



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

TREBALL FI DE GRAU

Grau en Enginyeria Elèctrica

**MICROXARXA D'ALIMENTACIÓ HÍBRIDA, AMB
SUPORT FOTOVOLTAIC I GENERACIÓ DIÈSEL,
PER A INSTAL·LACIONS D'ÚS PÚBLIC AMB
XARXA ELÈCTRICA FEBLE**



Memòria

Autor: Martí García Martínez
Director: Robert Piqué López
Convocatòria: Gener 2018

Resum

Aquest treball de fi de grau té la finalitat de dur a terme el desenvolupament d'una microxarxa híbrida, en primer lloc, es descriu el que s'entén que és una microxarxa híbrida intel·ligent així com el funcionament i els components essencials, comprovant l'estat de l'art d'aquesta tecnologia.

Fruit que el treball està basat en les dades aportades pel projecte Medsolar, especialment del hospital universitari An-Najah a Nablus, Palestina, s'explica en que va consistir aquest i les seves característiques.

Per tal de fer el disseny de la microxarxa es proposa una metodologia genèrica que després s'aplica al cas concret de l'hospital. Amb el software Homer s'ha dut a terme el dimensionament òptim de la microxarxa, ja que és una eina especialment dissenyada per a la realització d'aquestes tasques.

Finalment amb la voluntat de realitzar la simulació de la microxarxa dissenyada s'ha emparat el programa Matlab-Simulink, amb especial atenció al model dels panells fotovoltaics.

El treball s'ha fet amb la voluntat de mostrar l'amplitud dels coneixements i capacitats adquirides en la realització del grau d'enginyeria elèctrica.

Resumen

Este trabajo de fin de grado tiene la finalidad de llevar a cabo el desarrollo de una micro-red híbrida, en primer lugar, se describe lo que se entiende que es una micro-red híbrida inteligente así como su funcionamiento y los componentes esenciales, comprobando el estado del arte de esta tecnología.

Fruto de que el trabajo está basado con los datos aportados por el proyecto Medsolar, especialmente del hospital universitario An-Najah en Nablus, Palestina, se explica en qué consistió este y sus características.

Con tal de hacer el diseño de la micro-red se propone una metodología genérica que después se aplica en el caso concreto del hospital. Con el software Homer se lleva a cabo el dimensionado óptimo de la micro-red, ya que es una herramienta especialmente diseñada para la realización de estas tareas.

Finalmente con la voluntad de realizar la simulación de la micro-red diseñada, se ha utilizado el programa Matlab-Simulink, con especial atención al modelo de los paneles fotovoltaicos.

El trabajo tiene la voluntad de demostrar la amplitud de conocimientos y capacidades adquiridas en el grado de ingeniería eléctrica.

Abstract

This End-of-Degree Project aims to carry out the development of a hybrid microgrid, first it describes what is understood to be an intelligent hybrid microgrid as well as its functioning and the essential components, checking the state of the art of this technology.

As this work is based on the data provided by the Medsolar project, especially the An-Najah university hospital in Nablus, Palestine, explains what was Medsolar and its characteristics.

In order to design the microgrid, a generic methodology is proposed, which is then applied in the specific case of the hospital. The optimal dimensioning of the microgrid is carried out with Homer because it is a tool specially designed for this.

Finally, with the aim of simulating the designed microgrid the Matlab-Simulink program is used, with special attention at the model of photovoltaic panels.

The work is willing to demonstrate the breadth of knowledge and skills acquired in the degree of electrical engineering.

Índex

RESUM	I
RESUMEN	II
ABSTRACT	III
1. CONSIDERACIONS GENERALS	7
1.1. Objectius del treball	7
1.2. Motivació	7
1.3. Pojecte MEDSolar	7
1.4. ISO 50001	8
1.5. Microxarxa Híbrida intel·ligent	11
1.5.1. Concepte	11
1.5.2. Classificació	12
1.5.3. HSMG del projecte MEDSOLAR	14
2. DISSENY D'UNA HSMG	15
2.1. Objectiu	15
2.1.1. Peak-Shaving	16
2.2. Factors de determinants	17
2.3. Sistema de gestió de l'energia (EMS)	17
2.4. Elements físics	18
2.4.1. Camp fotovoltaic	18
2.4.2. Sistema d'emmagatzematge de l'energia	25
2.4.3. Grups electrògens	28
3. CAS PRÀCTIC: AN-NAJAH	34
3.1. Hospital Universitari An-Najah	34
3.2. Desenvolupament de la HSMG	34
3.2.1. Objectius	34
3.2.2. Factors determinants	34
3.2.3. Elements físics	40
3.2.4. Arquitectura i fluxos de potència	41
3.2.5. Normativa	47
3.2.6. Dimensionament	48
3.3. Simulació de la HSMG	81
3.3.1. Simulació del panell fotovoltaic	81

3.3.2.	Càrregues elèctriques.....	90
3.3.3.	Altres components	91
3.3.4.	EMS	92
3.3.5.	HSMG Dissenyada	95
3.3.6.	Resultats.....	96
4.	PRESSUPOST	101
5.	CONCLUSIONS	103
6.	BIBLIOGRAFÍA	105



1. Consideracions Generals

1.1. Objectius del treball

L'objectiu principal del treball és realitzar una metodologia pel disseny d'una microxarxa híbrida intel·ligent de forma genèrica. Aquesta metodologia està basada en el programa Medsolar i el marc lògic 50001. Construït el model genèric, es realitza el disseny d'una microxarxa en un cas real, emprant la metodologia prèviament dissenyada.

1.2. Motivació

Més enllà que la realització del treball és d'obligat compliment per obtenir la titulació per acreditar els coneixements adquirits, el treball té l'interès de tractar una temàtica, el de les energies renovables, que davant de la situació actual del canvi de model energètic adquireix especial rellevància. Resulta també engrescador al haver realitzat el grau d'enginyeria elèctrica poder dissenyar una microxarxa d'un hospital existent.

1.3. Projecte MEDSolar

Medsolar fou un projecte de promoció de les energies renovables. El nom complet és: Machrek Energy Development Solar, la traducció al català de Machrek és **Màixriq** i defineix l'àrea geogràfica que comprèn els següents estats: Egipte, Jordània, Líban, Israel, Palestina i Síria.

En última instància Medsolar és un projecte que emana de la Comissió Europea ja que està emmarcat dins la ENP (European Neighbourhood Policy) que té com a finalitat: "fomentar l'estabilitat, seguretat i prosperitat dels països fronterers de la Unió en línia amb l'estratègia global de l'organisme en la política exterior i de seguretat". [1]

L'instrument financer d'aquest projecte era l'ENPI (European Neighbourhood and Partnership Instrument) durant el període de 2007-2013 i l'ENI (European Neighbourhood Instrument) durant 2014-2020. [2]

Entre els diferents programes multilaterals dels que disposa aquesta política es troba el CBC (Cross Border Cooperation) i, finalment, del que depèn directament el projecte MED - SOLAR és el Mediterranean Sea Programme.

El projecte MED-SOLAR va tenir com a finalitat la promoció i implementació de tecnologia innovadora així com la transmissió de coneixement en el camp de l'energia solar, especialment de la fotovoltaica.

S'han dut a terme un total de quatre projectes a Jordània, Palestina i el Líban. El pressupost total invertit en MED-SOLAR fou de 3.021.590,01 €, el projecte ve tenir una duració de tres anys, des del gener de 2013 fins al juny del 2016.

Els projectes en concret han tingut la finalitat de reduir el consum de combustibles fòssils i de millorar la disponibilitat d'energia elèctrica mitjançant plantes fotovoltaïques integrades en xarxes híbrides intel·ligents.

Per a les microxarxes híbrides d'aquest tres estats es van desenvolupar dues arquitectures diferents degut a les diferències entre el Líban amb Jordània i Palestina

La UPC va col·laborar en el projecte com a institució acadèmica aportant coneixements en la temàtica tant de l'energia fotovoltaica com del disseny de sistemes de gestió de l'energia.

1.4. ISO 50001

L'estàndard internacional ISO 50001 té la finalitat de permetre establir un sistema de caràcter genèric per millorar l'acompliment energètic, incloent l'eficiència energètica, l'ús i el consum d'energia. L'estàndard està concebut per contribuir a la reducció de l'emissió de gasos d'efecte hivernacle així com altres impactes mediambientals relacionats amb el consum energètic. Aquest estàndard pot ésser aplicable a tot tipus d'organitzacions i sistemes.

Per tant l'ISO 50001 especifica els requeriments dels que ha de disposar un sistema de gestió de l'energia (EnMS) de l'anglès; Energy Management System. Per tant és un recurs que aporta eines per ajudar a la concepció d'un sistema amb aquestes característiques.

L'estàndard però no està pensat exclusivament per ser aplicat únicament en el disseny inicial del sistema sinó que recull de forma concisa com s'ha de dur a terme un procés continu de millora de l' EnMS. Aquests es podria resumir en el següents punts:

- a) Planificar: S'ha de dur a terme un estudi energètic i establir les bases, els indicadors energètics, els objectius i les actuacions necessàries per aconseguir els resultats de millora de la gestió de l'energia.
- b) Fer: Aplicar la planificació plantejada.

- c) Comprovar: monitoritzar i mesurar els resultats, els processos i les característiques clau d'operació que determinen l'acompliment energètic comparat amb la política energètica i els objectius que es tenien.
- d) Actuar: Prendre les accions necessàries per seguir millorant en l'EnMS.

A l'estàndard també es troba un diagrama on es representa les diverses etapes a seguir per l'aplicació d'aquest:

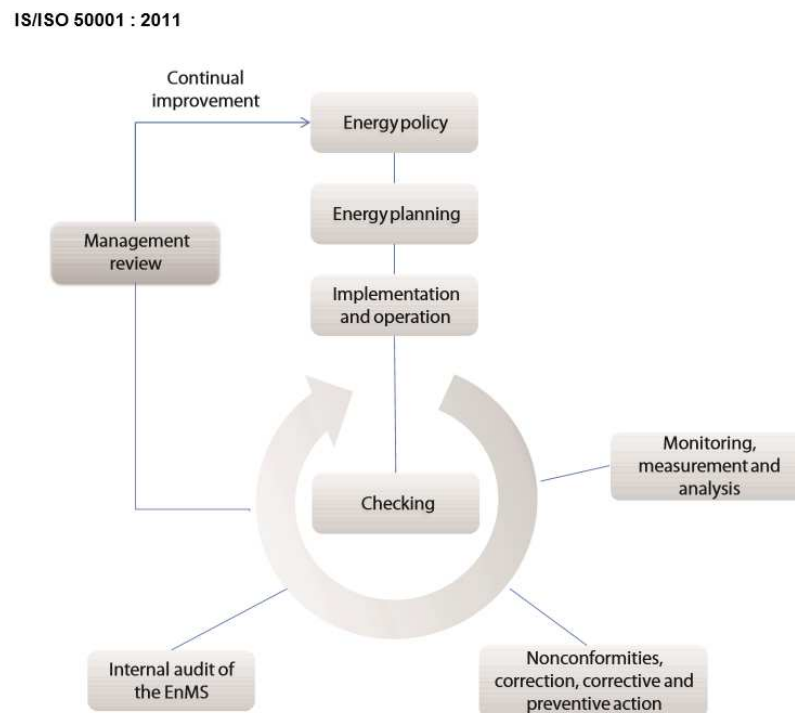


Figura 1.1. Diagrama ISO 50001. Font [3]

1.5. Microxarxa Híbrida intel·ligent

1.5.1. Concepte

El projecte tracta sobre el desenvolupament d'una microxarxa híbrida intel·ligent HSMG (Híbrid Smart Microgrid) per les sigles en anglès, per aquest motiu s'ha d'abordar el concepte que agrupa tres paraules.

Una bona definició dels que es és una xarxa elèctrica intel·ligent és la que dona la Comissió Electrotècnica Internacional, és:

Sistema elèctric de potència que utilitza tecnologies de control i d'intercanvi d'informació, càlcul distribuït amb sensors i actuadors associats, amb el propòsit de:

Integrar les accions i el funcionament dels usuaris de la xarxa.

Subministrar energia de forma eficient, econòmica i segura.

La paraula híbrida ens aporta la informació que en la xarxa intel·ligent conviuen fonts d'energia renovables i no renovables. Per últim, la primera paraula microxarxa indica que les dimensions d'aquestes són reduïdes. Per acotar aquest concepte el rang en el qual podríem parlar de microxarxa seria més aviat pel número de fonts i càrregues que no pas per la potència d'aquestes.

En resum, es podria concloure que malgrat no tenir una definició precisa de microxarxa híbrida intel·ligent quan es parla d'aquesta s'hauria de comptar amb els següents aspectes:

Disposen de múltiples fonts i càrregues.

Les fonts energètiques són tan renovables com no renovables.

Tenen un grau important de control automàtic i monitorització.

Per tant, a partir d'aquesta definició és pot veure clarament que la tasca principal d'una microxarxa híbrida intel·ligent és la connexió de fluxos de potència de forma eficient i amb un elevat grau d'automatització.

Les HSMG es poden classificar segons les arquitectures i la transmissió de la potencia en busos d'AC o DC.

1.5.2. Classificació

Encara que és possible classificar en múltiples categories, per exemple, hi ha autors que consideren fins a un total de sis tipologies d'arquitectures [4], el més habitual és parlar únicament de tres ja que varies d'aquestes sis es poden englobar en les mixtes.

Xarxes amb bus d'AC

Les microxarxes amb aquesta arquitectura es caracteritzen per tenir tots els elements de la xarxa connectats al bus de corrent alterna.

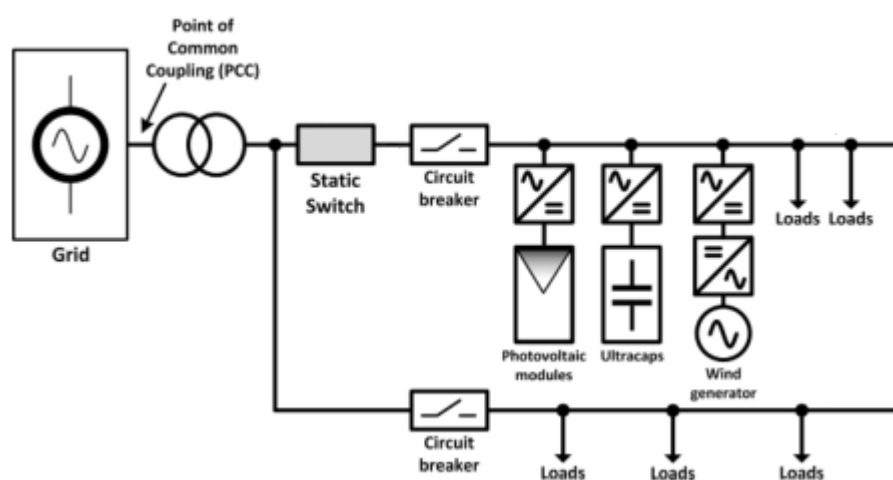


Figura 1.2. HSMG amb bus d'alterna. Font [4]

Aquest tipus de microxarxes solen ser les més habituals degut a que la gran majoria de càrregues són en AC i per tant resulta més convenient adaptar els generadors en CC al bus i alimentar des d'aquest directament a les càrregues.

Xarxes amb busos de DC

Les microxarxes amb aquesta arquitectura es caracteritzen per tenir tots els elements de la xarxa connectats al bus de contínua. Això permet disposar de menys convertidors DC-AC quan la microxarxa compta amb múltiples generadors amb contínua.

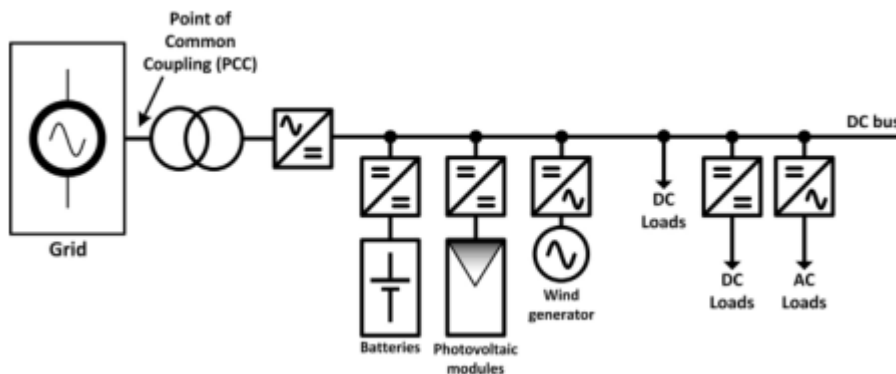


Figura 1.3. HSMG amb bus de corrent continu. Font [4]

Xarxes mixtes AC-DC

Per últim aquestes microxarxes són una combinació de les dues arquitectures anteriors. En el cas de la figura una microxarxa amb un bus de contínua per les bateries i el generador eòlic i un d'alterna que és el principal i que des d'on s'alimentarà a les càrregues.

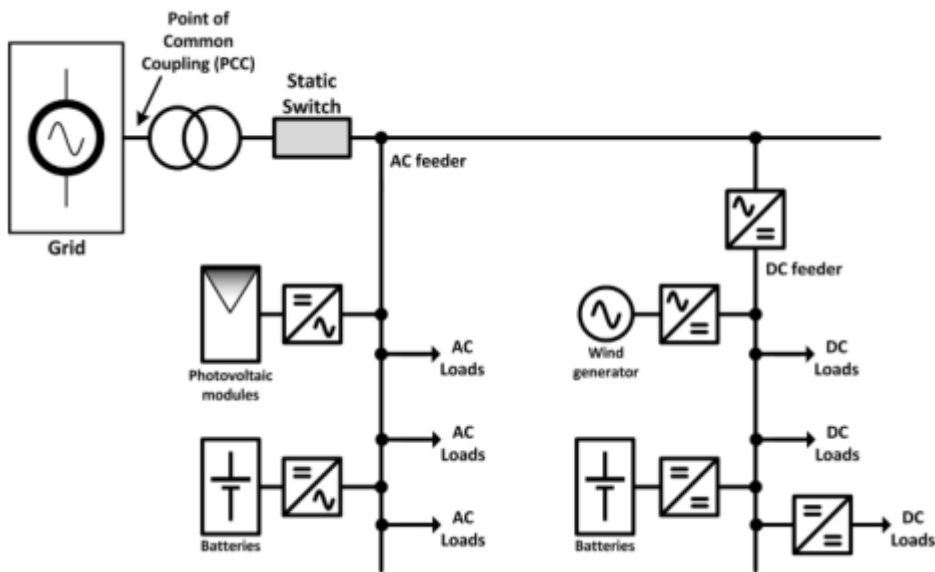


Figura 1.4. HSMG amb bus mixta. Font [4]

1.5.3. HSMG del projecte MEDSOLAR

En el projecte MED - SOLAR podem trobar dues tipologies de HSMG en funció bàsicament de les demandes dels beneficiaris del projecte i de les característiques de la xarxa elèctrica dels països.

Així doncs es van dissenyar dues tipologies de xarxa, una per a Palestina i Jordània i l'altre per al Líban. A Jordània i Palestina l'ús de generadors dièsel és restringit a quan la xarxa té alguna caiguda que no és un fet gaire habitual. Alhora la potència de les càrregues d'ambdues instal·lacions era elevada i per tant disposar d'un inversor i les bateries necessàries per poder assumir les càrregues en un moment donat era massa elevat.

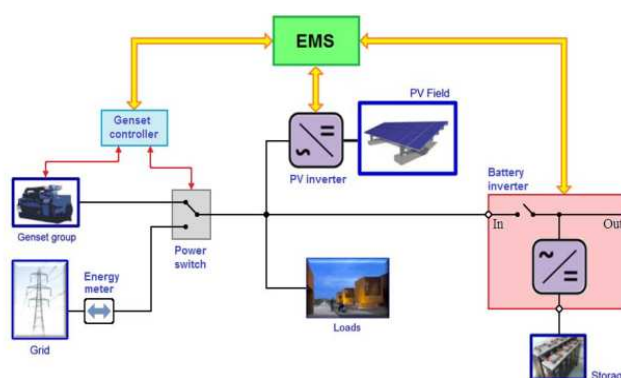


Figura 1.5 HSMG proposada a Jordània i Palestina. Font [5]

Al Líban l'ús de generadors dièsel pel contrari és habitual degut al tall de la xarxa elèctrica de forma diària que es produeix a grans parts del territori. Motiu pel qual es decidí de fer una microxarxa amb la capacitat que les càrregues crítiques poguessin operar de forma autònoma amb un camp fotovoltaic propi.

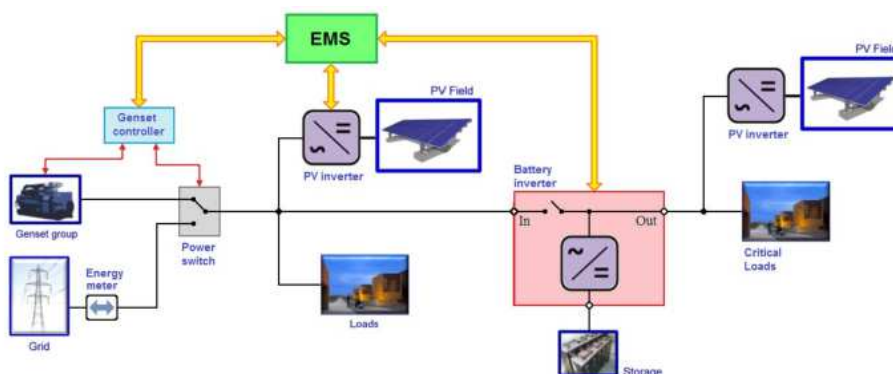


Figura 4.4. HSMG proposada al Líban. Font [5]

2. Disseny d'una HSMG

Hi ha múltiples factors que determinen el disseny d'una instal·lació d'aquestes característiques, l'esquema següent exposa els passos a seguir.

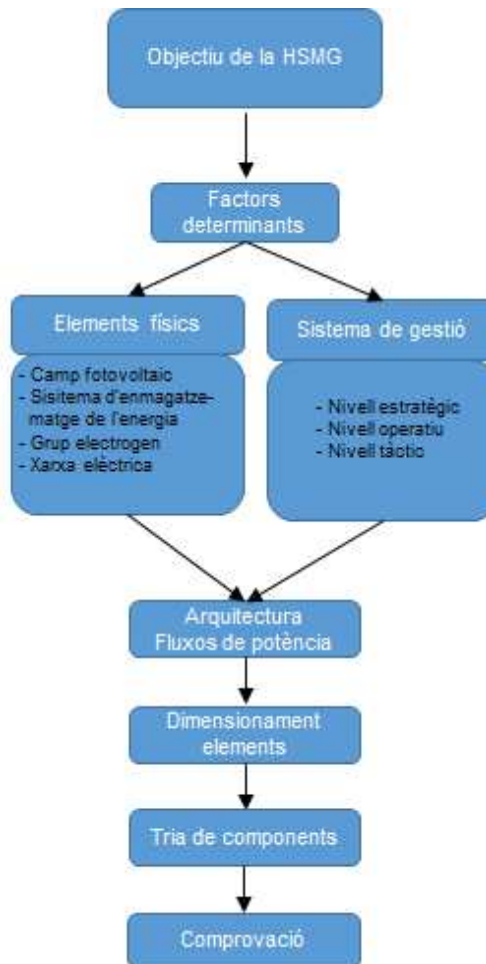


Figura 2.1. Esquema de disseny. Font Pròpia

2.1. Objectiu

En primer lloc pel disseny de qualsevol projecte és fonamental establir els objectius d'aquest, que esdevenen el punt de partida per l'elaboració del projecte. En el disseny d'una HSMG poden ser diversos però els bàsics són, les polítiques tan econòmica com energètica d'aquesta xarxa.

Les polítiques econòmiques són bàsiques perquè en primer lloc limiten la capacitat tan quantitativa com qualitativa de la futura HSMG. En segon lloc al tractar-se els paràmetres econòmics s'han de tenir en compte per la inversió inicial així com per tota la vida útil de la instal·lació.

Les polítiques energètiques, íntimament lligades a les econòmiques, però no només, ja que degut principalment a l'evidència de la problemàtica del canvi climàtic, la reducció de l'emissió dels gasos d'efecte hivernacle és un factor determinant per la concepció d'aquest tipus d'instal·lacions.

2.1.1. Peak-Shaving

Una de les polítiques energètiques per a microxarxes amb sistemes d'emmagatzematge d'energia que es poden aplicar es la coneguda per peak-shaving literalment estalvi de pic. Es tracte d'una política energètica l'objectiu de la qual és disminuir la potència entregada per la xarxa durant un determinat període de temps en que el consum de les càrreges és elevat entregant energia emmagatzemada anteriorment. Habitualment aquesta energia prové de fonts d'energia renovable degut a que la majoria d'aquestes transformen l'energia segons els recursos disponibles que pot ser que no coincideixin en el màxim punt de consum de les càrreges.

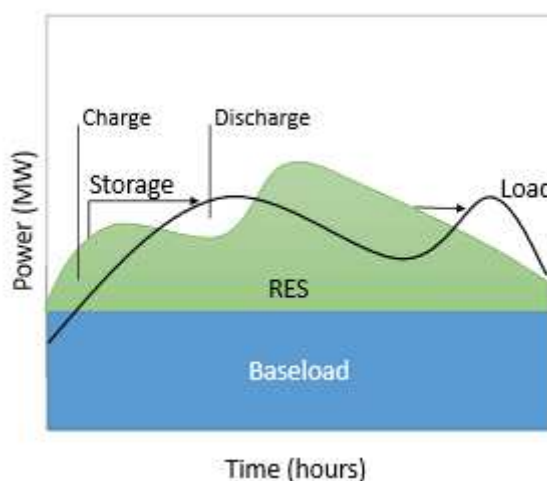


Figura 4.4. HSMG proposada al Líban. Font [6]

Els avantatges d'aquesta política són el possible estalvi per reducció del pic de potència, la reducció del cost per a la operadora de la xarxa elèctrica i l'abaratiment dels costos de reparacions en la infraestructura deguts a treballar en una potència més reduïda.

2.2. Factors de determinants

El disseny de la HSMG està sotmès a múltiples factors a tenir en compte durant el procés de concepció de la microxarxa.

Normativa

Qualsevol projecte d'aquestes característiques està sotmès a múltiples normatives de diversos àmbits. Estatal, regional, local. També segons l'activitat a la qual abasteix la microxarxa.

Disponibilitat de recursos energètics

Al tractar-se d'una xarxa híbrida i per tant amb recursos renovables és fonamental considerar les característiques de l'emplaçament i considerar la o les fonts d'energia renovable més adequades.

Característiques de la xarxa elèctrica

La xarxa elèctrica que en primer lloc pot ser existent o no, és un factor a tenir en compte alhora d'integrar l'HSMG en funció de la seves capacitats. En els projectes de MED-SOLAR, depenent del país de la instal·lació les xarxes varien força.

Càrregues

Factor bàsic del disseny de la microxarxa i els elements que la componen. Una bona informació de les càrregues que s'han d'abastir és fonamental per un bon disseny de la instal·lació.

2.3. Sistema de gestió de l'energia (EMS)

Un sistema de gestió de l'energia és l'encarregat de controlar els fluxos de potència d'acord a unes consignes establertes, bàsicament fer el sistema el més eficient possible. Per tant ha d'ordenar les connexions de les fonts d'energia i les càrregues del sistema segons aquestes consignes.

El sistema de control EMS concebut als projectes de MEDSOLAR ha estat de caràcter jeràrquic dividit en tres nivells.

- a) Nivell estratègic

És el nivell més alt del sistema jeràrquic i és on es defineixen les polítiques energètiques que ha de tenir la xarxa com: assegurar el subministrament energètic de les càrregues al menor cost possible o de la manera que es generi menys emissió de gasos contaminants.

b) Nivell tàctic:

És l'encarregat de controlar els fluxos de potència de la microxarxa, això implica la planificació de les polítiques operatives dels elements que componen la microxarxa. Aquestes funcions són quatre:

Càrrega de les bateries

Potència entregada pel generador fotovoltaic

Gestió de l'estalvi del pic de potència

Gestió de "spinning reserve"

c) Nivell operatiu

És el nivell més baix del sistema de gestió, i depèn de l'emparamenta i equipament utilitzat basat en estàndards aplicats pels fabricants.

2.4. Elements físics

Els components físics de la instal·lació de la HSMG són la base d'aquesta, aquí estan inclosos tots aquells que per sí mateixos formen un bloc d'injecció de potència. En el cas de les microxarxes MED-SOLAR podem parlar dels següents. (Camp fotovoltaic, Xarxa elèctrica, grup electrògen i el sistema d'emmagatzematge d'energia).

2.4.1. Camp fotovoltaic

Un camp fotovoltaic és el conjunt d'elements que permeten la conversió de l'energia solar en energia elèctrica. El principi físic que permet dur a terme aquesta transformació és l'efecte fotovoltaic.

Aquest fenomen fou descobert l'any 1839 pel físic Becquerel, però no trobà aplicació pràctica fins a les acaballes dels anys 50 del segle passat gràcies a la indústria aeroespacial.

És per tant una tecnologia força novella en comparació a d'altres més tradicionals i no ha estat fins a principis de segle que ha començat a tenir un paper rellevant pel que fa a la producció energètica, és previsible que cada cop tingui un paper més important i segueixi augmentant en els propers anys, fruit de la demanda energètica creixent i de la problemàtica global que representen els combustibles fòssils.

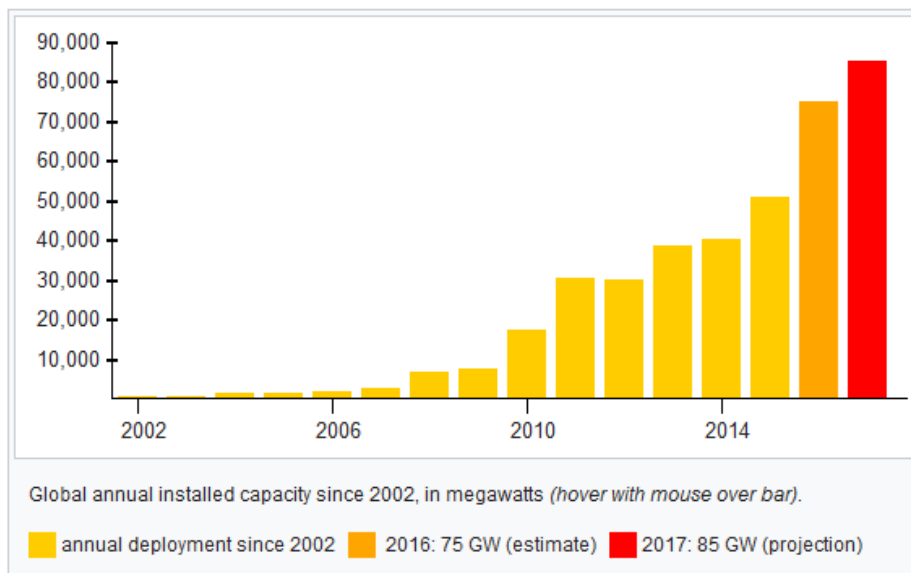


Figura 2.3. Capacitat anual instal·lada en MW. Font [7]

Els punts favorables respecte altres tipus de producció energètica són els següents; en primer lloc és tracta d'una energia renovable i no contaminant, permet fer una conversió d'energia (llum – elèctrica) de forma estàtica, es poden fer configuracions molt diverses habilitant un rang de potència molt gran, des de micro watt fins al mega watt i els costos de manteniment són baixos.

Els punts desfavorables són la dependència de la situació geogràfica i de les condicions climàtiques per a la producció energètica i també el cost de la inversió inicial que resulta més elevat que en altres tecnologies, si bé a mida que passa el temps aquest és més competitiu [2].

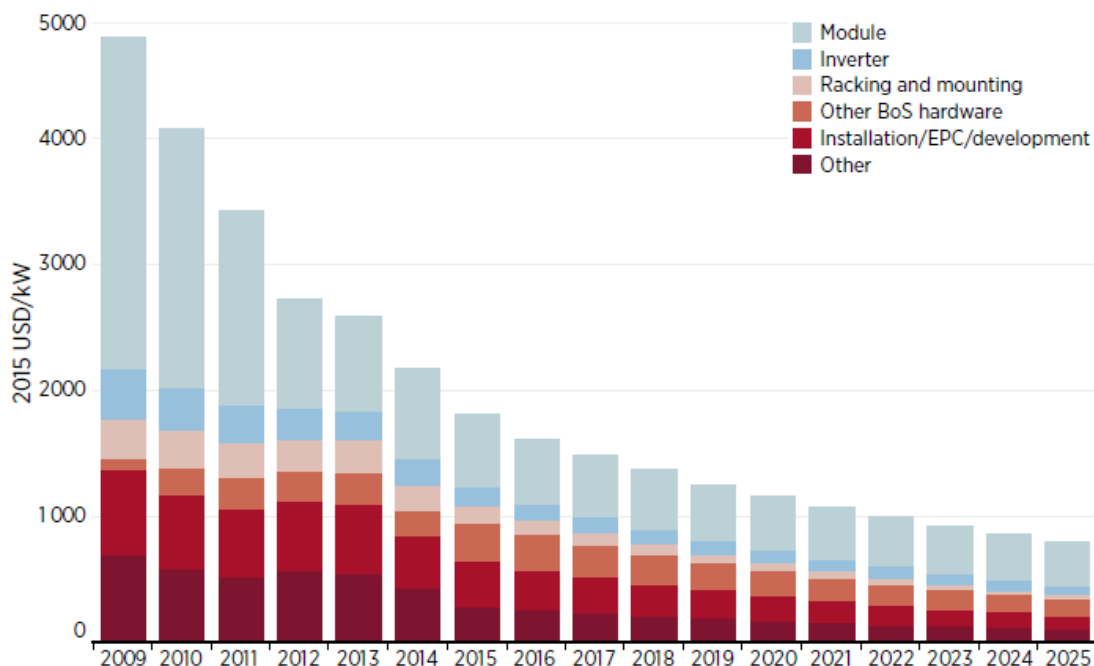


Figura 2.4. Preu dels diferents elements que formen un CF i previsió futura. Font [8]

2.4.1.1. La planta fotovoltaica

Per planta fotovoltaica es considera el conjunt d'elements que permeten la conversió de l'energia solar en energia elèctrica apta pel consum desitjat. Això és per tant la suma del generador fotovoltaic i l'inversor.

Es poden classificar en tres tipologies:

Instal·lacions aïllades de la xarxa elèctrica.

Instal·lacions per a usuaris connectats a la xarxa de baixa tensió.

Plantes de producció elèctrica connectades a la xarxa (tant d'alta com baixa tensió).

2.4.1.2. El generador fotovoltaic

L'element més bàsic del generador fotovoltaic és la cel·la fotovoltaica que és on es produeix l'efecte fotovoltaic. Això és, l'emissió d'electrons per part de determinats materials sotmesos a radiació electromagnètica. Una explicació detallada del fenomen físic queda fora de l'àmbit del treball.

A la cel·la hi ha una capa formada per dues regions diferenciades, una d'aquestes està formada per àtoms de silici dopats, per exemple, amb bor i l'anomenada P. El silici té quatre electrons

de valència i el bor només en té tres, això implica que en aquesta regió hi hagi una falta d'electrons, forats.

A l'altre regió anomenada N, que també està formada per àtoms de silici i, per exemple, d'àtoms de fòsfor, que implica el contrari que a la regió anterior, el fòsfor disposa de cinc electrons de valència i per tant a la regió hi ha un "excés" d'electrons.

Aquestes dues regions, que formen dues capes diferenciades unides per el que s'anomena unió P-N, al disposar de diferent nivell de càrrega creen un camp elèctric a través de la unió i que actua com un díode.

Quan un fotó amb suficient energia incideix a la unió PN se separa la càrrega, per l'efecte fotovoltaic. El camp elèctric creat separa les càrregues elèctriques i la connexió amb els elèctrodes permet tancar el circuit i crear un flux de corrent.

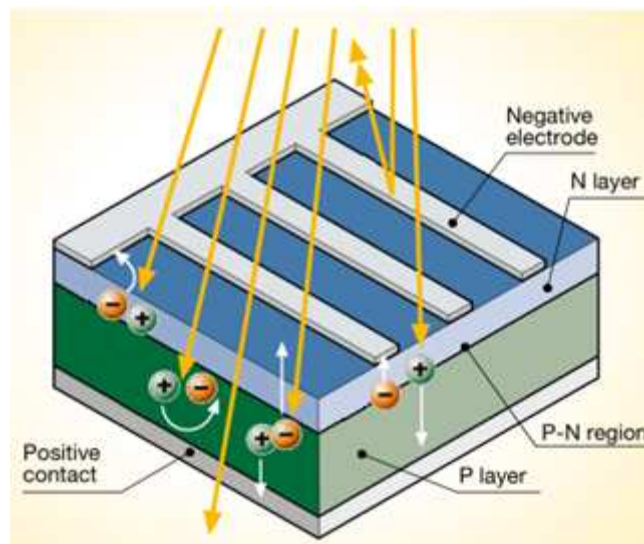


Figura 2.5. Representació de la cel·la fotovoltaica Font. [9]

Les cel·les s'agrupen en mòduls i el conjunt d'aquests formen el panell. Si el generador està format per més d'un panell aquests s'agrupen en sèrie formant un "arrays", la unió de diferents arrays en paral·lel formen el conjunt del generador fotovoltaic

Actualment existeixen diverses tecnologies de cel·les fotovoltaïques si bé les que destaquen per sobre de totes[posar referència] són les basades en les cel·les de silici. On en trobem de dos, tres tipus depenent del seu procés de fabricació

Monocristall: Disposen de millor rendiment i una bona conservació del rendiment al llarg del temps, però són més cares.

Policristal·lines: Disposen de menor rendiment, una conservació similar i són més econòmiques.

Quasi Monocristall: Tenen una estructura entre monocristall i policristall i per tant unes propietats situades entre mig de les dues.

2.4.1.3. Inversor

L'inversor o ondulador és un convertidor elèctric que canvia el corrent continu per corrent altern. Degut a que el corrent produït per una planta fotovoltaica és en corrent continu. (CC). en la gran majoria dels casos és necessari fer aquest canvi ja que, com és conegut, la majoria d'aplicacions elèctriques s'efectuen en corrent altern.

L'inversor per una planta fotovoltaica ha de tenir unes característiques especials, degudes principalment a la variació constant del corrent que es veu sotmès a ondular fruit de les particularitats descrites anteriorment en quant a variabilitat en la producció energètica d'un camp fotovoltaic. Lògicament l'ondulador ha de ser el més eficient possible i per tant ha d'aconseguir procurar la màxima potència possible.

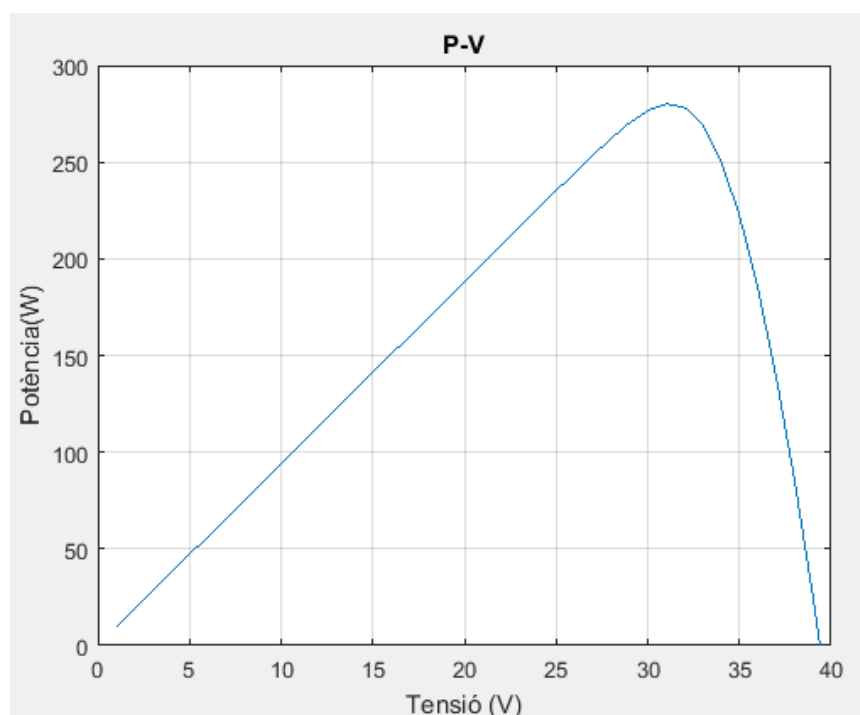


Figura 2.6. Corba Tensió-Potència Font. Pròpia

És per això que els inversors fotovoltaics compten amb algorismes de control MPPT Màxim power point tracking, per tal d'acomplir aquest objectiu i optimitzar la transferència d'energia del camp a la càrrega.

En un mateix camp fotovoltaic és possible trobar més d'un inversor fotovoltaic, els inversors que es poden trobar al mercat arriben fins a més de 100 kW. Per a instal·lacions més petites també és òptim utilitzar diversos inversors.

Les característiques que s'han de tenir en compte alhora de dimensionar l'inversor solar tenen evidentment a veure amb la potència del camp i també amb els voltatges màxims i mínims en que l'inversor pot treballar.

Producció energètica

La producció energètica depèn de l'energia solar, aquest recurs està generat per la fusió termonuclear produïda al nucli del sol, energia que arriba al planeta amb el valor al voltant de $1,367 \text{ W/m}^2$. Anomenada radiació extraterrestre.

La radiació última i incident al panell és el resultat de la reducció de la radiació extraterrestre per l'atmosfera, que arriba al panell en forma de radiació directa, difusa i reflectida, tal i com es mostra a la figura.

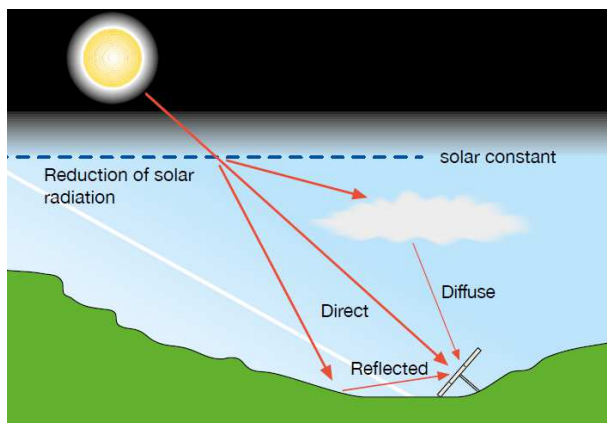


Figura 2.7. Tipologies de radiacions Font. [9]

La producció energètica al llarg de l'any depèn de diversos factors:

- a) Localització geogràfica

La rotació de la terra respecte el sol és de forma el·líptica això implica que la posició del sol respecte un observador fixe a la terra varia al llarg de l'any. La posició d'aquest observador sobre l'esfera terrestre es pot determinar mitjançant dos angles, la longitud i la latitud.

La posició del sol respecte aquest observador també és pot determinar amb dos angles, acimut solar (α) i acimut de la superfície (θ_s).

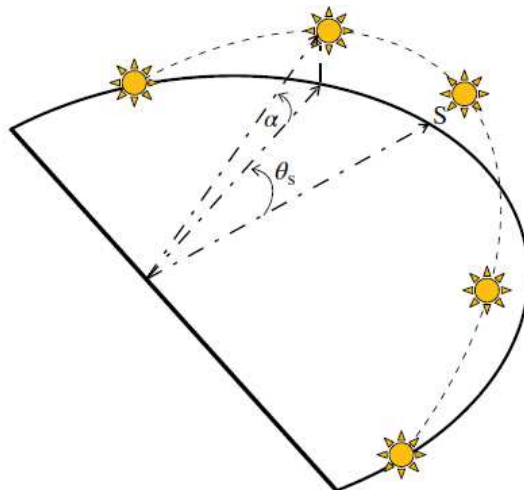


Figura 2.8. Angles que defineixen la posició de l'observador a la terra respecte el sol. **Font [10]**

Per tant mitjançant operacions trigonomètriques es pot calcular la radiació solar incident per qualsevol posició de l'esfera terrestre al llarg de l'any.

b) Inclinació i orientació dels mòduls fotovoltaics

La òptima inclinació dels panells fotovoltaics és determinant per calcular la producció energètica anual, segons els requisits de la instal·lació s'ha de seguir criteris diferents.

Encara que existeixen seguidors solars tant d'un eix com de dos eixos, són els menys utilitzats degut als costos més elevats tant d'inversió com d'operació i manteniment.

La seva optimització és realitza de la següent forma, la latitud de la posició on es troba la instal·lació menys 30° .

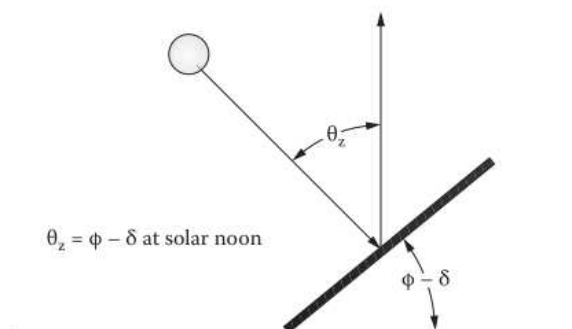


Figura 2.9. Angles que defineixen la posició del panell respecte el sol. **Font [10]**

L'orientació del camp fotovoltaic també es defineix segons com es vulgui distribuir la producció energètica al llarg del any. Si com és el més habitual es procura obtenir la màxima producció al llarg de tot l'any i no només en uns determinats mesos, els panells es situen orientats cap el sud.

c) Presència d'ombres

La presència d'ombres és un factor clau en la producció energètica del generador.

S'han de tenir en compte les ombres generades si és el cas per les pròpies plaques fotovoltaïques a més dels objectes externs. A part de la reducció de la generació per l'ombra en si mateixa, també pot afectar depenent de la configuració del camp en una reducció deguda a l'efecte que la diferència de producció de diferents panells afecta negativament a l'inversor.

A part de les ombres produïdes per objectes exteriors en els cas de les instal·lacions amb panells col·locats amb un angle d'inclinació s'ha de tenir en compte les ombres produïdes pels propis panells.

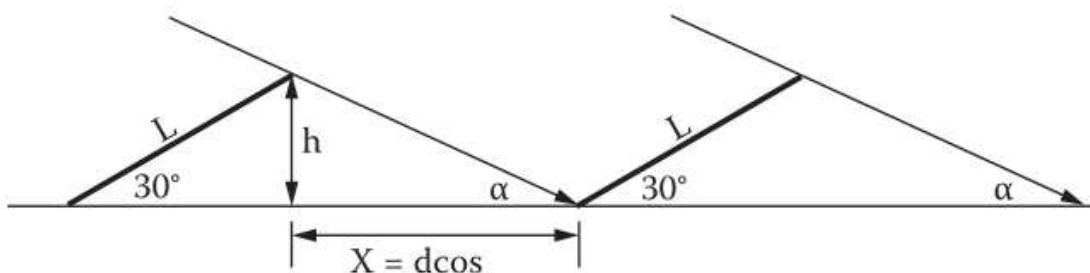


Figura 2.10. Angles per a la òptima col·locació dels panells. Font [10]

d) Rendiment del camp fotovoltaic

Com qualsevol instal·lació de transformació d'energia aquesta té unes pèrdues. En primer lloc en el cas d'un generador fotovoltaic, com s'ha vist anteriorment el rendiment dels panells fotovoltaics és baix, de l'energia solar rebuda es transforma en energia elèctrica en el millor dels casos al voltant d'un 20 % del total de l'energia rebuda. [posar dades]. A més a més s'han d'afegir les pèrdues causades pel cablejat i l'inversor.

2.4.2. Sistema d'emmagatzematge de l'energia

Com és sabut l'emmagatzematge de l'energia produïda és un dels majors reptes actuals en la xarxa elèctrica, això és degut a que la producció de la majoria d'energies renovables com la

solar i la eòlica està vinculada a factors climàtics que no permeten produir-la a voluntat i per tant és necessari emmagatzemar-la.

Actualment existeixen diversos mètodes per tal d'acomplir aquesta funció, es poden classificar en:

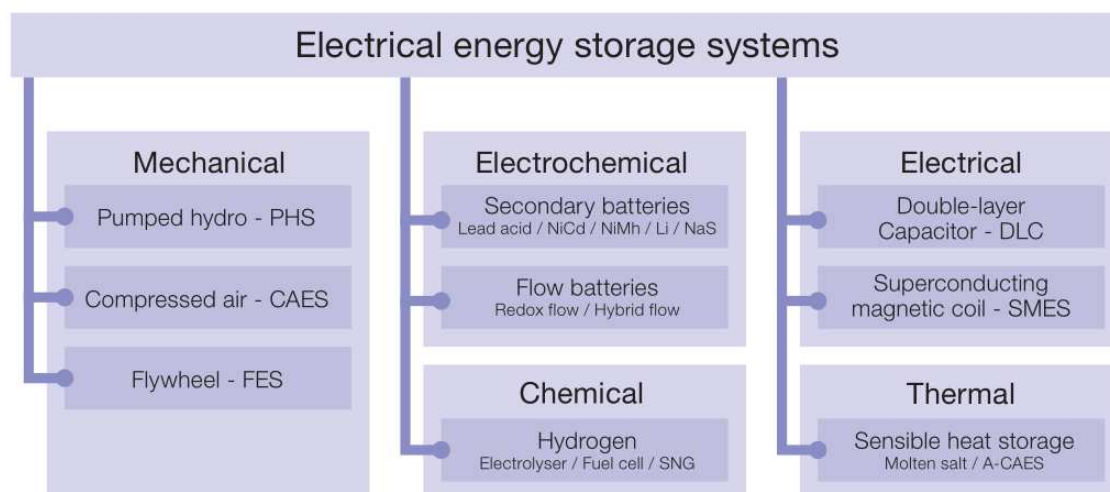


Figura 2.11. Classificació dels sistemes d'emmagatzematge d'energia. Font [11]

Degut a les característiques de les instal·lacions de MED-SOLAR la elecció com és lògica va ser el un sistema de Bateria. Els motius principals són l'econòmic i el nivell de potència, que fan del sistema de bateries el més adequat.

2.4.2.1. Bateria

Les bateries són un dispositiu que converteix l'energia química en energia elèctrica mitjançant una reacció electroquímica d'oxidació-reducció (redox). Es classifiquen segons si tenen capacitat de recàrrega o no, secundàries y primàries respectivament.

Una bateria està formada per una o més cèl·lules electroquímiques, aquestes estan formades per tres elements: l'ànode (elèctrode negatiu), el càtode (elèctrode positiu) i l'electròlit.

Una de les limitacions és que tenen un número limitat de càrregues/descàrregues al llarg de la seva vida útil i els canvis en el rendiment al llarg de l'ús són inevitables. El fet que tinguin una vida limitada curta en comparació a d'altres sistemes i al estar formades de materials altament contaminants implica que tinguin un cost ecològic remarcable.

Al funcionar mitjançant una reacció electroquímica són sensibles a la temperatura condicionant per tant a tenir un rang de treball limitat per l'efecte negatiu per a la vida útil i el rendiment.

Qualsevol sistema de microxarxa de les característiques de MED-SOLAR ha de fer servir sistemes de bateries secundaris que s'analitzen a continuació:

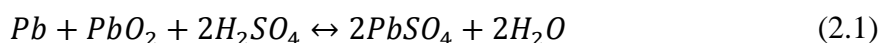
Les bateries secundàries són una tecnologia que porta existint molt de temps, hi ha de diferents tipologies segons la seva funcionalitat, entre les utilitzades per l'ESS en destaquen tres, que són les que actualment s'utilitzen de forma habitual, Plom-àcid, Níquel-Cadmi i Io-Liti.

- Plom-àcid

Aquesta bateria és el model que més unitats té instal·lades actualment.

Aquestes són les seves característiques: té un procés essencialment reversible, no pateix degradació química, pot treballar en un ampli rang de temperatures, el principal punt més favorable és el seu reduït cost. Com a punts negatius la seva baixa densitat i no disposa de cicle de vida elevat.

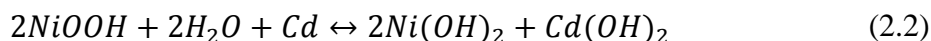
Reacció química:



- Níquel-cadmi

Les bateries níquel-cadmi tenen un gran nombre de dissenys i mesures. Requereixen poc manteniment a banda d'alguna recàrrega d'aigua en alguns casos i la principal característica és la seva llarga vida útil. El cost se situa entre les altres les altres dues comparades.

Reacció química

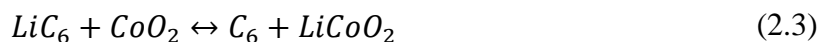


- Io-Liti

És la més nova dels tres tipus de bateries, la característica més destacada és que disposa de la millor densitat de potència de qualsevol de les altres bateries y també té una molt baixa auto

descàrrega. Com a punt negatiu el seu preu és elevat, principalment degut al liti amb que és fabrica.

Reacció química:



Paràmetres

Hi ha multitud de paràmetres que defineixen les característiques d'una bateria, un dels més rellevants és la capacitat. La capacitat de la bateria és la càrrega elèctrica que pot entregar sota un règim de descàrrega determinat Ah.

Energia específica: energia disponible per unitat de volum o de pes.

Cicles de descàrrega: número de vegades que la bateria es pot carregar i descarregar mantenint les seves condicions nominals.

Temperatura operativa: temperatura que la bateria pot treballar de forma correcta.

Eficiència càrrega-descàrrega: percentatge d'energia que no es perd durant els cicles de càrrega i descàrrega.

Taula 2.1 Comparativa entre bateries. **Font Pròpia**

	Densitat d'energia [Wh/kg]	Cicles de càrrega-descàrrega	Voltatge nominal [V]	Temperatura Operativa[°C]	Eficiència càrrega-descàrrega [%]
Àcid-Plom	60-110	500-800	2,1	, -30-40	50-92
Níquel-Cadmi	20-150	2000	1,2	0-40	70-90
Ió-Liti	100-265	400-1200	3,2	0-35	80-90

2.4.3. Grups electrògens

Els grups electrògens són màquines fonamentals en la indústria de producció d'energia, consten d'un alternador i un motor de combustió interna. En els cas que estem tractant, el de grups electrògens pel sector terciari i amb la funció de grup d'abastiment auxiliar, els grups utilitzats són amb combustible dièsel.

Per l'abastiment auxiliar s'utilitzen precisament aquest grups electrògens ja que tenen la possibilitat d'engegada de forma immediata (amb un volant d'inèrcia) o de l'ordre de pocs segons (15 s), també tenen una capacitat d'operació al llarg del temps elevada.

Els grups poden tenir diferents funcionalitats des de la operació com contínua com a única font d'energia fins a operació d'emergència com és el cas tractat.

En l'operació d'emergència el grup únicament opera quan hi ha un tall d'abastiment.

Mode d'arrancada i control:

Manual: Posada en operació manual i control manual

Automàtic: Posada en marxa i control automàtic

Simi-automàtic: combinació d'ambdues

Funcionament isòcron

El grup treballa de forma aïllada de la xarxa elèctrica, això suposa que la freqüència està regulada per regulador de velocitat i la tensió pel regulador de tensió.

Normalment els grups estan dissenyats per funcionar amb un factor de potència de 0,8.

Funcionament amb paral·lel

Quan un grup o més d'un, està treballant de forma paral·lela a la xarxa elèctrica, aquesta; al tenir una potència molt superior imposa la freqüència i la tensió al grup/s. Per aquest motiu el regulador de velocitat actua sobre la potència activa i el regulador de tensió sobre la reactiva.

A la primera part d'aquest estàndard queden recollides les categories de potència que serveixen per definir els grups. En primer lloc hi trobem:

a) Potència contínua

“La potència contínua és definida com la màxima potència que el grup electrogen és capaç de generar de forma contínua alimentant una càrrega constant durant un període il·limitat d'hores per any en condicions establertes i amb els intervals i procediments de manteniment prescrits pel fabricant.” [ISO 8528].

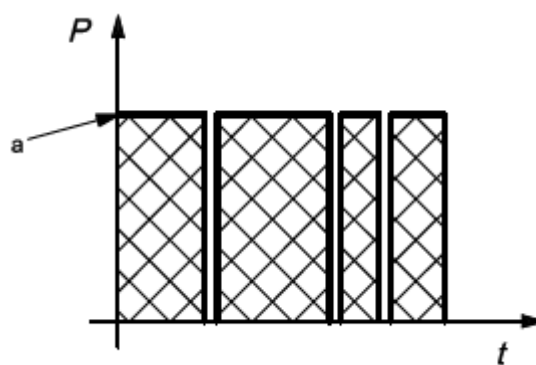


Figura 2.12. Potència contínua Font. [12]

a = Potència contínua

t = Temps

P = Potència

b) Potència principal

És la potència màxima que un generador pot aportar de forma continuada alimentant una càrrega variable durant un període il·limitat d'hores per any en condicions establertes i amb els intervals i procediments de manteniment prescrits pel fabricant.

La potència mitja durant un període de 24 h no ha d'excedir el 70 % de la potència principal.

Per determinar aquesta mitja les potències inferiors al 30 % seran considerades d'aquesta quantitat.

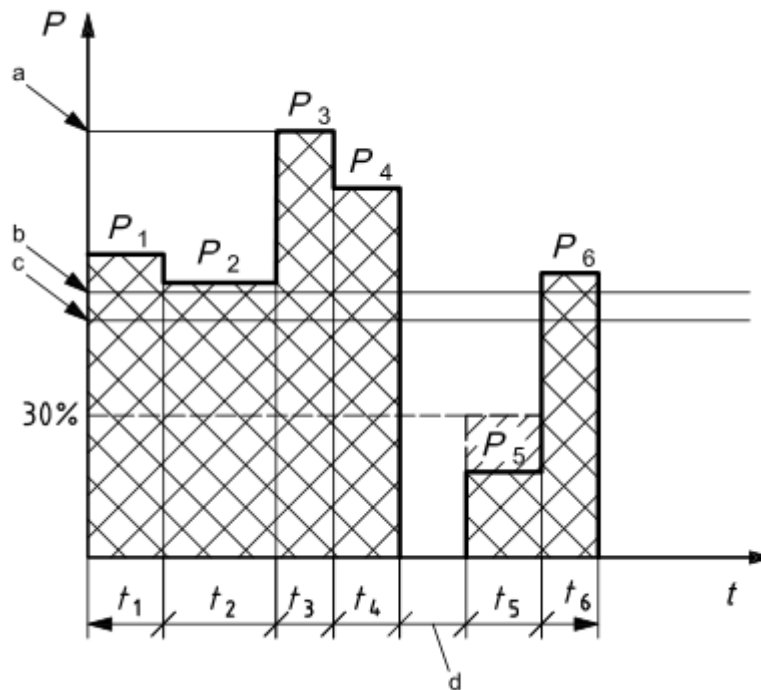


Figura 2.13. Potència contínua Font. [12]

a = Potència principal

t = Temps

b = Potència admissible mitja durant un període de 24 h

c = Potència actual mitja durant un període de 24 h

d = Aturada del grup

Fòrmula pel càlcul de la potència mitja

$$P_{pa} = \frac{P_1 t_1 + P_2 t_2 + P_3 t_3 + \dots + P_n t_n}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i t_i}{\sum_{i=1}^n t_i} \quad (2.4)$$

c) Limited-Time running Power (LTP)

És la màxima potència que el grup electrogen és capaç d'entregar, sota condicions establertes per un temps de 500 h a l'any amb intervals de manteniment prescrits pel fabricant. La potència entregada al 100 % està limitada a 300 h per any.

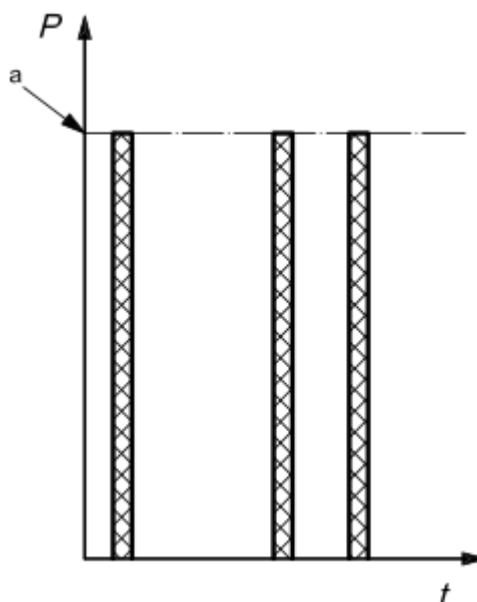


Figura 2.14. Potència contínua Font. [12]

t = Temps

P = Potència

2.4.3.1.1 Components del grup electrògens.

Motor de combustió intern: ha de garantir la potència de les càrregues de la instal·lació, també les càrregues dels circuits auxiliars i les pèrdues del generador.

Regulador: el control es realitza mitjançant reguladors de velocitat, segons l'exigència de amb els paràmetres de tensió i freqüència s'utilitzen reguladors P, PI i PID.

Alternador: està determinat pel motor al qual s'ha acoblat i ha de garantir el correcte funcionament per tot el rang operatiu. Els alternadors segons la potència poden ser de baixa o alta tensió.

Sistema d'engegada: per tal d'arrencar el motor dièsel s'utilitzen generalment bateries si bé en grups de gran potència l'arrencada amb aire comprimit no és estranya.

Combustible i lubricant: elements cabdals pel funcionament del grup, la capacitat dels tancs és determinada pel consum del grup i pel temps de marxa esperat.

Aire de combustió: s'ha de garantir que el grup tingui suficient aire de combustió i les característiques d'aquest per tal d'escollir els filtres adequats.

Sistema d'escapament dels gasos: pel funcionament de grups electrògens en espais tancats és imprescindible comptar amb un sistema d'escapament que s'adeqüi a la normativa.

Sistema de refrigeració: segons si el tipus del motor és d'aire o d'aigua. En el primer cas pot suposar o bé un ventilador acoblat a l'eix del motor o bé, com és imprescindible en el segon, un circuit específic de ventilació.

Quadre de protecció, control i maniobra: tots els grups d'aquestes característiques disposen d'un quadre amb l'emparamenta necessària per protegir i dur a terme les funcionalitats requerides.

Fundació: Els grups electrògens estàtics disposen d'una fundació especialment dissenyada en funció de les característiques d'aquest per reduir la transmissió de les vibracions produïdes.

Els grups electrògens són elements complexos si és necessita fer un bon dimensionament previ per tal de que operin de forma correcte.

També és molt important realitzar un manteniment continu i curós per tal de poder assegurar el funcionament dels grup d'emergència en cas de caiguda de la xarxa.

3. Cas Pràctic: An-Najah

3.1. Hospital Universitari An-Najah

Entre els projectes desenvolupats pel projecte MED-SOLAR es trobava el realitzat a la ciutat Palestina de Nablus, aquest ciutat és la segona ciutat més habitada de Cisjordània, territori sota control israelià i administrat per l'autoritat nacional palestina que té actualment uns 390.000 habitants.

L'edifici del An-Najah National University Hospital és on es va dur a terme la microxarxa, aquest hospital universitari amb 120 llits una superfície de 17,000 m² és un dels majors hospitals de Cisjordània i rep pacients tant d'aquesta zona com de Gaza. Compta amb totes les instal·lacions requerides per qualsevol institució hospitalària internacional com: unitat de cures intensives, unitat de diàlisi, departament d'oncologia, departament de radiologia, serveis de cirurgia etc.. al ser un hospital universitari disposa també de zones de recerca i formació.

3.2. Desenvolupament de la HSMG

El desenvolupament es realitza seguint l'esquema descrit a l'apartat 2, on és resumien gràficament els passos per tal de dissenyar una microxarxa híbrida intel·ligent de forma genèrica.

3.2.1. Objectius

Els objectius descrits anteriorment són els de dissenyar un HSMG per tal d'acomplir els requisits del projecte MEDSolar.

Integració de l'energia fotovoltaica

Millorar la seguretat energètica

Reduir les emissions de gasos contaminants

3.2.2. Factors determinants

Per entendre el context general on s'ha de situar el projecte es fa un breu anàlisi de la situació energètica a Palestina a partir del seu balanç energètic.

Taula. 3.1.-1 Balança energètica de Palestina en TJ any 2015. Font. [13]

Total	Energy Products				
	Solar Energy	Wood and Charcoal	Olive Cake	Bitumen	Oils and Lubricants
11.421,88	5.393,15	5.357,98	637,45	-	-
63.484,66	-	435,78	-	469,54	43,54
-23,00	-	-17,33	-	-	-5,67
-	-	-	-	-	-
74.883,54	5.393,15	5.776,43	637,45	469,54	37,87
-	-	-	-	-	-
-2.562,01	-	-	-	-	-
-2.562,01	-	-	-	-	-
5.399,77	2.696,58	-	-	-	-
66.921,76	2.696,57	5.776,43	637,45	469,54	37,87
66.414,35	2.696,57	5.776,43	637,45	-	-
3.467,35	-	76,27	159,36	-	-
28.985,99	-	-	-	-	-
28.985,99	-	-	-	-	-
33.961,01	2.696,57	5.700,16	478,09	-	-
27.485,04	2.696,57	5.675,79	478,09	-	-
828,68	-	-	-	-	-
5.647,29	-	24,37	-	-	-
507,41	-	-	-	469,54	37,87

Taula. 3.1.-2 Balança energètica de Palestina en TJ any 2015. **Font.** [13]

Energy Products					
LPG	Fuel Oil	Kerosene	Gasoline	Diesel	Electricity
-	-	-	-	-	33,30
7.909,17	136,48	66,73	9.580,77	25.355,53	19.487,12
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
7.909,17	136,48	66,73	9.580,77	25.355,53	19.520,42
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-442,66	-3.938,67	1.819,32
-	-	-	-442,66	-3.938,67	1.819,32
-	0,04	0,18	73,66	68,54	2.560,77
7.909,17	136,44	66,55	9.064,45	21.348,32	18.778,97
7.909,17	136,44	66,55	9.064,45	21.348,32	18.778,97
399,45	68,22	7,43	13,15	669,15	2.074,32
229,64	-	-	8.788,39	19.967,96	-
229,64	-	-	8.788,39	19.967,96	-
7.280,08	68,22	59,12	262,91	711,21	16.704,65
6.575,83	-	44,33	-	229,14	11.785,29
142,09	-	1,39	169,12	374,21	141,87
562,16	68,22	13,40	93,79	107,86	4.777,49
-	-	-	-	-	-

Del balanç energètic s'extreu que Palestina només produeix el 15,25 % del total de l'energia que consumeix, en el cas de l'energia elèctrica la situació encara és més desfavorable, ja que la producció amb recursos propis és majoritàriament realitzada amb combustibles fòssils i la gasolina i el gas que són importats majoritàriament de Jordània només representen el 0,17 % del total de l'energia consumida.

A Palestina però podem diferenciar dues situacions internes diferents, per una part Gaza i per altra Cisjordània.

A la franja de Gaza és on Palestina disposa de la única central elèctrica que és de cycle combinat i de 140 MW, malgrat això la situació és pitjor que a Cisjordània ja que no serveix per cobrir les demandes de la zona que pateix de talls d'electricitat diaris i de gran duració horària.

La situació a Cisjordània és diferent, ja que a pesar que la producció elèctrica és tan reduïda que no apareix a les estadístiques i per tant la producció elèctrica es redueix als grups electrògens i als camps fotovoltaics que puguin tenir els particulars no hi ha talls diaris i no són de gran duració horària.

Taula. 3.2 Quantitat d'energia elèctrica importada i produïda a la franja de Gaza 2015 MWh per font i mes. **Font. [13]**

Month	Source				Total
	Imported		Total	Purchased from Palestine Electric Company	
	Egypt	Israeli Electricity Company			
January	18,083	72,365	90,448	31,889	122,337
February	18,083	67,527	85,610	32,694	118,304
March	18,083	78,827	96,910	7,512	104,422
April	18,083	78,146	96,229	27,159	123,388
May	18,083	79,268	97,351	33,578	130,929
June	18,083	79,496	97,579	31,880	129,459
July	18,083	79,190	97,273	23,874	121,147
August	18,083	80,580	98,663	36,209	134,872
September	7,863	77,777	85,640	32,011	117,651
October	12,850	80,041	92,891	31,180	124,071
November	11,928	80,523	92,451	28,386	120,837
December	12,886	87,542	100,428	38,598	139,026
Total	190,191	941,282	1,131,473	354,970	1,486,443

Taula. 3.3 Quantitat d'energia elèctrica a Cisjordània el 2015 MWh per font i mes. **Font. [13]**

Month	Source		Total
	Jordan	Israeli Electricity Company	
January	5,453	442,261	447,714
February	36	390,811	390,847
March	-	345,252	345,252
April	17	323,421	323,438
May	1,318	306,717	308,035
June	81	306,965	307,046
July	8,567	327,444	336,011
August	11,650	372,159	383,809
September	7,656	347,890	355,546
October	5,170	312,849	318,019
November	175	322,911	323,086
December	1,267	441,545	442,812
Total	41,390	4,240,225	4,281,615

Taula. 3.4 Taula comparativa entre Cisjordània i Gaza Dades del 2015 Elaboració pròpia. **Font. [13]**

	Cisjordània	Gaza
Població	2.862.485	1.819.982
Energia (MWh)	4.281.615	1.486.443
Energia per persona i any	1,50	0,82

Com queda recollit a la taula el consum d'energia per persona és pràcticament el doble a Cisjordània que a Gaza. L'explicació de la diferència entre les dues zones és també degut a la diferent situació política en la que es troben les dues zones.

3.2.2.1. Situació geogràfica

La situació geogràfica és cabdal per l'ús de les energies renovables, en el cas concret de l'energia fotovoltaica aquesta relació és evident. A Nablus, i Palestina en general és un lloc adequat per l'ús d'aquest recurs energètic ja que al estar situada a una latitud de 32° la radiació solar que rep és força elevada, com s'observa en el mapa següent.

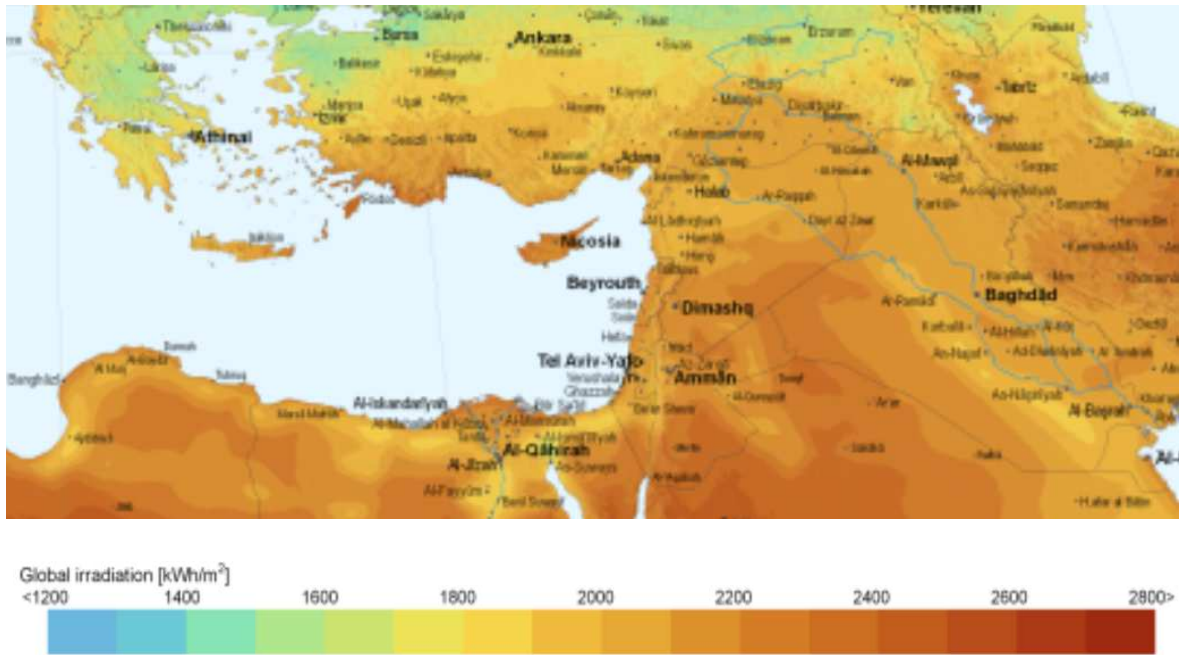


Figura 3.1. Mapa de la radiació solar. Font. [14]

3.2.2.2. Càrregues

Les dades de les càrregues s'obtenen de l'estudi realitzat per l'equip de MED-SOLAR [15] durant un període de 45 dies, concretament entre els dies 5 de desembre de 2013 i el 20 de gener del 2014.

És raonable pensar que el major consum d'energia elèctrica es produirà durant els mesos d'estiu degut a la utilització dels equips d'aire condicionat.

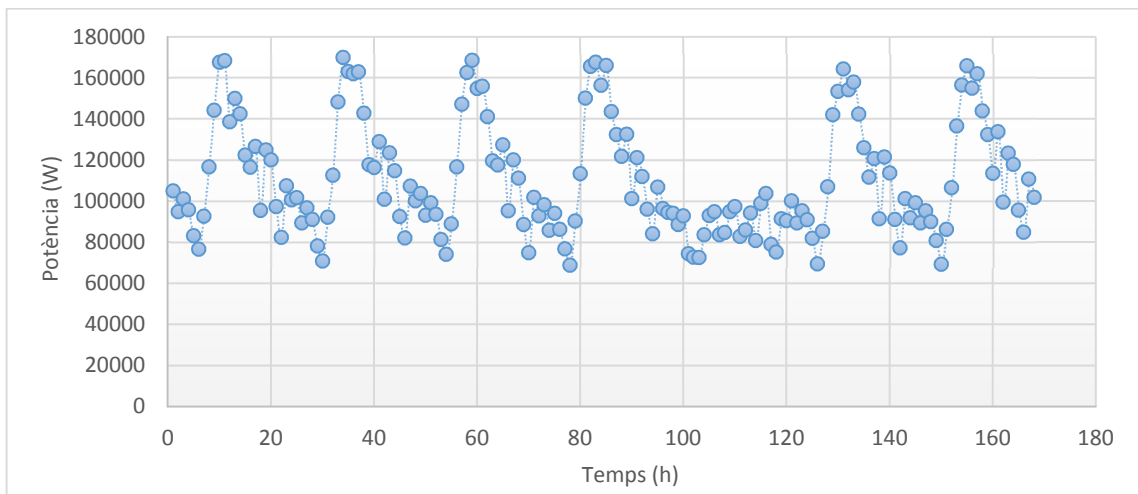


Figura 3.2. Gràfic de la Potència activa en W de l'Hospital durant una setmana. Font. Pròpia.

S'ha considerat de replicar aquesta setmana al llarg de tot l'any, tenint en compte que les dades obtingudes, si bé exhaustives, aquestes es concentren en un període concret de l'any, l'hivern on es raonable suposar que el consum elèctric és menor. És per aquest motiu que s'augmenta el conjunt de càrregues en un 5 % els mesos de maig i setembre i un 10 % el juny, juliol i agost, mesos on la temperatura és més elevada a la ciutat de Nablus.

Parámetros climáticos promedio de Nablus												
Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Temp. máx. media (°C)	12.4	12.1	16.1	20.8	25.5	28.1	29.6	28.0	26.6	25.7	21.6	16.4
Temp. media (°C)	9.0	8.8	11.9	16.6	20.7	24.0	24.8	24.4	22.5	20.5	17.5	13.1
Temp. mín. media (°C)	6.2	6.1	8.2	11.8	15.2	17.4	18.8	19.1	17.5	16.4	13.8	9.3
Precipitación total (mm)	155	135	90	34	5	0	0	0	2	17	60	156
Humedad relativa (%)	74	75	66	55	47	50	65	62	73	62	54	69

Figura 3.3. Dades climàtiques a la ciutat de Nablus. Font. [16]

3.2.3. Elements físics

Els elements físics per realitzar la instal·lació són el Camp fotovoltaic, Bateria d'emmagatzematge de l'energia, grup electrogen i la xarxa elèctrica

A diferència del projecte dut a terme a la pràctica, en aquest treball la limitació de la inversió a realitzar no serà una variable a tenir en compte pel disseny de la HSMG.

3.2.3.1. Camp fotovoltaic

Com s'ha dit anteriorment el projecte MED- SOLAR té com un dels seus principals objectius contribuir al desenvolupament d'aquest tipus d'energia renovable, més enllà d'això l'energia fotovoltaica per la situació geogràfica de la instal·lació és una bona elecció.

3.2.3.2. Sistema d'emmagatzematge de l'energia

El sistema d'emmagatzematge té la finalitat d'acomplir amb l'objectiu de promoure aquest element en els projectes d'energies renovables i contemplar si és econòmicament rendible.

3.2.3.3. Grup electrogen

Per tal de garantir les càrregues elèctriques del 50% de la total és necessari comptar amb aquests tipus de tecnologia que com s'ha vist és la més adequada per aquesta finalitat.

3.2.3.4. Xarxa elèctrica

L'Hospital esta connectat a una estació transformadora amb un transformador de 33 kV a 400 V.

Actualment no existeix la possibilitat de vendre energia a la xarxa elèctrica però no esta penalitzat injectar-ne ni estar connectat a la xarxa.

Per la situació política en que es troba palestina i considerant les explicacions a l'apartat anterior sobre la xarxa elèctrica que és operada per Israel i l'autoritat palestina no en té cap control.

3.2.4. Arquitectura i fluxos de potència

Alhora de plantejar l'arquitectura de la instal·lació, una de les qüestions principals que s'ha de definir és si el banc de bateries forma un conjunt amb el camp fotovoltaic, i per tant només es disposa d'un sol inversor, o bé el sistema d'emmagatzematge d'energia i el camp fotovoltaic estan completament separats i formen dos blocs completament autònoms.

Cal dir que les dues opcions són perfectament viables i no és evident quina de les solucions és més òptima, a continuació s'expliquen ambdues.

Esquema 1. Blocs Autònoms

En aquest sistema es poden trobar els següents avantatges:

Millor dimensionament, ja que al funcionar com a blocs autònoms cada inversor esta dissenyat per a la càrrega específica.

Amb dos sistemes autònoms s'aconsegueix augmentar la operativitat de la planta ja que poden treballar independentment.

Possibilitat de dissenyar el sistema amb menys limitacions respecte els productes dels fabricants, és a dir, és més fàcil aconseguir dos tipus d'inversors que s'adaptin a les nostres necessitats que un de sol.

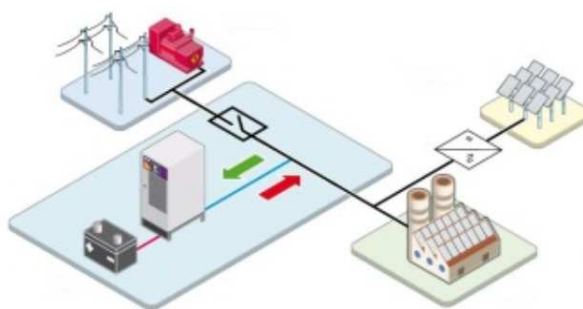


Figura 3.4. Esquema amb dos inversors. Font [17]

Esquema 2. Mateix Bloc

El sistema amb un sol inversor implica que aquest està dissenyat per fer d'inversor fotovoltaic i carregar les bateries.

Encara que per cada inversor de cada fabricant, s'hauria de fer la comparativa, és lògic pensar que en general l'eficiència d'aquest és més elevada.

La inversió econòmica resulta més favorable al tractar-se de només un inversor.

Per tal de fer el dimensionament del sistema, i escollir l'inversor correcte les característiques pròpies del inversor tenen un pes molt important, fet que implica que hi hagi més limitacions.

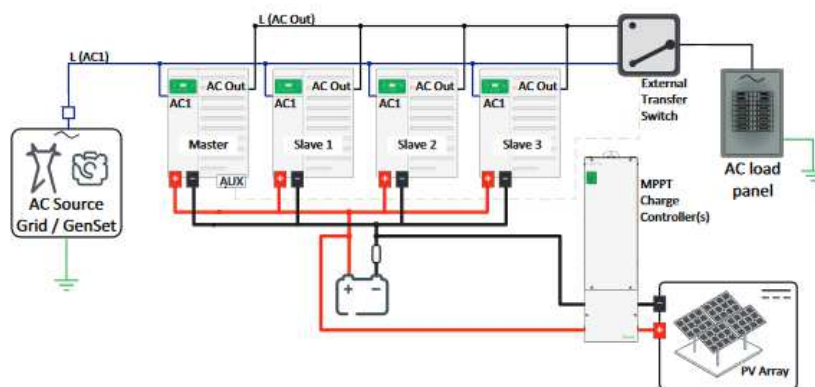


Figura 3.5. Esquema un sol inversor. Font [18]

3.2.4.1. Arquitectura de la instal·lació

3.2.4.2. Fluxos de potencia

Composada pels elements vistos anteriorment Xarxa (X), Generador (G), Camp fotovoltaic (PV), Bateries (B), Càrregues no crítiques (CnC), Carregues crítiques (CC).

Hi ha un total de $2^7 = 64$ estats teòricament possibles. D'aquestes possibilitats es descarten els següents per no ser lògics.

La restricció principal és que les càrregues crítiques estiguin sense cap tipus d'alimentació. Això significaria una incidència total a la instal·lació elèctrica.

Les altres restriccions són:

Si no hi ha cap incidència les càrregues no crítiques estiguin desconnectades.

Si la xarxa elèctrica està operativa no es pot utilitzar el generador dièsel. Per considerar que és una opció contaminant.

Un cop descartats aquests escenaris ens trobem en que hi resten un total de 19 possibilitats.

Taula 3.5 Connexions possibles de la microxarxa. **Font Pròpia**

	X	G	PV	B	CnC	CC
1	X				X	X
2	X		X		X	X
3	X			X	X	X
4	X		X	X	X	X
5		X				X
6			X			X
7				X		X
8		X	X			X
9		X		X		X
10		X			X	X
11			X	X		X
12			X		X	X
13				X	X	X
14			X	X	X	X
15		X		X	X	X
16		X	X		X	X
17		X	X	X		X
18		X	X	X	X	X

Els diferents elements es poden comportar de tres maneres segons la possibilitat que tenen per generar o absorbir energia, en aquest treball és configuren de la següent manera. (-1 si absorbeixen i +1 si en generen)

Taula 3.6 Comportament des components de la microxarxa. **Font Pròpia**

X	-1	+1
G		+1
PV		1
B	-1	1
CnC	-1	
CC	-1	

Els únics elements que poden absorbir i generar energia són les bateries i la xarxa elèctrica.

Per tal d'acotar encara més els modes de funcionament es distingeix clarament entre funcionament normal o òptim si la xarxa està operativa encara que no estigui generant potència o en falla si la xarxa no està operativa.

En aquest apartat per tant tractarem els modes de funcionament normals.

A més a més en funcionament òptim de la xarxa elèctrica tant les càrregues crítiques com no crítiques han d'estar alimentades i per tant es fusionen les dues tipologies de càrregues anteriors.

Realitzada per tant la discriminació entre operació normal i en emergència, assumint aquesta última restricció i afegint els possibles modes d'operació, la taula anterior queda distribuïda de la següent forma:

Taula 3.7 Taula de fluxos de potència. **Font Pròpia**

	X	PV	B	C
1	1			-1
2	1	1		-1
3	-1	1		-1
4	1		1	-1
5	1		-1	-1
6	1	1	1	-1
7	1	1	-1	-1
8	-1	1	-1	-1
9		1		-1
10		1	-1	-1

Aquesta taula per tant Indica que la HSMG pot funcionar de deu modes diferents que s'especifiquen a continuació.

Taula 3.8 Modes de funcionament de la microxarxa. **Font Pròpia**

Modes d'operació	Descripció
1	La xarxa elèctrica abasteix energia a les càrregues
2	La xarxa elèctrica i el camp fotovoltaic abasteixen energia a les càrregues
3	L'energia fotovoltaica abasteix energia a les càrregues i injecta la sobrant a la xarxa
4	Peak-shaving en funcionament les bateries i la xarxa abasteix energia a les càrregues
5	La xarxa abasteix energia a les càrregues i carrega la bateria
6	Peak-shaving en funcionament les bateries, la xarxa i el camp fotovoltaic subministren energia a les càrregues
7	La xarxa i el camp fotovoltaic abasteixen energia a les càrregues i carreguen les bateries
8	El camp fotovoltaic abasteix les càrregues, bateria i injecta a xarxa
9	El camp fotovoltaic abasteix les càrregues
10	El camp fotovoltaic abasteix les càrregues i carrega la bateria

Per variar d'un mode de funcionament a un altre l'EMS té en compte els següents paràmetres:

- Potència absorbida per les càrregues.
- Valor fixat pel peak-shaving. Es comprova si la potència de la xarxa P_x és superior al valor fixat P_{sh} .
- SOC de les bateries. Es comprova si es troba per sobre o sota dels límits SOC_{min} , SOC_{max} .
- Si es produeix energia fotovoltaica. Es comprova si P_{on} o P_{off} .
- Si l'energia fotovoltaica produïda és suficient per injectar a xarxa.

A continuació es mostra el diagrama de flux del sistema:

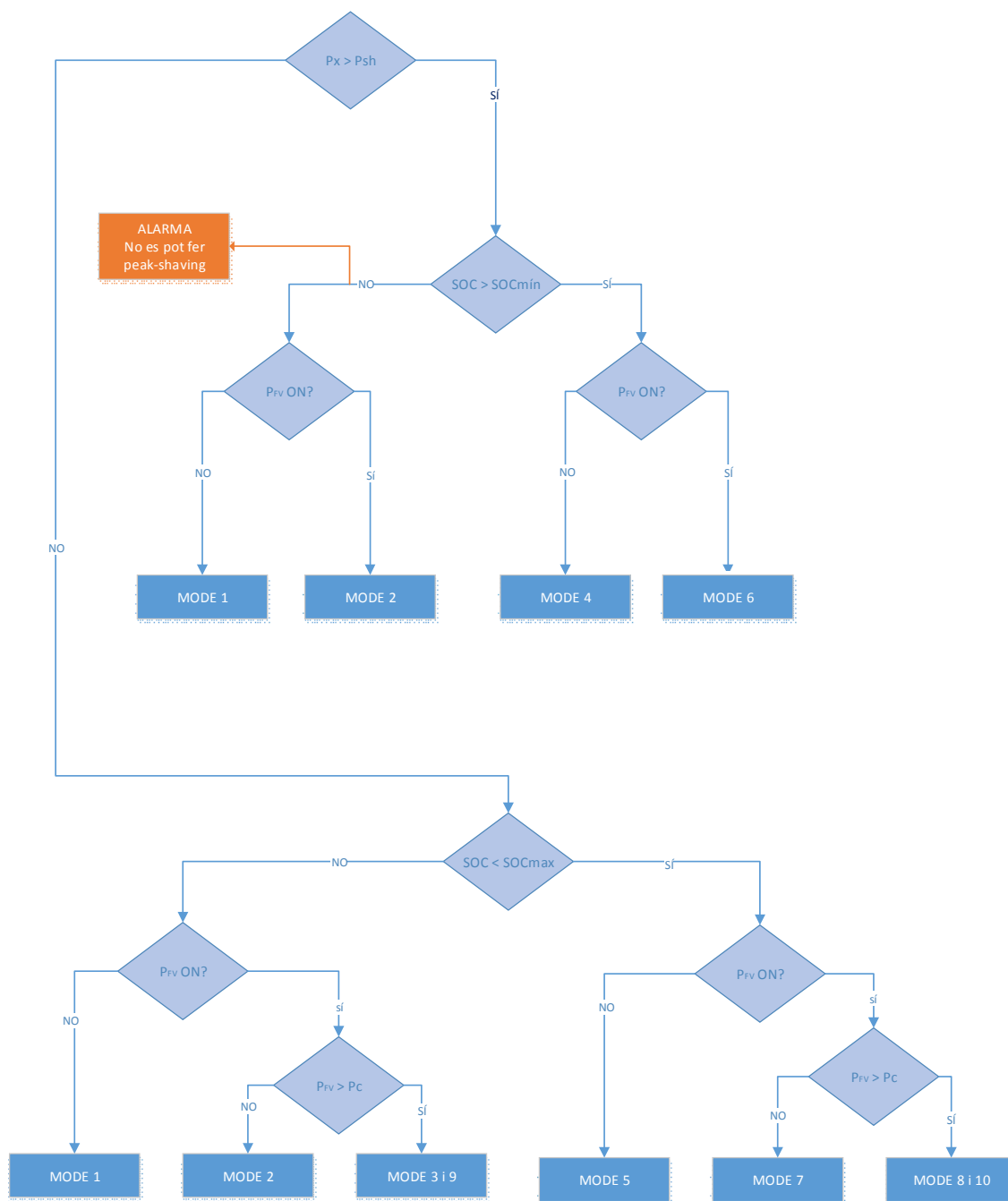


Figura 3.6. Diagrama de funcions del EMS. Font Pròpia

Les taules i el diagrama serviran per a continuació triar els equipaments necessaris per tal de poder realitzar aquest EMS.

3.2.5. Normativa

Les normes que apareixen a continuació, són les tingudes en compte per al disseny de la microxarxa i aquelles que compleixen els elements proposats.

IEC 60364-712 Low voltage electrical installations - Part 7-712: Requirements for special installations or locations - Solar photovoltaic (PV) power supply systems

IEC 60364-5-56:2009 Low-voltage electrical installations - Part 5-56: Selection and erection of electrical equipment - Safety services

IEC 60364-5-52:2009 Low-voltage electrical installations - Part 5-52: Selection and erection of electrical equipment - Wiring systems

IEC 60623:2017 RLV Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes - Vented nickel-cadmium prismatic rechargeable single cells

ISO 8528 Reciprocating internal combustion engine driven alternating current generating sets

ISO 50001 Energy management systems requirements with guidance for use

IEC 61215-1:2016 Terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval

IEC TR 61439-0:2013 Low-voltage switchgear and controlgear assemblies - Part 0: Guidance to specifying assemblies

IEC 62109 :2010 Safety of power converters for use in photovoltaic power systems

3.2.6. Dimensionament

El dimensionament de la instal·lació s'ha realitzat amb el programa HOMER Pro, està destinat al disseny de microxarxes, és de pagament i té moltes funcionalitats.

El programa s'ha fet servir per tal de poder determinar de forma precisa i utilitzant criteris sòlids tan el camp fotovoltaic com les bateries.

Els criteris que s'ha seguit han estat els següents:

Acompliment de la demanda de potència de la instal·lació en tot moment.

Aprofitament de la màxima energia solar per a la instal·lació, és a dir no s'injecta a xarxa.

Peak shaving

Consideracions que s'han dut a terme per tal de realitzar la simulació amb HOMER, s'ha simplificat el disseny de la microxarxa 'real' per tal de facilitar l'estudi sense perdre fiabilitat.

En la imatge de la microxarxa dissenyada a HOMER, les simplificacions més evidents són la no existència ni dels grups electrògens ni del inversor del camp fotovoltaic.

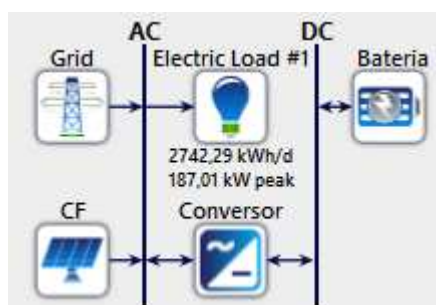


Figura 3.7. Diagrama de blocs Homer. **Font Pròpia**

A continuació es detallen els elements fets servir al software i les variables introduïdes.

Controlador

El programa permet escollir entre diversos controladors (o vincular-lo al Matlab). Entre aquestes possibilitats s'ha optat pel següent control del HOMER, anomenat: Cycle Charging.

L'estratègia que fa servir és la següent:

Quan un generador ha d'operar serveix a la càrrega primària.

Els generadors operen a la màxima potència.

L'energia excedent és destinada a la càrrega menys no prioritària.

Aquesta estratègia s'adapta a tots els requisits bàsics i la política de peak shaving com es veurà a continuació es determinarà a partir de la xarxa elèctrica.

A la següent imatge la mateixa gràfica de les dades introduïdes al programa HOMER Pro.

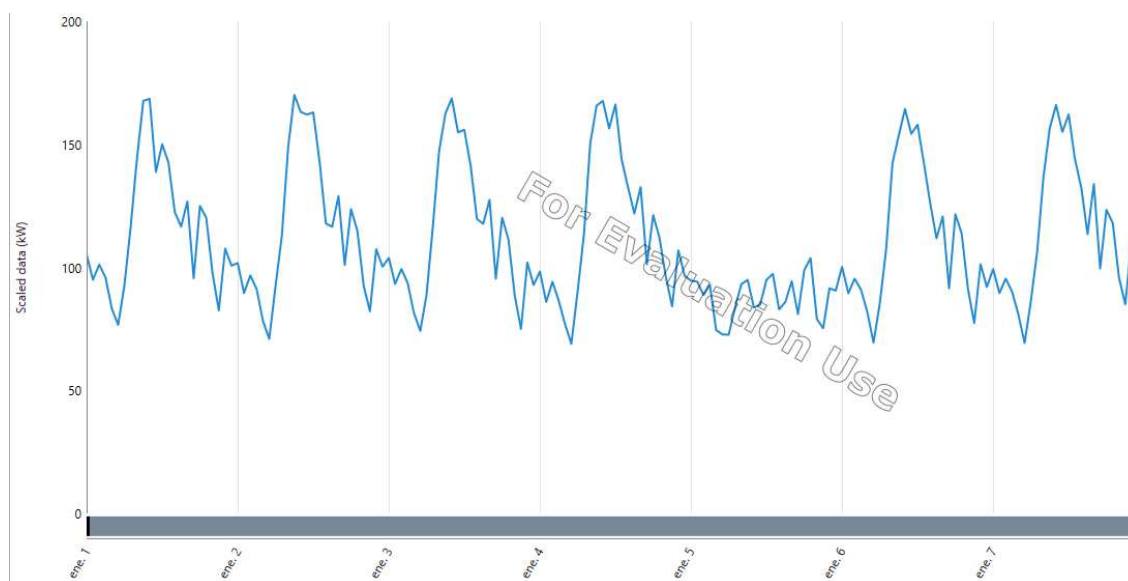


Figura 3.8. Dades de consum en kW al software HOMER. Font Pròpia

Càrregues durant la primera setmana de gener introduïdes a HOMER

El preu de l'energia és de 0,2 \$/kWh.

Xarxa

La xarxa és la des d'on es pot introduir la variable per determinar la política de peak-shaving.

Els estudis que s'han realitzat per diferents valors de peak-shaving.

Inversor, bateries i camp fotovoltaic

Els altres tres elements; camp fotovoltaic, bateries i inversor s'ha considerat convenient de fer servir les dades que dona per defecte el programa.

Característiques de la xarxa elèctrica palestina (MEDSOLAR Questionnaires Data Gathering Campaign - Summary)

Estudis realitzats amb HOMER

En primer lloc dels estudis realitzats amb

1-. En cas de no aplicar una política de peak shaving, i amb una tarifa plana de 0,2\$/kwh de la xarxa, el que és econòmicament més favorable és únicament disposar d'un camp fotovoltaic i la connexió a la xarxa elèctrica.

Aquests resultats es mostren a continuació.

Architecture				Cost				System		CF		Autonomy
CF (kW)	Bateria LA	Grid (kW)	Conversor (kW)	Dispatch	COE (\$)	NPC (\$)	Operating cost (\$)	Initial capital (\$)	System Size	Capital Cost (\$)	Production (kWh)	Autonomy (tr)
211		99.999		CC	0,186 \$	2,38 \$M	136.426 \$	632.176 \$	32,9	632.175	344.458	
214	16	99.999	0.313	CC	0,187 \$	2,39 \$M	136.207 \$	646.226 \$	33,2	640.533	349.011	0,0981
		99.999		CC	0,200 \$	2,56 \$M	200.187 \$	0,00 \$	0			
	20	99.999	0.366	CC	0,201 \$	2,57 \$M	200.707 \$	7.110 \$	0			0,123

Figura 3.9. Resultats simulació al software HOMER. Font Pròpia

El que es dedueix d'aquestes variables es que el camp fotovoltaic adequat és de 211 kW.

La producció d'aquest camp fotovoltaic és més elevada en nombroses ocasions que la potència necessària, tot i que el model està realitzat tenint en compte que l'energia sobrant no es ven.

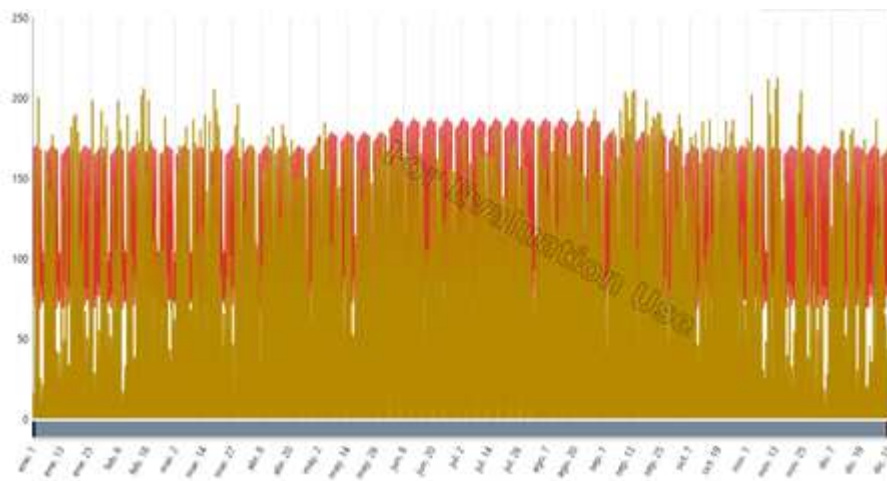


Figura 3.10. Potència fotovoltaica i de les càrregues en kW durant un any al software HOMER. Font Pròpia

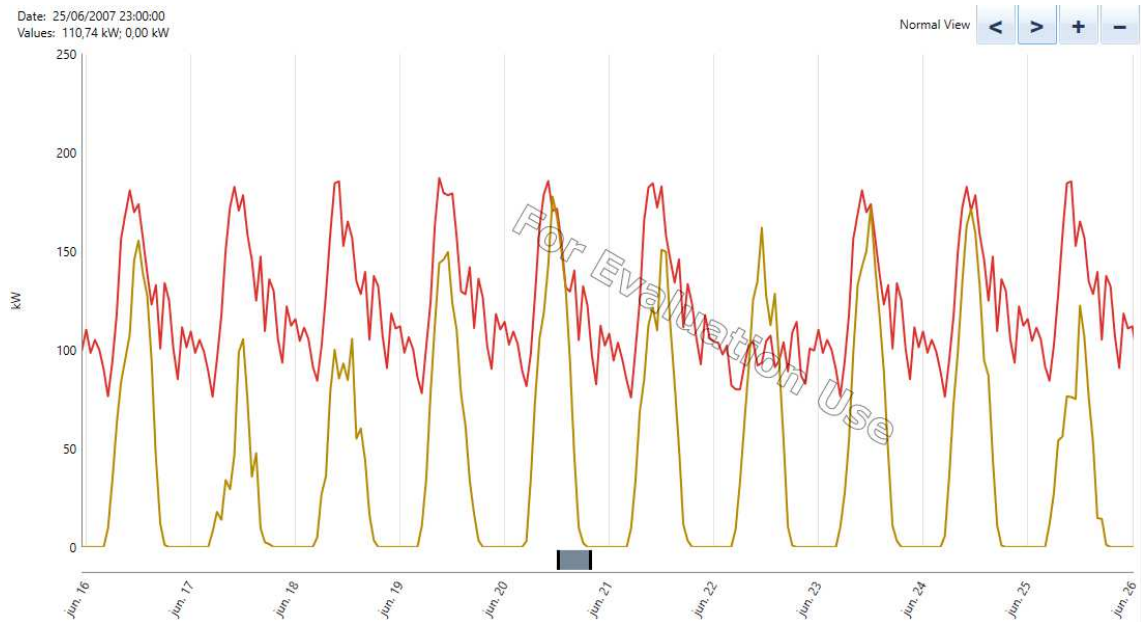


Figura 3.11. Potència fotovoltaica i de les càrregues en kW durant 10 dies al juny. **Font Pròpia**

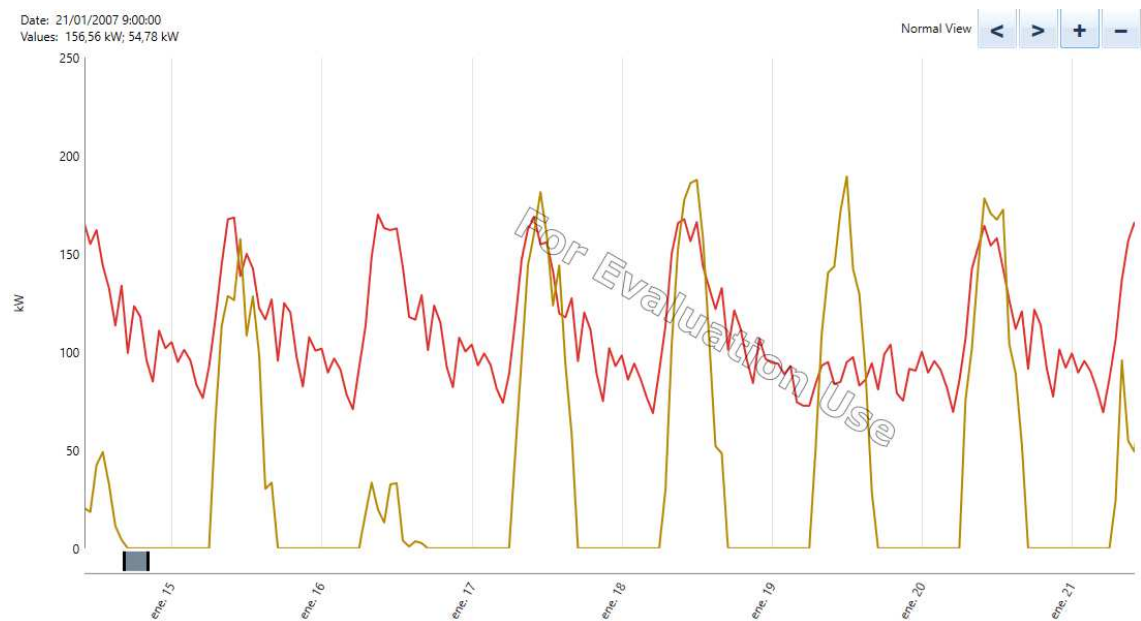


Figura 3.12. Potència fotovoltaica i de les càrregues en kW durant 7 dies al juny. **Font Pròpia**

Estudi per una tarifa variant per tal de comprovar com pot afectar un canvi de tarifa per horaris, simulant també una mena de peak shaving.

De l'estudi del consum de l'hospital, s'extreu que el període de major consum és entre les 7 del matí i les 15 hores:

Architecture							Cost				System	CF	
CF (kW)	Bateria LA	Grid (kW)	Conversor (kW)	Dispatch	COE (\$)	NPC (\$)	Operating cost (\$)	Initial capital (\$)	RenFrac (%)	Capital Cost (\$)	Production (kWh)		
228		99.999		CC	0,142 \$	1,82 \$M	88.536 \$	684.679 \$	34,8	684.678	373.065		
212	4	99.999	0,207	CC	0,143 \$	1,82 \$M	92.738 \$	638.534 \$	33,1	637.072	347.126		
		99.999		CC	0,174 \$	2,23 \$M	174.249 \$	0,00 \$	0				
	20	99.999	0,366	CC	0,175 \$	2,24 \$M	174.768 \$	7.110 \$	0				

Figura 3.13. Resultats simulació al software HOMER. Font Pròpia

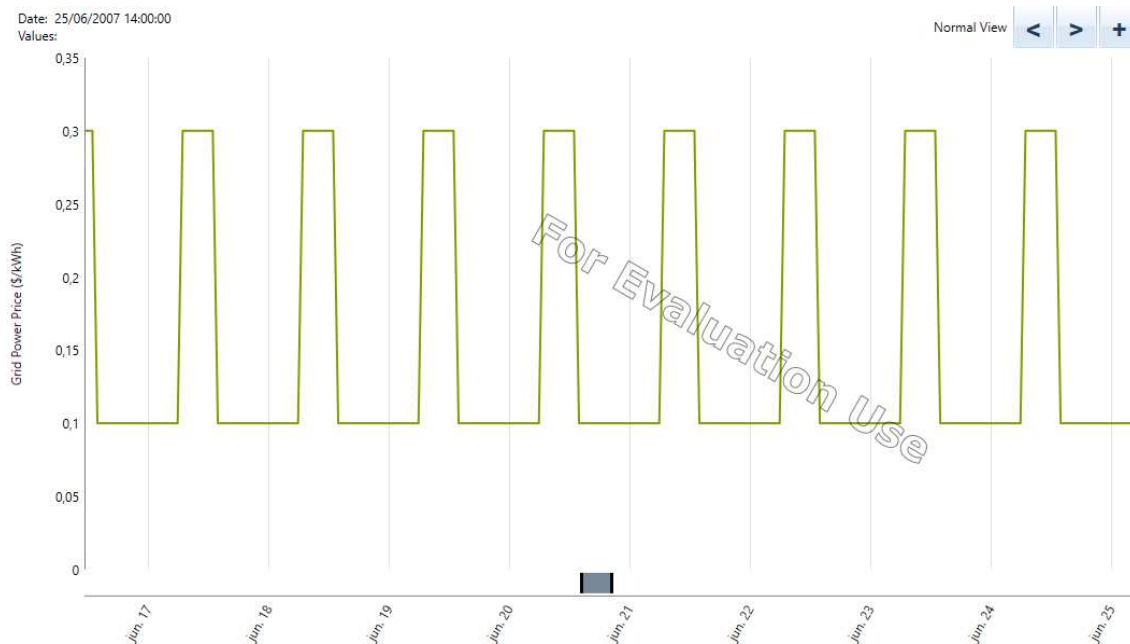


Figura 3.14. Preu de l'energia amb discriminació horària. Font Pròpia

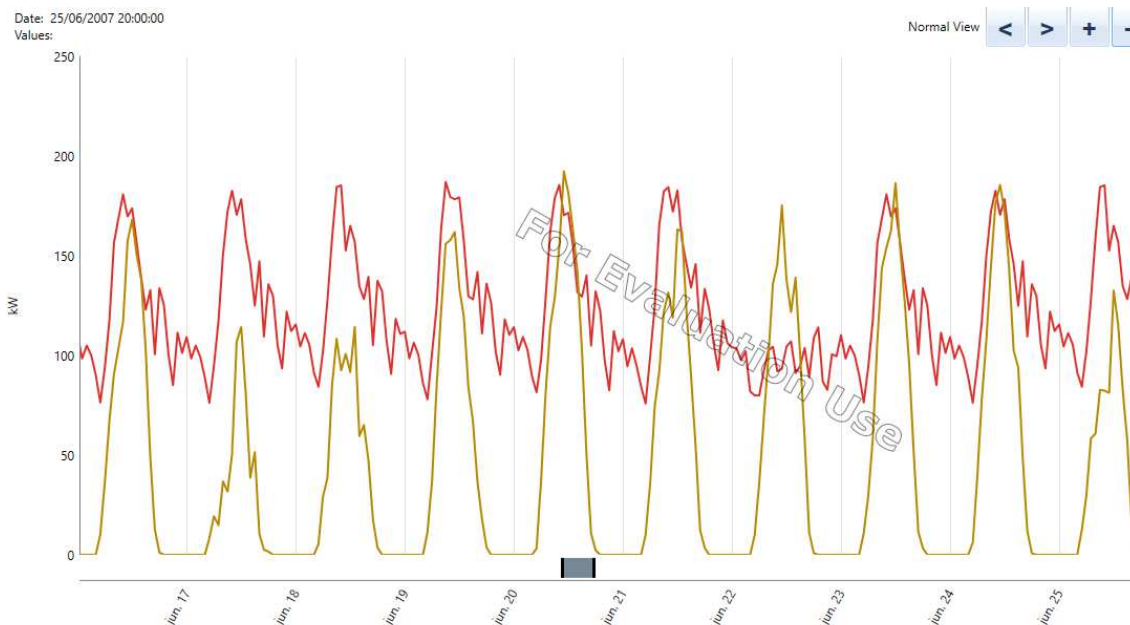


Figura 3.15. Potència fotovoltaica i de les càrregues en kW durant 10 dies al juny. Font Pròpia

Estudi amb Peak-Shaving de 50 kW i la tarifa variable en el mateix grau que a l'anterior.

Architecture					Cost				System	CF	
CF (kW)	Bateria LA	Grid (kW)	Conversor (kW)	Dispatch	COE (\$)	NPC (\$)	Operating cost (\$)	Initial capital (\$)	RenFrac (%)	Capital Cost (\$)	Production (kWh)
244	280	130	71,6	CC	0,160 \$	2,04 \$M	93.188 \$	851.582 \$	36,5	732.113	398.911

Figura 3.16. Resultats simulació al software HOMER. Font Pròpia

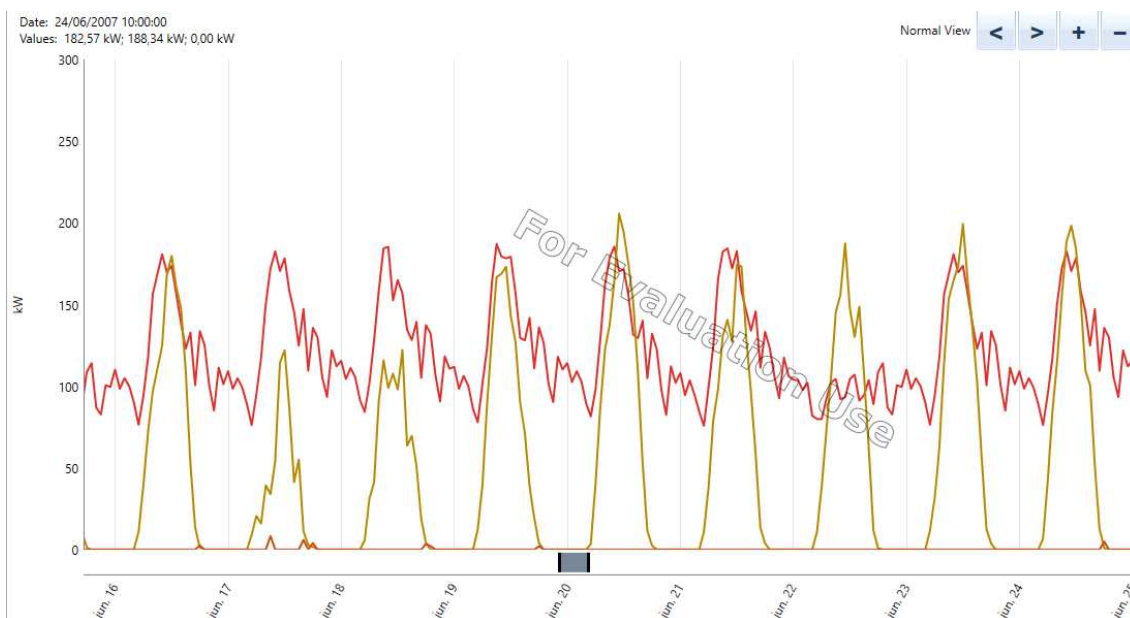


Figura 3.17. Potència fotovoltaica i de les càrregues en kW durant 9 dies al juny. Font Pròpia

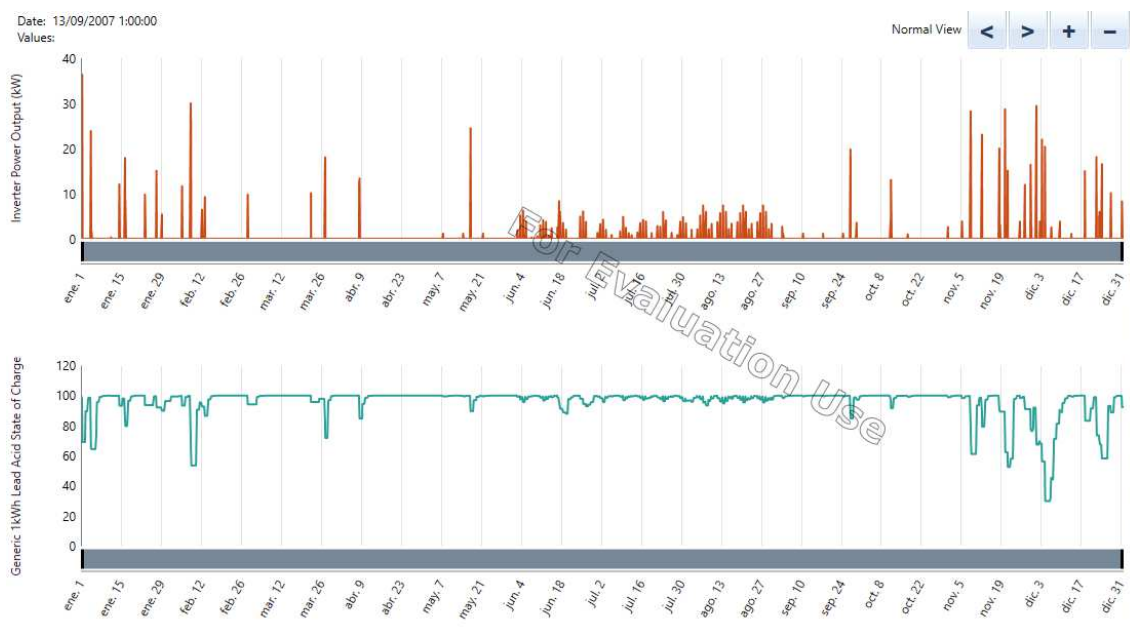


Figura 3.18. Potència generada de les bateries en kW i SoC % durant un any. Font Pròpia

Conclusions

En la comparació entre les dues primeres gràfiques es pot extreure que una tarifa variable durant els períodes de màxima potència és beneficiosa perquè aquesta coincideix en el període de màxima producció fotovoltaica.

Dels resultats obtinguts també es dedueix que el sistema d'emmagatzematge de l'energia en primer lloc sembla no ser econòmicament aconsellable.

El motiu pel qual HOMER considera que l'ús de bateries no és aconsellable és perquè la inversió d'aquestes sumat el manteniment és massa gran perquè l'excedent de la producció energètica fotovoltaica i/o la compra d'energia elèctrica pel consum posterior surti a compte.

Al produir-se aquest fenomen en tots els estudis realitzats amb peak-shaving HOMER troba que el més convenient per tant és sempre el que en realitza menys.

Aquest motiu fa que per justificar realitzar una política de peak-shaving s'haurien de contemplar variables que el programa no té en compte com pot ser el preu de la potència contractada. Si aquest cost estigués contemplat la instal·lació del sistema d'emmagatzematge d'energia seria econòmicament rendible.

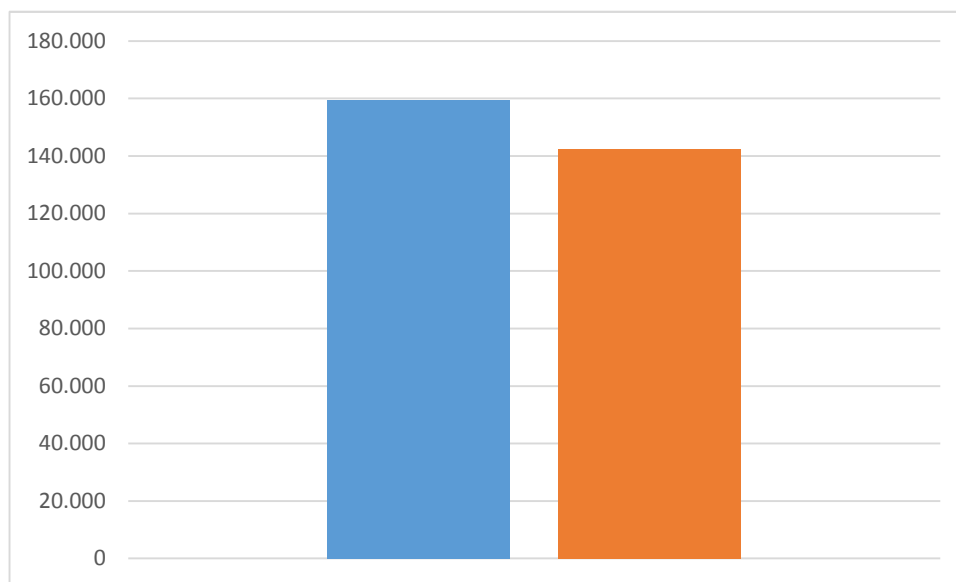


Figura 3.19. Cost anualitzat total \$ per la opció amb ESS (blau) i sense (taronja). **Font. Pròpia**

La diferència entre els costos analitzats és entre les opcions amb Sistema d'emmagatzematge d'energia i sense és de 17.200 \$/any.

3.2.6.1. Camp fotovoltaic

El primer pas és escollir el model de panell per a la instal·lació, s'ha vist anteriorment els diferents models de panell que es poden escollir.

Actualment al mercat podem trobar innumerables fabricants de panells, un dels factors per tant més importants alhora d'escollir un model o altre serà el que econòmicament resulti més adient. Des d'aquesta perspectiva podem considerar si ens és més convenient escollir un panell amb major potència per superfície o no.

El panell utilitzat per a la planta fotovoltaica és del fabricant SUNTECH model STP275S-20/Wfb.

El resum de característiques queda recollida en aquesta taula, i el datasheet complet es troba al annex. Es tracta d'un panell monocristal·lí de 275 W de potència.

Característiques del panell escollit

Taula 3.9 Característiques del panell fotovoltaic. Font [19]

Màxima potència en STC (Pmax)	275 W
Voltatge de funcionament òptim (Vmp)	31,1 V
Corrent d'operació òptim (Imp)	8,85 A
Voltatge a circuit obert (Vco)	38,5 V
Corrent de curcircuit (Icc)	9,34 A
Eficiència del mòdul	16,80%
Màxim voltatge del sistema (Vmax)	1000 V DC
Coefficient de temperatura (Pmax)	- 0,41 %/°C
Coefficient de temperatura (Vco)	- 0,34 %/°C
Coefficient de temperatura (Icc)	0,060 %/°C

Per dissenyar el camp fotovoltaic de 245 kW, s'ha de determinar si és vol utilitzar un sistema centralitzat o distribuït, els pros i contres de les dues opcions s'han vist anteriorment. Per aquest cas concret es tria el model distribuït d'inversors.

Per tant els nombre de panells resultants és:

$$\frac{244.000}{275} \approx 887 \text{ panells}$$

$$\frac{887}{4} \approx 222 \text{ panells}$$

Per tant el camp fotovoltaic estarà conformat per 4 seccions amb un inversor i 222 panells.

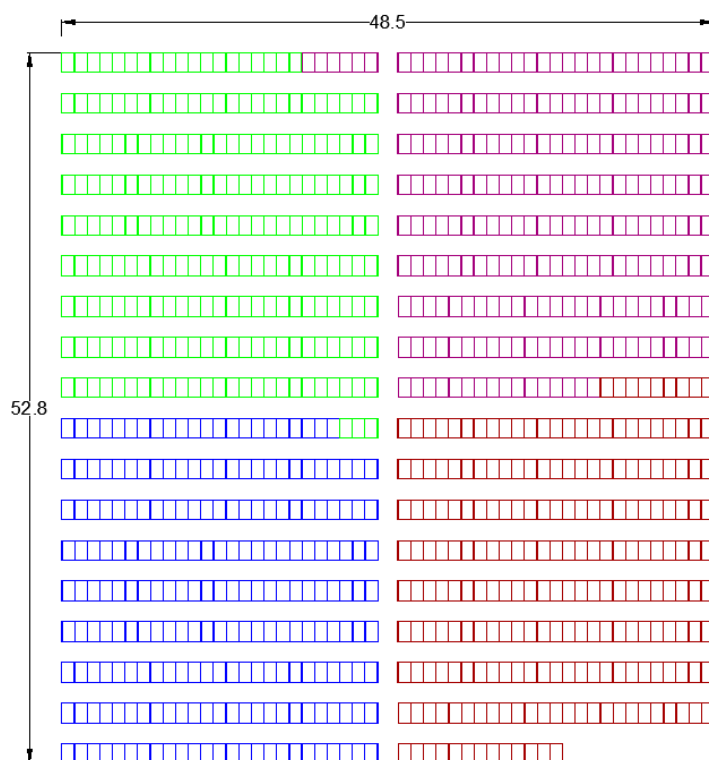


Figura 3.20. Representació del camp fotovoltaic. **Font. Pròpia**

Distància mínima entre els panells:

$$d = \frac{h}{\tan(61^\circ - \text{latitud})} \quad (3.1)$$

Tenint en compte que els panells estaran instal·lats amb un angle de 30° respecte a la superfície horitzontal, la llargada del panell és de 1650 mm, la altura h és igual a 749 mm

Inversor

Pel correcte funcionament de l'inversor aquest s'ha de dimensionar tenint en compte un factor, el valor del qual es troba entre els 0.85 i 1 i que depèn de les condicions solars disponibles a la zona de la instal·lació. Generalment quan més s'aproxima la radiació solar a les condicions STC el valor és més proper a 1. També depèn de variables com la temperatura ambient o la tipologia de la instal·lació. Per aquest motiu l'inversor s'ha de subdimensionar el valor es pot aproximar de forma acurada, però com el projecte contempla la utilització d'inversors

comercials i de potència elevada amb un valor $R_s = 1.1$ es considera suficient per a dur a terme els següents càlculs. Per tant la potència del inversor resultaria de la següent forma:

$$P_{inv} = \frac{P_{PVG(STC)}}{R_s} = \frac{222 \cdot 275}{1,1} = 55,5 \quad (3.2)$$

$P_{PVG(STC)}$: Potència del generador fotovoltaic

R_s : Factor de dimensionament

P_{inv} : Potència inversor

Comparativa inversors

El primer inversor considerat és el del fabricant Ingeteam, empresa dedicada a equips d'electrònica de potència..

L'altre model a comparar és del fabricant dedicat a la gestió d'energia i automatització àmpliament conegut Schneider Electric, el model d'inversor és el Conext CL-60 String invertir. Del datasheet s'extreuen les següents dades:

El tercer fabricant comparat és el també conegut ABB multinacional especialitzat en robòtica, automatització y electrificació. El model és el TRIO 50 TL.

Taula 3.10 Comparativa dels inversors. Font Pròpia

	IGECON SUN 60	Conext CL-60	TRIO 50 TL
Rang de tensió MPP	405-705 V	570-850 V	570-850 V
Tensió màxima DC	900 V	1000 V	1000 V
Corrent màxim DC	156 A	120 A	120 A
Nº entrades DC	4	14	14
MPPT	1	1	1
Potència nominal AC	66 kW	60 kW	60 kW
Corrent màxim AC	118 A	96 A	96 A
Tensió nominal AC	400 V	400 V	400 V
Freqüència nominal	AC 50 / 60 Hz	50/60 Hz	50/60 Hz
Cosinus Phi	1	1	1
Cosinus Phi ajustable	Sí	Sí	Sí
Eficiència màxima	96,40%	98,70%	98,70%
Euroeficiència	94,30%	98,50%	98,50%

De les dades extretes dels datashets la comparació resultant és que les especificacions tècniques són superiors en el cas dels inversors d'ABB i Schneider. Això es veu clarament en les eficiències que presenten els diferents models, també en comparació el nombre d'entrades en DC en el cas del model de Ingesteam resulta força inferior als altres dos.

La comparació per tal d'escollir un dels models, s'hauria d'incloure com a mínim els preus dels productes i també el nivell de garantia que el fabricant ofereix, dades que no són accessibles a diferència de les característiques tècniques.

Per tant amb la impossibilitat de més comparacions els inversors dels últims fabricants són la millor opció. Donat que s'ha d'escollir un s'opta per el del fabricant ABB ja que existeix la possibilitat d'accedir al seu manual d'instal·lació i operació, que és imprescindible per a dur a terme amb fiabilitat la restant part del projecte.

L'inversor escollit és el del fabricant ABB i és el model TRIO-60.0-TL-OUTD-480.

Màxim número de mòduls en sèrie

$$N_{màx,sèrie} = \frac{V_{màx(inv)}}{V_{OC(mòdul,-10^{\circ}C)}} = 24 \quad (3.3)$$

$$V_{OC(mòdul,-10^{\circ}C)} = \left(1 - 35^{\circ}C \cdot \frac{\beta}{100}\right) V_{OC(STC)} = 38,93 V \quad (3.4)$$

$V_{màx(inv)}$: Tensió màxima inversor

$V_{OC(mòdul,-10^{\circ}C)}$: Tensió del mòdul a $-10^{\circ}C$

$V_{OC(STC)}$: Tensió del mòdul en circuit obert en condicions STC.

β : Coeficient tèrmic de V_{OC}

Mínim número de mòduls en paral·lel

$$N_{mín,serie} = \frac{V_{MPP,mín(inv)}}{V_{MPP(mòdul,70^{\circ}C)}} = 16 \quad (3.5)$$

$$V_{MPP(mòdul,70^{\circ}C)} = \left(1 + 45^{\circ}C \cdot \frac{\beta}{100}\right) V_{MPP(STC)} = 31,1V \quad (3.6)$$

$V_{MPP,mín(inv)}$: Tensió mínima de funcionament de l'inversor

$V_{MPP(STC)}$: Tensió al punt de màxima potencia en condicions STC.

Número màxim de branques en paral·lel

$$I_{SC,branca} = \left(1 + 45^{\circ}C \cdot \frac{\alpha}{100}\right) I_{SC(STC)} = 7,64 A \quad (3.7)$$

$$N_{màx,branca} = \frac{I_{màx(inv)}}{I_{SC,branca}} = 14 \quad (3.8)$$

$I_{màx(inv)}$: Corrent màxima del inversor

$I_{SC,branca}$: Corrent de curtcircuit d'una branca.

La configuració per tant és de 10 cadenes amb 22 panells cada una per cada un dels 4 inversors.

Conductors

El càlcul dels conductors és fa segons els criteris de caiguda de tensió, intensitat màxima admissible i intensitat màxima de curtcircuit.

Caiguda de tensió

Amb corrent continu la fórmula és:

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I_{disseny} \cdot \rho_{TC}}{e \cdot U} \quad (3.9)$$

Amb corrent altern la fórmula és:

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot L \cdot I_{disseny} \cdot \rho_{TC}}{e \cdot U} \quad (3.10)$$

On és:

L Longitud del tram

$I_{disseny}$: Intensitat per la que està previst el cablejat [A]. Representa el 125 % de la corrent màxima generada

ρ_{TC} : Resestivitat del conductor a la temperatura màxima admissible [$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$]. Per a una temperatura de 90 ° i en el coure la resistivitat és de 0,023 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$.

e : Percentatge de la caiguda de tensió màxima en el tram considerat

U : Tensió del tram considerat [V]

El resultat esdevindrà la secció normalitzada immediatament superior.

Intensitat admissible

La intensitat admissible serveix per a comprovar que es verifica que aplicant uns factors de correcció basats en les condicions específiques de la instal·lació el cablejat d'aquesta suportarà el corrent necessari.

La fórmula utilitzada pel càlcul d'aquest criteri és:

$$I_{ad} = f_T \cdot f_{ES} \cdot f_A \quad (3.11)$$

I_{ad} : Intensitat admissible [A]

f_T : factor de temperatura [Adimensional]

f_{ES} : factor d'exposició solar [Adimensional]

f_A : factor de correcció [Adimensional]

Per garantir el correcte funcionament del cablejat s'ha de garantir que la secció del conductor sigui superior a la que permet la caiguda de tensió i alhora que la intensitat que pot transmetre el conductor segons la secció escollida sigui igual o superior a la de la cadena.

Com s'observa a la taula següent totes les caigudes de tensió són inferiors a 1,5 % i per tant compleix amb la caiguda de tensió considerada admissible i també compleix la relació:

$$I_{admissible} > I_{disseny} \tag{3.12}$$

Taula 3.11 Seccions dels conductors. Font Pròpia

Cadena	Longitud [m]	Secció [mm ²]	Secció [mm ²]	Isecció [A]	Iadmissible [A]	cdt [%]	cdt [V]
Cadena 1 A	40	1,97	4	36	14,95	0,56	3,82
Cadena 2	42	2,06	4	36	14,95	0,59	4,01
Cadena 3	44	2,16	4	36	14,95	0,61	4,21
Cadena 4	46	2,26	4	36	14,95	0,64	4,40
Cadena 5	48	2,36	4	36	14,95	0,67	4,59
Cadena 6	50	2,46	4	36	14,95	0,70	4,78
Cadena 7	52	2,56	4	36	14,95	0,73	4,97
Cadena 8	54	2,65	4	36	14,95	0,75	5,16
Cadena 9	56	2,75	4	36	14,95	0,78	5,35
Cadena 10	58	2,85	4	36	14,95	0,81	5,54
Cadena 1 B	60	2,95	4	36	14,95	0,84	5,73
Cadena 2	62	3,05	4	36	14,95	0,87	5,93
Cadena 3	64	3,15	4	36	14,95	0,89	6,12
Cadena 4	66	3,24	4	36	14,95	0,92	6,31
Cadena 5	68	3,34	4	36	14,95	0,95	6,50
Cadena 6	70	3,44	4	36	14,95	0,98	6,69
Cadena 7	72	3,54	4	36	14,95	1,01	6,88
Cadena 8	74	3,64	4	36	14,95	1,03	7,07
Cadena 9	76	3,73	4	36	14,95	1,06	7,26
Cadena 10	78	3,83	4	36	14,95	1,09	7,46

S'han fet els càlculs per dos dels inversors del camp fotovoltaic ja que els altres dos resulten iguals ja que són simètrics.

Intensitat de curtcircuit

En aquest cas no és necessari la comprovació de la intensitat de curtcircuit, ja que realitzats els càlculs amb una intensitat de disseny superior al 125 % de la nominal al ser un generador es considera que la intensitat de curtcircuit amb els dispositius de protecció adequats i que es defineixen al apartat següent mai podrà resultar superior aquesta.

Dispositius de protecció

Els cables de CC no són necessaris protegir-los per sobrecàrregues si han estat dimensionats seguint la IEC 60364-7. Que indica el dimensionament d'aquests per 125 % de la seva capacitat. Si que han d'estar però protegits de qualsevol curtcircuit que es pugui produir.

Per tal de calcular el possible curtcircuit s'utilitza la següent fórmula:

$$I_{CC} = (S_A - 1) \cdot 1,25 \cdot I_{CC-PV} \quad (3.13)$$

On:

I_{CC} : Intensitat de curtcircuit al punt on aquesta és màxima

I_{CC-PV} : Icc màxima del panell fotovoltaic

S_A : Nombre de branques connectades en paral·lel

Quan el resultat és superior al del cablejat aleshores és necessari protegir els cables.

La intensitat de protecció dels dispositius ha de seguir aquesta relació:

$$1,5 \cdot I_{CC-PV} \leq I_{n-PIA} \leq 2,4 \cdot I_{CC-PV} \quad (3.14)$$

I_n : Intensitat nominal del dispositiu de protecció

Dispositius de protecció al la caixa de connexió de corrent continu.

Per tant en el cas que ens ocupa amb una I_{CC-PV} extreta del datasheet de 9,34 A queda una I_n entre 14 i 22 A i per tant el dispositiu adequat de protecció és un que se situï entre aquest valors. El dispositiu de protecció pot ser tant un interruptor automàtic com un fusible.

Com que s'ha escollit l'inversor d'ABB esmentat anteriorment que inclou en el conjunt la caixa de connexions els dispositius que s'han d'utilitzar són els fusibles.

En aquest cas els fusibles adients són els de 15 A del mateix fabricant.

Per tal de poder desconnectar cada una de les caixes en de connexió en continua s'ha de garantir com a mínim el tall en corrent del total admissible per la suma de les proteccions aigües avall.

$$I_{n-sec} = n \cdot I_{n-PIA} \quad (3.15)$$

On:

I_{n-sec} : Intensitat nominal seccionador

n : número de PIAs

En el cas d'estudi el nombre de PIAs correspon a 10 i a l'apartat anterior s'ha determinat que la seva intensitat nominal era igual a 16 A

Dispositius de protecció en AC

L'inversor seleccionat compta amb un seccionador a las sortida AC d'aquest, però no inclou cap element de protecció.

Els dispositius de protecció dels inversors en AC i el dispositiu de protecció aigües avall del quadre de connexió AC és calcula de la següent forma.

Tenint en compte que la màxima potència produïda pel camp fotovoltaic és com a màxim la potència màxima que poden assolir els inversors.

$$I_{CF} = \frac{n_{inv} \cdot P_{inv}}{\sqrt{3} \cdot U} \quad (3.16)$$

On:

I_{CF} : Intensitat produïda pel camp fotovoltaic

n_{inv} : nombre d'inversors en paral·lel

P_{inv} : Potència màxima dels inversors

U : Tensió de línia

El dispositiu de protecció per a cada inversor resulta igual a 87 A que obligarà anar a un dispositiu de 100 A i per tant una protecció total del quadre de 350 A.

Característiques del inversor Trio 60 – SX

El inversor escollit porta integrat directament la caixa de connexions DC i la de sortida AC amb la següent emparamenta que com veurem compleix amb els requisits anteriors.

Seccionador DC Model OTDC200U02 o equivalent. Característiques: 1000 Vdc 200 A.

Fusibles de protecció de cadena. Característiques: 1000 Vdc 15 A tipus gPV.

Seccionador AC Model OT100F4N2 o equivalent. Característiques: 500 Vac 100 A.

Dispositiu de sobretensions en DC classe II model Dehn DG M YPV SCI 1000 FM.

Característiques:

Tensió màxima: 1000

Corrent de curtcircuit:

Corrent de descàrrega



Vdc

10 kA

8/20 μ s

Figura 3.21. Imatge del dispositiu. Font. [28]

Dispositiu de sobretensions en AC classe II model Dehn DG M TT 275 FM

Característiques:

Voltatge nominal: 230/400 V

Corrent nominal de descàrrega 8/20 μ s: 20 kA

Corrent màxim de descàrrega 8/20 μ s: 40 kA



Figura 3.22. Imatge del dispositiu. Font. [28]

Apte per connexions TT i TN

Pag. 35 del manual

Els convertidors DC-DC i DC-AC treballen a una elevada freqüència de commutació, a més són petits i relativament lleugers.

L'inversor d'entrada està dissenyat per aconseguir la màxima potència del generador fotovoltaic mitjançant l'estratègia MPPT (Maximum Power Point Tracking).

Aquest inversor no té transformador, això permet incrementar l'eficiència respecte un que en tingui.

La gestió d'operació i protecció de l'inversor està controlada per dos DSPs (Digital Signal Processors) independents i un microprocessador central.

Compta també amb dos ordinadors independents per poder controlar la connexió entre la xarxa i l'inversor i comunicar amb els diferents elements del inversor per dur a terme l'anàlisi de les dades.

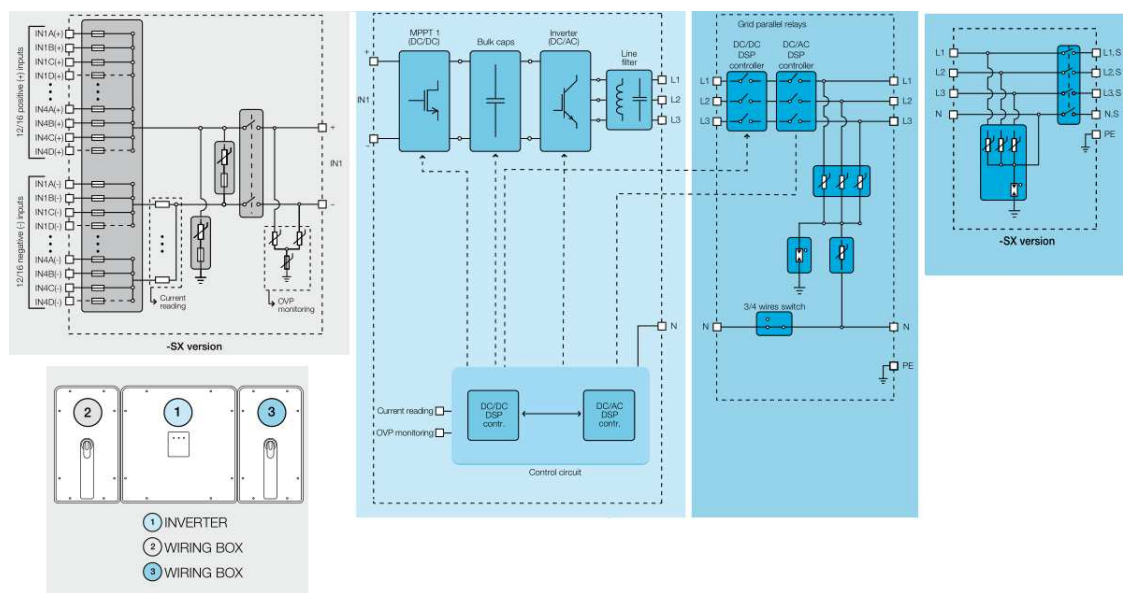


Figura 3.23. Imatge del dispositiu. Font. [20]

Sistema de posta a terra del camp fotovoltaic

El que s'ha de garantir en qualsevol posta a terra és la protecció de les persones i bens materials quan és produeixi contactes indirectes produïts per un defecte.

Les postes a terra que es poden utilitzar en el camp fotovoltaic són les tres habituals definits per IEC 60364: TT, TN i IT. En els camps fotovoltaics que disposen d'un transformador propi o que l'inversor garanteixi una separació entre els circuits d'AC i DC es pot disposar d'una posta a terra independent de la resta de instal·lació.

Com l'inversor no té aquesta separació entre els dos circuits, els panells per tant no estaran connectats a terra en els seus terminals. Com és imprescindible en aquests casos, l'inversor disposa d'una monitorització constant de la falla de terra i si es produeix es desconnecta l'inversor de forma automàtica i apareix una alerta.

Sistema de protecció contra el llamp

Al tractar-se d'una instal·lació elèctrica situada a l'aire lliure és necessari comprovar si es necessita disposar d'una protecció contra els llampecs. Amb la normativa IEC 60364-7-712 es calcula el risc existent al impacte d'un llampec i per tant si s'ha d'instal·lar al costat DC un dispositiu de protecció envers les sobretensions transitòries.

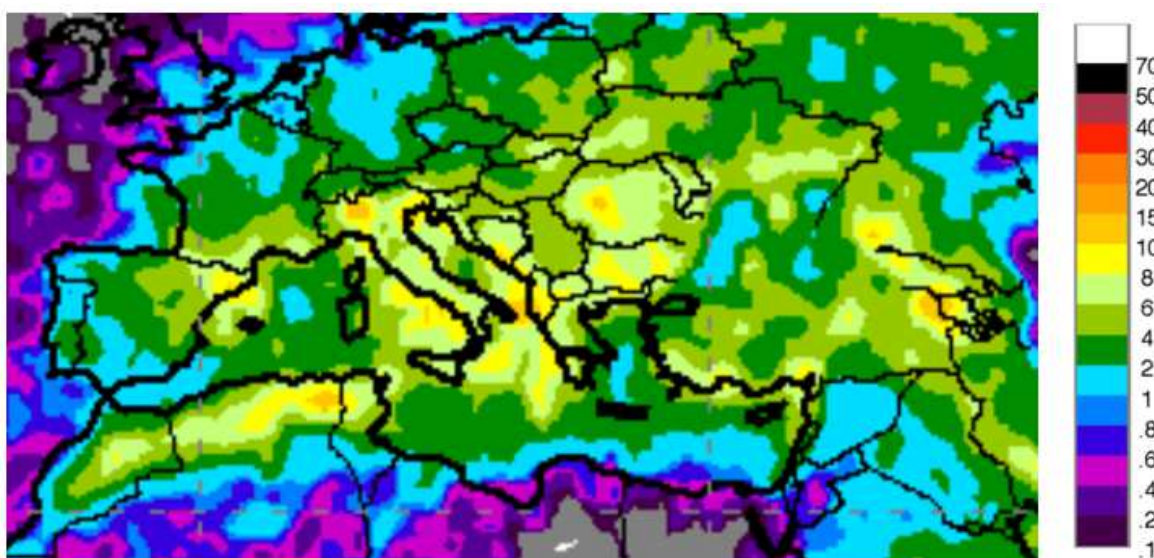


Figura 3.23. Imatge del mapa d'impacte del llamp. Font. [21]

Les fórmules emprades són les següents per a instal·lacions que no estan sobre un edifici:

$$Lc = \frac{120}{Ng} \quad (3.17)$$

On:

Lc : Longitud crítica, representa la longitud màxima que pot tenir la instal·lació en funció de la densitat de la caiguda de llampecs i un factor [m]

N_g : Densitat de caigudes de llampecs [llamp/km²/any]

Considerant un factor aproximat de 4 la distància crítica resultant és de 30 m.

Com que la distància que forma el camp fotovoltaic és superior aquest valor s'hauran d'instal·lar dispositius de protecció contra el llamp.

Per tal de realitzar aquesta protecció es disposarà de 6 parallamps als extrems del camp fotovoltaic. Amb una altura de 5 m que garanteixen la protecció a la totalitat de la superfície coberta per panells.

Posta a terra pel sistema parallamps

Per realitzar a posta a terra del camp s'han de conèixer les característiques del sol, en aquest cas la resistivitat del terreny la considerem de 250 Ω m al tractar-se d'un terreny argilós.

El tipus de mètode per instal·lar l'elèctrode serà el d'anell enterrat amb piquetes. La resistència a terra per a la instal·lació del parallamps ha de ser inferior e 10 Ω .

Amb les fórmules que ens permeten calcular la residència terra pel conductor nu i les piquetes son les següents:

$$R_{TP} = \frac{\rho}{L_{pica} \cdot n} \quad (3.18)$$

$$R_{TC} = \frac{2 \cdot \rho}{L_{cond}} \quad (3.19)$$

R_{TP} : Resistència a terra amb piques

R_{TC} : Resistència a terra amb conductor nu

ρ : Resistivitat esperada del terreny

L : Longitud de la pica o conductor

n : Número de piques

Per tant:

$$R_T = R_{TP} || R_{TC} = \frac{R_{TP} \cdot R_{TC}}{R_{TP} + R_{TC}} \quad (3.20)$$

Amb un número de 8 piquetes de 2 m de longitud i un conductor nu de 20 m la resistència és igual a 9,62 Ω . A més a més totes les terres han d'estar unides per garantir la seva equipotencialitat.

Sistema de protecció contra les sobretensions

Els sistemes de proteccions contra sobretensions es classifiquen en tres tipus: I, II i III. Aquesta classificació es realitza en funció dels nivells de la sobretensió que poden derivar. Segons la IEC 61643-11.

La tipus I, pot derivar corrents de tipus llamp i s'utilitzen en quadres generals d'instal·lacions amb parallamps o per instal·lacions amb gran possibilitat d'impacte de llamp

Es disposarà d'una protecció contra les sobretensions en cada una de les terminacions dels parallamp.

La instal·lació fotovoltaica, al tractar-se d'una instal·lació a l'aire lliure, pot estar afectada per l'impacte d'un llamp, per aquest motiu s'ha de disposar de proteccions contra les sobretensions produïdes per aquest fenomen. En aquets cas la protecció necessària dins de la classificació de les proteccions d'aquesta tipologia existent és una de tipus II, que garanteix protecció si cau un raig a prop.

3.2.6.2. Sistema d'emmagatzematge de l'energia

Com s'ha vist anteriorment entre les opcions per realitzar un sistema d'emmagatzematge d'energia està el banc de bateries de tipus Níquel-Cadmi que és l'escollit en aquest projecte.

A l'apartat anterior s'ha vist que per tal de realitzar un peak-shaving de 50 kW el banc de bateries ha de ser de 280 kWh i l'inversor de 71,6 kW.

Comparativa inversors

Per tal d'escollir els inversors per a les bateries, s'han fet servir els mateixos criteris que a l'apartat anterior, una taula comparativa entre els paràmetres més rellevants y comuns dels datasheets dels inversors seleccionats.

Taula 3.12 Taula dels estats en funcionament normal. Font Pròpia

	ESI-S	SUNSYS PCS²	SOLAR BG3 50
Potència nominal	70 kW	66 kW	50 kW
Voltatge de Bateria	585-830 Vdc	450-800 Vdc	300-720 Vdc
Tensió nominal	400 V	400 V	400V
Rang del Inversor	380 – 415	224-336 V	380-400 V
Modularitat	Sí	Sí	Sí
Efficiency	> 97%	97,6%	> 97 %

Els inversors específicament dissenyats per aquesta funcionalitat no són productes que tinguin gaires fabricants a diferència dels inversors fotovoltaics. Això és degut a que el sistema d'emmagatzematge d'energia no és un sistema tan utilitzat avui en dia.

En primer lloc es torna a comparar un model del fabricant ABB en aquest cas el model ESI-S.

Model del fabricant especialitzat en productes de potència Socomec i el seu model SUNSYS PCS², dissenyat especialment per l'emmagatzematge d'energia en bateries en microxarxes.

Per altra banda també es compara el model del fabricant Zigor també especialitzat en electrònica de potència amb el model SOLAR BG3 50.

En primer lloc a la taula anterior es pot comprovar que les potències nominals de cada un dels inversors són diferents malgrat s'han buscat tots al voltant dels 70 kW, malgrat això com es pot comprovar les altres característiques dels inversors són iguals en molts dels paràmetres

comparats i trobant-se la major diferència apart de en la potència nominal en un dels rangs de voltatge de bateries i a la màxima tensió que poden assolir.

Com que entre els inversors dels varis fabricants comparats el que més s'ajusta per potència a la requerida segons l'estudi previ és el de ESI-S de 70 kW del mateix fabricant que abans, aquest és l'inversor amb el que es desenvoluparà el projecte.

Un cop escollit l'inversor es pot determinar el sistema de banc de bateries.

El dimensionament es fa seguint el mètode proposat per l'IEEE Recommended Practice for Sizing Nickel- - Cadmium Batteries for Stationary Applications [22].

L'estàndard explica com calcular dimensionar correctament el banc de bateries a partir de les càrregues de la instal·lació. En el cas d'estudi i a partir dels resultats d'HOMER resulta acceptable considerar que el banc ha de subministrar una potència de 28 kW en 10 hores.

Un altre paràmetre que s'ha de tenir en compte és el rang de treball del banc de bateries, en el cas d'estudi és el rang de tensió de l'inversor Vdc (585 – 830 V). El banc de bateries ha d'acomplir que en el punt de màxima càrrega la tensió del banc no superi els 830 V i quan ja s'hagi descarregat no sigui inferior a 585 V.

A partir del voltatge màxim es calcula amb la següent formula el màxim nombre de cel·les:

$$\frac{\text{Voltatge màxim}}{\text{Voltatge requerit per carregar satisfactoriament la bateria}} = \text{número de cel} \cdot \text{les} \quad (3.21)$$

El voltatge requerit per carregar satisfactòriament la bateria és un paràmetre que ens dona el fabricant per la càrrega de les seves bateries.

Escollint el model de bateries Níquel – Cadmi del fabricant SAFT. El fabricant ens proporciona el paràmetre esmentat de 1,42 V això dons el resultat és igual a 584 cel·les.

L'altre fórmula per dimensionar el banc de bateries és la que relaciona el voltatge mínim del banc entre el número de cel·les.

$$\frac{\text{Voltatge mínim}}{\text{Nombre de cel} \cdot \text{les}} = \text{Mínim voltatge de cel} \cdot \text{les} \quad (3.22)$$

El resultat de la divisió és 1 V/cel·la. Del datasheet del fabricant recollit a l'annex disposa de la taula següent:

Taula 3.13 Descàrrega de la bateria en Ampers . Font [23]

Available amperes at 20°C (68°F) fully charged End voltage - 1.00 V/cell

Cell type	C ₅ Ah	Hours						Minutes					Seconds			
		10	8	5	3	2	90	60	45	30	10	5	60	30	10	1
SLM 8	8	0.8	1.0	1.6	2.6	3.8	4.7	6.1	6.9	8.0	10.9	12.2	16.2	17.9	21.1	25.5
SLM 16	16	1.6	2.0	3.2	5.1	7.6	9.4	12.2	13.8	16.0	21.8	24.5	32.3	35.7	42.2	51.0
SLM 24	24	2.4	3.0	4.8	7.7	11.3	14.1	18.4	20.7	24.0	32.6	36.7	48.5	53.6	63.2	76.5
SLM 32	32	3.2	4.0	6.4	10.3	15.1	18.8	24.5	27.5	32.0	43.5	49.0	64.6	71.4	84.3	102
SLM 40	40	4.0	5.1	8.0	12.8	18.9	23.5	30.6	34.4	40.0	54.4	61.2	80.8	89.3	105	128
SLM 48	48	4.9	6.1	9.6	15.4	22.7	28.2	36.7	41.3	47.9	65.3	73.4	96.9	107	126	153
SLM 71	71	7.2	9.0	14.2	22.8	33.9	41.8	54.3	61.4	70.8	94.0	100.3	123	134	153	179
SLM 95	95	9.7	12.0	19.0	30.5	45.3	55.9	72.6	82.2	94.7	126	134	165	180	205	239
SLM 119	119	12.1	15.0	23.8	38.2	56.8	70.0	91.0	103	119	157	168	207	225	256	299
SLM 142	142	14.5	17.9	28.4	45.6	67.8	83.5	109	123	142	188	201	247	269	306	357
SLM 166	166	16.9	21.0	33.2	53.3	79.2	97.6	127	144	165	220	235	288	314	358	417
SLM 190	190	19.4	24.0	37.9	61.0	90.7	112	145	164	189	251	268	330	359	409	478
SLM 238	238	24.3	30.0	47.5	76.4	114	140	182	206	237	315	336	413	450	513	598
SLM 285	285	29.1	36.0	56.9	91.5	136	168	218	247	284	377	403	495	539	614	717
SLM 357	357	36.3	45.0	71.4	115	170	210	273	309	357	471	504	621	675	768	897
SLM 426	426	43.5	53.7	85.2	137	203	251	327	369	426	564	603	741	807	918	1071
SLM 476	476	48.6	60.0	95.0	153	228	280	364	412	474	630	672	826	900	1026	1196

Com s'ha dit anteriorment, la potència de 28 kW s'ha de garantir per un període de 10 h. Si fem la consideració que el rendiment de l'inversor més les pèrdues per caigudes de tensió es consideren del 5 % per tant:

$$I = \frac{28 \text{ kW}}{0.95 \cdot \sqrt{3} \cdot 400 \text{ V}} = 42,59 \text{ A} \tag{3.23}$$

De la taula anterior s'extreu que el model encerclat compleix aquets requisits.

Per tant la configuració final són 584 cel·les SLM426.

Proteccions

En aquest cas les proteccions de l'inversor van determinades en gran mesura per les especificacions dels fabricant.

- Proteccions en DC

En l'apartat 6.9 del manual d'instal·lació operació i manteniment del inversor ESI-S indica que el màxim corrent permès en DC és igual a 123 A, per aquest motiu s'ha d'escollir una protecció d'un nivell immediatament inferior, de 120 A.

- Proteccions en AC

En l'apartat 6.7 del citat manual indica que la protecció ha de ser d'entre un mínim de 125 A i un màxim de 160 A.

Com la protecció en DC és de 120 A, la potència màxima serà el resultat d'aquesta intensitat per la màxima tensió admissible de 830 V que resulta 99,6 kW.

I per tant la protecció a en AC correspon a

$$I_{n-sec} = \frac{P_{max}}{\sqrt{3} \cdot U} = 144 \text{ A} \quad (3.24)$$

On:

I_{n-sec} : Intensitat nominal del seccionador [A]

P_{inv} : potència nominal inversor [W]

U : Tensió [V]

Pel seccionador per tant escollim la opció de 160 A

Conductors

Pel càlcul dels conductors del camp de bateries es fan servir les mateixes fórmules que en el cas del camp fotovoltaic.

Taula 3.14 Secció del cable . Font Pròpia

Longitud [m]	Secció [mm ²]	Secció [mm ²]	Isecció [A]	Iadmissible [A]	cdt [%]	cdt [V]
140	58,29	95	245	143,33	1,61	13,38

Proteccions

L'inversor porta a l'interior un dispositiu d'ABB un contactor model UA50. També té protegit el circuit de control del bus DC mitjançant fusibles

La protecció en AC que es posarà per protegir l'inversor es calcula d'igual forma que a l'anterior apartat.

$$I_{inv} = \frac{P_{inv}}{\sqrt{3} \cdot U} \quad (3.25)$$

On:

I_{inv} : Intensitat produïda pel camp fotovoltaic

P_{inv} : Potència màxima dels inversors

U : Tensió de línia

El resultat és igual a 101,15 A per tant la protecció immediatament superior és de 120 A.

L'inversor també porta incorporada la protecció DC.

Al tenir una tensió en DC superior a 750 V la protecció serà un interruptor automàtic en DC de 4 pols segons estipula el fabricant.

3.2.6.3. Grup electrogen

Com s'ha vist a l'apartat de la càrrega elèctrica de l'hospital la potència total de la instal·lació és de 180 kW de les dades obtingudes però es considera fins a un 20 % més, per tant un total de 216 kW.

Com que es tracta de la instal·lació elèctrica d'un hospital l'energia d'emergència ha de ser igual a un mínim del 50 % de la potència màxima, això és per tant 108 kW que s'han de garantir en aquest cas mitjançant grup electrogen.

Per dimensionar el grup electrogen cal considerar que és utilitzat exclusivament per emergència.

La dada de extreta de l'article Grid PV-Diesel Hybrid System [5] que a Palestina els talls de subministrament es produïen mensualment en una mitja de 8,7 ocasions i amb una durada mitja de 3,7 h també és necessària per determinar els nivells de potència necessaris dels grups.

Aquesta falta de xarxa és al llarg de l'any per tant de $12 \cdot 3,7 \cdot 8,7 = 355$ h.

El grup electrogen proposat és del fabricant Cummins model C135 D6, datasheet a l'annex, a continuació es resumeixen les característiques principals.

Taula 3.15 Dades Grup electrogen . **Font Pròpia**

Especificacions del generador	
Frequència	50 Hz
Potència contínua	120 kW
Potència Principal	109 kW
Classe de regulador	ISO5228 G2
Regulació del Voltatge	± 1 %
Regulació de la freqüència	± 1 %

Per a comprovar si el grup electrogen compleix els requeriments de la normativa explicada anteriorment, la ISO 8528, es realitza el següent gràfic.

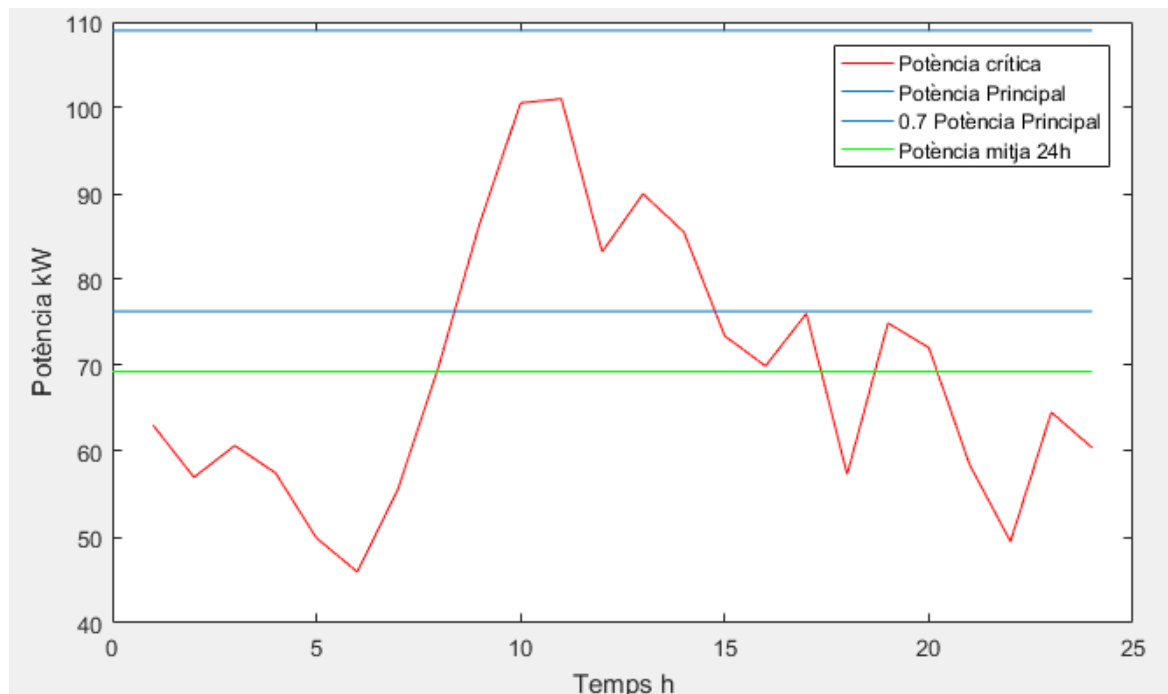


Figura 3.25. Potència del generador fotovoltaic. **Font Pròpia**

En aquest cas observem les carregues crítiques, el 50 % del total durant un període de 24 h i comprovem que per la potència principal que és a la que ens hem de referir per tractar-se d'una càrrega variable.

Seguint la ISO que ens diu que per aquesta potència s'ha de garantir que en un període de 24 h no se superi de mitjana el 70% de càrrega. Per tant com queda reflectit al gràfic el grup compleix la normativa. Càlculs realitzats mitjançant la fórmula (2.4).

Per tant es garanteix el subministrament de les carregues crítiques de forma indefinida, sempre hi hagi subministrament de combustible.

Per tal de garantir el subministrament energètic en el cas de no operativitat de la xarxa elèctrica durant un període que es pugui preveure llarg, per exemple més de 24 h, es comptarà amb una entrada al quadre per serveis exteriors mòbils.

3.2.6.4. Quadres i proteccions

Pel conjunt del sistema dissenyat es consideren dos quadres elèctrics, un general i un altre específic d'abastiment auxiliar.

En el quadre general estaran els seccionadors de la derivació des del camp fotovoltaic, el seccionador de la derivació del ESS, l'interruptor automàtic de la xarxa elèctrica que encara que és existent es considera un de nou. D'aquest quadre és on estaran connectades aquelles carregues considerades no crítiques segons els criteris estipulats anteriorment. També hi haurà una derivació al quadre d'abastiment auxiliar.

Al quadre d'abastiment és on està el ATS (automatic transfer switch) per les seves sigles en anglès, amb l'entrada "normal" és a dir la que en funcionament normal està connectada i la de reserva que és la sortida del grup electrogen. Al quadre també hi ha una entrada en cas que sigui necessari disposar d'un altre grup de reserva mòbil. En aquest quadre és on estarien connectades les carregues crítiques.

Per calcular la intensitat nominal de cada un dels dispositius s'utilitza la forma ja presentada anteriorment i/o en consonància amb les proteccions utilitzades aigües amunt.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U} \quad (3.26)$$

P: Potència que ha de suportar la protecció

U : Tensió entre de línia 400 V

I : Intensitat [A]

Taula 3.16 Relació de potència amb intensitats . **Font Pròpia**

	Descripció	Potència (kW)	Intensitat (A)
IX	Xarxa	310	447
ICFV	Camp Fotovoltaic	-	400
IBB	Banc de bateries	70	101
IAB1	Abastiment auxiliar	110	159
IGE1	Grup electrogen	55	159
ISUA	Subministrament unitat auxiliar	110	159

A l'esquema següent es recull el conjunt de proteccions d'aquests quadres.

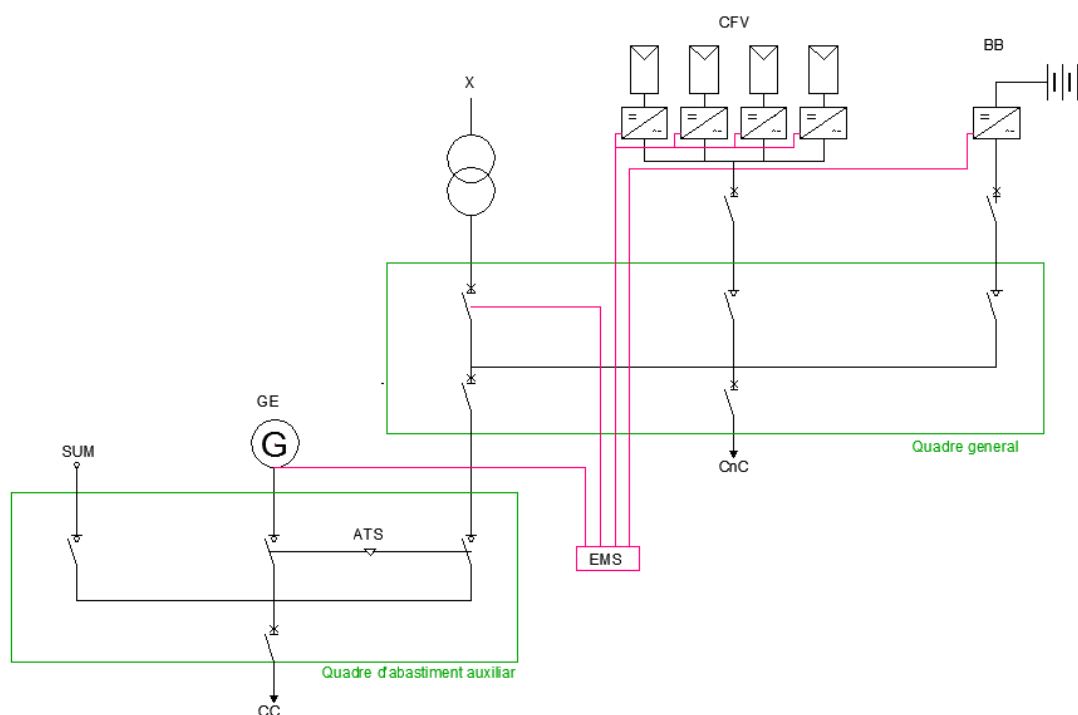


Figura 3.26. Esquema de la microxarxa. **Font Pròpia**

Per tal de dur a terme la ESM es necessari realitzar les següents accions:

- Monitorització del consum de la xarxa elèctrica
- Monitorització de l'energia produïda pel camp fotovoltaic

- Control del inversor de les bateries

La comunicació entre els diferents elements de la microxarxa i el EMS es realitzarà mitjançant Modbus. A continuació es descriu per cada element de la microxarxa la transmissió de dades i la seva operativitat.

- **Camp fotovoltaic**

Comprovació d'estat de funcionament inversors fotovoltaics, ja que funcionen de forma automàtica, quan detecta que no reben suficient radiació solar per transmetre potència es desconnecten automàticament.

La transmissió de dades es fa mitjançant un port RS485 i subministra dades d'operació a temps real.

- **ESS**

L'inversor d'ABB pot comunicar-se de diverses maneres incloent Modbus i Ethernet. Permet la connexió a un sistema RS485 Modbus.

El control sobre l'inversor és de l'engegada, parada i coneixement de falles a l'inversor i la monitorització a temps real de la càrrega suportada.

- **Xarxa**

De la xarxa és necessari conèixer el consum de les càrregues en temps real. Per tant es necessita un dispositiu que permeti aquesta funcionalitat.

- **Grups**

Del grup electrogen una dada important es conèixer si està en funcionament o no.

Emparamenta a utilitzar

Segons les descripcions realitzades i la figura anterior les proteccions proposades són les següents, del fabricant Schneider Electric gama NSX. Una dada que s'hauria d'estimar és la de la potència de curtcircuit, al no conèixer de quin transformador disposa ni a quina distància esta no es pot calcular. Els interruptors escollits aguanten com a mínim 36 kA, és una intensitat prou elevada però segons les característiques de la instal·lació s'hauria augmentar.

Taula 3.17 Característiques interruptors . Font [24]

IX	Compact NSX630N (50 kA a 380/415 V)	630 A 4P	LV432808+LV432099
ICFV	Compact INS250 (36 kA a 380/415 V)	400 A 4P	31127
IBB	Compact INS100 (36 kA a 380/415 V)	100 A 4P	LV429650
IAA1	Compact INS160 (36 kA a 380/415 V)	160 A 4P	28913
IAA2	Compact INS100 (36 kA a 380/415 V)	160 A 4P	28913
IGE	Compact INS100 (36 kA a 380/415 V)	160 A 4P	28913
ISUA	Compact INS100 (36 kA a 380/415 V)	160 A 4P	28913

L'interruptor automàtic porta la unitat de control control Micrologic 5.2. E. Per als interruptors de la gama es poden supervisar i controlar els interruptors. Dissenyada especialment per a la distribució i generadors.

Les funcions són les següents:

Control remot per comunicació: obrir, tancar i rearmar

Informació de mesures: Valors instantanis, màxims i mínims, demandes entre d'altres.

Informació d'històrics: Indicadors de manteniment, alarmes.

Aquesta unitat per tant es podrà connectar a la xarxa Modbus i per tant al EMS.

Inversor de Xarxa:

Per tal de realitzar el canvi automàtic entre la xarxa i el generador es fa servir un controlador del mateix fabricant amb referència.



Figura 3.27 Controlador UA Schneider. Font [25]

La configuració completa del sistema comporta els següents elements:

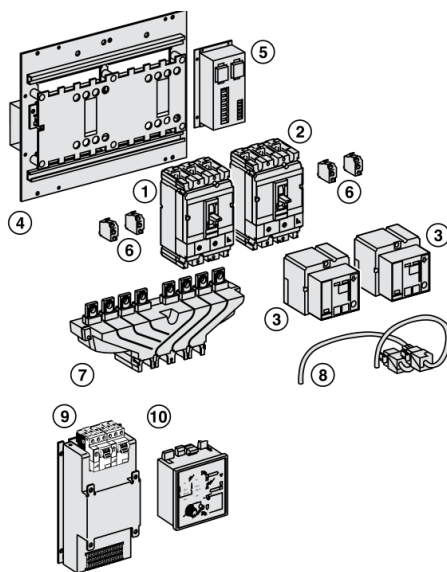


Figura 3.28 Elements inversor. Font [24]

- 1.- Aparell de la xarxa principal
- 2.- Aparell de la xarxa d'emergència (generador)
- 3.- Comandament motoritzat pels interruptors
- 4.- Platina d'enclavament
- 5.- IVE: Unitat d'enclavament elèctric
- 6.- Adaptadors
- 7.- Acoplament de les línies (Opcional)
- 8.- Cablejat
- 9.- Placa per l'alimentació i protecció de la

controlador

10.- Controladora UA

Connexió a la posta a terra de la instal·lació

Segons la documentació facilitada pel projecte MEDSolar es coneix que la posta a terra de la instal·lació és una tipus TN, és per això que, tal i com queda recollit a la **IEC 60364 *Electrical Installations for Buildings***. La posta a terra per una instal·lació de múltiples fonts com és el cas d'estudi es realitza segons la imatge següent. Això és, el conductor neutre de les fonts interconnectats en un mateix punt a un conductor aïllat connectat directament a terra.

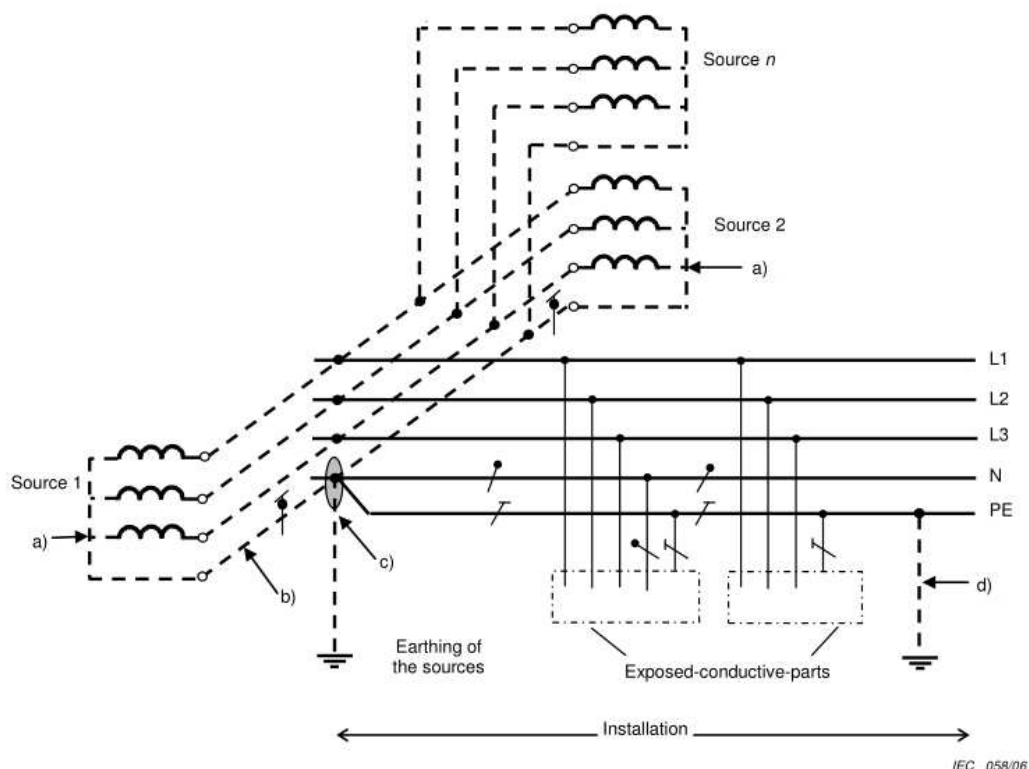


Figura 3.29. Imatge del esquema TN. Font [26]

- No està permesa la connexió directa del neutre del generador directament a terra.
- El conductor interconnectant els punts neutres de les fonts ha d'estar aïllat. Té la funció de PEN i per tant no pot d'estar connectat a cap equip.
- Només una s'ha de disposar d'una connexió entre els neutres de les fonts i ha d'estar al quadre principal.
- S'ha de proveir d'una terra pel conductor PE.

3.3. Simulació de la HSMG

Per tal de comprovar el sistema de microxarxa dissenyat s'ha emprat el programa Matlab essencialment amb el sistema de simulació propi Simulink.

3.3.1. Simulació del panell fotovoltaic

Com un dels principals objectius d'aquest treball era el disseny d'un camp fotovoltaic s'ha trobat convenient fer un estudi acurat d'aquest apartat, és per aquest motiu que per modelitzar el panell fotovoltaic s'ha utilitzat el paper dels professors.

Existeixen diversos models per tal de simular el comportament dels elements que formen part del generador. En aquest treball s'ha utilitzat un dels models més habituals, el model d'un díode amb cinc paràmetres i basat en "PV panel model based on datasheet values" dels autors Dezso Sera, Remus Teodorescu i Pedro Rodriguez [27].

El que es planteja en aquest paper és la determinació dels paràmetres del model a partir de les dades obtingudes en el datasheet de qualsevol panell.

El model en qüestió és el representat a la figura següent.

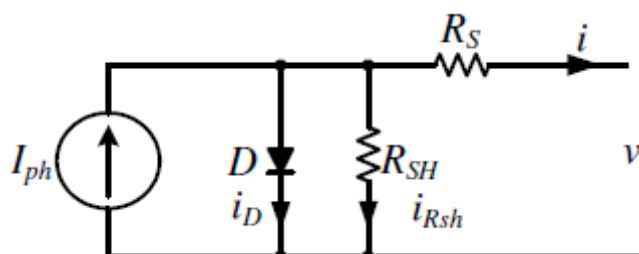


Figura 3.30. Representació panell fotovoltaic. Font [27]

On:

I_{ph} Corrent generada per l'efecte fotovoltaic en STC

I_0 Corrent de saturació en STC

R_s Resistència en sèrie del panell

R_{sh} Resistència en paral·lel del panell

A Factor d'idealitat del díode

n_s Número de cel·les connectades en sèrie

La característica del corrent-voltatge basada en aquest model és la següent

$$i = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{v+iR_s}{n_s V_t}} - 1 \right) - \frac{v + iR_s}{R_{sh}} \quad (3.27)$$

On V_t és el voltatge a la junció PN

$$V_t = \frac{AkT_{stc}}{q} \quad (3.28)$$

On:

k Constant de Boltzmann

q Càrrega de l'electró

T_{stc} Temperatura en condicions STC

STC: Per les sigles en anglès de (*Standard Test Conditions*). Són les condicions per dur a terme les proves dels panells fotovoltaics. Nivell d'irradiància de 1000 W/m² i una temperatura de 25 °C.

Per tal de poder construir el model anterior s'han d'obtenir: I_{ph} , I_0 , R_s , R_{sh} i A . A continuació es presenten les equacions que permeten extreure-les a partir dels paràmetres del datasheet.

L'equació 3.27 es pot descriure en tres punts claus.

Curtcircuit:

$$I_{cc} = I_{ph} - I_0 e^{\frac{v+iR_s}{n_s V_t}} - \frac{I_{cc} + R_s}{R_{sh}} \quad (3.29)$$

Punt de màxima potència

$$I_{pmp} = I_{ph} - I_0 e^{\frac{v_{pmp}+I_{pmp}R_s}{n_s V_t}} - \frac{v_{pmp} + I_{pmp}R_s}{R_{sh}} \quad (3.30)$$

Circuit obert

$$I_{oc} = I_{ph} - I_0 e^{\frac{v_{oc}}{n_s V_t}} - \frac{v_{oc}}{R_{sh}} = 0 \quad (3.31)$$

Aquestes variables són de les que habitualment tots els fabricants indiquen als datasheets

I_{cc} Corrent de curtcircuit en STC

V_{oc} Voltatge en circuit obert en STC

V_{pmp} Voltatge al màxim punt de potència

I_{pmp} Corrent al màxim punt de potència

Les equacions extretes del document citat anteriorment són:

$$I_{pmp} = I_{cc} - \frac{v_{pmp} + I_{pmp}R_s - I_{cc}R_s}{R_{sh}} - \left(I_{cc} \frac{V_{co} - I_{cc}R_s}{R_{sh}} \right) e^{\frac{V_{oc} + I_{pmp}R_s - V_{oc}}{n_s V_t}} \quad (3.32)$$

$$\left. \frac{dP}{dV} \right|_{I=I_{pmp}} = I_{mpp} + V_{mpp} \frac{\frac{(I_{cc}R_{sh} - V_{co} + I_{cc}R_{sh})e^{\frac{V_{pmp} + I_{pmp}R_s - V_{co}}{n_s V_t}} - \frac{1}{R_{sh}}}{n_s V_t R_{sh}}}{1 + \frac{(I_{cc}R_{sh} - V_{co} + I_{cc}R_{sh})e^{\frac{V_{pmp} + I_{pmp}R_s - V_{co}}{n_s V_t}} + \frac{R_s}{R_{sh}}}{n_s V_t R_{sh}}} \quad (3.33)$$

$$-\left. \frac{1}{R_{sh}} \right|_{I=I_{cc}} = \frac{\frac{(I_{cc}R_{sh} - V_{co} + I_{cc}R_{sh})e^{\frac{V_{pmp} + I_{pmp}R_s - V_{co}}{n_s V_t}} - \frac{1}{R_{sh}}}{n_s V_t R_{sh}}}{1 + \frac{(I_{cc}R_{sh} - V_{co} + I_{cc}R_{sh})e^{\frac{V_{pmp} + I_{pmp}R_s - V_{co}}{n_s V_t}} + \frac{R_s}{R_{sh}}}{n_s V_t R_{sh}}} \quad (3.34)$$

La solució per tant de les tres equacions en aquest cas mitjançant la funció fsolve del programa MATLAB ens permet obtenir els següents paràmetres: V_t , R_s , R_{sh} I amb aquests tres mitjançant les equacions següents s'obtenen els dos paràmetres restants del model en condicions STC.

$$I_0 = \left(I_{cc} - \frac{V_{oc} - I_{cc}R_s}{R_{sh}} \right) e^{-\frac{V_{oc}}{n_s V_t}} \quad (3.35)$$

$$I_{ph} = I_0 e^{-\frac{V_{oc}}{n_s V_t}} + \frac{V_{oc}}{R_{sh}} \quad (3.36)$$

Per tal de poder introduir las variacions degudes a diferent temperatures i irradiàncies s'han de tenir en compte les següents consideracions irradiància i temperatura.

Dependència de la irradiància

El corrent de curtcircuit i el corrent fotovoltaic es consideren directament proporcionals a la irradiància.

$$I_{cc} = \frac{G_{stc}}{G} I_{cc(stc)} \quad (3.37)$$

$$I_{ph} = \frac{G_{stc}}{G} I_{ph(stc)} \quad (3.38)$$

El voltatge en circuit obert varia de la següent forma.

$$V_{co} = \ln \left(\frac{I_{ph} R_{sh} - G_{stc} V_{co}}{I_0 R_{sh}} \right) n_s V_t \quad (3.39)$$

Dependència de la temperatura

El corrent de saturació té una forta dependència de la temperatura.

$$I_0 = I_{stc} - \frac{V_{co} - I_{cc}R_s}{R_{sh}} e^{-\frac{V_{co}}{n_s V_t}} \quad (3.40)$$

El corrent fotovoltaic

$$I_{ph} = I_0 e^{-\frac{V_{co}}{n_s V_t}} + \frac{V_{co}}{R_{sh}} \quad (3.41)$$

Amb aquest conjunt de fórmules és pot dur a terme una aproximació del panell fotovoltaic de forma acurada. Per tal de poder fer tal afirmació seguidament es compararà els resultats

obtinguts mitjançant la simulació amb les corbes que el fabricant subministra i basades ens els testos.

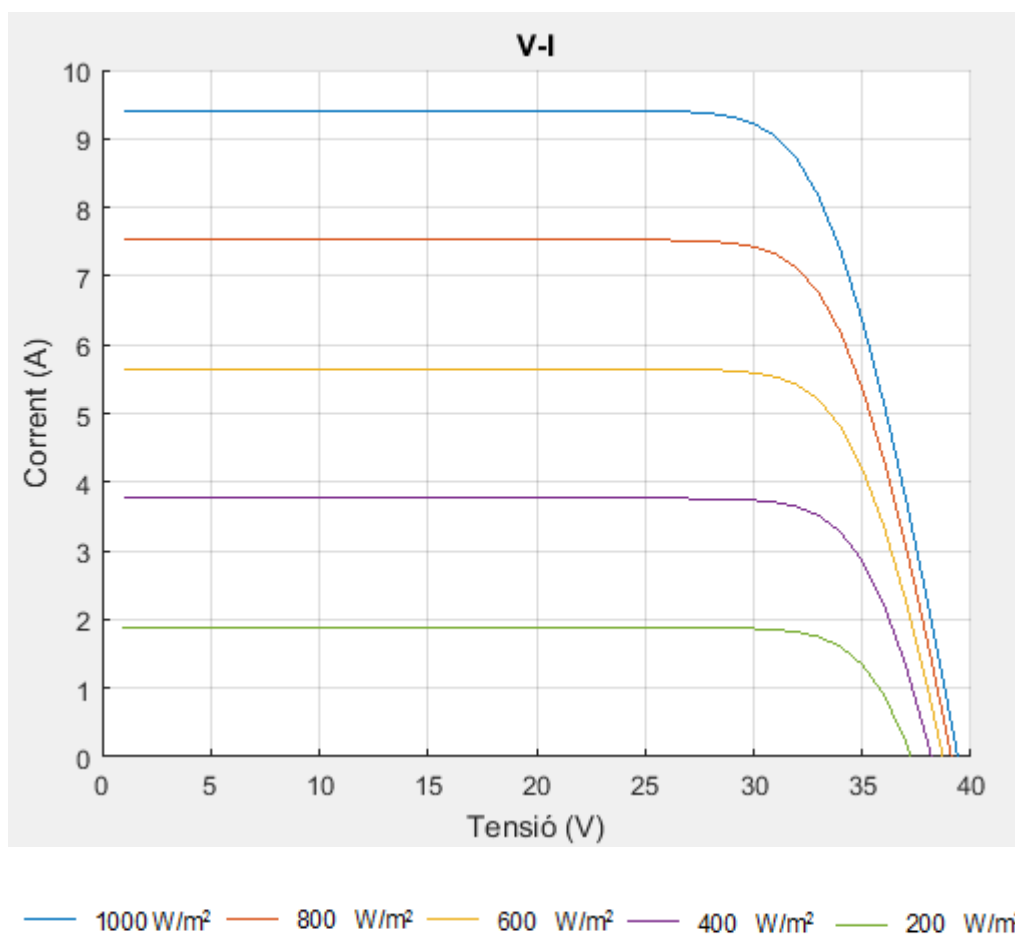


Figura 3.31. Corbes de corrent i tensió. Font Pròpia

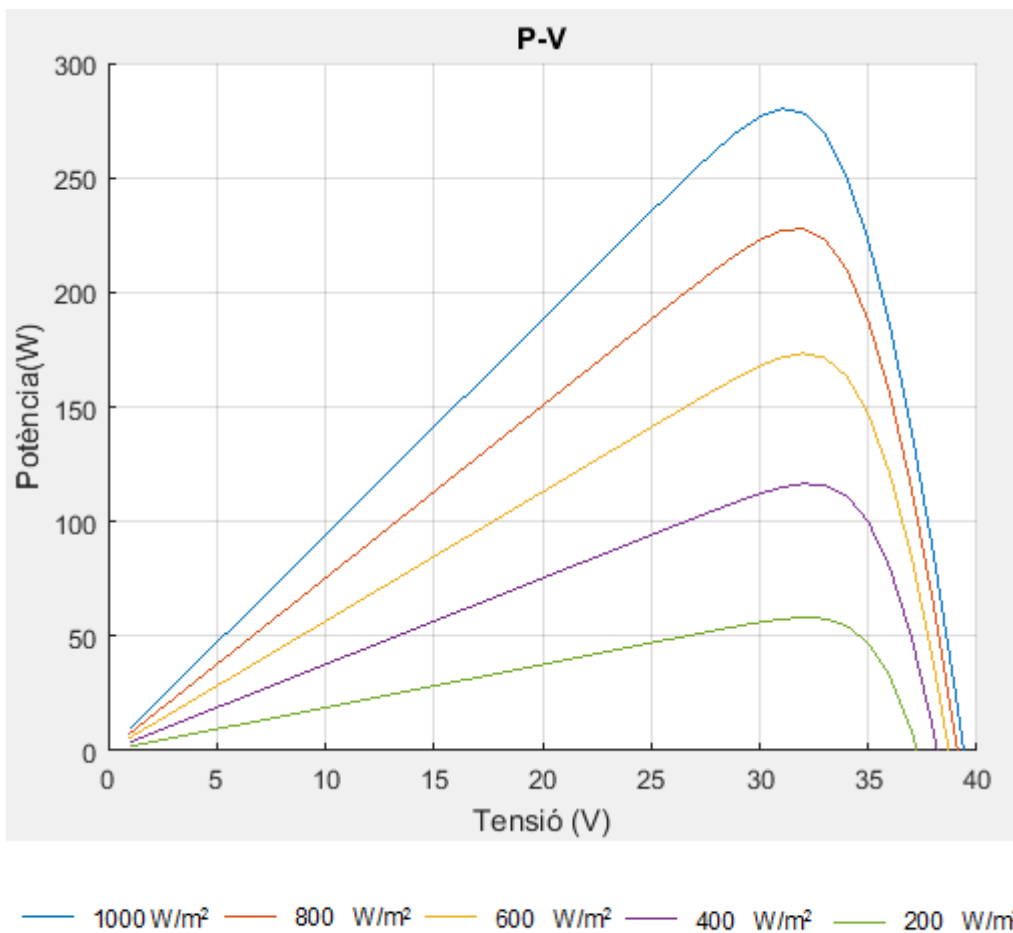


Figura 3.32. Corbes de potència i tensió. Font Pròpia

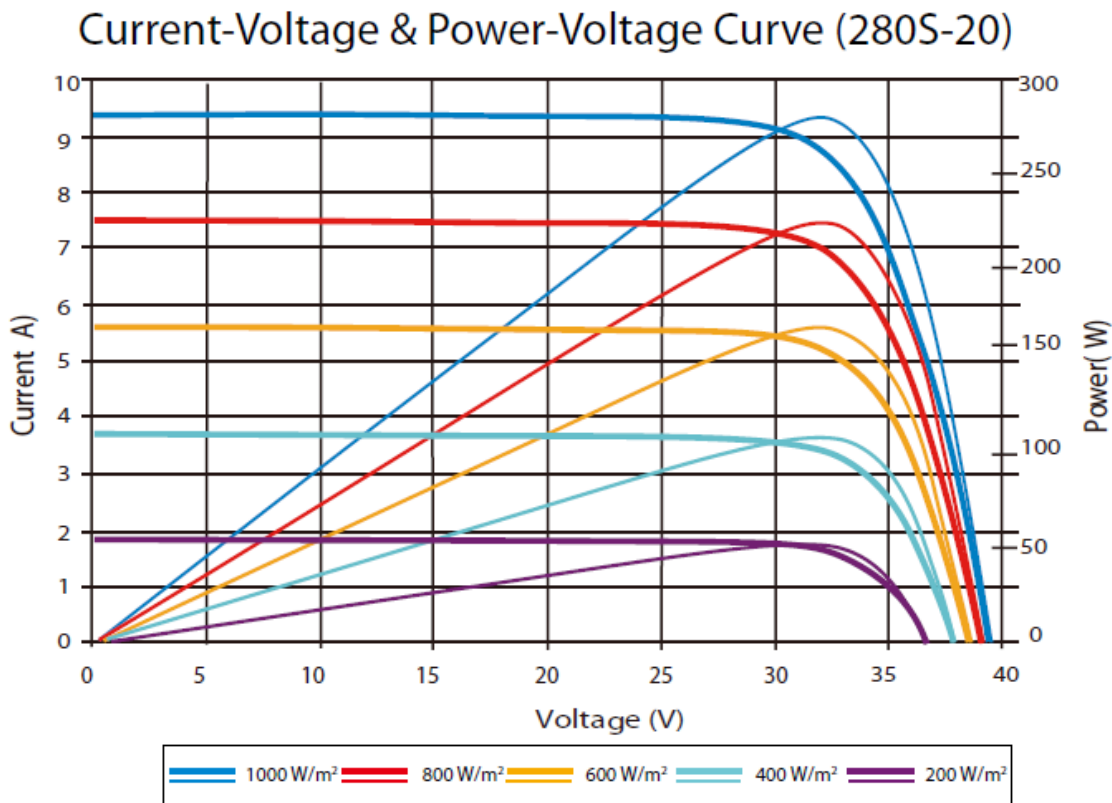


Figura 3.33. Corbes de corrent i Tensió. Font [19]

El fabricant no subministra informació del canvi de producció energètica amb el canvi de temperatura, el model realitzat com s'ha explicat anteriorment si que ho fa.

Càlcul de la producció energètica de la instal·lació

Com s'ha vist per tal de determinar la producció energètica del camp fotovoltaic els paràmetres que s'han de conèixer són la irradiància i la temperatura durant el període el qual es vulgui conèixer la producció de la instal·lació.

En la següent gràfica es pot veure la producció fotovoltaica en el dia 15 de cada un dels mesos de l'any pel panell fotovoltaic.

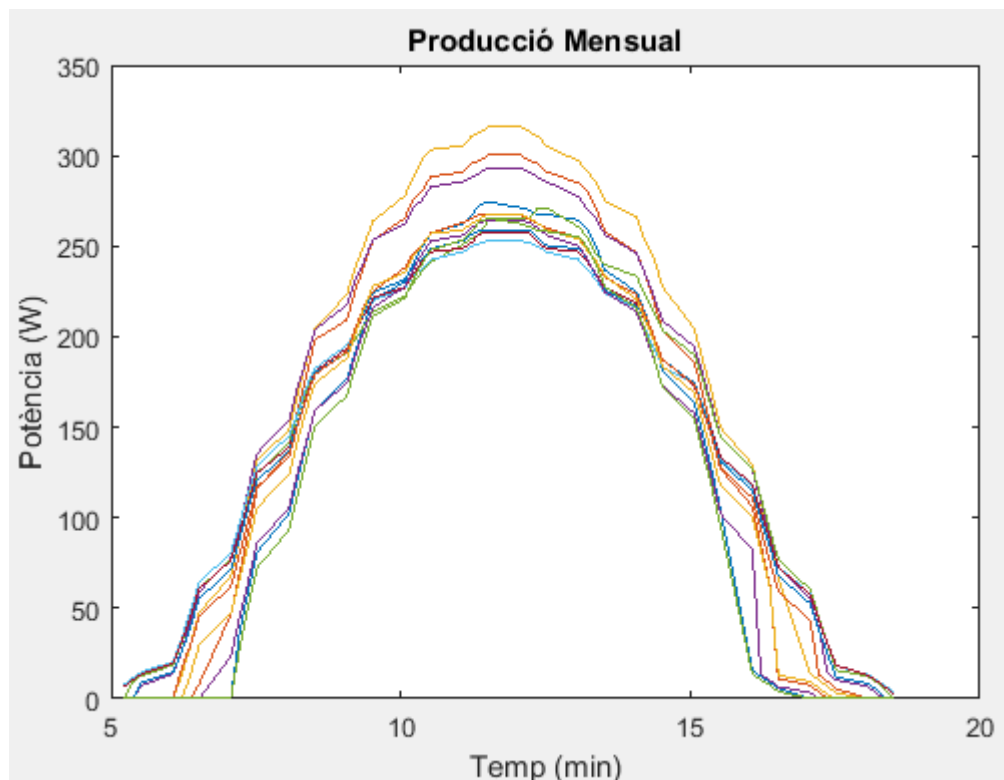


Figura 3.34. Producció mensual d'un panell pels 12 mesos de l'any. **Font Pròpia**

La forma de calcular aquesta producció del camp fotovoltaic es realitza de la següent forma.

$$E_{CF} = E_P \cdot n \cdot \eta_i \quad (3.42)$$

On:

E_{CF} : Producció Camp fotovoltaic

E_P : Producció panell fotovoltaic

n : Número de panells

η_i : Rendiment del conjunt de la instal·lació

L'energia del panell al llarg d'un període de temps l'any es calcula mitjançant la suma de la potència generada pel panell durant les hores de funcionament d'aquest. En la fórmula següent es calcula la producció energètica del panell al llarg de l'any.

$$E_p = \sum_{i=1}^{12} \sum_{j=1}^{\text{dies mes hores de sol}} \sum_{k=1} P_p \cdot h \quad (3.43)$$

Potència d'un panell durant una setmana al mes de desembre.

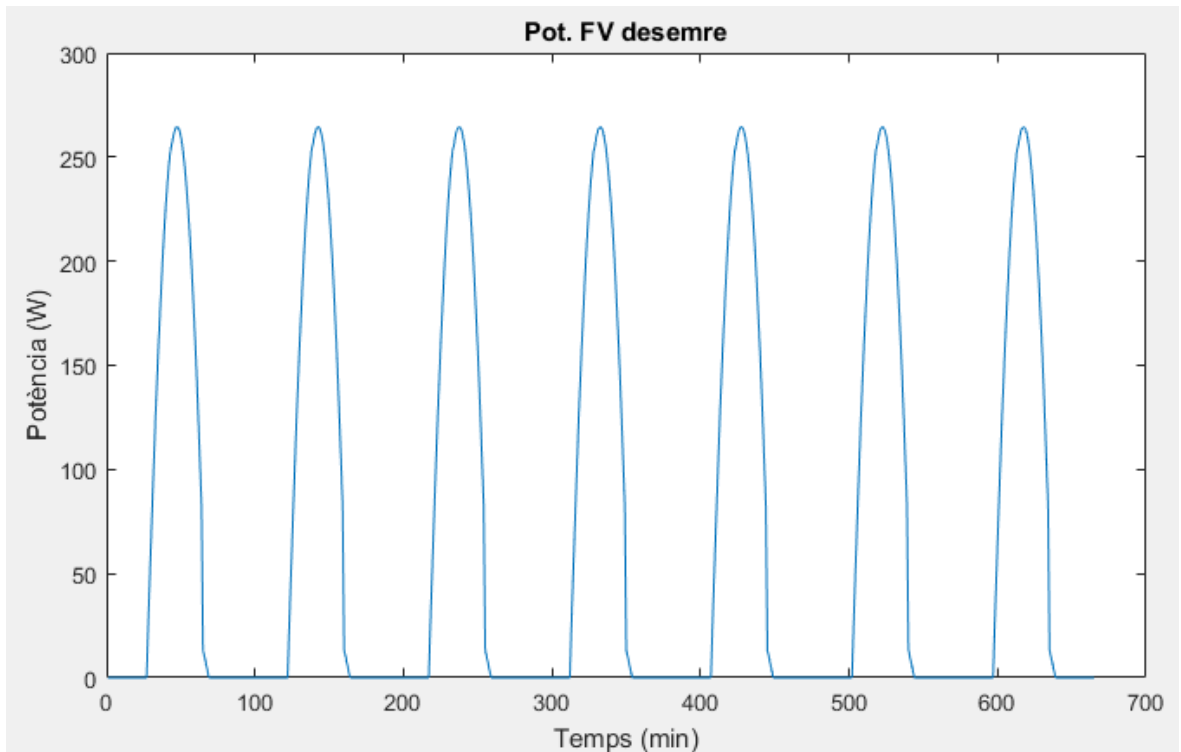


Figura 3.35. Potència d'un panell durant una setmana al desembre. **Font Pròpia**

Al model s'aplica per tant una representació del model d'un dels panells simulats. Al Simulink es multiplica pel número total de panells 888 i s'apliquen les pèrdues tant del cablejat com dels inversors. Aquest valor s'aproxima al 25% de l'energia generada al panell.

Aspecte del bloc del camp fotovoltaic.

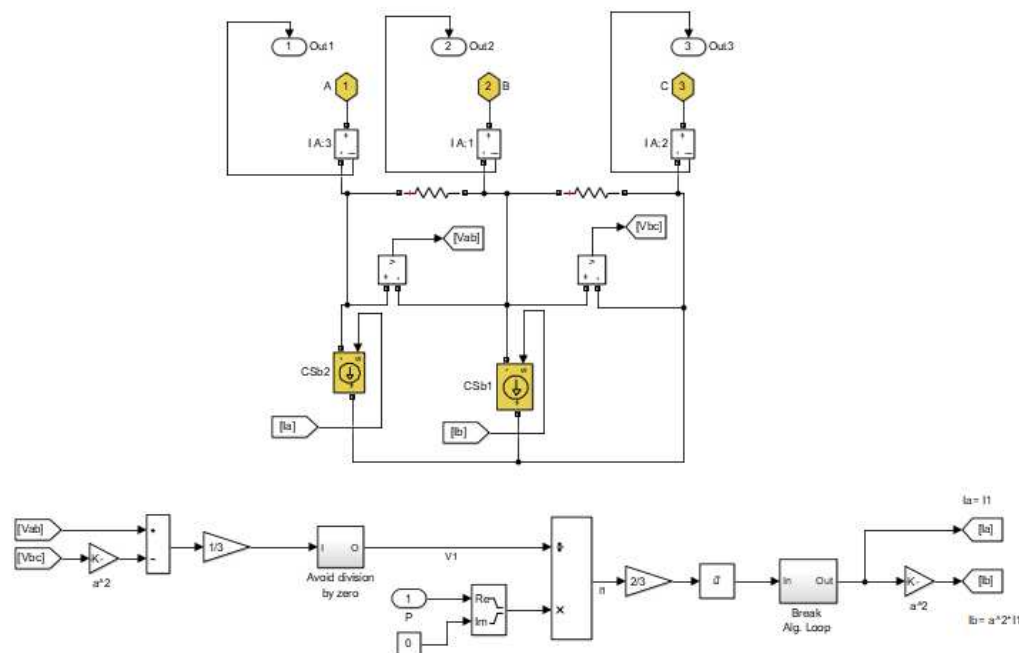


Figura 3.36. Model de blocs al Simulink del camp fotovoltaic. **Font Pròpia**

La potència introduïda es transforma en la corrent equivalent generada a la microxarxa.

3.3.2. Càrregues elèctriques

Igual que en apartats anteriors, mitjançant les dades del programa MEDSolar s'obté el perfil de càrregues de la microxarxa. Mitjançant el bloc mostrat a continuació es passen els valors de la taula al programa.

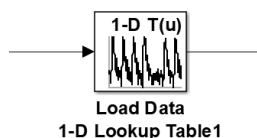


Figura 3.35. Bloc del Simulink per introduir taules. **Font Pròpia**

Amb les dades de potència obtenim els corrents de les càrregues de l'hospital. Aquests corrents permeten amb el següent bloc representar les càrregues.

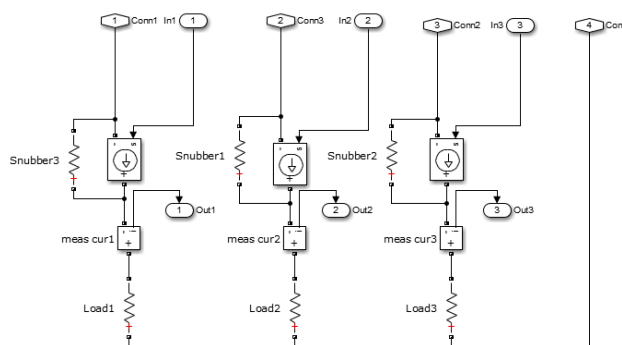


Figura 3.37. Model al Simulink de les càrregues. Font Pròpia

3.3.3. Altres components

Per a la simulació dels altres components s’ha emprat directament elements propis de Simulink a diferència del camp fotovoltaic.

Per tal de simular la xarxa elèctrica s’ha utilitzat el següent bloc del programa: Transformer 3ph.

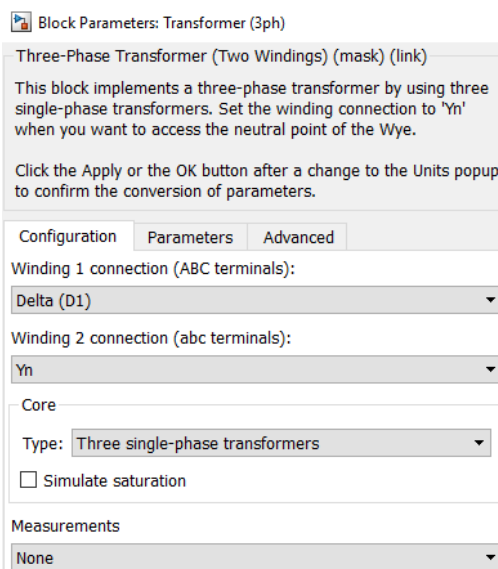


Figura 3.38. Bloc del transformador al Simulink. Font Pròpia

Per a la simulació del camp de bateries s’ha realitzat la lògica del funcionament segons el diagrama de funcionament del sistema d’EMS mostrat anteriorment.

En Simulink aquest diagrama resulta de la següent forma:

A més a més per tal de simular el banc de bateries amb l'inversor ABB seleccionat anteriorment s'han determinat al màxima i mínima potències de càrrega i descàrrega possibles.

3.3.4. EMS

L'energy management system s'ha dissenyat seguint el model dels fluxos de potència de l'apartat 3.2.4.1.

Per exemplificar això a continuació les imatges següents on es mostra el criteri seguit per la descàrrega de la bateria.

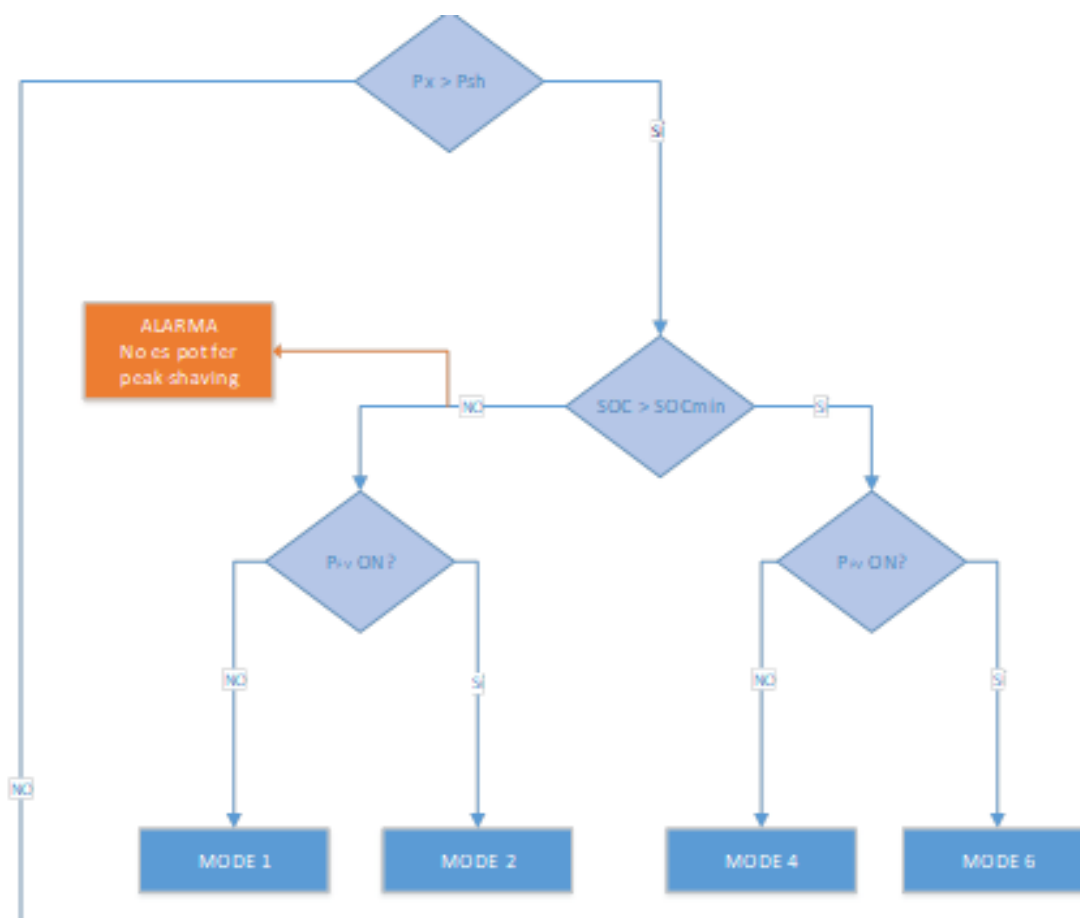


Figura 3.39. Part del diagrama de flux de l'apartat 3.2.4.1 . Font Pròpia

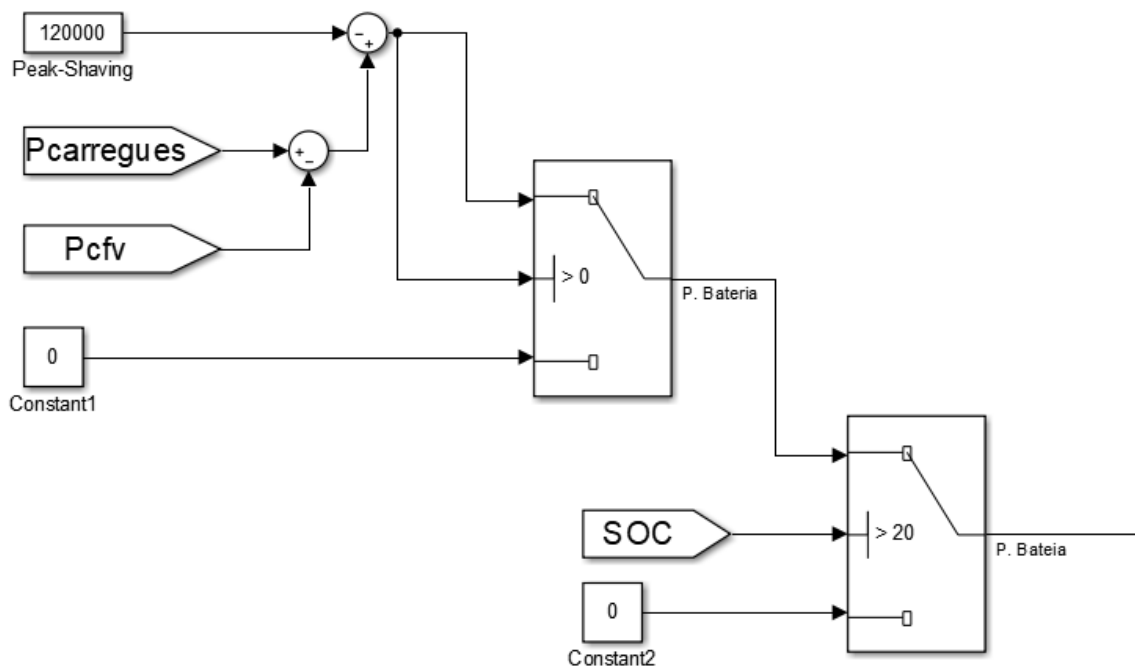


Figura 3.40. Blocs pel flux de potència al Simulink . Font Pròpia

En aquest apartat un dels paràmetres més rellevants és el SOC (State of Charge) de la bateria. És un paràmetre difícil de caracteritzar i aquí s’ha optat per la opció de considerar una càrrega i descàrrega de forma constant en el temps, cosa allunyada de la realitat.

Així doncs en el Simulink a partir de la potència generada i absorbida temporalment per la bateria es calcula el seu estat de càrrega.

En primer lloc per tant es considera que el càlcul de la càrrega respon a la següent equació:

$$Q = Q_0 \pm \int I t dt \tag{3.44}$$

Q : Càrrega de la bateria [A/h]

I : Intensitat càrrega/descàrrega [A]

Per aquets motiu el SOC en % es troba de la següent forma, mitjançant el datasheet.

$$Q_{(100 \%)} = 425 Ah \tag{3.44}$$

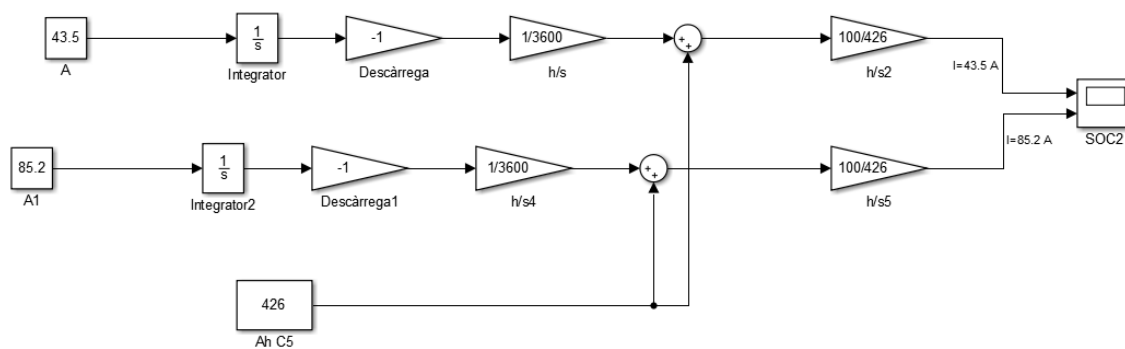


Figura 3.41. Blocs per la simulació de la bateria . Font Pròpia

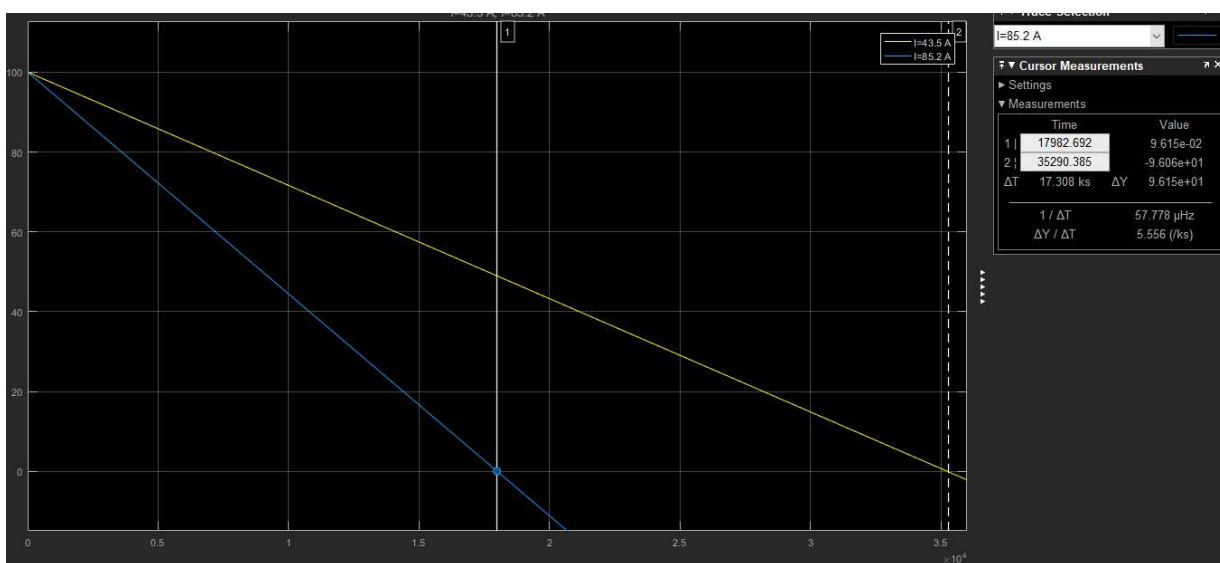


Figura 3.42. Resultats simulació descàrrega de la bateria . Font Pròpia

De la gràfica del model de bateria s’extreu que tal com indica al datasheet

Cell type	C ₅ Ah	Hours				
		10	8	5	3	2
SLM 426	426	43.5	53.7	85.2	137	203

Figura 3.18. Bateria intensitat en A per diferents hores. Font [23]

Per un corrent de 43,5 A línia groga el valor del temps quan el SoC a 0 és aproximadament 35300 s per tant 9.8 h, proper a les 10 del datasheet i per un per 85,2 A el valor de temps per SoC igual a 0 és de 17980 per tant 4,99 h igual que al datasheet.

3.3.5. HSMG Dissenyada

El sistema dissenyat per tant és el de la figura següent on es poden veure els diferent elements esmentats anteriorment.

També consta de tres blocs, un pels visors gràfics on es poden veure els gràfics desitjats. Un altre on està el sistema de control de la microxarxa, per últim també consta un bloc on s'introdueixen els paràmetres de les càrregues i els dels panells fotovoltaics.

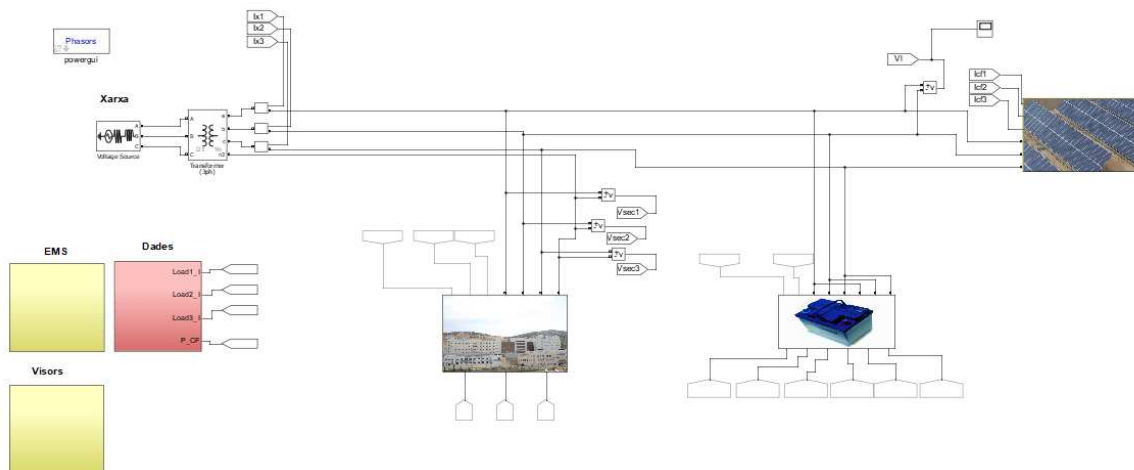


Figura 3.43. Microxarxa dissenyada al Simulink . Font Pròpia

3.3.6. Resultats

En primer lloc la representació del sistema durant el període d'una setmana del mes de gener. Amb una excel·lent producció fotovoltaica tots els dies.

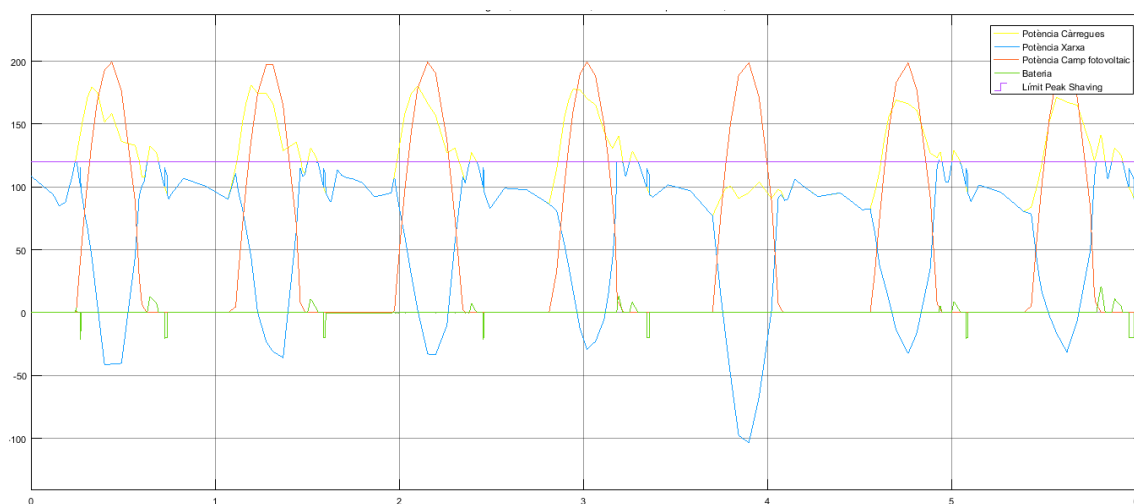


Figura 3.44. Representació de les potències de la microxarxa en kW i dies. **Font Pròpia**

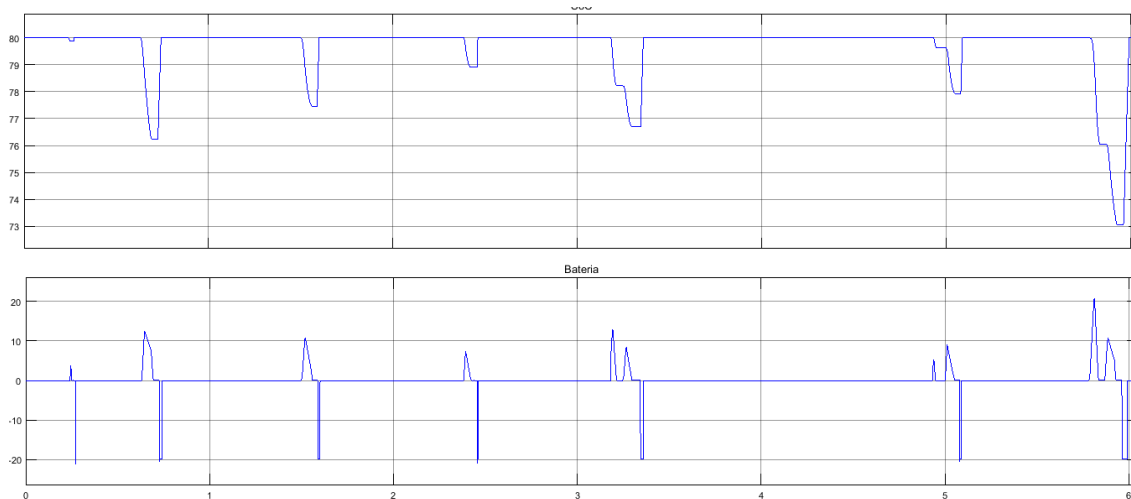


Figura 3.45. Representació primera gràfica del SoC % i potència generada i absorbida en kW durant una setmana. **Font Pròpia**

Els resultats d'aquesta primeres simulació, realitzada per tal de representar el model de xarxa dissenyada modelitzada ja anteriorment amb el programa HOMER. La comparació amb aquesta que podem trobar a la figura per exemple a la figura 3.17 és que la modelització realitzada és força semblant si bé la simulació realitzada amb Simulink la potència generada pel panell fotovoltaic és més elevada i a diferència de la feta amb Homer la irradiància no es veu influenciada per la meteorologia.

El que es pot veure en la representació de la simulació és el fet que en un escenari com aquest la bateria està clarament desaprofitada. El SoC mai baixa del 70%.

Aquesta primera simulació té l'inconvenient o la deficiència que tot i que resulta evident que el ESS es pot carregar quan es produeix un més energia fotovoltaica no ho realitza, això és una qüestió important que alhora de configurar un EMS s'ha de valorar, a continuació es representa la mateixa gràfica carregant les bateries en aquest escenari.

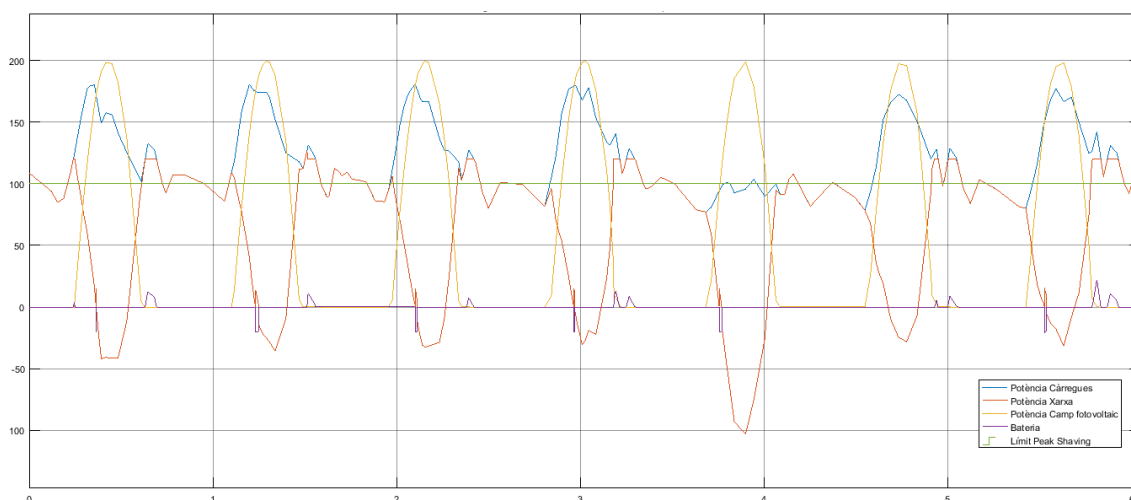


Figura 3.47. Representació de les potències de la microxarxa en kW i dies.

El SoC mai baixa del 70% Per veure si aquest fenomen es pot revertir es comprova si amb una reducció del 25% del la potència fotovoltaica generada la situació varia.

Com queda demostrat a la figura següent això no es produeix i el sistema d'emmagatzematge d'energia segueix infrautilitzat, és degut a que el camp fotovoltaic segueix aportant suficient potència per que la xarxa no hagi d'aportar per sobre els 120 kW.

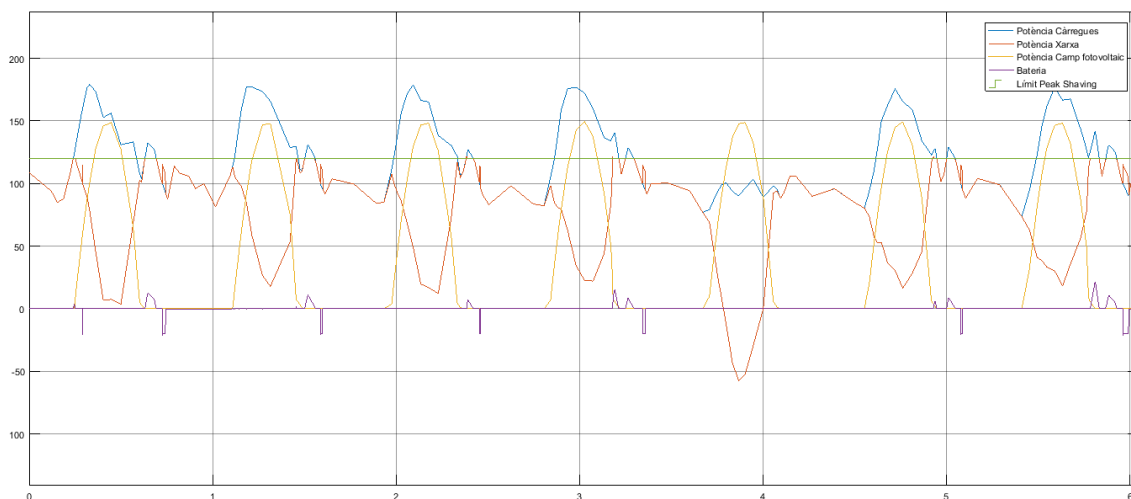


Figura 3.48. Representació de les potències de la microxarxa en kW i dies. Font Pròpia

De la mateixa manera amb una reducció de fins al 50 % de la potència produïda per la planta fotovoltaica el resultat es pràcticament igual.

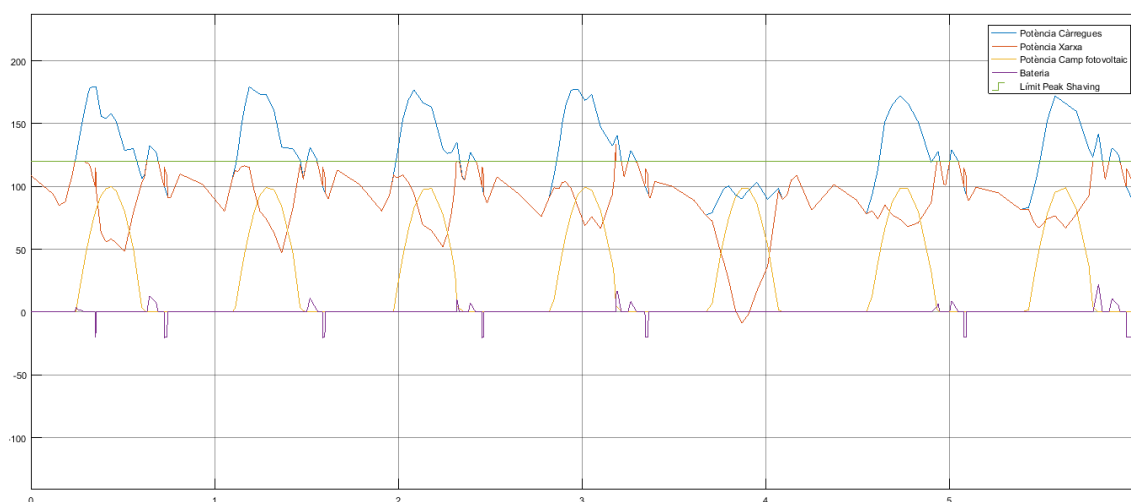


Figura 3.49. Representació de les potències de la microxarxa en kW i dies. Font Pròpia

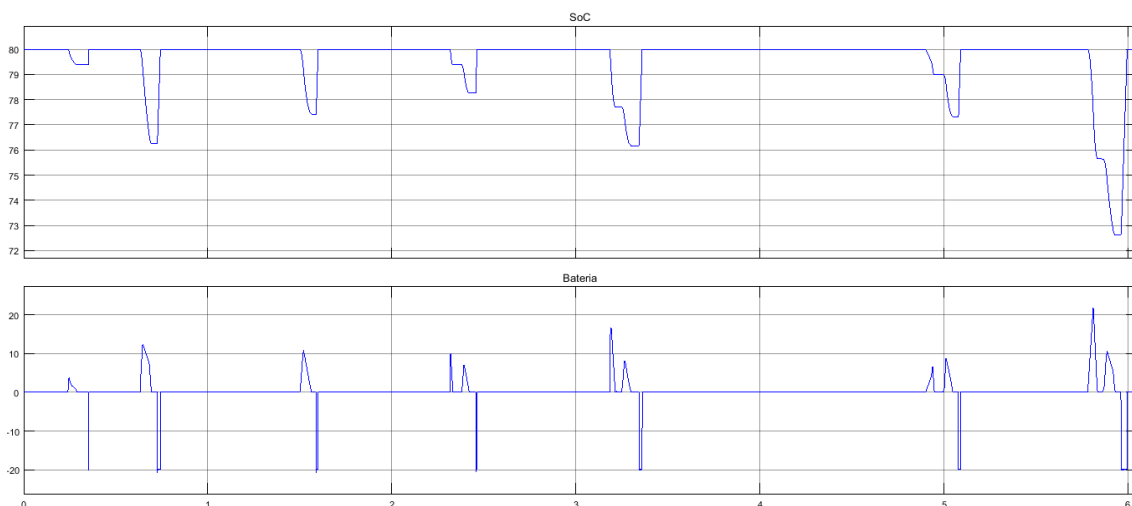


Figura 3.50. Representació primera gràfica del SoC % i potència generada i absorbida en kW durant una setmana. **Font Pròpia**

Hi ha una aportació més elevada de la bateria però no afecta significativament tampoc l’aportació d’aquesta. El que si resultaria impossible en els dos casos com es pot veure gràficament és carregar la bateria amb l’energia fotovoltaica.

A partir dels resultats obtinguts es prova de variar el peak shaving fins a 100 kW per veure com afectaria a la simulació.

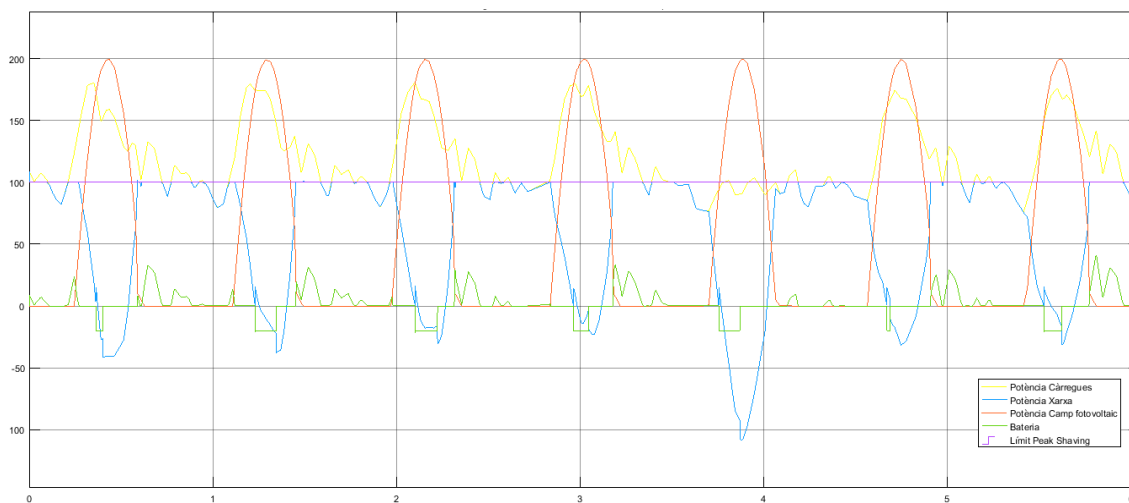


Figura 3.51. Representació de les potències de la microxarxa en kW i dies. **Font Pròpia**

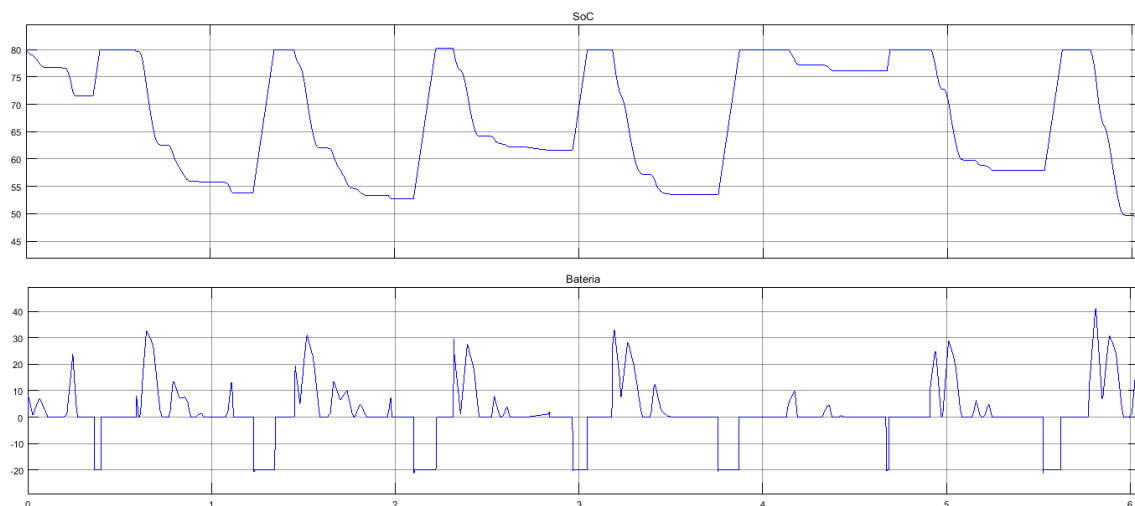


Figura 3.52. Representació de les potències de la microxarxa en kW i dies. **Font Pròpia**

Com es comprova per la figura per les dades simulades el peak shaving seria perfectament viable la utilització del peak shaving a 100 kW amb les dades facilitades a la simulació. Igualment sembla possible la càrrega de les bateries únicament amb l'energia fotovoltaica sobrant.

Conclusions:

A partir de les simulacions realitzades podem concloure que pel que semblaria el sistema està lleugerament sobredimensionat, amb comparació amb el software Homer els resultats són més favorables.

Dels resultats obtinguts es pot extreure que la corba de consum de l'hospital, en general d'acord amb qualsevol instal·lació d'aquestes característiques, és adequada per l'ús de l'energia fotovoltaica ja que coincideix el període horari de màxim consum amb la màxima producció fotovoltaica. Aquest aspecte que si que és una característica previsible de l'energia fotovoltaica és molt positiu ja que com s'ha vist en la simulació del sistema la majoria d'aquesta energia es pot aprofitar en el mateix moment de producció.

Això que sens dubte és un aspecte positiu ja que permet abaratir la producció i reduir la potència que ha de generar la xarxa pel projecte en concret tal i com s'ha vist anteriorment amb el software Homer, fa que la utilització d'un sistema d'emmagatzematge de l'energia no sigui tant profitós o necessari.

4. Pressupost

Els costos econòmics del projecte plantejat d'instal·lació de la mixroxarxa híbrida amb suport fotovoltaic inclouria les següents partides.

	Unitat	Preu (€)	Import (€)
Capítol 1.			8.250,00
Gestió del projecte y direcció d'obres	1	3.500,00	3.500,00
Pla de seguretat i salut	1	1.250,00	1.250,00
Legalitzacions	1	2.000,00	2.000,00
Documentació final de projecte	1	1.500,00	1.500,00
Capítol 2. Camp fotovoltaic			291.396,37
Panell Fotovoltaic	888	125,34	111.301,92
Cablejat DC	1	1.253,20	1.253,20
Inversor Fotovoltaic	4	15.000,00	60.000,00
Proteccions elèctriques	1	11.283,56	11.283,56
Cablejat AC	1	985,60	985,60
Canalitzacions	1	1.500,65	1.500,65
Obra Civil	1	5.578,90	5.578,90
Mà d'obra	1	99.492,54	99.492,54
Capítol 3. Sistema d'emmagatzematge de l'energia			137.939,67
Cablejat DC	1	566,44	566,44
Bateries	540	105,99	57.234,60
Inversor	1	35.666,00	35.666,00
Cablejat AC	1	125,58	125,58
Proteccions elèctriques	1	596,23	596,23
Canalitzacions	1	835,20	835,20
Mà d'obra	1	43.482,06	43.482,06
Capítol 4. Grup electrogen			78.969,32
Grup electrogen	1	48.950,00	48.950,00
Commutació automàtica	1	1.866,75	1.866,75
Posta a terra	1	566,96	566,96
Líneas elèctriques	1	588,72	588,72
Canalitzacions	1	835,20	835,20
Mà d'obra	1	26.161,69	26.161,69
Capítol 5. Quadres elèctrics			10.715,56

			Memòria	
Quadre General		1	2.300,00	2.300,00
Quadre auxiliar		1	1.523,00	1.523,00
Proteccions		1	6.892,56	6.892,56
Subtotal			527.270,92	
Despeses generals	13%		68.545,22	
Benefici industrial	6%		31.636,26	
Subtotal			627.452,39	
21 % IVA sobre	627.452,39		131.765,00	
TOTAL €			759.217,39	

5. Conclusions

De la part inicial del treball, la recerca d'informació per comprendre l'estat de l'art de les microxarxes híbrides intel·ligents, s'extreu que en consonància a l'actual augment de les energies renovables, el nombre de microxarxes híbrides creixerà en número i en grau de complexitat fruit de noves innovacions.

L'energia fotovoltaica ha de passar a ser rellevant dintre el mix energètic de la gran majoria de països degut al consens a nivell global de la imperiosa necessitat de reduir les emissions de CO₂. Com s'ha pogut veure els països situats a la conca mediterrània disposen favorablement del recurs fotovoltaic i per tant se'n ha de posar especialment atenció com demostra el fet mateix de l'existència del projecte Medsolar.

Amb aquesta part de recerca també s'han explicat les característiques d'aquesta energia i per tant la necessitat dels sistemes d'emmagatzematge, aquest component probablement és el que més innovacions ha de tenir en un futur. Avui en dia són sistemes cars i en el cas de les bateries a més són contaminants. Per exemplificar aquest repte, el sistema més innovador del ió-liti s'enfronta amb la dificultat de que el liti és un material que no existeix en quantitats elevades.

Una altra de les conclusions és que una millor integració dels diversos components de la microxarxa exigeix alhora una millora dels processos de gestió i control de les microxarxes.

De la recerca també es conclou que no existeix a curt termini una alternativa solvent per a la substitució del mundialment utilitzat generador dièsel per garantir el subministrament auxiliar de l'energia elèctrica.

Amb l'enginyeria de concepció que s'ha realitzat ha resultat evident que la concepció de les microxarxes híbrides intel·ligents constitueix un repte per la multitud de factors a considerar. La voluntat del treball de presentar una metodologia adequada per aquesta tasca de forma genèrica ha estat per tant encertada.

Posteriorment, en la denominada enginyeria d'aplicació s'ha aplicat aquesta metodologia de forma satisfactòria.

Mitjançant el software Homer, programa dedicat al disseny de microxarxes s'ha realitzat el dimensionament de la xarxa del Hospital An Najah de Palestina. La utilització del software ha estat útil per treballar amb un programa especialitzat amb el tema de forma autònoma, ja que es un recurs que no es treballa durant el grau.

En la realització d'aquest apartat també s'ha comprovat que els fabricants ja disposen de solucions específiques per a les microxarxes híbrides incloent els sistemes d'emmagatzematge de l'energia.

També en el camp de l'enginyeria d'aplicació s'han desenvolupat segons normativa internacional els principals elements com: el camp fotovoltaic, el sistema d'emmagatzematge d'energia i el generador dièsel a partir de l'estudi previ i amb les dades adquirides d'un projecte real.

Amb la consideració com s'ha vist que l'augment de l'energia fotovoltaica és ja una realitat i per tant la comprensió i modelització d'aquesta és fonamental, s'ha realitzat el model del panell que s'ha triat a partir únicament de les dades del datasheet mitjançant un article. El resultat d'aquesta modelització ha resultat satisfactòria com s'ha pogut comprovar a l'apartat corresponent.

La simulació de la microxarxa dissenyada en conjunt és òptima per que ha servit per a la comprovació del disseny, la comparació amb el software Homer.

Per acabar, en marc de millora del treball realitzat és proposen les següents actuacions:

De la simulació és proposa, afinar la simulació en la modelització del ESS, modificar la simulació de tal forma que les dades puguin ser adquirides en temps real. Desenvolupar algun programa que a partir de la simulació es pugui fer directament un estudi econòmic. Aplicar diferents criteris d'optimització de costos

Amb el programa del panell fotovoltaic és pot fer la comprovació amb un panell real. A nivell de la instal·lació elèctrica de l'Hospital es pot augmentar aigües avall.

6. Bibliografia

- [1] European Union External Action, European External Action Service (EEAS) , [En línea]. Disponible a: https://eeas.europa.eu/headquarters/headquarters-homepage/330/european-neighbourhood-policy-enp_en. [Últim accés: Octubre 2017].
- [2] «ENPI ENI,» [En línea]. Disponible a: <http://www.enpicbcmad.eu/communication/mediterranean-solar-forum-six-enpi-cbc-med-projects-join-forces-support-development-so>. [Últim accés: Octubre 2017].
- [3] Indian Standard, «Energy Management Systems - Requirements with guidance for use,» Buerau of indian standards, New Delhi , 2011.
- [4] I. Patrao, E. Figueres, G. Garcerá y R. González, «Microgrid architectures for low voltage distributed generation,» vol. 43, 2015.
- [5] G. Velasco, F. Casellas, F. Guinjoan, H. Martínez y R. Piqué, «Grid-PV-Diesel Hybrid System Management,» de *IEEE 15th International Conference on Environment* , Rome, 2015.
- [6] J. Lehr, Economic impact of residential phovoltaics with battery storage, Zurich, 2015.
- [7] «Wikipedia,» Septembre 2017. [En línea]. Disponibl a: https://en.wikipedia.org/wiki/Growth_of_photovoltaics#cite_note-110. [Últim accés: Novembre 2017].
- [8] «Power to Change,» IRENA, 2016.
- [9] ABB, Technical Application Papers No. 10 Photovoltaic plants, Bergamo, Italy, 2014.
- [10] D. Rekioua y E. Matagne, Optimization of Photovoltaic Power Systems, New York: Springer, 2012.
- [11] IEC, «Electrical Energy Storage White Paper,» Geneva, 2011.

- [12] Indian Standard, *Reciprocating internal combustion engine driven alternating current*, New Delhi, 2012.
- [13] Palestinian Central Bureau of Statistics, «State of Palestine,» [En línia]. Disponible a: <http://www.pcbs.gov.ps>. [Últim accés: Octubre 2017].
- [14] European Commission, «PVGIS,» [En línia]. Disponible a: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>. [Últim accés: Octubre 2017].
- [15] MEDSOLAR, *An Najah hospital*, Barcelona, 2014.
- [16] Wikipedia, «Nablus,» [En línia]. Disponible a: <https://en.wikipedia.org/wiki/Nablus>. [Últim accés: 23 Octubre 2017].
- [17] Socomec, [En línia]. Disponible a: <https://www.socomec.com/>. [Últim accés: 2017 Novembre 18].
- [18] Schneider Electric, *Multi-Unit Power Systems Design Guide*, 2016.
- [19] Suntech, *Monocrystalline solar module*, 2017.
- [20] ABB, *Energy Storage Inverter ESI-S*, Charleroi, Belgium: ABB.
- [21] Blitzortung, [En línia]. Disponible a: <http://es.blitzortung.org>. [Últim accés: 21 Novembre 2017].
- [22] IEEE, «Recommended Practice for Sizing Nickel for Stationary Applications,» IEEE Power and Energy Society, New York, 2014.
- [23] Saft, *Ultima NiCd battery Technical Manual*, Romainville.
- [24] Schneider Electric, *Compact NSX*, Barcelon, 2015.
- [25] Schneider Electric, *Compact NSX*, Barcelona, 2015.
- [26] IEC, «IEC 60364 Electrical Installations for Buildings,» IEC, Geneve, 2005.

- [27] P. Rodriguez, S. Dezso y R. Teodorescu, «PV panel model based on datasheet values,» de *IEEE* , Vigo, 2007.
- [28] DEHNguard, «Dehn international,» [En línia]. Disponible a: <https://www.dehn-international.com/en>. [Últim accés: 11 Novembre 2017].
- [1] European Union External Action, European External Action Service (EEAS) , [En línia]. Available: https://eeas.europa.eu/headquarters/headquarters-homepage/330/european-neighbourhood-policy-enp_en. [Último acceso: Septiembre 2017].
- [2] «ENPI ENI,» [En línia]. Available: <http://www.enpicbmed.eu/communication/mediterranean-solar-forum-six-enpi-cbc-med-projects-join-forces-support-development-so>. [Último acceso: Setembre 2017].
- [3] Indian Standard, «Energy Management Systems - Requirements with guidance for use,» Buerau of indian standards, New Delhi , 2011.
- [4] I. Patrao, E. Figueres, G. Garcerá y R. González, «Microgrid architectures for low voltage distributed generation,» vol. 43, 2015.
- [5] G. Velasco, F. Casellas, F. Guinjoan, H. Martínez y R. Piqué, «Grid-PV-Diesel Hybrid System Management,» de *IEEE 15th International Conference on Environment* , Rome, 2015.
- [6] J. Lehr, Economic impact of residential phovoltaics with battery storage, Zurich, 2015.
- [7] «Wikipedia,» Septiembre 2017. [En línia]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Growth_of_photovoltaics#cite_note-110. [Último acceso: 6 Septiembre 2017].
- [8] «Power to Change,» IRENA , 2016.
- [9] ABB , Technical Application Papers No. 10 Photovoltaic plants, Bergamo, Italy, 2014.
- [10] D. Rekioua y E. Matagne, Optimization of Photovoltaic Power Systems, New York: Springer, 2012.

- [11] IEC, «Electrical Energy Storage White Paper,» Geneva, 2011.
- [12] Indian Standard, *RECIPROCATING INTERNAL COMBUSTION ENGINE DRIVEN ALTERNATING CURRENT*, NEW DELHI, 2012.
- [13] Palestinian Central Bureau of Statistics, «State of Palestine,» [En línea]. Available: <http://www.pcbs.gov.ps>. [Último acceso: 24 Octubre 2017].
- [14] European Commission, «PVGIS,» [En línea]. Available: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>. [Último acceso: 20 Novembre 2017].
- [15] MEDSOLAR, *An Najah hospital*, Barcelona, 2014.
- [16] Wikipedia, «Nablus,» [En línea]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Nablus>. [Último acceso: 23 Octubre 2017].
- [17] Socomec, [En línea]. Available: <https://www.socomec.com/>. [Último acceso: 2017 Novembre 18].
- [18] Schneider Electric, *Multi-Unit Power Systems Design Guide*, 2016.
- [19] Suntech, *MONOCRYSTALLINE SOLAR MODULE*, 2017.
- [20] ABB, *Energy Storage Inverter ESI-S*, Charleroi, Belgium: ABB.
- [21] Blitzortung, [En línia]. Available: <http://es.blitzortung.org>. [Últim accés: 21 Novembre 2017].
- [22] IEEE, «Recommended Practice for Sizing Nickel for Stationary Applications,» IEEE Power and Energy Society, New York, 2014.
- [23] Saft, *Ultima NiCd battery Technical Manual*, Romainville.
- [24] Schneider Electric, *Compact NSX*, Barceloan, 2015.
- [25] Schneider Electric, *Compact NSX*, Barcelona, 2015.
- [26] IEC, «IEC 60364 Electrical Installations for Buildings,» IEC, Geneve, 2005.

- [27] P. Rodriguez, S. Dezso y R. Teodorescu, «PV panel model based on datasheet values,» de *IEEE*, Vigo, 2007.
- [28] DEHNguard, «Dehn international,» [En línia]. Available: <https://www.dehn-international.com/en>. [Últim accés: 11 Novembre 2017].

