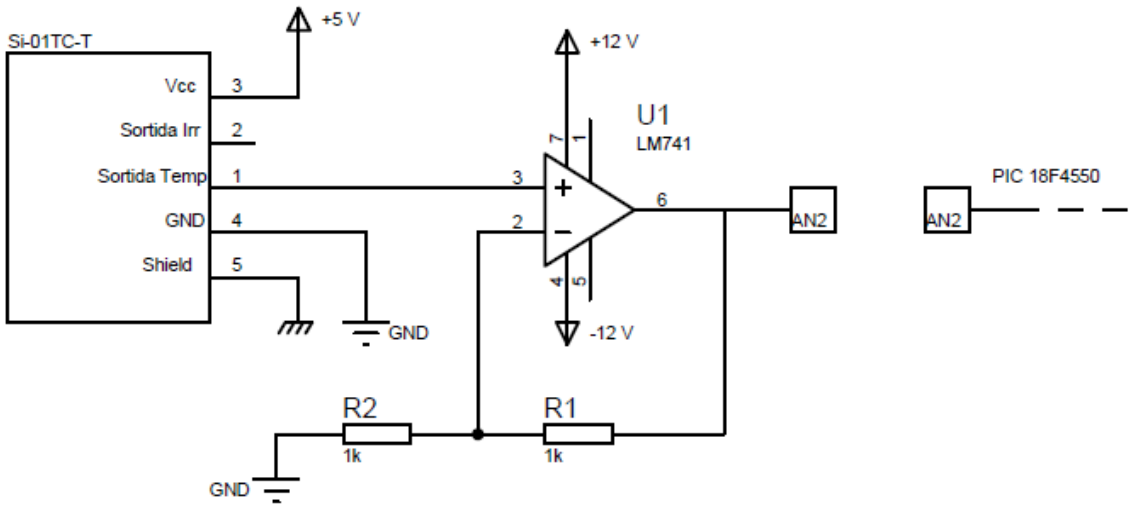

Figura 7.20. Connexió sensor Si-01TC-T.

7.4.1.4. Comptador volumètric

Per mesurar el nivell del dipòsit es recorre a el sensor d'ultrasons HC-SR04, aquest sensor necessita dos ports, un per activar el pols d'ultrasons i l'altre detectar el retorn del pols. Amb el temps transcorregut es detecta el nivell del dipòsit.

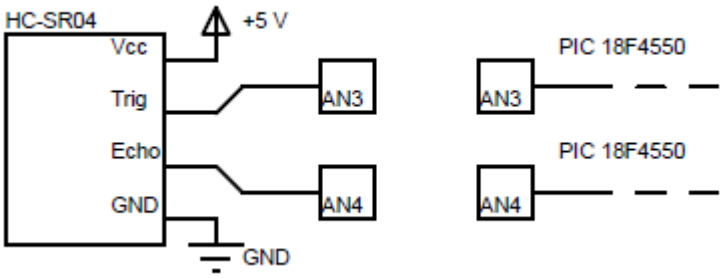

Figura 7.21. Connexió sensor ultrasons HC-SR04.

7.4.2. PIC 16F883 (1)

El primer pic 16F883 s'encarrega de monitoritzar les variables relacionades amb el generador fotovoltaic de la instal·lació. En aquest cas en concret de la instal·lació que es proposa, prendrà dades de la intensitat dels set panells i el voltatge del generador fotovoltaic.

7.4.2.1. Intensitat dels panells (1 al 7)

Per al sensat de les intensitats dels panells, així com el de totes les corrents en DC, es recorre al sensor CYHCS-K200-50A.

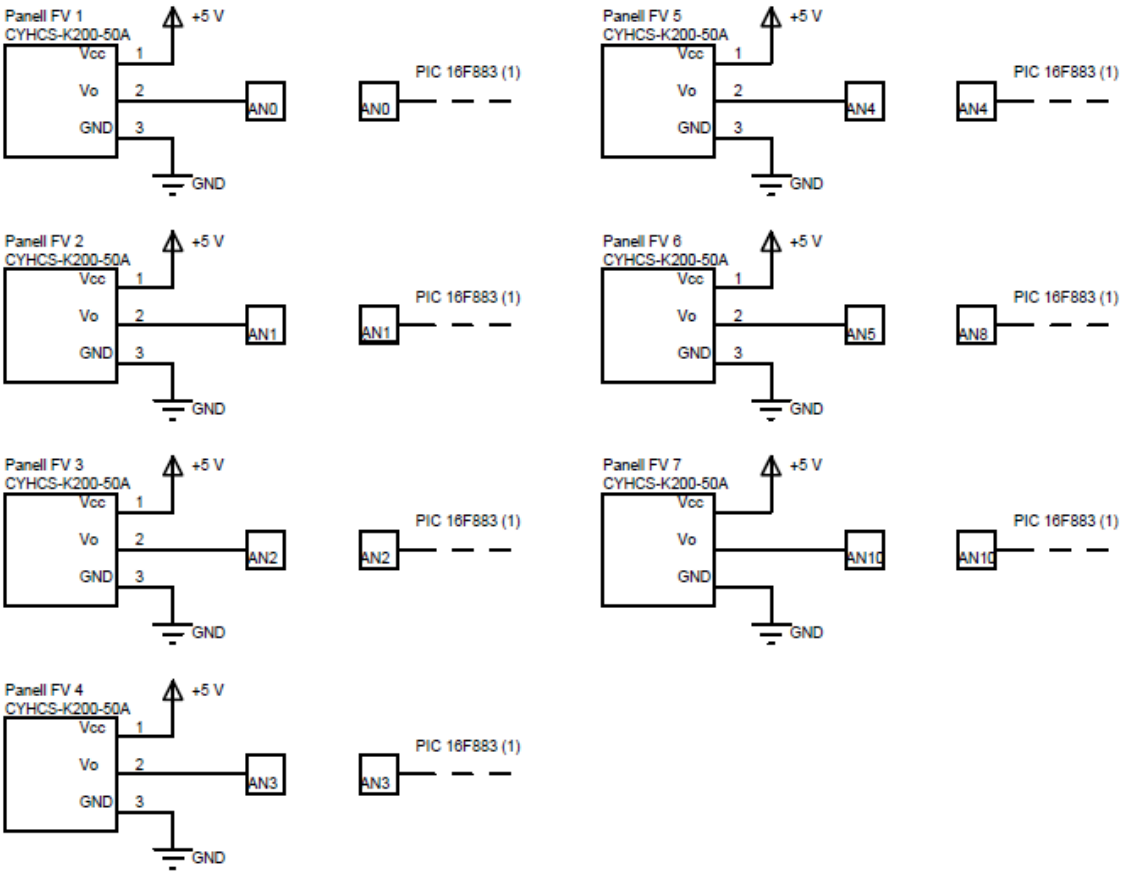

Figura 7.22. Connexió dels set sensors CYHCS-K200-50A.

7.4.2.2. Tensió del generador fotovoltaic

Per al sensat de la tensió en DC del generador fotovoltaic s'ha utilitzat el sensor CYVT03-34SO, l'alimentació del sensor a 24 V es realitza a traves de la tensió a la sortida del regulador que es de 24 V en DC.

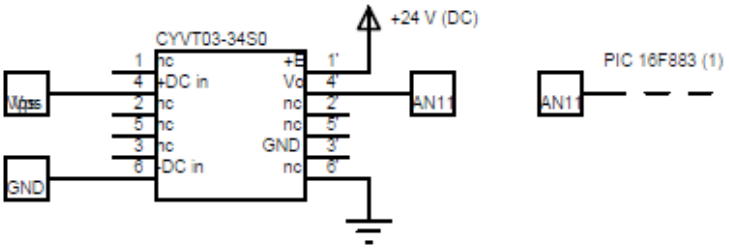

Figura 7.23. Connexió del sensor CYVT03-34SO.

7.4.3. PIC 16F883 (2)

El segon PIC 16F883 s'ocupa de la resta de variables típiques per a qualsevol instal·lació fotovoltaica per un habitatge unifamiliar aïllat de la xarxa.

7.4.3.1. Intensitats en DC del sistema

Degut a que els sensors utilitzats per mesurar la corrent en la part de continua són els mateixos (CYHCS-K200-50A) i la seva connexió és idèntica, s'engloba la seva representació.

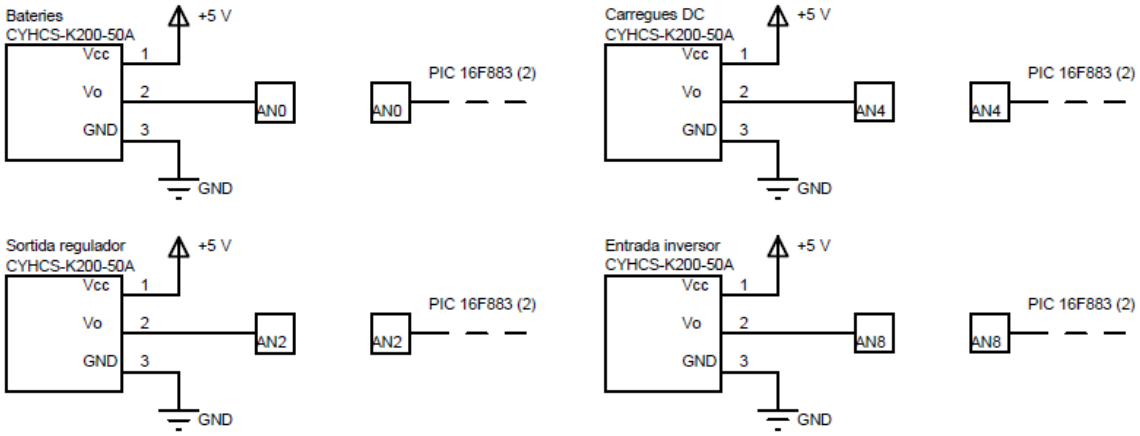

Figura 7.24. Connexió dels sensors CYHCS-K200-50A.

7.4.3.2. Voltatges en DC del sistema

Com en el cas anterior, els sensors utilitzats per mesurar la tensió en la part de continua són els mateixos (CYVT03-34SO) i la seva connexió és idèntica, s'engloba la seva representació.

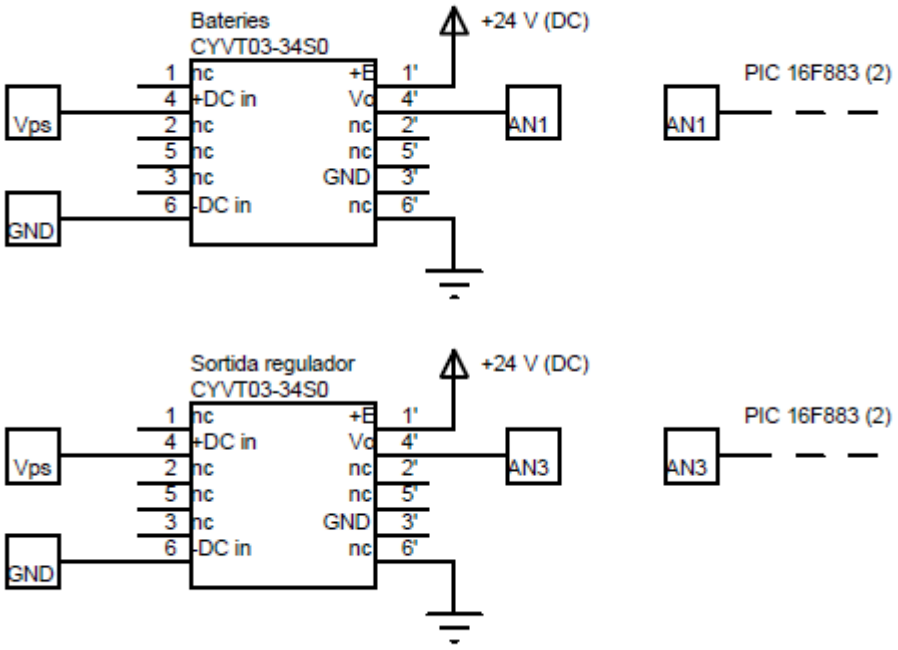

Figura 7.25. Connexió dels sensors CYVT03-34SO.

7.4.3.3. Intensitat en AC

Per a la intensitat en AC s'utilitza el sensor CR9550-50. Aquest sensor és autoalimentat i només disposa de una sortida pel voltatge de sortida i per GND.

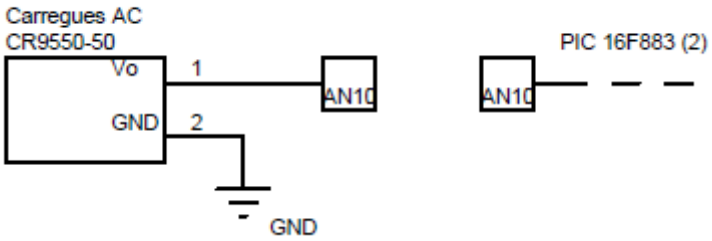

Figura 7.26. Connexió del sensor CR9550-50.

7.4.3.4. Voltatge en AC

Per al voltatge en AC s'ha utilitzat el sensor TM2U A76. Aquest sensor també és autoalimentat i només necessita la tensió d'entrada en AC a mesurar, per donar la tensió de sortida.

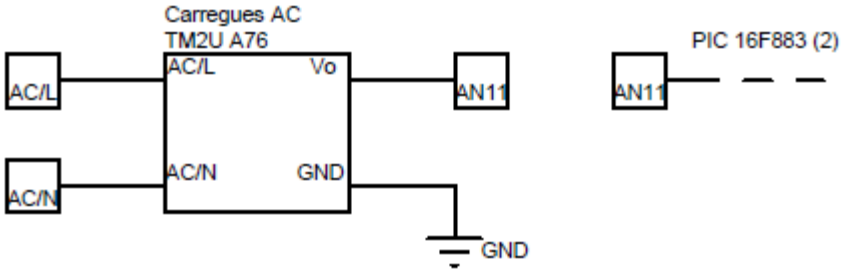

Figura 7.27. Connexió del sensor CR9550-50.

7.5. Interacció amb la unitat

Com s'ha comentat en el apartat anterior, la interacció amb la unitat de monitorització consta de dos factors, el display LCD i els polsadors.

El display LCD mostra el menú de la unitat de monitorització, i els polsadors permeten navegar per ell. El menú del programa esta basat en nivells i permet les següents funcions:

- Visualització de totes les variables del sistema en temps real.
- Bolcat del històric de dades a un ordinador.
- Sobreescriure el contingut de la memòria externa per emmagatzemar més dades.
- Modificar l'hora i data de la unitat de forma.

7.6. Visualització de dades

La visualització de les dades que pren la unitat de monitorització es poden visualitzar de dos formes, a traves de la pròpia unitat gracies al display que disposa, o fent el bolcat de dades en un ordinador via RS232, i veure els resultats en el propi ordinador.

En el primer cas, es permet veure el valor de les variables en temps real, és a dir, el valor instantani de la variable i com fluctua.

En el segon cas, es necessita el display per activar el bolcat de dades, s'ha de connectar a la unitat un connector DE-9 i mitjançant un port DE-9, o be, el convertidor RS-232 a USB connectar-lo al ordinador. S'ha de disposar també d'un programa que permeti fer la lectura d'un port sèrie, en aquest cas es recomana el Hèrcules, un programa senzill però útil, que permet obrir el port sèrie en qüestió i rebre les dades.

Les dades s'envien amb el format que s'ha vist en el capítol 6.

7.7. Comunicacions

La unitat de monitorització es comunica amb múltiples elements del disseny, però principalment hi ha dos d'especial importància.

7.7.1. Comunicació I²C

La comunicació I²C o (Inter-Integrated Circuit) es basa en un bus sèrie de dades desenvolupat per Philips Semiconductors al 1982. S'utilitza principalment, en la comunicació interna entre diferents parts d'un circuit, per exemple, entre un microcontrolador i perifèrics, o entre un microcontrolador (Master) i altres microcontroladors (Slaves).

El I²C necessita dues línies de senyal: la del rellotge (SCL, Serial Clock) i la línia de dades (SDA, Serial Data). Les dues línies necessiten de resistències de Pull-Up cap a V_{dd}, un valor típic per aquestes resistències és de 4K7 Ω.

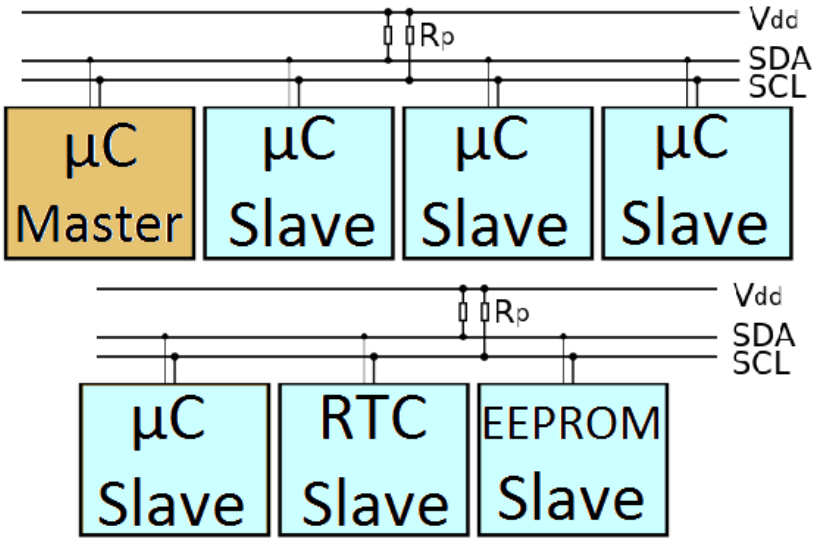

Figura 7.28. Esquemàtic de les comunicacions en I²C de la unitat de monitorització.

En el cas de la unitat de monitorització, el protocol I²C es fa servir per comunicar el microcontrolador central PIC 18F4550 (anomenat Master) i altres elements del circuit als que anomenem esclaus (anomenats Slaves). Aquests elements esclaus són:

- Rellotge en temps real (DS1307).
- Memòria externa (24LC1025).
- Quatre Microcontroladors (PIC 16F883).

A traves d'aquest bus sèrie el PIC 18F4550 rep la data i l'hora del rellotge en temps real, es comunica amb la EEPROM externa per guardar i recuperar dades i finalment es realitza l'intercanvi de dades amb els microcontroladors encarregats d'adquirir dades de les variables que es monitoritzen del sistema fotovoltaic.

7.7.2. Comunicació RS-232

RS-232 (Recommended Standart 232) és una interfície que designa una norma per el intercanvi d'una sèrie de dades binaries.

S'ha optat per aquesta comunicació perquè resulta molt fàcil d'implementar pels PICs i molt fàcil de llegir per un ordinador.

S'han de tenir en compte dos coses, primer que els nivells de voltatge d'un PIC són típicament TTL (de 0 a 5 V) i s'han de adaptar als nivells de voltatge d'un port RS-232 mitjançant un component anomenat MAX232, i segon que molt ordinadors nous no tenen un port DE-9 utilitzat per la comunicació RS-232 i es requereix d'un convertidor USB per a tal propòsit.

Finalment, i a nivell de software, s'ha d'utilitzar un programa que permeti al ordinador la lectura d'un port sèrie, s'utilitzarà el software Hercules.

7.7.2.1. Convertidor USB a RS-232

La necessitat d'utilitzar aquest dispositiu, és merament degut a que actualment la majoria d'ordinadors no porten instal·lats un port sèrie RS-232. Hi ha dos tipus de connectors RS-232, el DB-25 (de 25 pins) i la seva versió en 9 pins, que es la més utilitzada, DE-9 (popularment mal denominada DB-9).

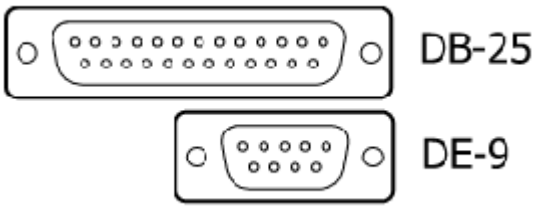

Figura 7.29. Grup de connectors D-sub

Al connectar el convertidor al ordinador via USB (i havent instal·lar els divers corresponents), el ordinador detecta un port sèrie COM, al que automàticament se li assigna un número (p. Ex. COM1)

Figura 7.30. Convertidor USB a RS232

7.7.2.2. Hercules

Aquest software és de gran utilitat quan es treballa amb dispositius i interfícies sèrie i Ethernet, es veurà més a fons en el capítol 8. En el nostre cas, l'utilitzarem per obrir el port COM que s'ha signat automàticament al nostre convertidor i poder així llegir les dades que enviem des de la unitat de monitorització al ordinador.

Un cop rebudes es poden exportar en format text a qualsevol altre programa per al seu processat si fos d'interès.

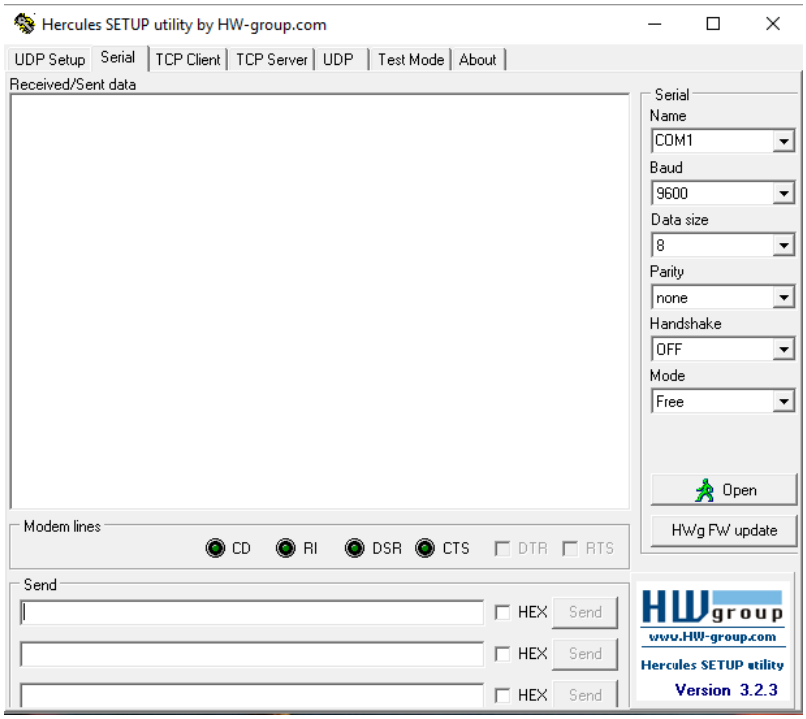

Figura 7.31. Software Hercules, modalitat sèrie.

7.7.3. Comunicació USB

El USB (Universal serial bus) és un bus estàndard industrial que defineix els cables, els connectors i els protocols utilitzats per connectar, comunicar i proveir d'alimentació ordinadors, perifèrics i dispositiu electrònics.

Tot i que el seu ús s'ha imposat sobre altres connexions com el RS-232, la seva implementació en aquesta unitat de monitorització presentava una sèrie de inconvenients i es va descartar. Tot i així es presenta com a possible millora per al projecte.

Amb tal objectiu, es deixa la unitat de monitorització dotada dels elements necessaris per a la connexió USB. Aquests elements són:

- Un condensador de 470 nF al pin 18
- Connector USB connectat als pins de dades D+ (pin 24) i D- (pin 23).

Per al connector USB s'ha escollit un connector USB tipus B.

Figura 7.32. Connector USB tipus B

7.8. Prototip de probes

Per a la demostració del treball de fi de grau s'ha dissenyat i construït un prototip de la unitat de monitorització. Aquest prototip s'ha construït seguint el esquemàtic disponible al document de plànols.

La funció del prototip és comprovar i demostrar el correcte funcionament de la unitat de monitorització.

Durant el disseny del software es va utilitzar el prototip per verificar el seu funcionament. Una de les parts més interessants del projecte on el prototip va ser molt important és el enviament de dades per part de la unitat de monitorització a un ordinador mitjançant RS-232, per verificar que la transmissió de dades es realitzava correctament i en el format desitjat va ser imprescindible el prototip.

Amb objectiu de simplificar el procés de presa de dades, el prototip utilitza potenciòmetres per simular els sensors que anirien connectats a la unitat de monitorització. La utilització de potenciòmetres per simular variables és una forma molt efectiva de verificar l'adquisició de dades per part del prototip.

Així dons, apart de la utilització de potenciòmetres per simular sensors, les principals diferencies a nivell de hardware entre la unitat de monitorització i el prototip de probes són únicament una memòria externa amb menys capacitat, s'ha escollit un model de la mateixa família, la EEPROM 24LC256, i que s'ha optat per construir el prototip en una placa perforada.

8. Software

En aquest capítol es veurà tot el software que s'ha utilitzat durant la realització d'aquest projecte, així com el programa que s'ha creat per a la unitat de monitorització.

8.1. Programes utilitzats

Per a la realització d'aquest projecte s'han utilitzats diferents programes, a continuació s'enumeren i expliquen.

8.1.1. Proteus

Proteus és un programa dissenyat per Labcenter Electronics Ltd., és un software de disseny electrònic que a la vegada permet simular el disseny per veure el seu comportament. Ha sigut de molta utilitat, especialment en els primers estadis del projecte, quan es van començar a simular dissenys reduïts per comprovar si funcionaven correctament.

Amb aquests software s'ha simulat tota la part de software del projecte, això va permetre avançar molt sense la necessitat de construir un prototip. Es veurà més a fons en el capítol 10.

8.1.2. Eagle

Eagle és un programa de disseny electrònic, que està format per un editor d'esquemàtics utilitzat per crear una representació fàcil d'entendre d'un disseny electrònic, i per un editor PCB (Placa de Circuit Imprès) per permet crear plànols de qualsevol disseny electrònic per al seu posterior revelat i implementació física.

Eagle s'ha utilitzat per crear el esquemàtic final del projecte, així com las dos PCB que conformen el prototip.

8.1.3. CCS compiler IDE

El PIC C compiler es un intel·ligent i molt optimitzat compilador de C que conte els operadors estàndards del llenguatge C i funcions incorporades en biblioteques que són especifiques als registres PIC, proporcionant en conjunt una eina molt eficaç per desenvolupadors i programació de PICs.

Amb el PIC CCS compiler s'ha programat tota la unitat de monitorització, totes les funcions, el menú, el processat de dades, la comunicació RS-232 etc.

8.1.4. PICkit 2

El software PICkit 2 serveix per programar i depurar programes per a microcontroladors PIC. Amb el CCS compiler es crea un programa, i amb el PICkit es programen els PICS de la unitat de monitorització. Necessita del propi dispositiu físic PICkit 2 per a programar els PICs.

8.1.5. Hercules

Hercules es un software d'us gratuït (freeware) que entre altres coses, es molt útil per comunicacions sèrie. Permet obrir els port COM (port sèrie que utilitza la comunicació RS-232) del ordinador i rebre o enviar dades.

Aquest software junt amb el convertidor USB a RS-232 permet rebre les dades que envia la unitat de monitorització, es poden rebre i després exportar a un format com .txt per al seu posterior processat.

8.1.6. VSPE

VSPE és un software per emular pots sèrie virtuals. Amb aquest programa es pot crear un port COM sèrie virtual, el que ha sigut de molta utilitat junt amb les simulacions per rebre dades i comprovar la seva funcionalitat abans de comprar el convertidor USB a RS-232, ja que un cop es té aquest dispositiu ja no es necessari.

8.2. Programa unitat de monitorització

En aquest apartat s'intentarà explicar el funcionament del software de la unitat de monitorització superficialment, destacant els punts més importants. El programa sencer es pot trobar als annexos.

Els principals punts del programa per la forma en que esta estructurat i s'ha dissenyat són:

- Definicions
- Configuració prèvia
- Polsadors
- Lectura de variables
- Monitorització
- Menú

8.2.1. Definicions

La primera part del programa són les instruccions de caire mes general, entre elles la inclusió del PIC que s'estigui programant i dues de molt importants, la de RS-232 i la I^2C, ja que sense elles no

funcionaria tota la part relacionada amb aquestes comunicacions. En aquestes dos instruccions entre altres coses, s'indiquen els pins pels que es realitzarà la connexió.

En aquesta part també s'indiquen els bits que es vol que tingui el ADC, 8 bits o 10 bits, per a una millor resolució, la unitat de monitorització utilitza 10 bits..

A continuació es declaren els "fuses" que ajuden al correcte funcionament del programa, així com es defineixen les adreces dels microcontroladors esclaus. També s'inclouen les llibreries que es necessiten, entre elles la del LCD, el rellotge en temps real i la memòria externa.

Finalment es relacionen alguns pins dels PIC amb noms per facilitar la comprensió del programa i es declaren les variables que es necessiten.

8.2.2. Configuració prèvia

En aquesta part del programa s'inicien les llibreries que hem afegit, normalment totes les llibreries tenen una instrucció prèvia a qualsevol altre per iniciar les funciones de la llibreria en qüestió, en aquest cas s'inicien les llibreries que s'han utilitzat, la del LCD, la del rellotge en temps real i la memòria externa.

També es configuren les interrupcions i el ADC.

8.2.3. Polsadors

Hi ha cinc polsadors, els polsadors *up* i *down* funcionen de manera molt similar entre ells, així com *in i back*. El polsador de *home* és un reset que torna a les condicions inicials.

El estat dels polsadors es consulta per *polling,* i per tal de que el programa només detecti una sola pulsació, es fa servir un mecanisme que un cop s'ha detectat que s'ha pres el polsador, executa les instruccions pertinents, i després s'espera fins que el usuari retira el dit de sobre el polsador.

Començarem explicant el funcionament del *in* i del *back*. Cada cop que es prem un d'aquests dos polsadors puja (*in*) o baixa (*back*) un nivell en el menú. Pel que fa als polsadors *up* i *down* , depenent del nivell del menú en que es troba el programa incrementen o disminueixen la posició del nivell. Per ajudar a explicar aquest concepte s'adjunta la següent figura.

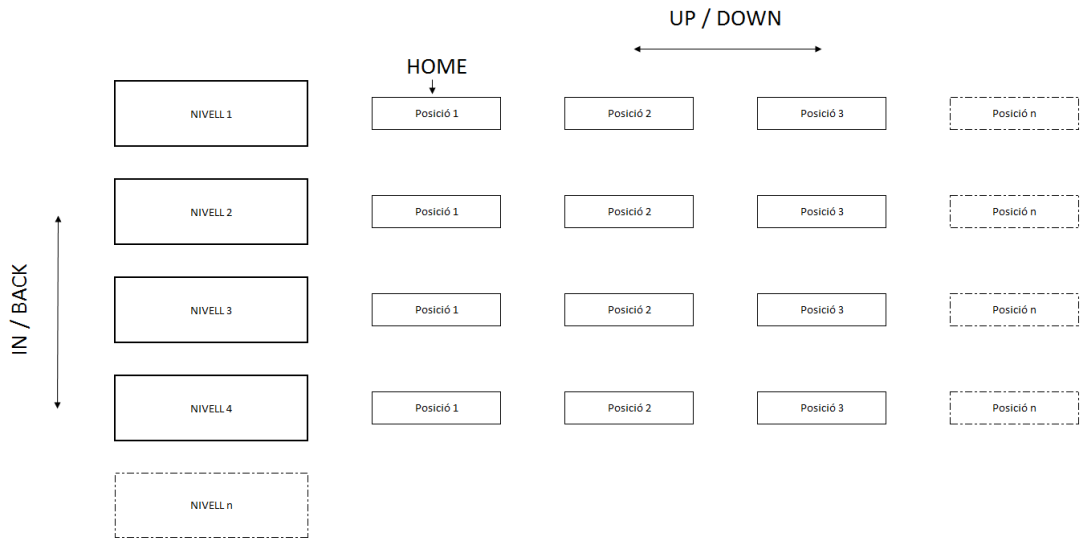

Figura 8.1. Concepte dels polsadors.

8.2.4. Lectura de variables

En la part de lectura de variables té lloc l'adquisició i processat de les dades. Hi han dos maneres d'adquirir dades. La primera manera, és a través de les que s'adquireixen directament a través del PIC central, en aquest cas, primerament es selecciona el canal del ADC, ja que a cada canal hi ha connectada una variable diferent, a continuació s'emmagatzema el valor del canal en una variable i finalment depenent de la variable es processa d'una manera o una altre. L'altre manera d'adquirir variables és a través dels PICs connectats per I^2C. En aquest cas s'inicia la comunicació, s'escriu l'adreça del PIC del que es vol obtenir les dades i finalment s'emmagatzema el valor que s'ha rebut, ja processat per el PIC esclau, en una variable.

Cal tenir en compte que la comunicació I^2C, només es pot iniciar des del PIC central.

8.2.5. Monitorització

En aquest apartat es fan els passos per guardar totes les variables que es van mesurant en la EEPROM externa a espera que el usuari vulgui bolcar aquestes dades en un ordinador.

Per guardar una variable en la memòria externa, només cal indicar la posició de la memòria en que es vol guardar la variable en qüestió.

Com diu el document del JRC-Ispra "Guidelines for the Assessment of Photovoltaic Plants - Document A", preses de dades cada deu minuts es correcte, per tant, es consulta el estat dels minuts donats pel rellotge en temps real, i cada deu minuts es guarden totes les variables a les posicions de la memòria

externa que els hi corresponen. Quan han passat deu minuts més es guarden un altre cop totes les noves variables en noves posicions de la memòria externa.

D'aquesta manera es van recorrent totes les posicions que té disponibles la memòria externa. També es prenen mesures perquè només es guardin les variables un cop cada deu minuts.

8.2.6. Menú

El menú és la part més extensa del programa, ja que s'ocupa d'interactuar amb el usuari. El menú esta format per les següents parts:

- Data i hora
- Temperatures i irradiància
- Part continua
- Part alterna
- Comptador volumètric
- RS-232
- Configuració data i hora

En la següent figura es representa un esquemàtic de l'estructura del menú que s'explicarà a continuació.

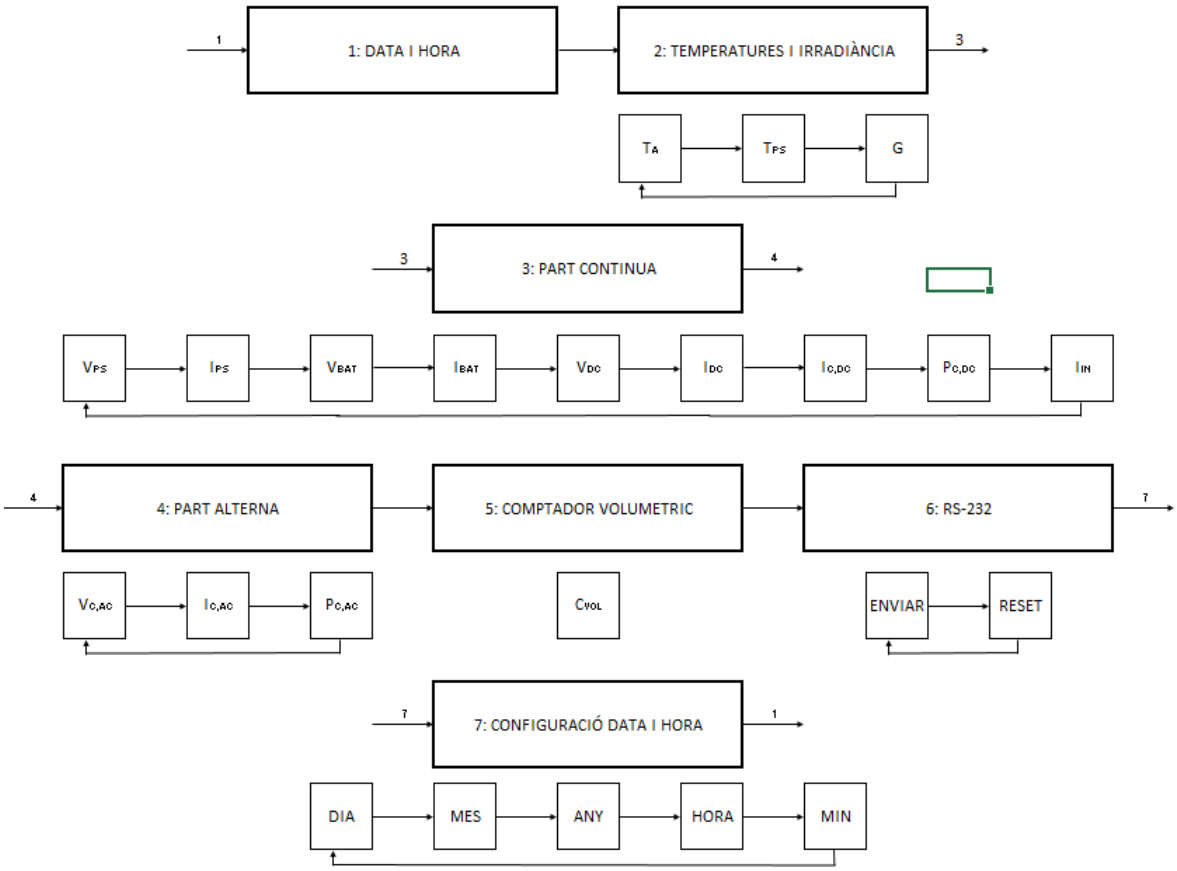

Figura 8.2. Esquemàtic del menú.

Cal considerar que el menú es cíclic, és a dir quan s'arriba al final en qualsevol opció es torna al començament.

Per navegar entre els rectangles grans (enumerats del 1 al 7) només cal prémer el polsador *up* o *down*, per accedir a dins del nivell de qualsevol dels rectangles grans cal prémer la tecla *in*, i per tornar enrere *back*.

Per navegar entre els quadrats Mpetits s'utilitzen igualment els polsadors *up* i *down.* En general tots els subnivells requereixen prémer *in* un cop més per confirmar l'opció, i mostrar el valor en pantalla.

8.2.6.1. Data i hora

Aquesta es la pantalla a la que es retorna quan es prem el boto *home,* en ella es mostra la data i la hora en el següent format:

Dia/Mes/Any

Hora:minuts:segons

8.2.6.2. Temperatures i irradiància

En aquesta pantalla es pot escollir entre temperatura ambiental, temperatura de les plaques o irradiància prement *up* i *down*. Si es prem *in* en qualsevol d'aquestes tres opcions es mostra en pantalla el valor que s'està obtenint en aquell instant a través del sensor. Si es prem *back* es retorna a la pantalla anterior.

8.2.6.3. Part continua

En aquesta secció es poden veure totes les variables en DC que es monitoritzen, és a dir totes les corrents i tensions prèvies al inversor, així com la potència consumida per les carregues en DC.

En aquesta pantalla es pot navegar per tant entre, voltatge i intensitat del generador fotovoltaic, el voltatge i intensitat de les bateries, la tensió i intensitat a la sortida del regulador, la intensitat de la carrega en continua amb el que es pot trobar la potència de les carregues en DC i finalment la intensitat d'entrada al inversor.

Si es prem *in* en qualsevol d'aquestes tres opcions es mostra en pantalla el valor que s'està obtenint en aquell instant a través del sensor.

8.2.6.4. Part alterna

En aquesta secció es poden veure, la tensió el corrent i la potencia que es genera en la part d'alterna de la instal·lació, és a dir, després del inversor.

En aquesta pantalla es pot navegar per tant entre, voltatge intensitat i potència en AC premen *Up* o *Down*, si es prem *in* en qualsevol d'aquestes tres opcions es mostra en pantalla el valor que s'està obtenint en aquell instant a través del sensor.

8.2.6.5. Comptador volumètric

Aquesta pantalla mostra el nivell del dipòsit d'aigua per instal·lacions solars fotovoltaiques que utilitzen bombeig d'aigua. Si es prem *in*, es pot visualitzar el valor del sensor.

8.2.6.6. RS-232

En aquesta secció de comunicació RS-232, es dona l'opció al usuari de bolcar les dades en el ordinador, o be de esborrar la memòria externa.

Degut a que en la memòria externa només emmagatzema variables, quan el usuari prem *in* per enviar les dades al ordinador, es recupera la informació que s'ha guardat en la memòria externa passant per totes les posicions de memòria guardades i afegint de forma simultània, la capçalera, les comes que separen les variables i els salts de línia quan pertoquen.

Si s'escull la opció de netejar la memòria externa, el que es fa es no enviar les dades que es tenen guardades i tornar a començar per la posició de memòria zero.

8.2.6.7. Configuració data i hora

Aquesta pantalla permet configurar de forma dinàmica la data i l'hora que es mostren en la primera pantalla. Es pot navegar entre, editar dia, mes o any, i editar Hora i minuts.

Quan es prem *in* en qualsevol d'aquests camps, es mostra en pantalla el valor a modificar, i amb els polsadors *up* i *down* es posa el valor desitjat. Si es torna a prémer *in* es guarda i es torna a la pantalla de configurar hora i data.

9. Simulacions

Em aquest capítol s'explica a fons totes les simulacions que s'han dut a terme per a la creació de la unitat de monitorització.

La simulació a sigut un aspecte clau en l'elaboració d'aquest treball, ja que ha permès sense la necessitat de construir un prototip, verificar tant el software, com el disseny electrònic de la unitat de monitorització amb tots els seus elements que la conformen.

El software utilitzat per a tal propòsit a sigut el Proteus, un programa de Labcenter Electronics Ltd. que permet la realització d'esquemes elèctrics, a la vegada que permet simular el disseny per veure el seu comportament.

La simulació prèvia a la construcció del prototip, ha ajudat a veure errors tant de hardware com de software, que són molt fàcils de corregir quan encara no es té el prototip construït.

9.1. Primers passos

Les primeres simulacions, constaven d'esquemes reduïts i senzills, que permetien comprovar individualment, el funcionament del PIC amb algun element del disseny, com el LCD, els polsadors i alguns sensors, per veure si s'adquirien be les dades i es podien visualitzar correctament.

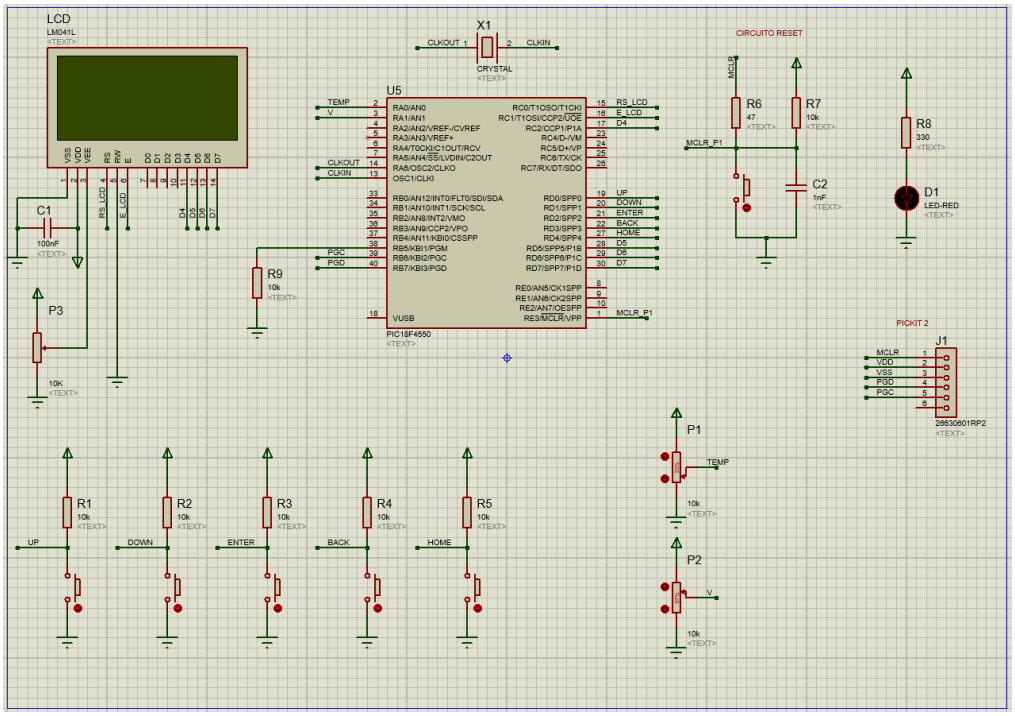

Figura 9.1. Esquema en Proteus disseny bàsic.

9.2. Simulació parcial del disseny

Després de les primeres simulacions es va fer l'esquema parcial del disseny, que incloïa el PIC, el LCD i els polsadors, els sensors mínims per al complert funcionament (per a major simplicitat, la majoria potenciòmetres), el rellotge en temps real, la memòria externa, connexió USB, i connexió RS-232.

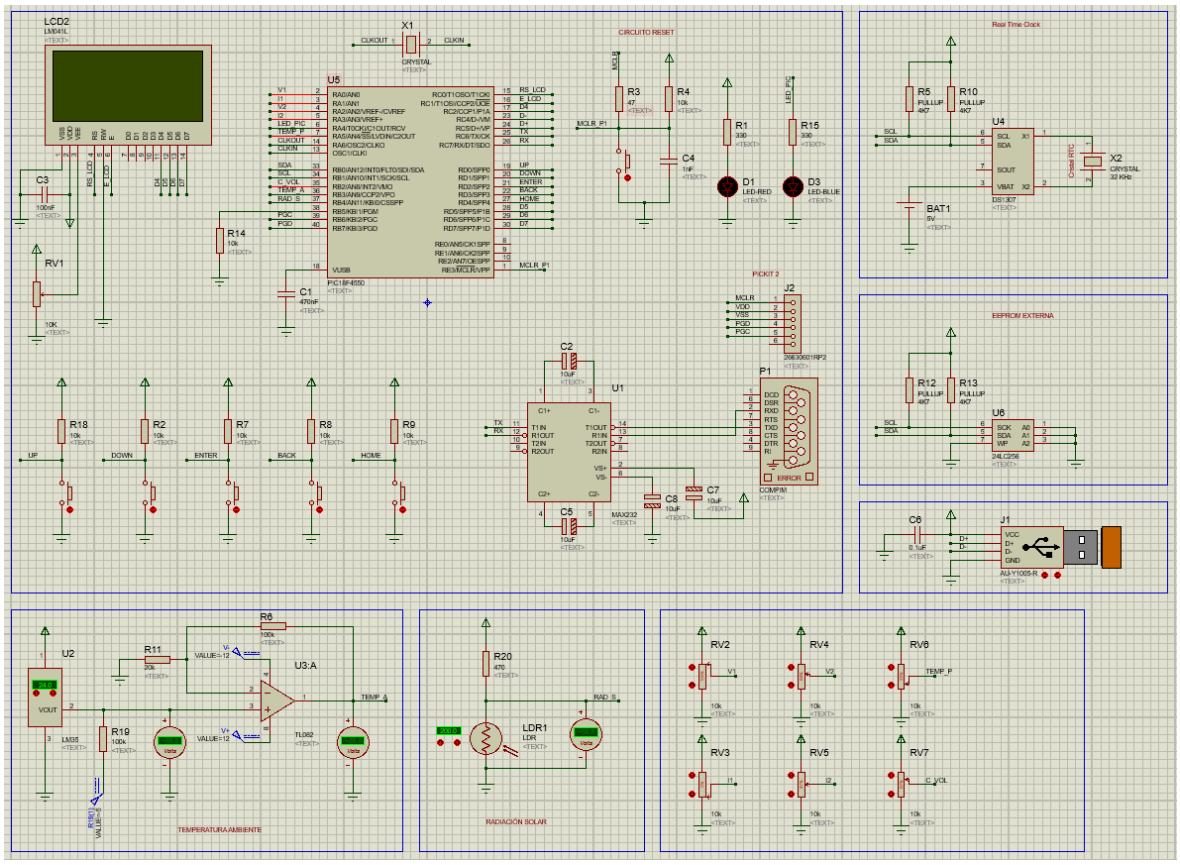

Figura 9.2. Esquema en Proteus disseny parcial.

Amb aquest esquema es va escriure la major part del programa de la unitat de monitorització, és un esquema molt complert, que permetia provar la majoria d'aplicacions del sistema, com per exemple, visualitzar l'hora i la data, adquirir variables mitjançant el ADC i guardar-les o recuperar-les de la memòria externa, navegar pel menú ...

La avantatge de simular el programa amb aquest esquema és que permet avançar i crear un programa molt complert, sense la necessitat de tenir que construir un prototip per verificar el correcte funcionament del software. Això va ser d'especial utilitat en els primers estadis del treball.

9.3. Comunicació RS-232

Prèviament a la implementació física de la comunicació RS-232, que necessita del MAX232 per adaptar els nivells de voltatge del PIC i un convertidor USB a RS-232 per connectar-lo al ordinador, es va simular gràcies a un instrument que proporciona el propi Proteus anomenat "Virtual Terminal", que connectat directament al PIC (per a la simulació el MAX232 no era necessari) permetia rebre i enviar dades i veure-les en pantalla.

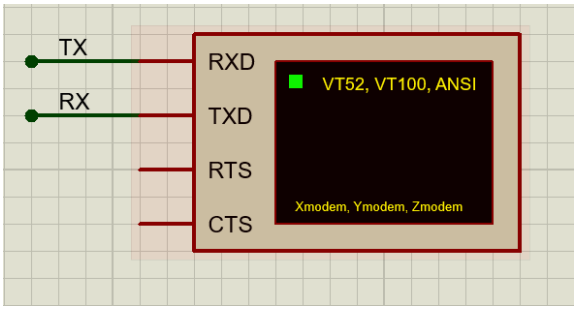

Figura 9.3. Virtual terminal de Proteus.

Això va ser d'extrema utilitat, ja que va permetre verificar el funcionament del enviament de dades per part del PIC.

9.4. Limitacions

Degut a la carrega que suposa per un ordinador simular aquest tipus de dissenys, hi ha una sèrie de limitacions que impedeixen simular tot el disseny. En el cas de la unitat de monitorització es va simular tot, excepte la comunicació per I^2C amb els altres microcontroladors, utilitzats per a l'adquisició i un primer processat de diferents variables, això es degut a que un ordinador comú no pot simular cinc microcontroladors simultàniament.

9.4.1. Comunicació entre PICs

Abans d'implementar físicament el disseny, i per comprovar si la comunicació entre PICs seria viable, es va realitzar una proba amb només dos microcontroladors per comunicació I^2C, i un sensor (potenciòmetre)que adquiria dades, sense més elements que aquests dos, excepte per la virtual terminal, que permetia comprovar si es rebien correctament les dades que s'enviaven.

Reduir significativament el disseny, redueix molt la carrega per al ordinador a l'hora de simular, per això es va optar per aquesta solució.

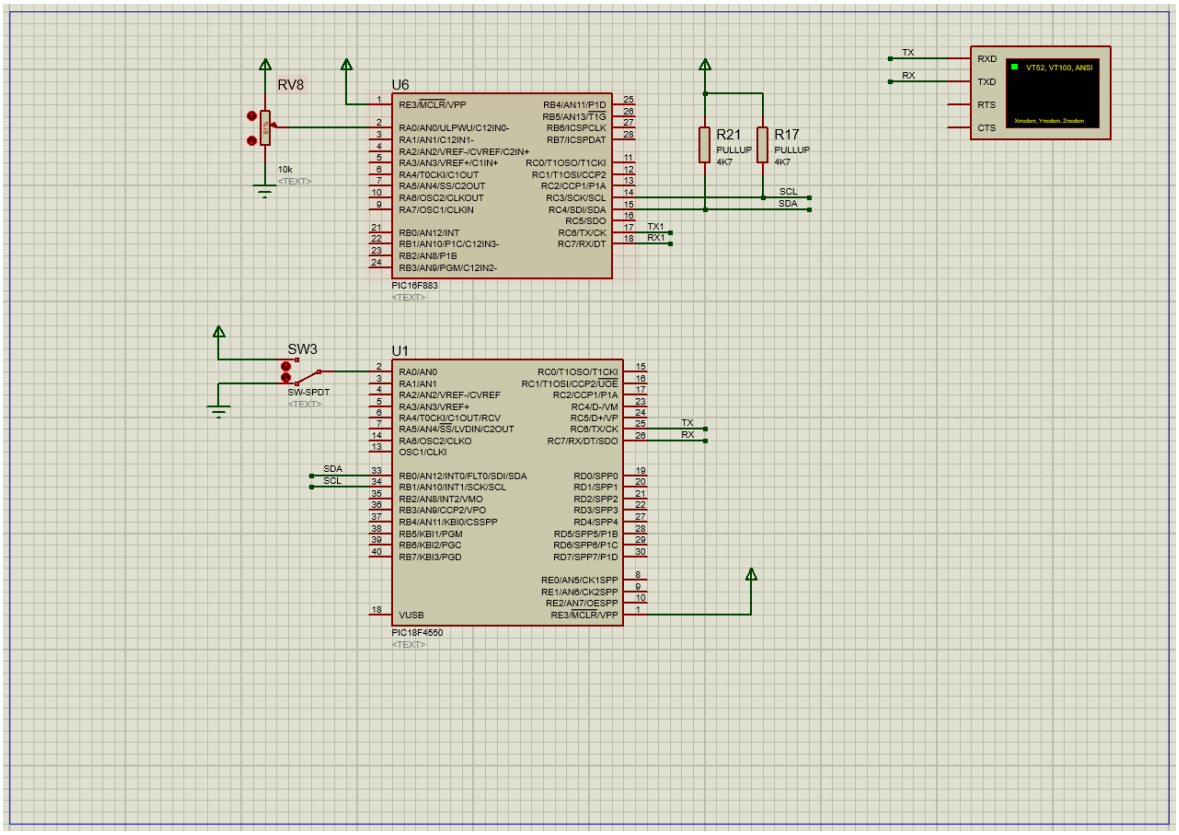

Figura 9.4. Simulació reduïda entre PICs.

9.5. Alternatives descartades

La simulació prèvia de diferents alternatives per a millorar la unitat de monitorització va permetre estalviar molt de temps, ja que la implementació física i la posterior proba requereix molt de temps i possibles problemes de hardware, per això es va optar per provar les diferents alternatives primer en la simulació, per verificar el seu funcionament i quines avantatges i inconvenients comporta.

La principal alternativa en quant al disseny va ser l'adquisició de dades. Al principi només es feia servir un PIC que amb les seves entrades analògiques, capturava i processava totes les variables. Per dotar de més versatilitat a la unitat de monitorització, es van pensar dos possibles solucions, utilitzar multiplexors o més PICs.

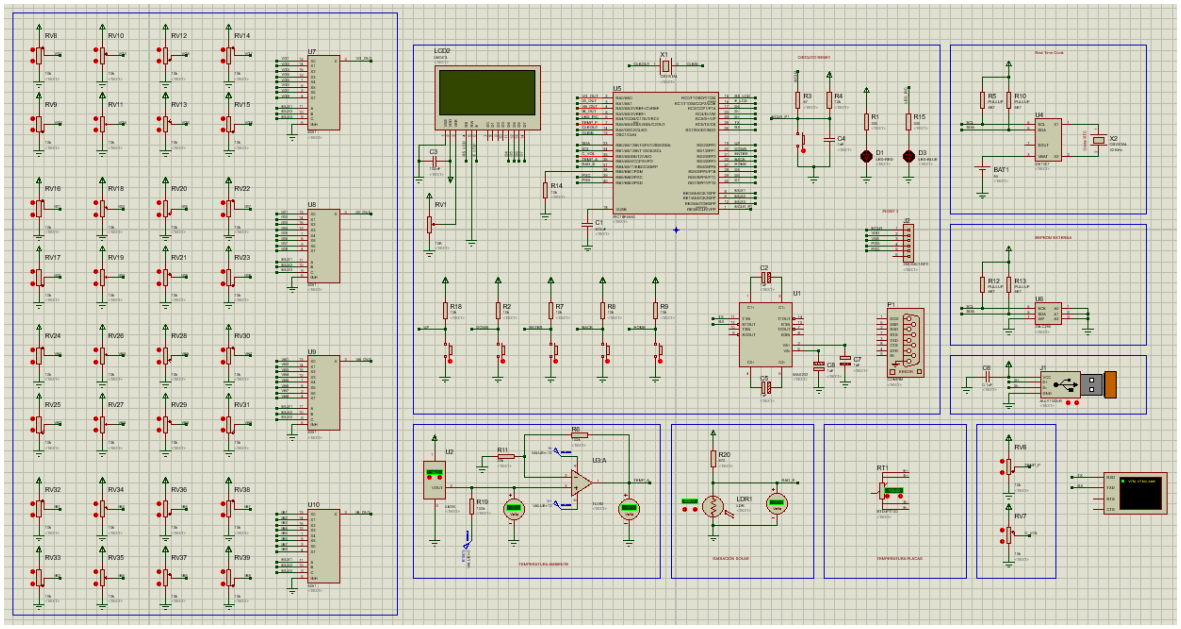

Figura 9.5. Simulació alternativa amb multiplexors.

En aquest disseny es va provar d'afegir 4 multiplexors analògics per tal d'augmentar el numero màxim de variables que es podien mesurar.

La simulació va permetre descartar aquesta alternativa sense la necessitat de implementar-la físicament al disseny, ja que requeria un programa molt més complex i era menys versàtil que el disseny amb els quatre PICs esclaus.

10. Anàlisi de l'impacte ambiental

En aquest capítol es realitzarà un anàlisis de l'impacte ambiental del projecte que es presenta. Degut a que el present projecte tracta sobre el dimensionat d'una instal·lació solar fotovoltaica per a un habitatge aïllat de la xarxa i la construcció d'una unitat de monitorització per ella, l'anàlisi està enfocat al impacte ambiental d'una instal·lació d'aquest tipus.

10.1. Introducció

El present anàlisis de l'impacte ambiental es realitza per identificar, preveure i interpretar els possibles impactes ambientals importants que es produiran al medi ambient i a les persones, en les fase de producció i instal·lació, explotació i desús d'una instal·lació solar fotovoltaica per un habitatge aïllat de la xarxa, així com mesures correctores destinades a evitar o reduir els efectes dels mateixos.

Un dels objectius fonamentals d'una instal·lació d'aquest tipus és la reducció de les emissions de CO_2 a l'atmosfera, substituint la producció d'energia elèctrica a partir de combustibles fòssils per una font d'energia renovable com és l'energia solar.

10.2. Valoració d'impactes

Es farà una valoració dels impactes ambientals en les tres fases que presenta una instal·lació com aquesta. En la producció i instal·lació dels panells i altres elements que conformen la instal·lació, en el temps durant el que s'explota la instal·lació, i finalment, en el seu desús.

10.2.1. Valoració d'impactes en la fase de producció i instal·lació

La generació d'electricitat mitjançant plaques solars fotovoltaiques requereix la utilització de superfícies col·lectores i per tant una quantitat considerable de materials per a la seva construcció. L'extracció, producció i transport d'aquests materials són els processos que suposen un impacte ambiental negatiu.

La fabricació d'un panell solar requereix també la utilització de materials com alumini (per als marcs), vidre (com encapsulant), acer (per a estructures) etc. sent aquests components comuns en la indústria convencional. El progressiu desenvolupament de la tecnologia de fabricació d'estructures i panells solars suposarà una reducció de l'impacte ambiental a causa d'aquests conceptes.

En la producció dels panells solars es produeix una despesa energètica que genera residus com partícules de NO_x, SO_2, CO_2 etc. Això es deu al fet que l'energia utilitzada en la fabricació de panells

solars té el seu origen en la barreja de fonts energètiques convencionals. No obstant això, es pot afirmar que l'emissió d'aquestes substàncies deguda a la fabricació de panells solars és reduïda. Un exemple d'això és que en una moderna i eficient central tèrmica de carbó, s'emet més de 20 vegades el CO_2 que si la producció de la mateixa quantitat d'energia es realitzés mitjançant panells solars fabricats a petita escala. La producció d'electricitat mitjançant panells solars fabricats a gran escala, disminueix encara més l'emissió de CO2, arribant-se a reduir fins a prop de 200 vegades la quantitat de CO2 emesa respecte a una central tèrmica de carbó.

Finalment es pot assenyalar l'existència de importants fonts contaminants relacionades amb la fabricació d'equips com ara inversors, reguladors, cables, la unitat de monitorització i especialment acumuladors. Alguns d'aquests sistemes són presents, necessàriament, en totes les instal·lacions de energia solar fotovoltaica.

10.2.2. Valoració d'impactes en la fase d'explotació

Durant la fase d'explotació les instal·lacions fotovoltaiques no emeten contaminants de cap tipus a la atmosfera. Es considera una energia neta, ja que transforma l'energia solar en energia elèctrica.

A causa de l'explotació d'una instal·lació solar fotovoltaica, s'obtindran resultats beneficiosos per al medi ambient i per a l'atmosfera en particular, ja que es deixaran d'emetre a la mateixa gasos com NO_x, SO_2, CO_2, a més del consum de matèries primeres com gas o carbó a l'hora de produir energia.

En matèria d'emissions, el CO_2 és un els principals agents desencadenants de l'efecte hivernacle, i el NO_x segon provoca la denominada pluja àcida.

Un dels impactes negatius en una instal·lació solar fotovoltaica a gran escala, es l'ocupació del sòl. Però la valoració de l'impacte a causa de l'ocupació del sòl per a un habitatge aïllat de la xarxa a petita escala es podria considerar no significatiu.

10.2.3. Valoració d'impactes en la fase de desús

Pel que fa a la fase de desús d'una instal·lació solar fotovoltaica els principals impactes ambientals són resultat de la gestió com a residus dels elements que formen la instal·lació, especialment els panells solars i els acumuladors.

10.3. Mesures preventives i correctores

En aquest apartat s'intenta donar solucions que disminueixin la importància i la magnitud dels impactes ambientals senyalats en el apartat anterior.

10.3.1. Mesures en la fase de producció i instal·lació

En la fase de producció i instal·lació, es proposen mesures preventives i correctores en la part en que es pot actuar, que és el propi muntatge de la instal·lació en l'habitatge, ja que en la creació de panells i altres elements de la instal·lació no es té la capacitat d'actuar.

Una bona mesura preventiva, es realitzar un treball de manteniment a tota la maquinaria d'obra amb objecte de evitar vessaments de combustibles.

Implementar un programa de residus sòlids (Enderrocs, material reutilitzable, material reciclable i escombraries.)

Pel que fa a les emissions dels vehicles i maquinaria pesada, es poden reduir amb un bon manteniment del motor i l'ús, sempre que sigui possible, de material nou.

Una bona neteja de l'obra.

10.3.2. Mesures en la fase d'explotació

Degut a que una instal·lació solar fotovoltaica en la fase d'explotació no suposa cap impacte ambiental negatiu, excepte per a la utilització del sòl, la única mesura preventiva que es proposa és la utilització de infraestructures ja existents, com terrats o teulades, per minimitzar el impacte en sòl.

10.3.3. Mesures en la fase de desús

La mesura més important a prendre en aquesta fase, és la correcta gestió dels residus de la instal·lació solar fotovoltaica com, panells, acumuladors i altres elements de la mateixa.

Es seguirà en tot moment la legislació vigent, en aquest cas, el real decret 105/2008, del 1 de febrer.

10.4. Conclusió

Com hem vist al llarg d'aquest capítol, una instal·lació solar fotovoltaica en un habitatge presenta un impacte ambiental molt positiu en la seva fase d'explotació, entre d'altres, té els següents avantatges: una font d'energia renovable i silenciosa, no genera residus ni contaminants, és respectuosa amb el medi ambient i evita l'emissió a l'atmosfera de gasos d'efecte hivernacle, i l'únic impacte ambiental negatiu que té, es una relativa ocupació del sòl, que pot ser minimitzat fàcilment, si s'aprofiten infraestructures ja existents.

D'altre banda, en la seva fase de producció i construcció, presenta un impacte ambiental negatiu, especialment en la producció dels panells solars i acumuladors, i altres elements de la instal·lació. Així com en el transport dels materials necessaris per el muntatge de la pròpia instal·lació en el habitatge.

Finalment, en el seu desús, és molt important fer una bona gestió dels residus que generen aquestes instal·lacions ja que així es redueix el mínim el impacte ambiental d'aquests.

Si es fa un balanç general d'aquests tipus d'instal·lacions, el impacte ambiental positiu que generen durant el temps de la seva explotació es superior als efectes negatius que pugui tenir sobre el medi ambient la creació dels elements d'una instal·lació solar fotovoltaica i la seva gestió com a residus.

L'energia solar fotovoltaica no ha fet més que augmentar a nivell mundial durant els últims anys, arribant als 230 GW de potencia fotovoltaica i en el futur es preveu que serà encara major. La lluita contra el canvi climàtic i el creixement sostenible són uns dels objectius que s'hauran d'assolir en el futur, i les energies renovables com la solar fotovoltaica i tindran un paper protagonistes.

Normativa aplicable

En el present capítol , es resumirà tota la normativa que s'ha aplicat o es aplicable al projecte en totes les seves fases, tant de la instal·lació fotovoltaica com de la unitat de monitorització.

- Reial Decret 842/2002, de 2 d'agost, pel qual s'aprova el Reglament Electrotècnic per a Baixa Tensió (B.O.E. de 18-9-2002).
- Reial Decret 186/2016, de 6 de maig, pel qual es regula la compatibilitat electromagnètica dels equips elèctrics i electrònics.
- Codi tècnic de l'edificació, quan sigui aplicable.
- Plec de Condicions Tècniques de Instal·lacions d'energia solar fotovoltaica aïllades de Xarxa, revisió de febrer del 2009, IDAE.
- JRC-Ispra "Guidelines for the Assessment of Photovoltaic Plants - Document A", Report EUR 16338 EN
- Reial Decret 105/2008, d'1 de febrer, pel qual es regula la producció i gestió dels residus de construcció i demolició.

Planificació i diagrama de Gantt

En aquest capítol es veurà com s'ha planificat el desenvolupament del treball de fi de grau, primerament en les parts en que s'ha dividit i en que consisteixen, i finalment el diagrama de Gantt del projecte.

Planificació

El desenvolupament del treball de fi de grau s'ha dividit en els següents apartats:

- Disseny de hardware i software.
- Muntatge del hardware.
- Depuració del software.
- Probes funcionals.
- Redacció de la documentació.

A continuació s'explicarà breument en que ha consistit cada un dels apartats i el temps aproximat que s'hi ha dedicat.

Disseny del hardware i software

Aquest apartat engloba tot el temps dedicat al disseny del hardware i software de la unitat de monitorització. Per disseny de hardware s'entén la confecció dels esquemàtics, que són la representació gràfica del disseny, en ells queda clar cada un dels components i la seva interconnexió. Per disseny de software es refereix a la creació del programa de la unitat de monitorització, la majoria de software es va provar en simulacions que es van dur a terme per comprovar el seu funcionament.

El temps dedicat a aquest apartat es considera unes 280 hores.

Muntatge del hardware

El muntatge del hardware consisteix en el temps dedicat a la construcció del prototip presentat, així com també engloba el disseny de les plaques de circuit imprès de la unitat de monitorització.

Depuració del software

Aquest apartat considera el temps dedicat a la depuració del software un cop es va implementar en el prototip, ja que prèviament s'ha simulat i es va tenir que adaptar lleugerament.

Probes funcionals

En aquest apartat s'engloba tot el temps dedicat a les probes que es van dur a terme en el prototip per veure si funcionava correctament, especialment per a l'adquisició de dades i la seva retransmissió a un ordinador.

Redacció de la documentació

La redacció de la documentació consisteix en el temps que s'ha dedicat al dimensionat de la instal·lació fotovoltaica per un habitatge unifamiliar aïllat de la xarxa, així com la confecció de tots els documents que acompanyen la unitat de monitorització, la memòria tècnica, la memòria econòmica, plànols i annexos.

Diagrama de Gantt

El diagrama de Gantt és una eina de planificació del treball, ja que presenta totes les activitats que i en quan de temps s'han de realitzar, permet tenir una idea de com ha avançat el projecte.

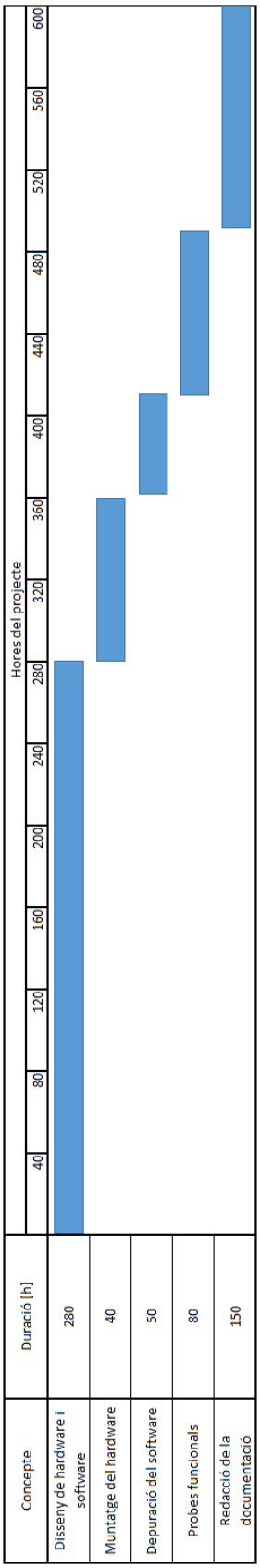

Figura 10.4. Diagrama de Gantt

Conclusions i possibles millores

A continuació es presenten unes breus conclusions sobre el projecte que s'ha realitzat.

S'ha dimensionat una instal·lació fotovoltaica que ha ajudat a entendre els elements i el funcionament d'aquests tipus d'instal·lacions, així com a servit d'exemple d'aplicació per a la unitat de monitorització. A sigut de molta utilitat per definir les variables que es volien monitoritzar, així com per la elecció dels sensors.

Respecte a la unitat de monitorització, s'ha dissenyat des de zero un prototip funcional amb els corresponents plànols per a la seva construcció. Un sistema amb la capacitat de rebre dades contínuament dels sensors connectats a la instal·lació i processar-les, així com la capacitat de emmagatzemar-les en períodes de deu minuts, amb la possibilitat de que el usuari faci un bolcat de dades en un ordinador per fer un petit estudi sobre la instal·lació fotovoltaica.

La realització d'aquest prototip ha implicat una gran carrega de treball, ja que va requerir moltes hores de feina, primerament creant tot el software necessari per al seu complert funcionament a la vegada que es simulava el disseny per veure si funcionava correctament, després la seva posterior implementació física i els problemes derivats del hardware.

La part més elaborada del projecte és sense dubte el software de la unitat de monitorització, ja que ha requerit moltes proves i moltes simulacions, per arribar al seu correcte funcionament, ja que és un software molt complert i engloba molts recursos.

Durant la realització d'aquest projecte s'han utilitzat múltiples programes informàtics en els diferents estadis del disseny de la unitat de monitorització, tant de hardware com de software, i alguns ofereixen un gran ventall de possibilitats i són de molta utilitat en el mercat laboral.

Aquest projecte ha tingut una elevada carrega d'aprenentatge autònom, ja que tant del dimensionat del sistema fotovoltaic, com el disseny de la unitat de monitorització, s'han tingut que treballar de forma autònoma.

Finalment es presenten les possibles millores que es proposen per al projecte.

Comunicació per USB

Una de les primeres millores que es presenten per al projecte es substituir la comunicació RS-232 per USB. El RS-232 ha quedat desfasat en front el USB, ja que la comunicació USB és més actual i presenta una sèrie de avantatges en quan a funcionalitat.

Primerament, no requereix d'un port DE-9 per connectar-se al ordinador. Actualment la majoria d'ordinadors no disposen d'un port sèrie DE-9 i es necessari com hem vist, d'un adaptador USB a RS-232 per tal de comunicar la unitat de monitorització al ordinador.

No necessita del integrat MAX232 per adaptar els nivells de voltatge del PIC a nivells RS-232, si que necessita un condensador connectat al PIC per al seu funcionament.

En resum, la comunicació USB presenta bastantes avantatges representa la comunicació RS-232, però la facilitat d'implementar aquest tipus de comunicació en PICs va portar a que finalment s'utilitzés el RS-232 amb un convertidor.

Connexió amb Labview

Una de les millores més interessants per al projecte és crear un programa amb Labview, que permeti la monitorització constant de les variables del sistema mitjançant una interfície més dinàmica, amb gràfiques, i altres recursos mes visuals.

Labview disposa de recursos per escollir un port COM i rebre dades per ell de forma continuada.

Una dels inconvenients d'aquest sistema es la necessitat d'un equip connectat constantment a la unitat de monitorització.

Exportar dades

Tot i que es relativament fàcil amb el Hercules rebre les dades i després exportar-les a un bloc de notes o algun altre format, per al seu posterior processat, una de les millores que es proposa, es la creació d'un programa amb Phyton, que rebés les dades pel port COM sèrie, i quan s'acabés la comunicació automàticament generes un arxiu .txt amb totes les dades, això proporcionaria certa comoditat al usuari.

Potencia activa

La unitat de monitorització obté la potencia de dos parts del circuit. La primera, és la potencia que generen els panells solars, que es potencia en continua i per tant és el producte de la diferencia de potencial entre els dos terminals i la intensitat de corrent que circula per ells. La segona és la potencia que surt del inversor, i és potència en alterna. El càlcul de la potencia en alterna no és tan senzill com en el cas de corrent continua, ja que en un circuit en corrent alterna , la tensió i la intensitat tenen un desfàs φ (factor de potència) que s'ha de tenir en compte.

La potència activa es la potència capaç de transformar l'energia elèctrica en treball. Aquesta potència és per tant, la realment consumida pels circuits, i quan es parla de demanda elèctrica s'utilitza aquesta potencia.

En el treball, a efectes simplificatius s'ha suposat un factor de potència igual a 1, i per tant s'està mesurant la potència aparent. Però té molt més d'interès saber la potencia activa.

Per a una possible mesura del factor de potència es proposa uns detectors de pas per zero per a la tensió i la intensitat. El primer pas per zero, activaria un temporitzador, i el segon l'aturaria. D'aquesta forma es podia extrapolar el factor de potència del sistema, i fer un càlcul correcte de la potencia activa.

.

Bibliografia

Referències bibliogràfiques

[1] REN21, Renewable Energy Policy Network for the 21st century. Renewables 2016 Global Status Report.

[http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report/, 13 de desembre de 2016].

[2] SunFields Europe, *Manual para instalaciones fotovoltaicas autonomas*.

[https://www.sfe-solar.com/suministros-fotovoltaica-aislada-autonoma/manual-calculo/, 15 de desembre de 2016].

[3] JRC, Joint Research Center, *Guidelines for the Assessment of Photovoltaic Plants - Document A*, Report EUR 16338 EN.

[4] JRC, Joint Research Center, Photovoltaic Geographical Informations System (PVGIS).

[http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#, 16 de desembre de 2016].

[5] SolarWorld, Sunmodule Plus SW 260 Poly, hoja de datos.

[6] Hoppecke, ficha tecnica de baterias estacionarias OPZS.

[7] Victron Energy, Controladores de carga blue solar MPPT 150/45, MPPT 150/60, MPPT 150/70, MPPT 150/85, MPPT 150/100.

[8] AROS SOLAR TECHNOLOGY, Inversores Sirio EVO TL.

[9] INGENIEURBÜRO Mencke & Tegtmeyer GmbH, Silicon Irradiance Sensor.

[10] ANALOG DEVICES, Low Voltage Temperature Sensors TMP35, TMP 36, TMP37.

[11] ELECFreaks, Ultrasonic Ranging Module HC – SR04.

[12] Chen Yang Technologies GmbH & CO KG, Open Loop Hall AC/DC Current Sensor Sensor Hall CYHCS-K200.

[13] Chen Yang Technologies GmbH & CO KG, Bi-Directional DC Voltage Sensor CYVT03-xn-SO.

[14] CR Magnetics Relays, Switches & Sensors, Current Sensor CR9500 series.

[15] Omni Instruments, AC Voltage Electrical Measuring Transducer.

[16] Mean Well 125W Quad Output Switching Power Supply RQ-125 series.