



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

TREBALL FI DE GRAU

**Grau en Enginyeria de l'Energia**

**IMPLEMENTACIÓ DE CRITERIS D'EFICIÈNCIA ENERGÈTICA  
EN UN HABITATGE UNIFAMILIAR CONTEMPLANT L'ÚS  
D'ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**



**Memòria i Annexos**

**Autor:** Josep Torres Riera  
**Director:** Robert Piqué  
**Convocatòria:** Juny 2020



## Resum

Aquest document correspon al treball de fi d'estudis d'enginyeria de l'energia a l'Escola d'Enginyeria de Barcelona Est de la Universitat Politècnica de Catalunya.

L'objectiu principal del treball és implementar una sèrie de criteris d'eficiència energètica en un habitatge unifamiliar, per tal de aconseguir una reducció en el consum energètic així com en els costos econòmics. Per tal de dur-ho a terme, s'utilitza la normativa ISO-50001, que defineix el marc conceptual del sistema de gestió d'energia que s'implementa per complir els objectius esmentats. A nivell estructural, es treballa amb una microxarxa domèstica amb generació fotovoltaica com a generació distribuïda, que defineix el marc físic que es desenvolupa en aquest treball.

El treball està dividit en dos grans blocs, sent el primer la part d'enginyeria de concepció, on es desenvolupa l'algoritme de gestió d'energia per l'habitatge i es dissenya la microxarxa elèctrica domèstica. El segon bloc correspon a la part d'enginyeria d'aplicació, on s'implementa el sistema de gestió definit prèviament en un cas real d'un habitatge a la comarca de Les Garrigues, Catalunya.

## Resumen

Este documento corresponde al Trabajo de final de estudios de ingeniería de la energía en la Escuela de Ingeniería de Barcelona Este de la Universidad Politécnica de Catalunya.

El objetivo principal del Trabajo es implementar una serie de criterios de eficiencia energética en una vivienda unifamiliar, para así conseguir una reducción en el consumo energético así como en los costes económicos. Para llevarlo a cabo se utiliza la normativa ISO-50001, que definió el marco conceptual del sistema de gestión de energía que se implementa para cumplir los objetivos anteriores. A nivel estructural, se trabaja con una microrred eléctrica doméstica con generación fotovoltaica como generación distribuida, que definió el marco físico en el que se desarrolla este Trabajo.

El trabajo está dividido en dos grandes bloques, siendo el primero la parte de ingeniería de concepción, donde se desarrolla el algoritmo de gestión de energía para la vivienda y se diseña la microrred eléctrica doméstica. El segundo bloque corresponde a la parte de ingeniería de aplicación, donde se implementa el sistema de gestión definido previamente en un caso real de una vivienda de la comarca de Las Garrigues, Cataluña.

## Summary

This document is the final bachelor project of Energy Engineering at the School of Engineering of East Barcelona of the Polytechnic University of Catalonia.

The scope of the project is to implement an energy efficiency criteria for a residential household, in order to achieve a reduction in the energy demand as well as in the economic costs. Using the ISO-50001 normative, the conceptual framework of the energy management system is developed so the objectives set above are achieved. In the structural level, an electrical microgrid with photovoltaic generation is defined.

The project is divided into two main blocks, the first of them being the part where the conception engineering is worked out from the development of an energy management system for a residential household and the design of the electrical microgrid. In the second block, this energy management system is implemented in a real case scenario in a house set in Les Garrigues, Catalonia.



## **Agraïments**

A la meva família, pel suport incondicional en cada moment del transcurs d'aquest grau, i per la empenta final durant aquest treball de fi d'estudis. Ens especial al meu germà, Albert, que m'ha donat el feedback necessari per arrodonir aquest treball.

Als meus amics i amigues de la universitat, que han compartit aquest camí universitari amb mi, i que sense ells no hagués pogut tira endavant aquest grau d'enginyeria.

A en Robert Piqué, professor durant la carrera i director d'aquest projecte, per la motivació transmesa i pel recolzament a través d'aquest viatge que ha sigut el treball de fi d'estudis.







## Glossari

**Auditor energètic:** Persona física amb capacitat personal i tècnica demostrada i competència per portar a terme una auditoria energètica.

**Auditoria energètica:** Qualsevol procediment sistemàtic destinat a obrir coneixements adequats de perfil de consum d'energia existent d'un edifici o grup d'edificis, d'una instal·lació a operació industrial o comercial, o d'un servei privat o públic, així com per determinar i quantificar les possibilitats d'estalvi d'energia a un cost eficient i informar-ne.

**DER:** Acrònim de l'anglès, Distributed Energy Resources, concepte que agrupa tot aquells recursos energètics que es troben properes al consumidor final d'energia.

**DG:** Acrònim de l'anglès, Distributed Generation, concepte que agrupa tota aquella generació d'energia que es troba prop del consumidor final i acostuma a ser de caràcter renovable.

**DOD:** Acrònim de l'anglès, Depth of Discharge, fent referència al percentatge de la capacitat d'una bateria que s'ha descarregat respecte la capacitat total.

**Eficiència energètica:** Proporció o relació quantitativa entre els resultats en termes de gestió, servei o d'energia i la entrada d'energia.

**MGCC:** Acrònim de l'anglès, Micro Grid Central Controller, fent referència a l'equip electrònic que controla la generació i les càrregues d'una microxarxa intel·ligent.

**NOCT:** Acrònim de l'anglès, Nominal Operational Cell Temperature, sent aquesta la temperatura que arriba la cèl·lula del mòdul fotovoltaic en circuit obert a condicions d'irradiància de 800 W/m<sup>2</sup>, temperatura de l'aire de 20°C i velocitat de l'aire 1 m/s.

**PCC:** Acrònim de l'anglès, Point of Common Coupling, punt on es connecten certes càrregues i punt de generació a la xarxa elèctrica principal.

**Prosumers:** Concepte que s'agafa de l'anglès, i fa referència a l'agent energètic que és generador i consumidor a la vegada.

**Revisió energètica:** Determinació de la gestió energètica de l'organització basada en dades i altres tipus d'informació, orientada a la identificació d'oportunitats de millora.

**Sistema de gestió d'energia:** Conjunt d'elements interrelacionats mútuament o que interactuen per establir una política i objectius energètics, i els processos i procediments necessaris per aconseguir aquests mateixos objectius.



# Índex

<b>RESUM</b>	<b>I</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>II</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>III</b>
<b>AGRAÏMENTS</b>	<b>V</b>
<b>GLOSSARI</b>	<b>VII</b>
<b>1. PREFACI</b>	<b>1</b>
1.1. Origen del treball i motivació .....	1
1.2. Requeriments previs.....	1
<b>2. INTRODUCCIÓ</b>	<b>3</b>
2.1. Objectius del treball.....	3
2.2. Abast del treball.....	3
2.3. Contextualització .....	3
2.4. Microxarxa elèctrica .....	4
2.5. Recursos energètics distribuïts.....	6
2.5.1. Introducció als recursos energètics distribuïts.....	6
2.5.2. Tecnologies aplicables en la generació distribuïda en microxarxes elèctriques....	7
2.5.3. Emmagatzematge distribuït d'energia elèctrica .....	10
<b>3. NORMATIVA LEGAL PER A LA CONFECCIÓ DEL PROJECTE</b>	<b>14</b>
3.1. Normativa ISO 50001.....	14
3.2. UNE-EN-16247 .....	14
3.3. Real Decret 244/2019 .....	14
3.4. Real Decret 1699/2011.....	15
3.5. Reglament electrotècnic de Baixa Tensió. REBT .....	15
<b>4. ENGINYERIA DE CONCEPCIÓ</b>	<b>16</b>
4.1. Sistema de gestió d'energia.....	16
4.1.1. Planificar.....	16
4.1.2. Fer.....	17
4.1.3. Verificar .....	17
4.1.4. Actuar .....	17

4.1.5.	Diagrama de flux del SGE .....	17
4.2.	Planificació energètica .....	18
4.2.1.	Polítiques energètiques.....	18
4.2.2.	Revisió energètica.....	19
4.3.	Disseny de la microxarxa elèctrica.....	24
4.3.1.	Composició de la microxarxa elèctrica.....	24
4.3.2.	Disseny de l'HEMS .....	28
4.3.3.	Dimensionament de la microxarxa elèctrica .....	42
<b>5.</b>	<b>ENGINYERIA D'APLICACIÓ D'UNA MICROXARXA ELÈCTRICA DOMÈSTICA</b> ..	<b>54</b>
5.1.	Planificar. Revisió energètica .....	54
5.1.1.	Dades generals de l'habitatge .....	54
5.1.2.	Visita in situ.....	57
5.1.3.	Anàlisi energètica .....	59
5.1.4.	Anàlisi econòmica.....	64
5.1.5.	Propostes de millora energètica .....	65
5.2.	Fer. Dimensionament de la microxarxa elèctrica domèstica.....	66
5.2.1.	Mòduls fotovoltaics i emmagatzematge elèctric.....	66
5.2.2.	Convertidors d'energia elèctrica .....	69
5.2.3.	Cablejat de la instal·lació .....	69
5.3.	Verificar. Simulació de la microxarxa elèctrica.....	70
5.3.1.	Anàlisi de resultats.....	70
5.3.2.	Anàlisi econòmica.....	75
5.3.3.	Pressupost orientatiu de l'enginyeria d'aplicació .....	76
5.3.4.	Conclusions.....	78
5.4.	Actuar. Propostes de millora del SGE .....	79
<b>CONCLUSIONS</b>	<b>_____</b>	<b>85</b>
<b>PRESSUPOST DEL PROJECTE</b>	<b>_____</b>	<b>87</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>_____</b>	<b>88</b>
<b>ANNEXOS</b>	<b>_____</b>	<b>91</b>
A1.	Real Decret 244/2019.....	91
A2.	Eines de càlcul.....	93
A3.	Fitxes tècniques .....	103



## **1. Prefaci**

El present document pretén implementar criteris d'eficiència energètica en un habitatge unifamiliar a través del disseny d'una microxarxa elèctrica domèstica amb suport fotovoltaic i partir d'un marc conceptual definit per la normativa ISO 50001.

### **1.1. Origen del treball i motivació**

L'ús de les energies renovables i la lluita per a un sistema energètic més eficient son la substitució al sistema energètic convencional i protagonitzat per les grans centrals de producció d'electricitat a partir de recursos provinents de combustibles fòssils. Per aquest motiu, s'ha decidit realitzar aquest projecte, que proporciona una eina de gestió de l'energia que pot donar solució a sistemes energètics a nivell residencial.

### **1.2. Requeriments previs**

Per al desenvolupament d'aquest projecte ha sigut necessari els coneixements adquirits durant el grau d'enginyeria de l'energia, destacant les següents assignatures com a requeriments principals:

- L'assignatura de Control de Sistemes d'Energia Elèctrica, on s'ha descobert i s'ha estudiat el funcionament d'una microxarxa elèctrica.
- L'assignatura de Convertidos Estàtics d'Energia, on s'ha estudiat l'electrònica de potència d'un sistema energètic i s'han adquirit coneixements respecte la conversió d'energia.
- L'assignatura d'Energies Renovables, on s'ha treballat amb sistemes energètics amb suport fotovoltaic, fet que dona tot el coneixement necessari per treballar amb aquesta tecnologia durant aquest projecte.
- Finalment ha sigut necessari el coneixement de l'ús del software *Matlab* y *Simulink*, així com el de *Microsoft Word* i *Excel*.





## **2. Introducció**

### **2.1. Objectius del treball**

L'objectiu és aconseguir un algoritme de gestió de l'energia capaç de millorar l'eficiència energètica d'un habitatge residencial unifamiliar, a partir del disseny d'una microxarxa elèctrica domèstica amb suport fotovoltaic i emmagatzematge elèctric. Es desitja que aquest algoritme sigui iteratiu, de manera que l'habitatge obtingui una millora energètica continua.

Dins del disseny de la microxarxa elèctrica, es vol desenvolupar un Home Energy Management System, que ha de ser capaç de gestionar el consum energètic i la generació fotovoltaica, a més d'aplicar estratègies de gestió energètica.

### **2.2. Abast del treball**

El projecte inclou el disseny de l'algoritme de gestió energètica basat en la normativa ISO 50001 per una banda, i l'aplicació del mateix en un habitatge real. L'algoritme pretén ser un procés iteratiu que sigui flexible per poder aplicar-lo en diferents escenaris, i es pretén definir els diferents passos a seguir, incloent una revisió energètica de l'habitatge i un correcte dimensionament de la microxarxa elèctrica.

Es tracta d'un sistema de gestió d'energia que ha d'identificar i resoldre totes aquelles deficiències energètiques d'un habitatge unifamiliar, a partir de la proposta de millores de l'eficiència energètica. No és part d'aquest treball però, detallar l'estudi arquitectònic que comporta la implementació d'aquestes millores. Aquest treball doncs, és limita a realitzar un estudi a nivell energètic i econòmic de la implementació d'aquestes millores energètiques en un habitatge residencial unifamiliar.

### **2.3. Contextualització**

El sistema elèctric s'ha basat des del seu origen en la producció d'energia elèctrica a partir de grans centrals de generació, fet que ha comportat el desenvolupament d'una xarxa elèctrica de transport i distribució capaç de subministrar la demanda a qualsevol distància del punt de generació. Actualment però, l'aposta per l'ús de fonts d'energia renovable (Renewable Energy Resources, RES), ha portat a l'apropament de la generació elèctrica als punts finals de consum, a partir de l'ús del recurs energètic disponible a la zona, reduint en pèrdues per transport i distribució. Aquest fenomen,

acompanyat dels sistemes d'intel·ligència i control, introdueixen una nova tecnologia dins de la xarxa elèctrica convencional: les microxarxes elèctriques.

Les microxarxes elèctriques neixen amb l'objectiu de millorar les prestacions de la xarxa elèctrica de distribució, una xarxa elèctrica que a diferència de la de transport, no disposa d'un nivell d'intel·ligència i autogestió tan alt. Amb l'augment de la utilització de recursos energètics distribuïts (Distributed Energy Resources, DER), la necessitat de sistemes energètics més eficients, i el desplegament de les Tecnologies d'Informació i Comunicació (TIC), les microxarxes elèctriques es converteixen en un punt d'interès dins de l'àmbit de l'energia elèctrica.

Amb la integració de microxarxes elèctriques dins de la xarxa de distribució s'aconsegueix un millor accés a la generació distribuïda (Distributed Generation, DG), gestionar amb més precisió la demanda mitjançant la interacció amb els usuaris finals, i una reducció local de les emissions de gasos d'efecte hivernacle.

## 2.4. Microxarxa elèctrica

El concepte de microxarxa no té una definició única, ja que diferents autors i entitats la defineixen, cadascú fent èmfasi en el que creu més important. Per tant, cal començar per fer un resum de les definicions més complertes que hi ha actualment. L'any 1998, l'investigador Robert H. Lasseter és el primer en formular una definició de microxarxa. Aquest professor treballa conjuntament amb el consorci estatunidenc CERTS ( Consortium for Electric Reliability Technology Solutions), i és en el document *Integration of Distributed Energy Resources* on defineixen el concepte de microxarxa[15]:

*“The Consortium for Electric Reliability Technology Solutions (CERTS) MicroGrid concept assumes an aggregation of loads and microsources operating as a single system providing both power and heat. The majority of the microsources must be power electronic based to provide the required flexibility to insure operation as a single aggregated system. This control flexibility allows the CERTS MicroGrid to present itself to the bulk power system as a single controlled unit that meets local needs for reliability and security.”*

Per tant, en una primera instància es defineix com un sistema agregador de tecnologies de generació, emmagatzematge i càrregues, que gràcies a la utilització d'electrònica de potència permet al sistema satisfer la flexibilitat necessària per operar com a un sistema agregat. També menciona que la microxarxa dóna solució a nivell elèctric i tèrmic. Per motius de complexitat i aplicació, es definirà el concepte de microxarxa elèctrica exclusivament, deixant de banda la part tèrmica pel moment.

Aquesta definició per part de CERTS ja deixa constància de que els elements que constitueixen la microxarxa hauran d'estar dotats d'una certa intel·ligència per adaptar-se a les necessitats locals de

fiabilitat i seguretat. Per tant, no només un sistema energètic esdevé una microxarxa tenint elements de generació i d'emmagatzematge, sinó que a més aquests hauran de disposar d'un sistema de control adequat pel seu correcte funcionament.

A més, CERTS també indica que una microxarxa ha de tenir la capacitat de connectar-se i desconnectar-se de la xarxa elèctrica de distribució. D'aquesta manera, la microxarxa elèctrica pot decidir si treballar conjuntament amb la xarxa de distribució, o pel contrari, treballar aïlladament, per exemple en cas de pertorbacions a la xarxa elèctrica.

D'altra banda, el concepte de microxarxa és escalable, amb el que es pot estar analitzant des d'un sistema domèstic fins a un sistema de les dimensions d'una petita ciutat. Independentment d'aquest factor, es pot concloure que una microxarxa elèctrica tindrà els següents elements elèctrics, representats a la figura X:

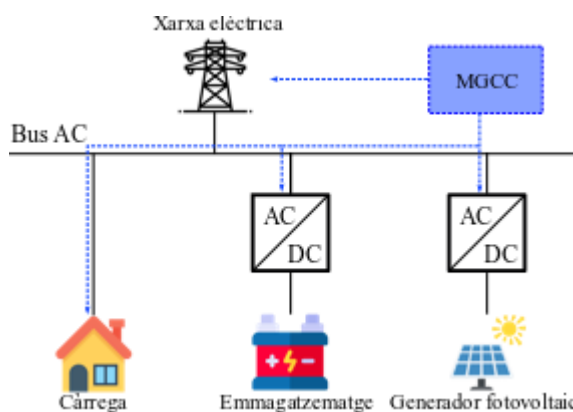


Figura 2.1. Esquema d'una microxarxa elèctrica [Font pròpia]

*Generació distribuïda (Distributed Generation, DG):* Generació d'energia que es troba pròxima al punt final de consum. Exemples de generació distribuïda són l'energia eòlica, fotovoltaica, hidràulica, d'entre altres.

*Càrregues (Load, L):* Elements que consumeixen l'energia dins del sistema. Es poden diferenciar entre càrregues comunes i càrregues crítiques. En un moment d'insuficiència energètica, s'haurà d'atendre primerament a les càrregues crítiques.

*Emmagatzematge (Energy Storage System, ESS):* Element que procura que el balanç de potències entre la generació distribuïda i les càrregues es mantingui. En termes generals, es carrega quan hi ha un excedent d'energia, i es descarrega quan la generació distribuïda del sistema no és suficient per cobrir les càrregues.

*Controlador central de la microxarxa (MicroGrid Center Controller, MGCC):* És el centre del sistema de gestió i control de la microxarxa, governant les accions que realitzen els elements definits anteriorment, a més d'ocupar-se de la connexió i desconnexió a la xarxa de distribució elèctrica. En la majoria de casos també monitoritzarà a temps real els paràmetres rellevants de la microxarxa.

Les microxarxes ofereixen moltes avantatges tant per als consumidors finals, com per les companyies elèctriques, com per a la societat en general:

- Milloren l'eficiència energètica dels sistema.
- Minimitzen el consum global d'energia.
- Redueixen l'emissió de gasos d'efecte hivernacle i pol·lució.
- Milloren les qualitat del servei i la seva fiabilitat.
- Son avantatjoses econòmicament respecte altres infraestructures elèctriques convencionals.

## 2.5. Recursos energètics distribuïts

### 2.5.1. Introducció als recursos energètics distribuïts

La generació distribuïda és aquella que es troba propera al consumidor final. Com que la tecnologia aplicada en cada cas de generació distribuïda, la potència instal·lada i l'emplaçament son diferents, no existeix una definició exacte. Es tracta doncs, de la generació d'energia a partir dels denominats microgeneradors, que aprofiten els recursos locals de la zona on estiguin ubicats. Sovint, els mateixos consumidors son responsables d'aquesta generació distribuïda, convertint-los en *prosumers*, concepte que engloba als agents que consumeixen i generen a la vegada.

La generació distribuïda pot estar connectada a la xarxa de distribució elèctrica, tant a baixa com a mitja tensió. Amb menys regularitat, apareixen aplicacions a la xarxa de transport, en punts on la gran exigència de potència pot ser alimentada amb una generació pròxima a la mateixa. Normalment però, la generació distribuïda forma part dels sistemes de baixa tensió ja que com s'ha mencionat anteriorment, la seva aplicació és totalment local. Finalment, el concepte de generació distribuïda també pot aparèixer en un sistema elèctric aïllat de la xarxa de distribució i transport, on el consum és cobert directament pels recursos energètics distribuïts de la zona. La potència d'aquestes instal·lacions de generació distribuïda varien de l'ordre de quilovats fins a megawatts. Tenint aquesta referència, es poden definir dos models de generació distribuïda, indicats a continuació:

*Generació distribuïda local:* plantes de generació que sorgeixen aquests últims anys, com ara els grans parcs eòlics i fotovoltaics. Aquest tipus de generació acostumen a tenir una elevada potència instal·lada, però sense arribar al nivell de les centrals convencionals.

*Generació distribuïda en el punt final:* instal·lar tecnologies tan de caràcter renovable com no al costat del consumidors finals d'energia. Instal·lacions de mini-eòlica, de suport fotovoltaic de baixa potència o generadors dièsel entre d'altres.

La introducció de l'energia local renovable aporta un valor afegit als sistemes energètics, proporcionant una millora en el rendiment econòmic i en l'eficiència energètica a tots els contribuents, als serveis públics i a les comunitats. El subministrament de l'energia elèctrica es veu millorat degut a la reducció de les pèrdues per distribució i transport que ascendeixen pràcticament al 10% dins del sistema elèctric convencional del que es disposa actualment. Es millora la seguretat energètica proporcionant una xarxa elèctrica més robusta i resistent, preparada a qualsevol tipus d'imprevist. Amb l'aprofitament del recurs local, el mateix consumidor pot participar en la venda d'energia, obtenint beneficis de l'intercanvi energètic. La generació distribuïda realitza un subministrament energètic en aquells llocs on la xarxa convencional no és una opció, i sovint representa beneficiària pel medi ambient ja que si es tracta d'una generació renovable es produeix una reducció d'emissions a nivell local [1].

La penetració de la generació distribuïda en el punt final de consum es tan elevada que neix un nou concepte innovador, que consisteix en la instal·lació de microgeneradors en els sistemes interns elèctrics d'empreses i llars domèstiques. És en aquest àmbit on la generació distribuïda i les microxarxes elèctriques domèstiques es troben.

### 2.5.2. Tecnologies aplicables en la generació distribuïda en microxarxes elèctriques

Quan es defineix el concepte de microrxarxa elèctrica en l'apartat 2.4 d'aquest projecte, es deixa constància de la variabilitat de la mida de la mateixa. És d'esperar doncs, que les tecnologies que s'utilitzen per la generació distribuïda en microrxarxes elèctriques també variïn fins a arribar a valors de l'ordre de megawatts. En la taula 2.5.1. apareixen recollides les principals tecnologies aplicables en l'àmbit de microxarxes elèctriques, i la potència disponible per unitat de tecnologia:

**Taula 2.5.1.** Tecnologies aplicables en l'àmbit d'una microrxarxa elèctrica [10]

Tecnologia	Potència disponible per unitat
Turbina de gas de cicle combinat	35-400 MW
Motor de combustió interna	5 kW-10 MW
Turbina de combustió	1250 MW

Microturbina	25kW-1 MW
Mini-hidràulica	1100 MW
Micro-hidràulica	25 kW-1 MW
Turbines eòliques	200 W-3 MW
Mòduls fotovoltaics	20 W-100 kW
Solar tèrmica - torre de concentració	1-100 MW
Biomassa	100 kW-20 MW
Geotèrmica	5-100 MW
Energia oceànica	100 kW-1 MW
Motor Stirling	210 kW
Emmagatzematge de bateria	500 kW- 5 MW

Ara bé, no totes son aplicables a l'escenari desenvolupat en aquest projecte, un escenari que té lloc en el sector residencial i que apunta al petit consumidor. Per tant, totes les tecnologies que tracten amb potències molt elevades com ara les turbines de gas de cicle combinat, les turbines de combustió i la torre de concentració solar tèrmica, d'entre d'altres, queden descartades. D'altra banda, és d'interès per al SGE tractar amb una generació distribuïda que, a més, sigui d'origen renovable. Aquesta última premissa redueix les tecnologies a tres candidates: Mòduls fotovoltaics, turbines eòliques i emmagatzematge a partir de bateries, aquest últim sent d'especial interès, que més endavant s'explicarà.

### 2.5.2.1. Turbines eòliques

Aquesta tecnologia aprofita la força del vent per moure un rotor a partir de les pales enclastades al mateix. L'energia eòlica aprofita l'energia cinètica existent en el vent, convertint-la en energia mecànica al fer girar el rotor, i aquest fa moure un eix solidari a un generador elèctric.


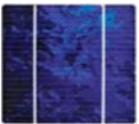

El grans generadors eòlics son considerats plantes centralitzades i remotes. Però si s'agafen sistemes eòlics de petita potència, aquests es poden fer servir en sistemes descentralitzats i locals. És el cas dels microgeneradors eòlics, utilitzats actualment com a generació distribuïda per a petits consumidors. A més, existeixen dos composicions d'aerogeneradors, segons si l'eix de rotació és vertical o horitzontal. Aquests últims tenen les característiques adequades per integrar-se satisfactòriament en entorns urbans, fet que els fa molt atractius per a aplicacions residencials.

Cal remarcar que la tecnologia eòlica és totalment dependent del recurs que la fa possible, el vent, i que aquest últim esdevé un paràmetre aleatori, i a priori, impredecible. Això fa que la producció d'electricitat no segueixi uns patrons en concret, sinó que es limiti a generar energia quan hi ha vent i a romandre apagat si no n'hi ha. És per aquesta raó que aquesta tecnologia entra dins el grup de les tecnologies no gestionables. Aquest últim factor porta a combinar aquesta tecnologia amb l'emmagatzematge d'energia elèctrica, per guanyar controlabilitat sobre el sistema.

### 2.5.2.2. Mòduls fotovoltaics

L'energia solar fotovoltaica consisteix en l'aprofitament de la radiació provinent del sol, convertint-la en energia elèctrica a partir de les denominades cèl·lules solars, formades principalment a partir de silici. Degut a que existeixen limitacions en els valors de tensió i corrent d'aquestes cèl·lules fotovoltaïques, s'agrupen en sèrie i paral·lel dins d'un dispositiu anomenat mòdul fotovoltaic per obtenir les característiques desitjades. Finalment, l'agrupació d'aquests mòduls juntament amb una estructura que els encapsula i la caixa de connexions formen un panell fotovoltaic, que és el producte final amb el que es comercialitza. Aquesta tecnologia genera electricitat en corrent continu, amb el que en el cas de de generar electricitat per a un sistema de càrregues en alterna, com és el cas d'un habitatge residencial, serà necessari un element convertidor de continua a alterna, l'inversor. Existeixen tres tipus de mòduls fotovoltaics més utilitzats, segons la composició de les cèl·lules solars utilitzades.

**Taula 2.5.2.** Tecnologies aplicables en l'àmbit d'una microxarxa elèctrica [5]

Cèl·lules		Característiques	Fabricació	Rendiment
	Monocrystal·lines	Estructura cristal·lina uniforme i connexions individuals de les cèl·lules entre sí.	Obtenció a partir del silici pur fos y dopat amb bor.	15-18%
	Policrystal·lines	Estructura cristal·lina no uniforme. Menor cost que el silici monocrystal·lí	Igual que en el monocrystal·lí, però es disminueix el número de fases de cristal·lització	12-14%
	Amorfes	Estructura no cristal·lina. La potència es degrada amb el temps d'utilització.	Es pot depositar en forma de làmina sobre diferents tipus de suport, és flexible.	< 10%

La tecnologia solar fotovoltaica apareix en instal·lacions remotes aïllades de la xarxa elèctrica, en grans instal·lacions fotovoltaïques, i cada vegada més en l'arquitectura sostenible, substituint tancaments existents. També apareix com a una tecnologia candidata a la generació distribuïda en

zones urbanes, gràcies a la possibilitat de construir estructures en les façanes i edificis de les ciutats. Aquesta tecnologia torna a presentar problemes d'aleatorietat i intermitència per la mateixa raó, i és que depèn de la radiació solar que arribar a la superfície de la terra en tot moment. Per tant, generarà electricitat exclusivament durant el dia, i tot i així pot ser que no hi hagi generació si la meteorologia no ho fa possible. Aquest últim factor porta a combinar aquesta tecnologia amb l'emmagatzematge d'energia elèctrica, per guanyar controlabilitat sobre el sistema.

### **2.5.3. Emmagatzematge distribuït d'energia elèctrica**

Com s'ha anat comentant en aquest darrer apartat,, cada cop és més elevada la penetració de les tecnologies renovables. Associat al caràcter d'aleatorietat i intermitència de la producció d'energia d'aquestes tecnologies, sovint es disposa d'energia excedent lliure de costos. És d'esperar que aquesta energia excedent es vulgui aprofitar ja que podria ser utilitzada en moments on la compra d'energia implica costos elevats. És en aquest espai on l'emmagatzematge d'energia elèctrica té un paper important. Pels consumidors, els sistemes d'emmagatzematge elèctric poden reduir els costos d'electricitat, ja que poden emmagatzemar electricitat comprada a preus baixos i fer-la servir en un altre moment del dia, substituint així l'energia més cara provinent dels generadors de cost elevat. I si a més, aquest consumidor és a la vegada productor d'energia a partir d'una generació distribuïda renovable, els benefici és major ja que, tal com es menciona anteriorment, l'energia produïda per aquestes fonts és considerada cost zero.

En una microxarxa elèctrica, els sistemes d'emmagatzematge elèctric desenvolupen una funció imprescindible, ja que doten a la microxarxa elèctrica d'un control i gestió energètica sobre si mateixa. Li dona flexibilitat sobre la xarxa elèctrica principal, i garanteix el funcionament de la microxarxa elèctrica en mode aïllat, ja que permet gestionar la generació distribuïda a través del temps. A més, permet reduir la demanda màxima i optimitzar el consums de la microxarxa elèctrica.

#### **2.5.3.1. Tecnologies d'emmagatzematge d'energia elèctric**

Entendre que l'emmagatzematge elèctric s'utilitza en un context on la demanda elèctrica no coincideix amb la generació és el primer pas per la implementació d'aquesta tecnologia. Més enllà d'aquest aspecte, cal considerar quina és l'aplicació exacta, i quina és la tecnologia disponible per a dur-la a terme. Abans d'escollir la tecnologia d'emmagatzematge elèctric, cal conèixer almenys els següents paràmetres que defineixen la situació tècnica, econòmica i ambiental de les diferents tecnologies:



- 1- Tipus d'aplicació
- 2- Mida de la tecnologia (densitat energètica, potència)
- 3- Estat de maduresa de la tecnologia
- 4- Dependència
- 5- Mobilitat
- 6- Cost econòmic de la tecnologia
- 7- Costos O&M
- 8- Vida útil de la tecnologia
- 9- Eficiència de la tecnologia
- 10- Impactes mediambientals

El temps de descàrrega d'un emmagatzematge elèctric, la potència, la vida útil i l'aplicació son algunes de les característiques tècniques que s'han de conèixer per escollir la tecnologia adequada. A la taula X es descriuen aquestes característiques:

**Taula 2.5.3.** Tecnologies aplicables en l'àmbit d'una microxarxa elèctrica [10]

Tecnologia	Estat comercial	Potència	Eficiència	Resposta	Temps de descàrrega	Vida útil	Aplicació
<b>Bombeig</b>	Disponible	100-4000 MW	72-81%	Ràpida	Ràpid	Gran	Turbinat/bombeig
<b>Volants d'inèrcia</b>	Disponible	<1600 kW	90-95%	Molt ràpida	Molt ràpid	Gran	Transició a mode illa
<b>Aire comprimit en reserves</b>	Disponible	100-1000 MW	Elevada	Ràpida	Ràpid	Gran	Càrrega en vall i descàrrega en punta
<b>Aire comprimit en dipòsits</b>	En desenvolupament	50-100 MW	Elevada	Ràpida	Ràpid	Gran	Càrrega en vall i descàrrega en punta
<b>Bateria de Plom-Àcid</b>	Disponible	1 kW-40 MW	Elevada	Ràpida	Ràpid	Limitada	Càrrega en vall i descàrrega en punta. Acoplat a renovables
<b>Bateria de Niquel-Cadmi</b>	Disponible	1 kW-40 MW	Elevada	Ràpida	Ràpid	Limitada	Càrrega en vall i descàrrega en punta

<b>Hidrogen (Pila de combustible)</b>	En proves	<250 kW	Elevada	Ràpida	Ràpid	Limitada	Càrrega en vall i descàrrega en punta
<b>Hidrogen (motor)</b>	Demostració	<2 MW	Elevada	Ràpida	Ràpid	Limitada	Càrrega en vall i descàrrega en punta
<b>Superconductors magnètics (SMES)</b>	Prototips	10 kW-100 MW	Molt elevada	Molt ràpida	Molt ràpid	Gran	Transició a mode illa
<b>Supercondensadors</b>	Prototips	10 kW-1 MW	Molt elevada	Molt ràpida	Molt ràpid	Gran	Transició a mode illa

En aquesta taula queden agrupats les principals tecnologies d'emmagatzematge elèctric. Existeixen tecnologies que tenen capacitats de l'ordre de milers de megawatts, i que per tant, esdevenen útils en sistemes energètics de gran potència. És el cas del bombeig d'aigua o de l'aire comprimit en reserves. A la vegada, aquestes dues tecnologies estan limitades per la localització on es troben, ja que son explotades directament allà on es troba el recurs energètic. D'altra banda, al tractar-se de recursos energètics disponibles en grans quantitats, la seva vida útil es considerada molt elevada. Altres tecnologies com els superconductors magnètics i supercondensadors estan en una fase d'anàlisi de prototips, i per tant no es troben àmpliament comercialitzats perquè encara tenen marge de millora.

Tecnologies que encaixen més dins de l'àmbit de microxarxes elèctriques residencials son el diferents tipus de bateries. Les bateries son dispositius d'emmagatzematge d'energia química que son capaços d'emmagatzemar aquesta energia en reactius químics que generen càrregues. Es consideren actualment la tecnologia més utilitzada d'entre totes les ESS. En la taula es troben explicades les bateries de plom – àcid, que son les bateries més utilitzades al costat de la generació renovable, i les de níquel – cadmi.

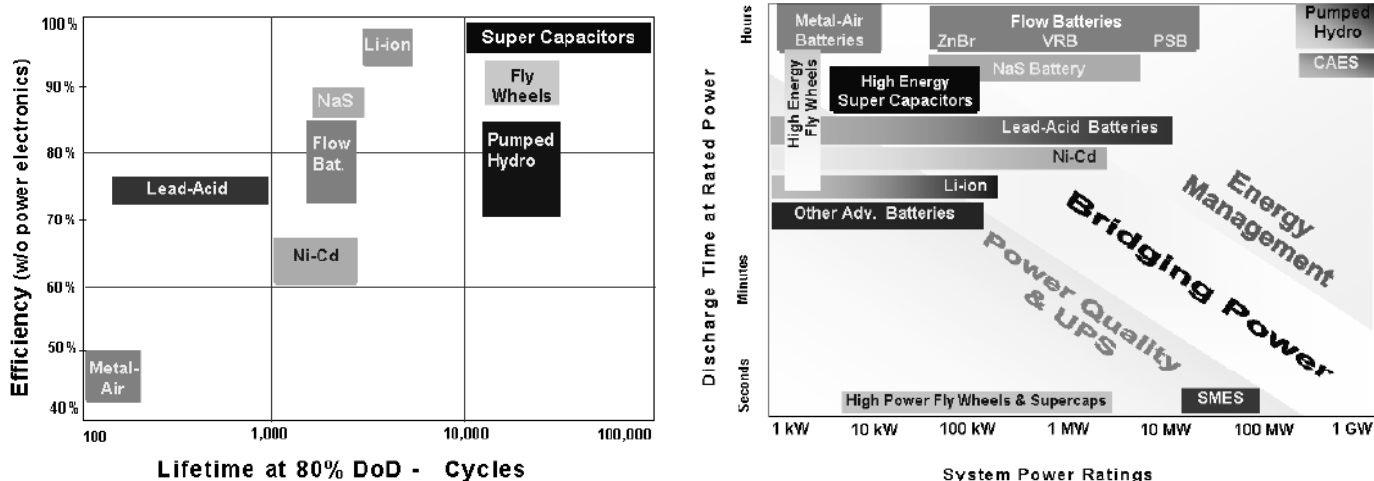


Figura 2.2. Característiques tècniques de les tecnologies d'emmagatzematge elèctric[12]

La vida útil de les bateries ve limitada pel número de cicles de càrrega i descàrrega produïts durant la utilització de la mateixa, i inclús l'edat de la bateria té un impacte directe en la seva eficiència, reduint-la a mesura que passa el temps. És per això que el número de cicles de càrrega i descàrrega és un paràmetre que es té en compte en l'elecció de la tecnologia. Els supercondensadors, el bombeig i els volants d'inèrcia encapçalen el llistat de tecnologies d'emmagatzematge amb la possibilitat de realitzar més cicles de càrrega i descàrrega, amb més de 10.000. Seguidament els acompanyen les bateries, que majoritàriament poden realitzar entre 1.000 i 5.000 cicles, menys les de plom-àcid, que normalment poden realitzar menys de 1000 cicles de càrrega i descàrrega abans de veure perjudicada la vida útil de la bateria.

El temps de descàrrega és un dels paràmetres més caracteritzadors, ja que et donen una idea de quant temps pots disposar de la tecnologia en funcionament, i per tant, determinar per a quina aplicació s'utilitza. Aquest temps de descàrrega pot ser de qüestió de segons, com en el cas dels volants d'inèrcia destinats a subministrar una gran quantitat de potència en temps molts curts, o d'hores, com és el cas del bombeig hidràulic.

Aquest temps de descàrrega sovint defineix quina és l'aplicació de cada tecnologia. En el cas del volant d'inèrcia, es desitja una millora en la qualitat de la potència, i en el cas del bombeig hidràulic es desitja un subministrament d'energia regulat i continu en el temps. En una microxarxa elèctrica, la tecnologia d'emmagatzematge elèctric ha de desenvolupar un paper de gestió de l'energia, fet que comporta disposar de tecnologies amb un temps de descàrrega d'entre minut i hores.

### 3. Normativa legal per a la confecció del projecte

Aquest apartat recull la normativa que es segueix, es fa referència o s'aplica durant el desenvolupament d'aquest document, o en el cas que s'apliqués l'enginyeria de concepció desenvolupada en aquest projecte, s'hauria de recórrer a aquest documents legals i normes per a la correcte implementació. En aquest apartat només es mencionen i es defineixen breument aquestes normes i real decrets.

#### 3.1. Normativa ISO 50001

Aquest avantprojecte es desenvolupa dins del marc normatiu de la normativa internacional ISO 50001. Aquesta normativa es crea amb l'objectiu de millorar l'eficiència energètica dels sistemes i processos energètics dins d'una organització, regulant-ne l'ús i el consum de la mateixa. La normativa ISO 50001 està destinada a la reducció les emissions dels gasos d'efecte hivernacle, d'altres impactes ambientals, i dels costos energètics a través de la implementació d'un sistema de gestió d'energia (SGE).

A l'hora de dissenyar el sistema de gestió en aquest document, es seguirà el cicle de millora continua plantejat en la ISO 50001, on es realitza un procés de 4 fases: Planificar, Fer, Verificar i Actuar.

#### 3.2. UNE-EN-16247

La norma UNE-EN-16247 recull els mètodes i procediments a seguir per a la realització d'auditories energètiques en tota mena de processos i edificis. Estableix els requisits que ha de tenir una auditoria energètica per a que, al ser realitzada a diferents tipus d'organitzacions, es pugui descriure els punts claus on es pot influir per a la millora de l'eficiència energètica la promoció de l'estalvi energètic i la reducció de les emissions de gasos d'efecte hivernacle.

En aquest document, en l'apartat d'enginyeria de la concepció, es realitza una auditoria energètica prèvia al disseny d'un sistema de gestió d'energia que seguirà els mètodes i procediments d'aquesta norma.

#### 3.3. Real Decret 244/2019

En el Real Decret 244/2019 es regulen les condicions administratives, tècniques i econòmiques de l'autoconsum d'energia elèctrica. Donat que en la microxarxa elèctrica domèstica definida en aquest

projecte consta d'un element de generació que promourà l'autoconsum, és necessari definir el marc legal d'aquest autoconsum.

### **3.4. Real Decret 1699/2011**

En el Real Decret 1699/2011 es regula la connexió a la xarxa elèctrica de les instal·lacions de producció d'energia elèctrica de petita potència.

### **3.5. Reglament electrotècnic de Baixa Tensió. REBT**

En el Reglament Electrotècnic de Baixa Tensió es recullen les condicions tècniques y garanties que han de reunir les instal·lacions elèctriques connectades a una font de subministrament en els límits de baixa tensió. Dins d'aquest reglament, es recullen una sèrie d'instruccions tècniques complementaries (ITC), que dictaminen com escollir el tipus de cablejat i quines proteccions s'han de contemplar en una instal·lació interior o receptora (ITC-BT-19 i ITC-BT-24).

## 4. Enginyeria de concepció

### 4.1. Sistema de gestió d'energia

En aquest apartat es desenvolupa un algoritme per a la implementació d'un sistema de gestió d'energia (SGE) per edificis de l'àmbit residencial ja existents. La norma ISO 50001, en la que s'estableix una sèrie de processos i directrius per implementar un sistema de gestió d'energia, estableix un cicle tancat que es basa en l'enfoc PHVA ( Planificar, Fer, Verificar i Actuar). Aquest cicle promou la millora continua de l'eficiència energètica d'un procés o sistema. Aquest algoritme es durà a terme prenent com a base aquest procediment, que consta dels següents punts o fases:

- **Planificar:** Es defineixen els objectius i plans d'acció necessaris per millorar l'eficiència energètica dels sistemes, i es realitza la revisió energètica.
- **Fer:** S'implementen els plans d'acció definits anteriorment que gestionen l'energia.
- **Verificar:** Es realitza un seguiment i mesura del sistema energètic per analitzar els resultats i comprovar si s'està obtenint la millora energètica esperada.
- **Actuar:** Es prenen accions per millorar de forma continua el sistema energètic, tenint en compte els resultats obtinguts en la fase de verificació.

A continuació es defineix el procés que es segueix dins de cada fase, tenint en compte que l'àmbit d'aplicació d'aquest algoritme és una tipologia d'edifici que es caracteritza principalment per ser residencial unifamiliar.

#### 4.1.1. Planificar

Inicialment, s'establiran les polítiques energètiques sota les quals el SGE es dissenyarà, i es farà una revisió energètica on s'haurà de realitzar un anàlisi de l'ús i consum de l'energia a partir de mesures, identificant les fonts d'energia actuals i proposar-ne de noves. En general, s'haurà d'identificar el paper i importància de cada instal·lació, equip i procés que tingui a veure amb el desenvolupament energètic de l'habitatge, i fer un anàlisi de les oportunitats de millora de l'eficiència energètica dins d'aquest sistema analitzat.

#### **4.1.2. Fer**

És en aquest punt del cicle on s'implementen les millores energètiques i canvis en aquells processos i sistemes que son els responsables d'una mala gestió energètica i per tant d'un alt consum de l'organització. S'identifiquen aquelles operacions i activitats relacionades amb l'ús significatiu de l'energia i s'estableixen criteris energètics que millorin el seu funcionament. En aquesta segona fase del SGE es dissenya el sistema energètic amb el que es vol treballar, que en aquest cas tindrà com a marc físic una microxarxa elèctrica domèstica, a partir de la qual s'introduiran elements de generació, emmagatzematge elèctric i estratègies de gestió de l'energia.

#### **4.1.3. Verificar**

En aquesta fase es realitza un seguiment del funcionament de l'habitatge, a partir de la presa de mesures i anàlisi de les dades extretes. Es tracta de verificar si les operacions que es destinen a la millora del sistema efectivament fan augmentar l'eficiència energètica. Com que es tracta d'un avantprojecte, es realitza una simulació del sistema energètic millorat mitjançant l'ús d'un software per obtenir resultats orientatius de quin impacte tenen els canvis realitzats. Aquests resultats s'analitzen i s'extreuen les conclusions pertinents.

#### **4.1.4. Actuar**

A partir d'aquest informe de resultats, es decideix si és necessari emprendre canvis en les polítiques energètiques o en el mateix SGE per a la millora continua del desenvolupament energètic de l'habitatge. Per tant, es pot decidir tornar a realitzar una revisió energètica més exhaustiva per trobar possibles defectes que en una primera revisió no s'havien detectat; es poden fer noves propostes de millora de l'eficiència energètica un cop analitzades les primeres propostes; o es pot donar el cas que els resultats no compleixin amb les polítiques energètiques plantejades a la fase de Planificació i per tant s'hagi de començar des del principi, replantejant els objectius.

#### **4.1.5. Diagrama de flux del SGE**

El sistema de gestió que es vol implementar en aquest projecte queda definit en el diagrama de flux de la figura 4.1, englobant les quatre fases explicades anteriorment.

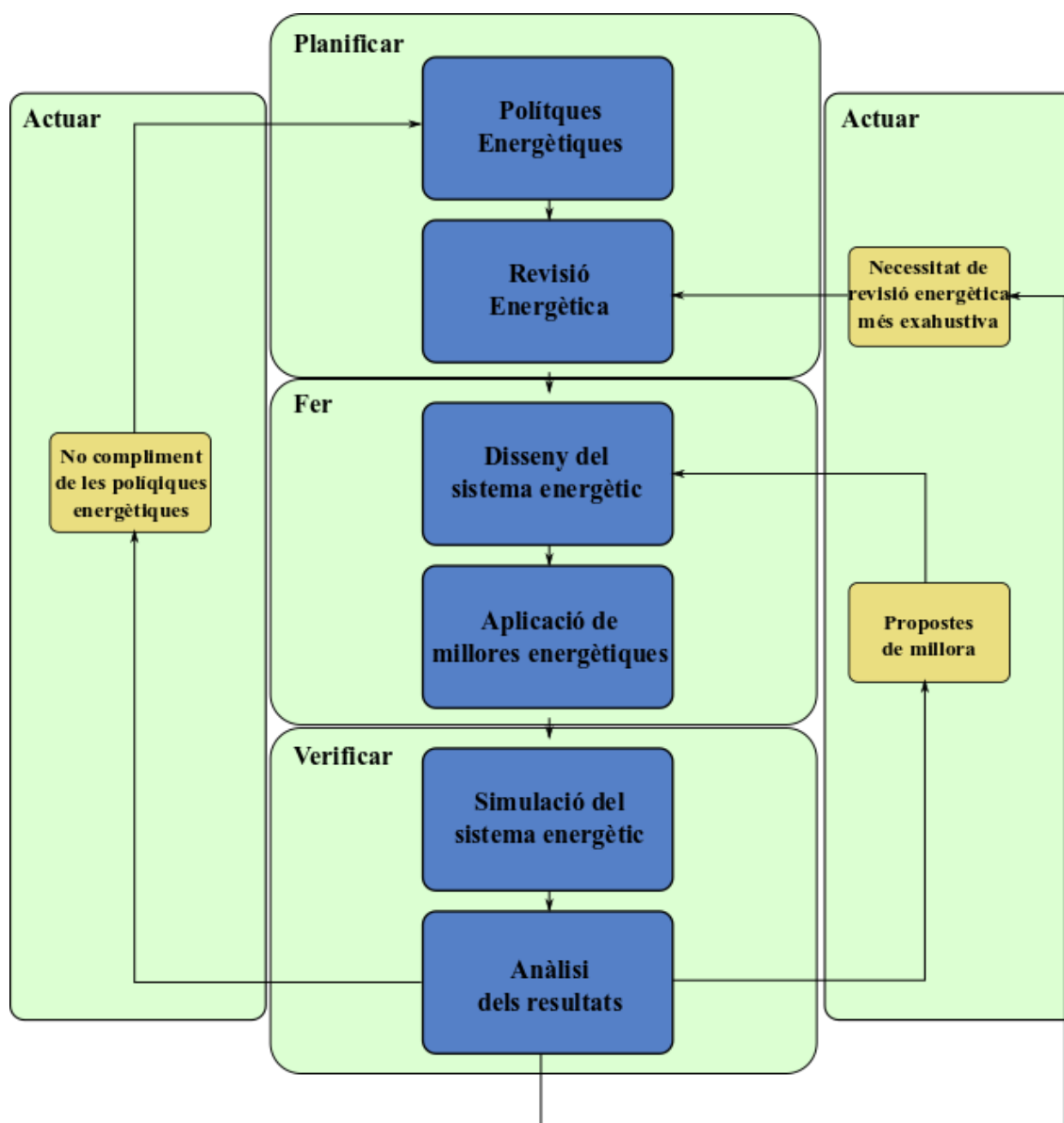


Figura 4.1. Característiques tècniques de les tecnologies d'emmagatzematge elèctric[Font pròpia]

## 4.2. Planificació energètica

### 4.2.1. Polítiques energètiques

La política energètica estableix el compromís de la organització per aconseguir una millora en l'àmbit energètic, econòmic i ambiental. En concret, l'objectiu de l'enginyeria de concepció desenvolupada en aquesta memòria és trencar amb el model energètic actual, que es basa en una generació dominada pels combustibles fòssils, i on la producció d'energia és completament centralitzada.



És a través del concepte de microxarxa elèctrica amb el que s'introdueix la importància de l'eficiència energètica en els sistemes i processos energètics. La implementació d'una microxarxa elèctrica porta a l'apropament de la producció elèctrica als usuaris finals, amb iniciatives de caràcter renovable. L'ús de recursos energètics renovables és necessari per reduir les emissions de gasos d'efecte hivernacle que són perjudicials pel medi ambient. Finalment, es vol transmetre el concepte d'autogestió de l'energia, on consumidors finals tenen les eines i prenen decisions respecte la generació, consum, compra i venda de l'energia, portant a una participació més activa de la ciutadania.

#### 4.2.2. Revisió energètica

La norma ISO 50001 proclama que a la fase de planificació de la implementació d'un sistema de gestió d'energia s'ha de realitzar una revisió energètica, a partir de la realització d'una auditoria energètica dels sistemes i processos energètics subjectes d'interès. A continuació es descriu el procés de revisió energètica que es proposa per a aquest sistema de gestió d'energia, seguint amb els passos descrits a la normativa UNE-EN-16247.

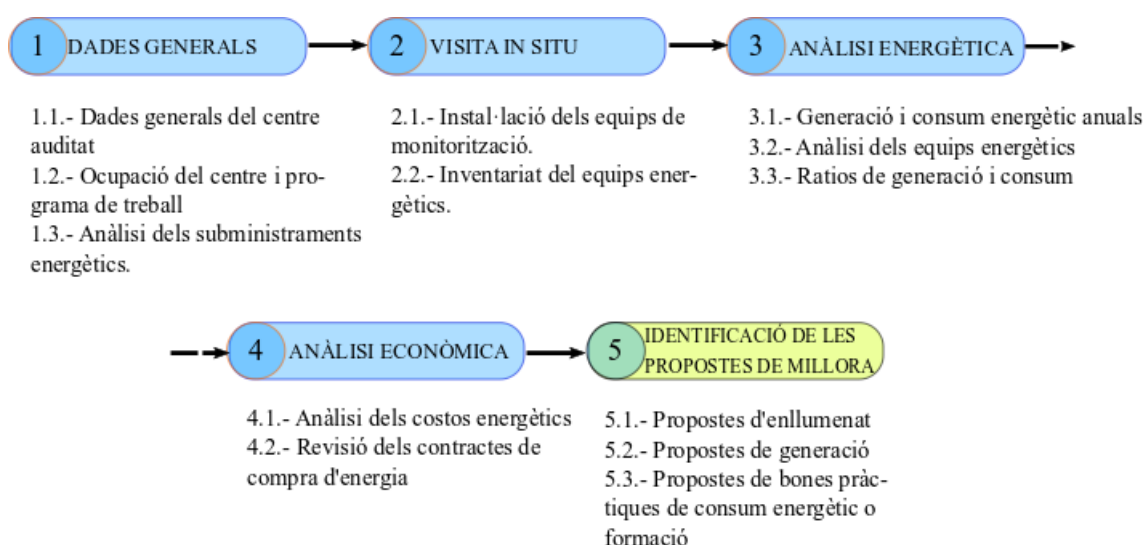


Figura 4.2. Revisió energètica plantejada per l'habitatge[Font pròpia]

##### 4.2.2.1. Dades generals

Es tracta de la fase on es recull la informació imprescindible per portar endavant l'auditoria energètica. Es recull en un document les dades d'identificació de l'organització a la que se li està realitzant la auditoria, les dades de localització de l'edifici auditat, les característiques tècniques de l'edifici. També es defineix l'objectiu i abast de l'auditoria energètica, així com la metodologia que es durà a terme.

#### 4.2.2.1.1 Dades generals del centre auditat

Les dades generals son la primera informació que s'ha de recollir i inclouen com a mínim la ubicació, l'activitat, els usos de l'establiment i el sector del centre auditat. El coneixement de l'activitat i el sector permet comparar els resultats obtinguts a l'auditoria energètica amb la d'altres centres del mateix sector o de característiques similars.

#### 4.2.2.1.2 Ocupació del centre i programa de treball

S'ha de conèixer l'ocupació del centre, és a dir, qui hi treballa i/o resideix i quina operativitat desenvolupen durant les diferents èpoques de l'any i moments del dia. El programa de treball permet conèixer com es distribueix el temps de funcionament del centre i dels equips. Indica quins dies i quantes hores al dia es troba operatiu el centre i els equips energètics del mateix. Es necessari saber quan estaran en funcionament els equips productors i consumidors d'energia per tal de determinar quins moments hi haurà puntes i valls de consum d'energia.

#### 4.2.2.1.3 Anàlisi dels subministraments energètics

Es defineixen el subministraments energètics de l'edifici o procés analitzat. Aquests subministraments son principalment l'energia elèctrica, els combustibles i la possibilitat de l'existència d'autoproducció dins del mateix sistema energètic:

##### a.- Energia elèctrica.

- Esquema unifilar actualitzat del sistema energètic.
- Contractació: companyia comercialitzadora i distribuïdora i condicions contractuals de compra i venda.
- Consum: Potència instal·lada, corba de càrrega diària, setmanal i dades 12 mesos anteriors.
- Cost dels diferents conceptes facturats i la seva evolució durant els últims 12 mesos.

##### b.- Combustibles.

- Tipus de subministrament: canalitzat, per descàrregues o generat per la pròpia instal·lació.
- Contractació: companyia comercialitzadora i distribuïdora i condicions contractuals de compra i venda.
- Consum: Evolució de l'ús del combustible durant 12 mesos.
- Cost dels diferents conceptes facturats i la seva evolució durant els últims 12 mesos.

##### c.- Autoproducció d'energia.

- Tipus d'instal·lació d'autoproducció.
- Producció: Evolució de la generació dels elements d'autoproducció els últims 12 mesos.
- Contractació: Condicions contractuals de la venda de l'energia produïda

- Determinació d'autoconsums i excedents.

#### 4.2.2.1.4 Consums energètics anteriors

Un cop es disposa de la informació dels consums d'energia del darrer període d'interès (mesos, anys), s'analitzen les dades i s'extreuen conclusions. Estudiar els històrics de consum del centre porta a entendre quina és la dinàmica de funcionament del mateix, i per tant, si hi ha alguna irregularitat es pot detectar. Els resultats extrets d'aquest anàlisi solen estar enfocats a les diferències de consums energètics de grans períodes.

#### 4.2.2.2. Visita in situ

Un cop s'adquireixen les dades principals, es pot procedir a la visita de l'equip tècnic al centre. Principalment es realitza aquesta visita per fer un recopilatori d'informació sobre els equips i processos energètics. A més, s'aprofita per instal·lar els equips de monitorització i mesura necessaris per a les següents fases de l'auditoria energètica, si és que el mateix edifici o organització no disposen dels mateixos.

##### 4.2.2.2.1 Instal·lació dels equips de monitorització i mesura

L'equip tècnic instal·la els equips de monitorització de l'energia en els punts d'interès del centre auditat. S'utilitza un equip que monitoritza remotament a temps real, i que disposa d'una aplicació web d'on es poden veure i utilitzar les dades recopilades. Aquest mesurament, per norma general, té tres objectius:

- Verificar o contrastar les dades facilitades.
- Obtenir les dades de les quals no disposen els responsables del centre auditat.
- Obtenir el perfil real de consum energètic o generació energètica per a una anàlisi més profunda del sistema energètic.

La qualitat de les dades mesurades tindrà una influència directa en la precisió dels resultats. Per tant, la selecció del mètode d'obtenció de dades es determinant en una auditoria energètica. Per assegurar una bona presa de dades s'haurà de:

- Tenir en compte el període de temps entre cada mesura. Pot ser des d'obtenció de registres en continu o puntuals.
- Escollir quins elements i equips s'utilitzen per al mesurament. L'elecció de la tecnologia de sensors i equips marcarà una diferència notòria.

És imprescindible doncs, que l'equip tècnic que visita les instal·lacions tingui les competències necessàries per realitzar la instal·lació dels equips de mesura i monitorització.

#### 4.2.2.2 Inventari dels equips energètics

Es realitza una recopilació de tots els elements i equips que participin en els processos energètics del centre. Per tant, s'ha d'identificar els grans equips consumidors i transformadors d'energia. De cada un d'aquests equips, s'ha de disposar de les característiques energètiques principals ja que seran de gran ajuda per a l'anàlisi energètica del centre.

#### 4.2.2.3. Anàlisi energètica

És en aquesta fase de l'auditoria en la qual es disposa de suficient informació del sistema energètic auditat per començar a realitzar un anàlisi exhaustiu de tots els processos energètics que tenen lloc al centre. L'objectiu d'aquest anàlisi energètica és identificar on es troben les diferents deficiències i problemes que fan que el consum energètic del centre sigui més elevat del que hauria de ser, i trobar quins són els equips i fluxos energètics que fan menys eficient el sistema.

Ha de definir:

- Generació i consum energètics anuals, segons monitorització i dades recopilades
- Costos associats anuals a aquesta generació i consum
- Balanç energètic dels consums anteriors per equips
- Perfil temporal de l'ús dels equips
- Ratis de generació i consum específics que siguin significatius

S'ha d'alimentar de:

- Dades generals, factures, monitorització

##### 4.2.2.3.1 Anàlisi dels equips energètics

Amb l'inventariat dels equips realitzat a la visita al centre i amb l'ajuda de la monitorització instal·lada s'extreuen les característiques de funcionament de cada un dels equips del centre. És una manera clara de detectar qualsevol deficiència o irregularitat en el comportament dels equips ja que s'estudien per separat, discriminant el seu consum energètic. Els resultats extrets d'aquest anàlisi donen informació exacte sobre quin és el problema del sistema energètic.

##### 4.2.2.3.2 Perfil de consum energètic i de generació energètica

L'acció de mesurar el consum energètic de centre amb els equips de monitorització instal·lats durant la visita aporta una base de dades del que passa pràcticament en cada moment al centre auditat. Amb aquestes dades es poden extreure les corbes de perfil de consum i generació de cada període de l'any i del dia. Amb aquesta quantitat d'informació es poden veure els moments punta i els

moments vall de consum, i d'allà extreure'n conclusions tant energètiques com econòmiques per realitzar propostes de millora adequades.

#### **4.2.2.4. Anàlisi econòmica**

La realització d'un estudi econòmic de l'impacte que té actualment el centre auditat resulta important per saber quina despesa té actualment i quin pot arribar a ser el marge de recuperació si s'apliquen millores. El primer pas és definir quin és l'escenari econòmic del centre auditat, que dependrà de quin tipus de centre és i en quina localització es troba, d'entre d'altres aspectes.

En l'escenari econòmic es defineixen els preus de l'energia elèctrica, els preus d'altres recursos energètics que s'utilitzen al centre, preus de referència d'operació i manteniment. Aquests preus són els que porten a uns costos energètics, que són aquells costos associats a les energies comprades i els mitjans necessaris per disposar-ne d'elles. En general, els costos energètics aniran associats a les energies finals, que són les que s'adquireixen normalment a les companyies comercialitzadores com l'electricitat i el gas natural o a les empreses de serveis energètics per energies com l'aigua calenta i la freda.

Els costos de l'electricitat es poden desglossar en costos fixos i variables. Els costos fixos corresponen a la potència contractada i es facturen mensualment. Estan regulats a través de les tarifes d'accés. Cal tenir en compte que aquests costos no depenen del consum, però que poden variar en cas d'instal·lar o variar equips, ja que es pot haver d'ampliar o reduir la potència contractada. Els costos variables són directament atribuïbles a l'energia consumida en cada període. Inclouen els costos d'electricitat i les tarifes d'accés, i cal tenir en compte les possibles variacions en la seva distribució, ja que el preu de l'electricitat depèn de l'hora del dia i del mes en què es consumeixi.

Els costos de l'energia no són únicament els corresponents als consums energètics sinó que també s'han de tenir en compte els costos d'operació, de manteniment, de substitució, mediambientals, etc.

#### **4.2.2.5. Identificació de les propostes de millora**

Aquesta fase es completament dependent de l'anàlisi energètica i econòmica realitzat prèviament. És a dir, depenent de quins són els problemes detectats, la corba de consum que té el centre i altres característiques, les propostes de millora seran unes o unes altres.

Generalment però, hi ha una sèrie de propostes que són comunes ja que tenen a veure amb l'estalvi d'energia, que sempre és benvingut en una situació de millora energètica. El canvi de l'enllumenat halogen per enllumenat LED és una recomanació que depenent de la grandària del centre pot marcar una gran diferència del consum elèctric. D'altra banda, el canvi dels equips electrònics que estan

defectuosos o simplement vells també és recomanable ja que proporcionaran una millora en els processos que desenvolupin.

Propostes d'instal·lacions de fotovoltaica, eòlica i inclús sistemes d'emmagatzematge també es realitzen cada cop amb més regularitat, però impliquen una inversió econòmica elevada.

Ara bé, quan es tracta de la implementació d'un sistema de gestió d'energia, l'aplicació de millores energètiques esdevé més personal i dependent del sistema energètic estudiat. L'aplicació d'estratègies dependran totalment del seu desenvolupament energètic, i per tant algunes d'aquestes seran aplicables en alguns casos i en altres no. Exemples d'estratègies que es poden aplicar son el *Peak Shaving*, *Load Shedding*, *Feed-in-tariff*, d'entre d'altres.

Objectius de les propostes de millora:

- Reducció del consum, bé de consum final o de energia primària.
- La reducció del cost associat al consum energètic
- La diversificació de l'energia consumida cap a formes més barates, netes, i de menor impacte ambiental, augmentant l'eficiència en el consum final.
- Augment de l'eficiència o reducció del consum específic
- Ús de la implementació de millors tecnologies econòmicament viables
- En cas de generació d'energia, augment de la producció, augment del rendiment, disminució de pèrdues

Desenvolupament de les millores:

- Descripció de quines millores s'apliquen i per què
- Estalvi energètic previst

## 4.3. Disseny de la microxarxa elèctrica

### 4.3.1. Composició de la microxarxa elèctrica

En aquest apartat es defineix l'estructura de la microxarxa elèctrica i es proposen les configuracions més comunes que pot adoptar. S'identifiquen les diferents fonts de generació i consum que participen en l'intercanvi d'energia i els elements convertidors necessaris per fer-ho possible.

#### 4.3.1.1. Càrregues

Les càrregues son els punts de la demanda elèctrica de la microxarxa. Es poden definir diferents grups segons el tipus de gestió que se'ls hi pugui aplicar:

**Càrregues no controlables o crítiques:** Son aquelles que no poden ser incloses a la resposta de la demanda automatitzada, ja que estan relacionades directament amb la necessitat bàsica dels usuaris finals, com per exemple l'enllumenat o els aparells de cuina. Correspon a la demanda elèctrica que ha de ser subministrada instantàniament i no es pot desplaçar en el temps sota cap circumstància, ni ser posposada.

**Càrregues variables:** Son aquelles que el seu consum energètic depèn d'un paràmetre que pot variar, com per exemple l'aire condicionat o els escalfadors d'aigua. Per tant, en moments on el consum és elevat, aquests paràmetres seran automàticament modificats per a que hi hagi una reducció en l'ús de l'energia d'aquests elements.

**Càrregues** que es poden interrompre durant un període curt i en diferents moments del seu cicle de treball. Dins d'aquest grup també s'inclouen l'aire condicionat i els escalfadors d'aigua.

**Càrregues desplaçables:** Son aquelles que es poden fer servir en un altre període del dia i per tant el seu cicle de treball pot ser anticipat o posposat. És el cas de la rentadora.

Les càrregues son un element exclusivament de consum, per tant el seu flux de potència es unidireccional i en direcció a aquestes mateixes.

#### **4.3.1.2. Generador fotovoltaic**

El generador fotovoltaic és l'element de generació distribuïda característic de moltes microxarxes elèctriques. Està compost per un conjunt de mòduls fotovoltaics, el número d'aquests depenen de la mida del sistema energètic i de la disponibilitat física d'instal·lar-los. Per dissenyar un generador fotovoltaic es necessiten els següents paràmetres:

- Factors ambientals com la irradiància, radiació solar i temperatura ambient de l'emplaçament del generador fotovoltaic.
- Valors tècnics del mòdul fotovoltaic; l'eficiència, la potència nominal, l'àrea de captació, el NOCT (Temperatura nominal d'operació de la cèl·lula).
- Valors d'orientació i inclinació dels mòduls fotovoltaics.

El generador fotovoltaic és un element unidireccional que només produeix electricitat i en cap cas la consumeix, per tant el seu flux de potència serà unidireccional i en direcció a les càrregues, a la bateria o a la xarxa elèctrica de distribució.

#### **4.3.1.3. Punt de connexió amb la xarxa de distribució**

Aquest punt de interconnexió correspon a aquell de la microxarxa elèctrica que la connecta amb la xarxa de distribució general. En altres ocasions aquest punt es pot anomenar Punt d'Acoblament

Comú (PCC, Point of Common Coupling). El flux d'energia estarà regulat per una tarifa amb dos termes principals. El primer d'ells és una variable fixe que depèn de la capacitat o potència contractada a l'operador de mercat o comercialitzadora. El segon terme és variable en el temps i depèn de la quantitat d'energia que la demanda elèctrica de la microxarxa demani a la xarxa de distribució. El flux de potència serà bidireccional, amb la possibilitat de la xarxa de distribució d'alimentar a la microxarxa elèctrica, o per contra, si existeix energia sobrant poder-la injectar a la xarxa de distribució a canvi d'un profit econòmic pels propietaris de la microxarxa.

#### **4.3.1.4. Sistema d'emmagatzematge elèctric**

Un conjunt de bateries doten a la microxarxa d'emmagatzematge elèctric, que es carregaran en moments on la demanda i el preu es baix, i es descarregaran quan la demanda i el preu de l'electricitat sigui elevat, aconseguint així una millora econòmica en la factura de l'electricitat.

Les bateries hauran d'estar degudament emplaçades i protegides d'agents exteriors que les puguin perjudicar, com ara l'impacte directe del sol. Els paràmetres necessaris per dissenyar el conjunt de bateries per una microxarxa son els següents:

- Eficiència de la bateria (Factors de càrrega i descàrrega)
- Capacitat nominal de la bateria
- Número màxim de cicles
- Potència instantània màxima de càrrega i descàrrega
- Profunditat de descàrrega de la bateria (DOD, Depth of Discharge)

La bateria és una font bidireccional d'energia perquè genera i consumeix segons si es descarrega o es càrrega respectivament.

#### **4.3.1.5. MicroGrid Central Controller**

El centre de control de la microxarxa coordina tots els elements de generació i consum definits anteriorment, decidint en cada moment quins d'ells entren en acció i en quina mesura. Té connexió a tots els controladors locals de la microxarxa, i gestiona els fluxos de potència, a la vegada que pren decisions a partir del que dicta la xarxa de distribució, que és qui posa els preus de l'electricitat de compra i venda a la mateixa.

#### **4.3.1.6. Configuracions de la microxarxa elèctrica**

A continuació, es mostren les diferents configuracions que poden adoptar les microxarxes domèstiques, segons el tipus de càrregues i convertidors d'energia que tenen.



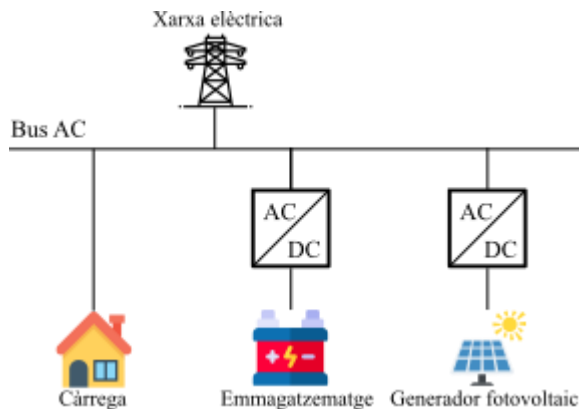


Figura 4.3. Configuració de la microxarxa amb dos inversors[Font pròpia]

La microxarxa elèctrica mostrada a la figura 4.3 té un inversor per la generació distribuïda i un inversor carregador per l'emmagatzematge elèctric.

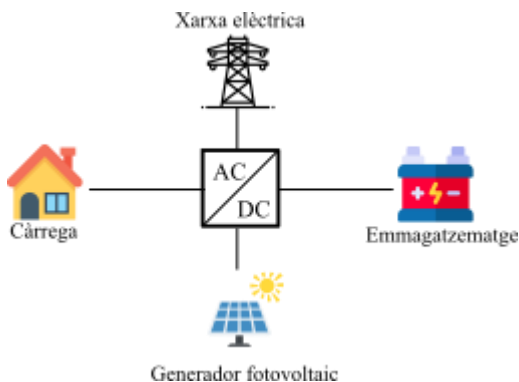


Figura 4.4. Configuració de la microxarxa amb un ondulador híbrid[Font pròpia]

En el cas de la figura 4.4 un sol element convertidor és capaç de gestionar tota la microxarxa elèctrica. Aquest element és l'**ondulador híbrid**, que no deixa de ser un inversor amb més d'un port per poder connectar les bateries, el generador fotovoltaic, les càrregues i la xarxa elèctrica.

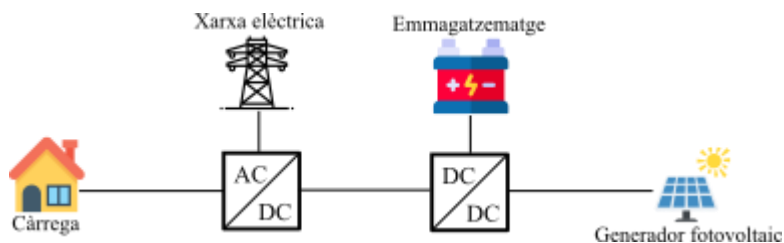


Figura 4.5. Configuració de la microxarxa amb un inversor i un regulador de càrrega[Font pròpia]

En la configuració de la figura 4.5 s'utilitza un regulador de continua per controlar els fluxos de potència de la bateria i el generador fotovoltaic. Segueix havent-hi un inversor per a la conversió a corrent alterna.

La configuració s'escollirà en funció de com es dissenyi el sistema i de quins equips comercials s'agafin per a la conversió d'energia elèctrica.

### 4.3.2. Disseny de l'HEMS

L'HEMS (Home Energy Management System) ha de resoldre els aspectes energètics de la microxarxa elèctrica, d'entre ells la implementació dels diferents modes d'operació i els fluxos de potència que tenen lloc entre els elements que la componen. Aquestes decisions han d'anar d'acord amb les polítiques energètiques establertes. A més, ha de tenir en compte el programa econòmic i ha de procurar optimitzar-lo en la mesura del possible.

Aquesta gestió es du a terme pel centre de control de la microxarxa (MGCC), que rep i envia senyals als controladors locals de cada component, i a la vegada, el MGCC rep inputs exterior provinents del sistema de control de la xarxa de distribució a la que la microxarxa està connectada. Aquesta distribució de control porta a una estructuració de la microxarxa elèctrica en tres nivells de gestió: Nivell operacional, tàctic i estratègic.

**Nivell operacional:** Correspon a la capa de control local de la microxarxa elèctrica. Esta composta per les proteccions i pels controls locals dels diferents elements. Els controladors locals realitzen la regulació primària de tensió i freqüència de la generació distribuïda, mentre que les proteccions locals proveeixen d'una protecció ràpida i eficaç contra els errors detectats y produïts en la microxarxa elèctrica.

**Nivell tàctic:** Correspon a la capa de control centralitzada de la microxarxa elèctrica. Gestiona centralment la generació distribuïda, l'emmagatzematge elèctric i les càrregues. S'encarrega de controlar els fluxos de potència que tenen lloc a la microxarxa elèctrica, decidint en temps real quins elements participen per tal d'obtenir el millor rendiment possible de l'intercanvi energètic. A més, s'ocupa de la transició entre mode aïllat o connectat a la xarxa de distribució. També monitoritza i controla la microxarxa de forma completa.

**Nivell estratègic:** Correspon a la capa de control estratègic, sent aquesta la capa amb més poder de decisió dins del sistema de gestió energètic. Es prenen decisions per a la millora econòmica del sistema, tenint en compte les tarifes i regulacions imposades per la xarxa de distribució i/o la comercialitzadora.

#### 4.3.2.1. Control estratègic

En aquest apartat es defineixen les estratègies utilitzades en l'HEMS dissenyat, tenint en compte principalment el seu impacte econòmic en el funcionament de la microxarxa elèctrica.

##### 4.3.2.1.1 Tarifació contractada a la comercialitzadora

El propietari de l'habitatge residencial haurà de contractar un tarifació especial amb la seva comercialitzadora. Per a obtenir una reducció en la factura elèctrica i que les següents estratègies que s'implementen donin resultat, s'haurà de contractar la tarifa de l'electricitat amb discriminació horària en dos o tres períodes:

**Taula 4.3.1.** Tarifa amb discriminació horària en dos períodes [Endesa]

Període	Horari Hivern	Horari Estiu	Preu electricitat(€/kWh)
Punta	12:00 – 22:00h	13:00 – 23:00h	0,1586
Vall	22:00 – 12:00h	23:00 – 13:00h	0,0794

**Taula 4.3.2.** Tarifa amb discriminació horària en tres períodes [Endesa]

Període	Horari Estiu	Preu electricitat(€/kWh)
Punta	13:00 – 23:00h	0,1547
Vall	23:00 – 1:00h i 07:00 – 13:00h	0,0889
<u>SuperVall</u>	01:00 – 07:00h	0,0764

L'elecció d'una tarifa amb discriminació horària en dos o tres períodes dependrà del consum que es destini en el període de supervall. En general, la discriminació en dos períodes serà suficient per a un habitatge residencial.

##### 4.3.2.1.2 Peak Shaving o retall en els pics de consum

L'estratègia de **peak shaving** és el procés de fer que el perfil de consum s'aplani a partir de la reducció dels pics de consum, desplaçant-los a períodes de menys consum o cobrint-los amb una tecnologia de caràcter renovable i/o de cost menor.

La bateria serà el component que s'ocuparà de suavitzar aquests pics de consum. Es carregarà en moments on hi hagi excedents d'energia per part de la generació fotovoltaica, i es descarregarà en aquells moments del dia on la generació fotovoltaica no sigui suficient per cobrir la demanda elèctrica, o quan no es desitgi que la xarxa elèctrica cobreixi completament la demanda elèctrica.

Aquesta funció de les bateries obté beneficis econòmics perquè mitiga la necessitat de fer servir la generació d'electricitat en moments on el preu és elevat o obliga a que aquesta aportació de la xarxa elèctrica sigui reduïda per una energia de cost zero.

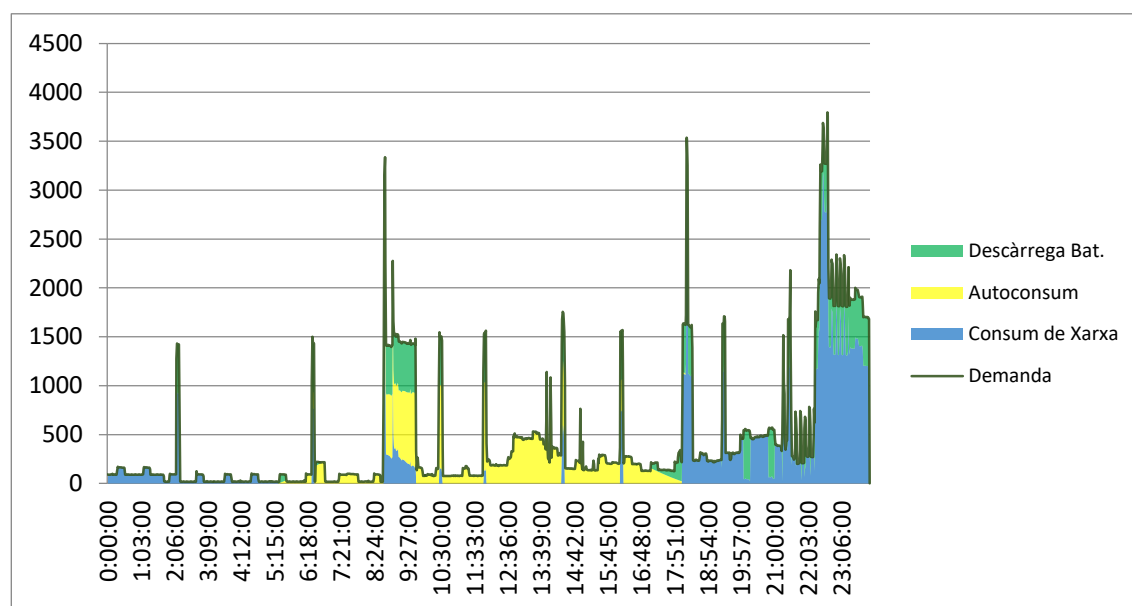


Figura 4.6. Exemple de Peak Shaving amb bateria[Font pròpia]

La figura 4.6 és un exemple de *peak shaving* realitzat a partir de la descàrrega de la bateria en moments on la demanda energètica és excessivament elevada.

#### 4.3.2.1.3 Feed-in-tariff o bonificació tarifària

El **feed-in-tariff** o **bonificació tarifària** és un mecanisme de facturació que bonifica econòmicament als usuaris amb un sistema d'energia solar amb la possibilitat d'injecció a la xarxa de distribució. L'energia excedent generada pel sistema fotovoltaic s'injecta a través d'un comptador unidireccional extra directament a la xarxa i l'operador elèctric la bonifica a un preu acordat amb el mateix operador o amb la comercialitzadora.

Segons el *Real Decret 244/2019*, pel que es regulen les condicions administratives, tècniques i econòmiques de l'autoconsum d'energia elèctrica, una instal·lació d'autoconsum de xarxa interior, menor als 100 kW com és el cas del generador fotovoltaic definit en la microxarxa elèctrica

residencial, es podrà acollir a una compensació econòmica sempre que hi hagi excedents. Per tant es podrà aplicar la bonificació tarifària com a estratègia econòmica de la microxarxa elèctrica.

#### 4.3.2.2. Control tàctic i operatiu

En aquest apartat es defineixen els diferents modes d'operació de la microxarxa elèctrica. Aquests modes d'operació venen definits pels criteris i restriccions energètiques imposades, així com per les estratègies econòmiques definides en l'apartat 4.3.2.1. *Control estratègic*.

##### 4.3.2.2.1 Criteris energètics

Seguint amb les polítiques energètiques establertes al apartat 4.2.1. *Polítiques energètiques*, es desitja disposar d'un HEMS capaç de donar-li prioritat a les energies renovables per aconseguir un sistema energètic de baixes emissions de gasos d'efecte hivernacle. D'altra banda, la microxarxa elèctrica ha d'assegurar la disponibilitat d'energia elèctrica per a cobrir la demanda de l'habitatge. És per això, que es segueixen els següents criteris de prioritització de la utilització dels elements de generació i dels elements de consum:

**Taula 4.3.3.** Jerarquia de generació i consum de la microxarxa elèctrica [Font pròpia]

Jerarquia	
Generació	1.- Fotovoltaica
	2.- Bateria
	3.- Xarxa elèctrica
Consum	1.- Habitatge
	2.- Bateria
	3.- Xarxa elèctrica

#### Generació:

1. Sempre que hi hagi producció fotovoltaica, aquesta s'aprofitarà per davant de qualsevol altra generació.
2. En cas de la insuficiència de la producció fotovoltaica o de la no existència de la mateixa en un moment determinat, la bateria serà l'encarregada d'ajudar o suplir per aconseguir cobrir la demanda elèctrica.
3. Com a última opció, la xarxa elèctrica de distribució proporcionarà l'energia restant en cas de que les dues fonts anteriors no siguin suficient o aquestes no puguin proporcionar cap tipus d'energia.

#### Consum:

1. La prioritat del sistema de gestió serà cobrir el consum elèctric de l'habitatge.
2. En cas de tenir un excedent d'energia, aquesta s'utilitzarà per a la càrrega de la bateria.

3. Si aquest excedent és suficientment gran o la bateria no s'ha de carregar, l'energia sobrant serà injectada a la xarxa elèctrica amb la intenció de tenir una remuneració econòmica.

#### 4.3.2.2.2 Restriccions

Tal i com es defineix en les polítiques energètiques, la microxarxa elèctrica ha de comportar-se com un sistema renovable en la mesura del possible. És per aquesta raó que tot i que existeix un possible benefici econòmic, es prohibeix la interacció directa entre la bateria i la xarxa de distribució elèctrica, específicament:

- La càrrega de la bateria a partir de la xarxa elèctrica.
- La descàrrega de la bateria mitjançant la injecció a xarxa elèctrica.

Aquesta decisió comporta les següents restriccions:

- La limitació de la potència de càrrega i descàrrega de la bateria.
- L'eliminació de modes d'operació on la bateria tingui un paper principal en el cobriment de la demanda energètica, per evitar una descàrrega ràpida.

#### 4.3.2.2.3 Taula d'interconnexions i fluxos de potència

Donada qualsevol de les configuracions de la microxarxa elèctrica de l'apartat 4.3.1.6. *Configuracions de la microxarxa elèctrica*, existeixen les següents possibilitats d'interconnexions entre les fonts de generació i consum:

**Taula 4.3.4.** Taula d'interconnexions de la microxarxa elèctrica [Font pròpia]

Taula d'interconnexions				
<i>i</i>	PV	BSS	XE	L
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1
10	1	0	1	0
11	1	0	1	1
12	1	1	0	0
13	1	1	0	1

14	1	1	1	0
15	1	1	1	1

Les interconnexions 1,2,4 i 8 no son interconnexions vàlides i per tant es descarten. Per cada una de les interconnexions restants, s'identifiquen les diferents combinacions de fluxos de potència que no presenten cap incoherència energètica:

**Taula 4.3.5.** Taula de fluxos de potència de la microxarxa elèctrica [Font pròpia]

Taula de fluxos de potència					
<i>i</i>	<i>fp</i>	PV	BSS	XE	L
0	0	0	0	0	0
3	3	0	0	-1	1
5	5	0	-1	0	1
6	6.a	0	1	-1	0
	6.b	0	-1	1	0
7	7.a	0	-1	-1	1
	7.b	0	-1	1	1
	7.c	0	1	-1	1
9	9	-1	0	0	1
10	10	-1	0	1	0
11	11.a	-1	0	-1	1
	11.b	-1	0	1	1
12	12	-1	1	0	0
13	13.a	-1	1	0	1
	13.b	-1	-1	0	1
14	14.a	-1	1	1	0
	14.b	-1	-1	1	0
15	15.a	-1	1	-1	1
	15.b	-1	-1	-1	1
	15.c	-1	1	1	1
	15.d	-1	-1	1	1
-	Flux de generació				
+	Flux de consum				

Respectant els criteris energètics i restriccions establertes, es descarten els següents modes d'operació:

- Interconnexions 6, 7b, 7c i 14b: No respecten la restricció que especifica que no hi haurà intercanvi d'energia entre la xarxa de distribució i les bateries.
- Interconnexió 9: No es contempla un estat on la producció fotovoltaica sigui exactament igual al consum elèctric.

- Interconnexions 14b, 15a i 15d: No respecten el criteri definit que marca les prioritats de entre fonts de generació i les prioritats d'ús entre fonts de consum.
- Interconnexió 5: Una de les restriccions prohibeix l'ús exclusiu de la bateria per fer front al consum.

#### 4.3.2.2.4 Modes d'operació

Finalment doncs, les combinacions de fluxos de potència queden resumits en la següent taula, juntament amb el balanç de potències:


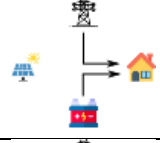
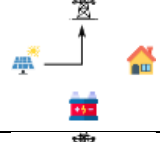

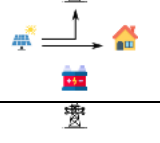
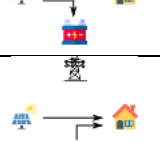
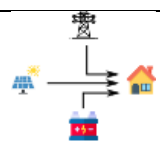
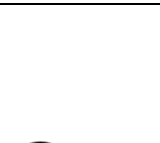
**Taula 4.3.6.** Taula de fluxos de potència existents en la microxarxa elèctrica [Font pròpia]

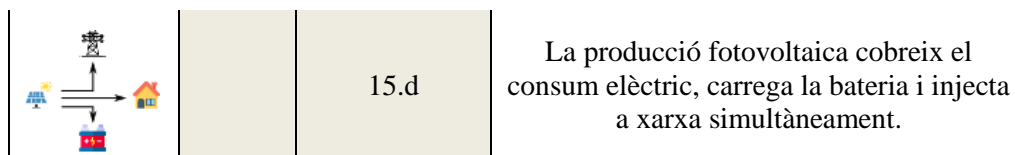
Taula de fluxos de potència						Balanç Potències
<i>i</i>	<i>Mode</i>	PV	BSS	G	L	
0	0	0	0	0	0	$0 = 0$
3	3	0	0	-1	1	$-P_G + P_L = 0$
7	7.a	0	-1	-1	1	$-P_{BSS} - P_G + P_L = 0$
10	10	-1	0	1	0	$-P_{PV} + P_G = 0$
11	11.a	-1	0	-1	1	$-P_{PV} - P_G + P_L = 0$
	11.b	-1	0	1	1	$-P_{PV} + P_G + P_L = 0$
12	12	-1	1	0	0	$-P_{PV} + P_{BSS} = 0$
13	13.a	-1	1	0	1	$-P_{PV} + P_{BSS} + P_L = 0$
	13.b	-1	-1	0	1	$-P_{PV} + P_{BSS} + P_L = 0$
14	14.a	-1	1	1	0	$-P_{PV} + P_{BSS} + P_G = 0$
15	15.a	-1	-1	-1	1	$-P_{PV} - P_{BSS} - P_G + P_L = 0$
	15.d	-1	1	1	1	$-P_{PV} + P_{BSS} + P_G + P_L = 0$
-	Flux de generació					
+	Flux de consum					

Aquests fluxos de potència porten a la definició dels següents modes d'operació de la microxarxa elèctrica que es mostren a la taula 4.3.7.



Taula 4.3.7. Taula de fluxos de potència existents en la microxarxa elèctrica [Font pròpia]

Taula de fluxos de potència			
	<i>i</i>	<i>fp</i>	Explicació Estat
	0	0	No hi ha producció fotovoltaica i tampoc hi ha consum elèctric a l'habitatge. No hi ha cap intercanvi d'energia en la microxarxa elèctrica.
	3	3	El consum elèctric es cobreix amb la xarxa elèctrica degut a que no hi ha producció fotovoltaica.
	7	7.a	El consum elèctric es cobreix amb la bateria i la xarxa elèctrica. No hi ha producció fotovoltaica.
	10	10	No hi ha consum elèctric. La producció fotovoltaica és injectada a la xarxa elèctrica.
	11	11.a	La producció fotovoltaica i la xarxa elèctrica cobreixen conjuntament el consum elèctric.
		11.b	La producció fotovoltaica cobreix el consum elèctric i injecta l'excedent a la xarxa elèctrica
	12	12	No hi ha consum elèctric. La producció fotovoltaica carrega la bateria.
	13	13.a	La producció fotovoltaica cobreix el consum elèctric i carrega la bateria.
		13.b	La producció fotovoltaica i la bateria cobreixen el consum elèctric conjuntament.
	14	14.a	No hi ha consum elèctric. La producció fotovoltaica carrega la bateria i injecta a la xarxa elèctrica.
	15	15.a	La producció fotovoltaica, la bateria i la xarxa elèctrica cobreixen el consum elèctric conjuntament.



Les variables que s'han de definir per a que la microxarxa elèctrica treballi en un mode d'operació o en un altre venen definides en la següent taula:

Variables	Nom	Tipus de variable
Potència de la generació fotovoltaica	$P_{pv}$	<i>Entrada</i>
Potència de les càrregues	$P_l$	<i>Entrada</i>
Potència de la bateria	$P_{bss}$	<i>Sortida</i>
Estat de càrrega de la bateria	SoC	<i>Sortida</i>
Valor màxim d'estat de càrrega permès	$SoC_{max}$	<i>Constant</i>
Valor mínim d'estat de càrrega permès	$SoC_{min}$	<i>Constant</i>
Valor d'estat de càrrega permès en alguns modes	$SoC_{mig}$	<i>Constant</i>
Xarxa elèctrica	$P_g$	<i>Sortida</i>
Potència màxima de càrrega	$P_{ch}$	<i>Constant</i>
Potència màxima de descàrrega	$P_{dch}$	<i>Constant</i>

La demanda energètica i la generació fotovoltaica son variables d'entrada que la microxarxa elèctrica analitza i en funció dels seus valors aquesta treballa en un mode d'operació específic, que fa treballar a la seva vegada a la bateria i a la xarxa elèctrica. El diagrama de flux de la figura 4.7 defineix quines son les condicions d'operació de cada un dels modes de la microxarxa elèctrica.

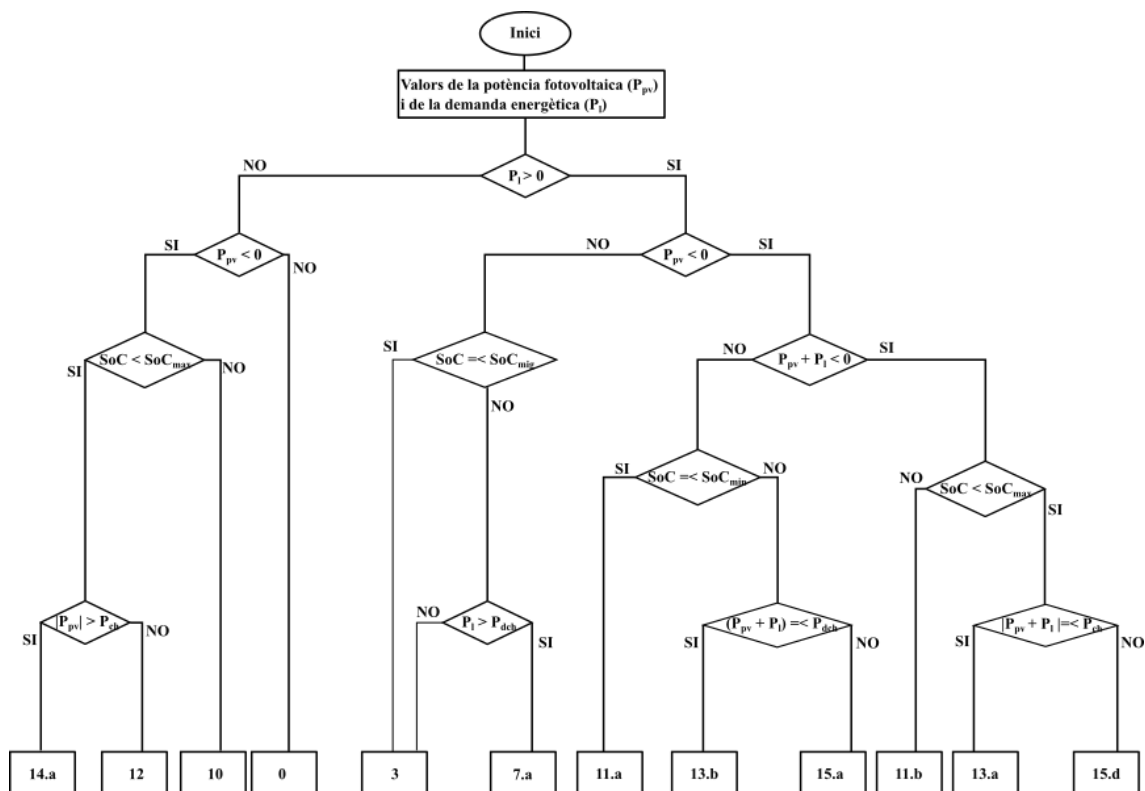


Figura 4.7. Diagrama de flux de les condicions d'operació de la microxarxa elèctrica [Font pròpia]

Les variables de sortida de potència de la xarxa elèctrica i la bateria  $P_g$  i  $P_{bss}$  prenen els valors següents en funció del mode d'operació.

Taula 4.3.8. Taula de fluxos de potència existents en la microxarxa elèctrica [Font pròpia]

$i$	Mode	Acció
0	0	$P_g = 0$ $P_{bss} = 0$
3	3	$P_g = -P_l$ $P_{bss} = 0$
7	7.a	$P_g = P_{dch} - P_l$ $P_{bss} = -P_{dch}$
10	10	$P_g = -P_{pv}$ $P_{bss} = 0$
11	11.a	$P_g = -(P_{pv} + P_l)$ $P_{bss} = 0$
	11.b	$P_g = -(P_{pv} + P_l)$ $P_{bss} = 0$
12	12	$P_g = 0$ $P_{bss} = -P_{pv}$

13	13.a	$P_g = 0$ $P_{bss} = -(P_{pv} + P_l)$
	13.b	$P_g = 0$ $P_{bss} = -(P_{pv} + P_l)$
14	14.a	$P_g = -(P_{pv} + P_{ch})$ $P_{bss} = P_{ch}$
15	15.a	$P_g = -(P_l + P_{pv} - P_{dch})$ $P_{bss} = -P_{dch}$
	15.d	$P_g = P_{pv} + P_{ch}$ $P_{bss} = P_{ch}$

Un cop definits els modes d'operació de la microxarxa elèctrica i els valors que prenen les variables de sortida en cada un d'ells, es defineixen les transicions entre els modes a partir de les variables d'entrada i l'estat de càrrega de la bateria. Surten un total de 78 transicions, que venen recopilades en la taula 4.3.9 a continuació, on s'indica per cada mode d'operació quines transicions té i quines condicions lògiques han de complir per a que tinguin lloc. A més, es presenta un diagrama d'estats a la figura 4.8 que representa visualment totes les transicions.

**Taula 4.3.9.** Taula de fluxos de potència existents en la microxarxa elèctrica [Font pròpia]

Mode inicial	Mode final	Nº de transició(T)	Transició
0	0	1	$L = 0 \ \& \ PV = 0$
	3	2	$L > 0$
	10	3	$L = 0 \ \& \ PV < 0 \ \& \ SoC \geq SoCmax$
	12	4	$L = 0 \ \& \ 0 < abs(PV) \leq Pch \ \& \ SoC < SoCmax$
	14.a	5	$L = 0 \ \& \ abs(PV) > Pch \ \& \ SoC < SoCmax$
3	0	6	$L = 0$
	3	7	$(L > 0 \ \& \ PV = 0 \ \& \ SoC < SoCmig) \   \ (L < Pdch \ \& \ PV = 0)$
	7.a	8	$L > Pdch \ \& \ PV = 0 \ \& \ SoC \geq SoCmig$
	11.a	9	$PV < 0 \ \& \ (PV + L) \geq 0 \ \& \ SoC \leq SoCmin$
	11.b	10	$PV < 0 \ \& \ (PV + L) < 0 \ \& \ SoC \geq SoCmax$
	13.a	11	$PV < 0 \ \& \ (PV + L) < 0 \ \& \ SoC < SoCmax \ \& \ abs(PV + L) \leq Pch$
	13.b	12	$PV < 0 \ \& \ (PV + L) \geq 0 \ \& \ SoCmin < SoC \ \& \ (PV + L) \leq Pdch$
	15.a	13	$PV < 0 \ \& \ (PV + L) \geq 0 \ \& \ SoCmin < SoC \ \& \ (PV + L) > Pdch$
15.d	14	$PV < 0 \ \& \ (PV + L) < 0 \ \& \ SoC < SoCmax \ \& \ abs(PV + L) > Pch$	
7.a	0	15	$L = 0$
	3	16	$(L > 0 \ \& \ PV = 0 \ \& \ SoC < SoCmig) \   \ (L < Pdch \ \& \ PV = 0)$
	7.a	17	$L > Pdch \ \& \ PV = 0 \ \& \ SoC \geq SoCmig$
	11.a	18	$PV < 0 \ \& \ (PV + L) \geq 0 \ \& \ SoC \leq SoCmin$
	13.a	19	$PV < 0 \ \& \ (PV + L) < 0 \ \& \ SoC < SoCmax \ \& \ abs(PV + L) \leq Pch$
	13.b	20	$PV < 0 \ \& \ (PV + L) \geq 0 \ \& \ SoCmin < SoC \ \& \ (PV + L) \leq Pdch$
	15.a	21	$PV < 0 \ \& \ (PV + L) \geq 0 \ \& \ SoCmin < SoC \ \& \ (PV + L) > Pdch$
	15.d	22	$PV < 0 \ \& \ (PV + L) < 0 \ \& \ SoC < SoCmax \ \& \ abs(PV + L) > Pch$
10	0	23	$L = 0 \ \& \ PV = 0$
	3	24	$L > 0$
	10	25	$L = 0 \ \& \ PV < 0 \ \& \ SoC \geq SoCmax$
11.a	0	26	$L = 0$
	3	27	$(L > 0 \ \& \ PV = 0 \ \& \ SoC < SoCmig) \   \ (L < Pdch \ \& \ PV = 0)$
	11.a	28	$PV < 0 \ \& \ (PV + L) \geq 0 \ \& \ SoC < SoCmig$
	13.a	29	$PV < 0 \ \& \ (PV + L) < 0 \ \& \ SoC < SoCmax \ \& \ abs(PV + L) \leq Pch$
15.d	30	$PV < 0 \ \& \ (PV + L) < 0 \ \& \ SoC < SoCmax \ \& \ abs(PV + L) > Pch$	
11.b	0	31	$L = 0$
	3	32	$L < Pdch \ \& \ PV = 0$
	7.a	33	$L > Pdch \ \& \ PV = 0 \ \& \ SoC \geq SoCmig$
	11.b	34	$PV < 0 \ \& \ (PV + L) < 0 \ \& \ SoC \geq SoCmax$
	13.b	35	$PV < 0 \ \& \ (PV + L) \geq 0 \ \& \ SoCmin < SoC \ \& \ (PV + L) \leq Pdch$
	15.a	36	$PV < 0 \ \& \ (PV + L) \geq 0 \ \& \ SoCmin < SoC \ \& \ (PV + L) > Pdch$
12	0	37	$L = 0 \ \& \ PV = 0$
	3	38	$L > 0$

	10	39	$L = 0 \ \& \ PV < 0 \ \& \ SoC \geq SoCmax$
	12	40	$L = 0 \ \& \ 0 < abs(PV) \leq Pch \ \& \ SoC < SoCmax$
	14.a	41	$L = 0 \ \& \ abs(PV) > Pch \ \& \ SoC < SoCmax$
13.a	0	42	$L = 0$
	3	43	$L < Pdch \ \& \ PV = 0$
	7.a	44	$L > Pdch \ \& \ PV = 0 \ \& \ SoC \geq SoCmig$
	11.b	45	$PV < 0 \ \& \ (PV + L) < 0 \ \& \ SoC \geq SoCmax$
	13.a	46	$PV < 0 \ \& \ (PV + L) < 0 \ \& \ SoC < SoCmax \ \& \ abs(PV + L) \leq Pch$
	13.b	47	$PV < 0 \ \& \ (PV + L) \geq 0 \ \& \ SoCmin < SoC \ \& \ (PV + L) \leq Pdch$
	15.a	48	$PV < 0 \ \& \ (PV + L) \geq 0 \ \& \ SoCmin < SoC \ \& \ (PV + L) > Pdch$
	15.d	49	$PV < 0 \ \& \ (PV + L) < 0 \ \& \ SoC < SoCmax \ \& \ abs(PV + L) > Pch$
13.b	0	50	$L = 0$
	3	51	$(L > 0 \ \& \ PV = 0 \ \& \ SoC < SoCmig) \   \ (L < Pdch \ \& \ PV = 0)$
	7.a	52	$L > Pdch \ \& \ PV = 0 \ \& \ SoC \geq SoCmig$
	11.a	53	$PV < 0 \ \& \ (PV + L) \geq 0 \ \& \ SoC \leq SoCmin$
	13.a	54	$PV < 0 \ \& \ (PV + L) < 0 \ \& \ SoC < SoCmax \ \& \ abs(PV + L) \leq Pch$
	13.b	55	$PV < 0 \ \& \ (PV + L) \geq 0 \ \& \ SoCmin < SoC \ \& \ (PV + L) \leq Pdch$
	15.a	56	$PV < 0 \ \& \ (PV + L) \geq 0 \ \& \ SoCmin < SoC \ \& \ (PV + L) > Pdch$
14.a	0	58	$L = 0 \ \& \ PV = 0$
	3	59	$L > 0$
	10	60	$L = 0 \ \& \ PV < 0 \ \& \ SoC \geq SoCmax$
	12	61	$L = 0 \ \& \ 0 < abs(PV) \leq Pch \ \& \ SoC < SoCmax$
	14.a	62	$L = 0 \ \& \ abs(PV) > Pch \ \& \ SoC < SoCmax$
15.a	0	63	$L = 0$
	3	64	$(L > 0 \ \& \ PV = 0 \ \& \ SoC < SoCmig) \   \ (L < Pdch \ \& \ PV = 0)$
	7.a	65	$L > Pdch \ \& \ PV = 0 \ \& \ SoC \geq SoCmig$
	11.a	66	$PV < 0 \ \& \ (PV + L) \geq 0 \ \& \ SoC < SoCmig$
	13.a	67	$PV < 0 \ \& \ (PV + L) < 0 \ \& \ SoC < SoCmax \ \& \ abs(PV + L) \leq Pch$
	13.b	68	$PV < 0 \ \& \ (PV + L) \geq 0 \ \& \ SoCmin < SoC \ \& \ (PV + L) \leq Pdch$
	15.a	69	$PV < 0 \ \& \ (PV + L) \geq 0 \ \& \ SoCmig \leq SoC \ \& \ (PV + L) > Pdch$
	15.d	70	$PV < 0 \ \& \ (PV + L) < 0 \ \& \ SoC < SoCmax \ \& \ abs(PV + L) > Pch$
15.d	0	71	$L = 0$
	3	72	$L < Pdch \ \& \ PV = 0$
	7.a	73	$L > Pdch \ \& \ PV = 0 \ \& \ SoC \geq SoCmig$
	11.b	74	$PV < 0 \ \& \ (PV + L) < 0 \ \& \ SoC \geq SoCmax$
	13.a	75	$PV < 0 \ \& \ (PV + L) < 0 \ \& \ SoC < SoCmax \ \& \ abs(PV + L) \leq Pch$
	13.b	76	$PV < 0 \ \& \ (PV + L) \geq 0 \ \& \ SoCmin < SoC \ \& \ (PV + L) \leq Pdch$
	15.a	77	$PV < 0 \ \& \ (PV + L) \geq 0 \ \& \ SoCmin < SoC \ \& \ (PV + L) > Pdch$
	15.d	78	$PV < 0 \ \& \ (PV + L) < 0 \ \& \ SoC < SoCmax \ \& \ abs(PV + L) > Pch$

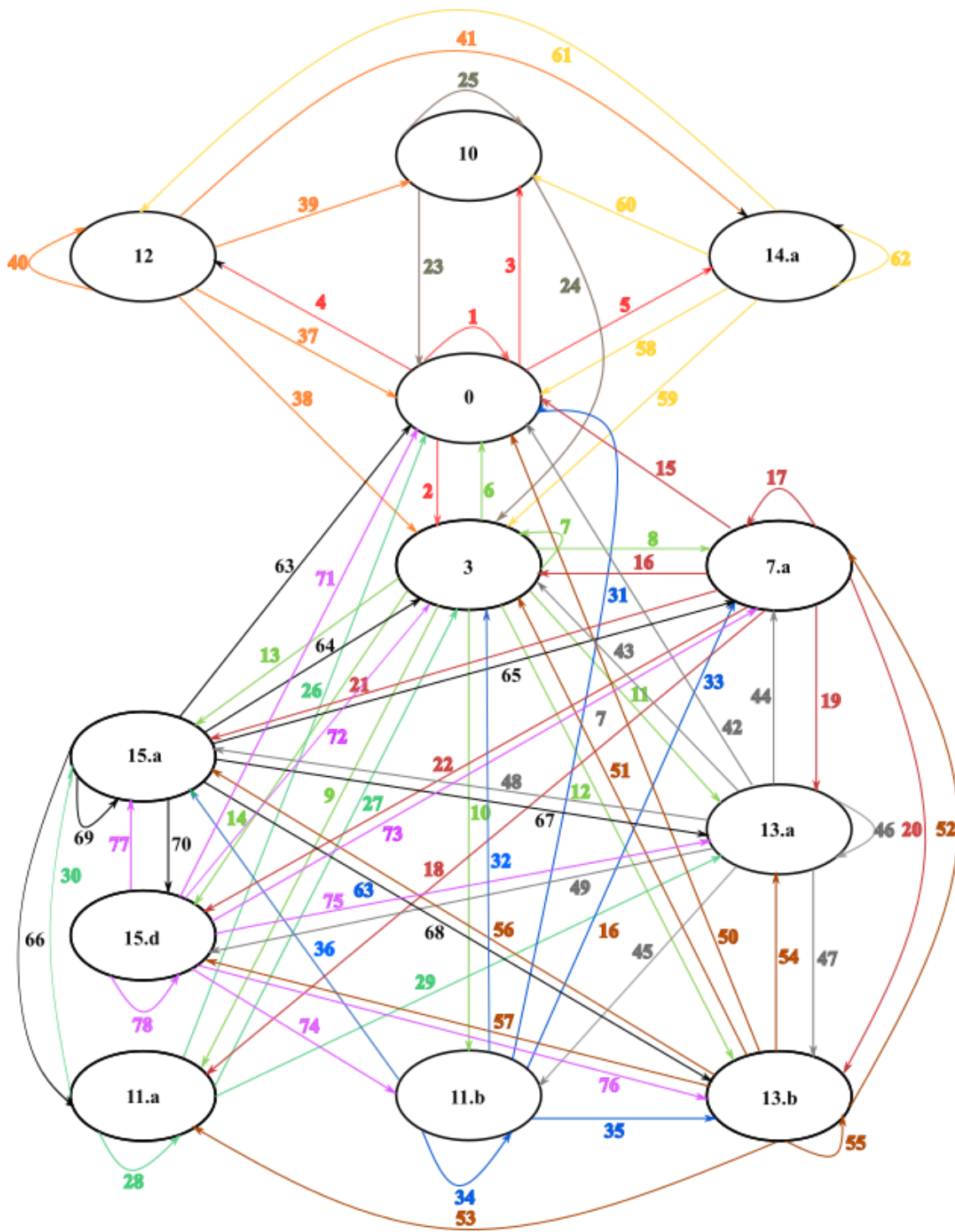


Figura 4.8. Diagrama de'estats de la microxarxa elèctrica[Font pròpia]

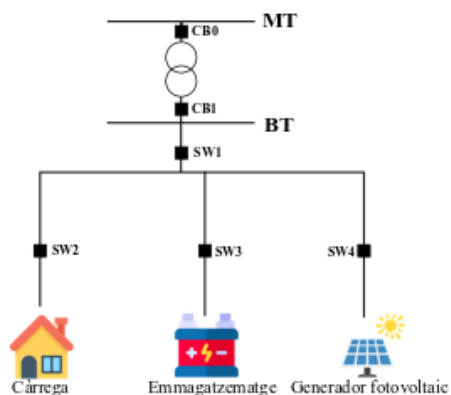
Finalment, la microxarxa elèctrica consta de quatre interruptors principals que es controlen a partir d'uns relés que controlen la microxarxa a nivell operatiu, obrint i tancant aquest interruptors segons convingui per complir el diagrama d'estats mostrat a la figura 4.8:

- SW1: Interruptor de connexió a la xarxa elèctrica de distribució.
- SW2: Interruptor de les càrregues.
- SW3: interruptor del generador fotovoltaic.
- SW4: Interruptor del conjunt de bateries.

La posició dels interruptors per cada un dels mode d'operació es defineixen en la taula 4.3.10 i es pot veure un esquema dels interruptors a la figura 4.9.

**Taula 4.3.10.** Taula binària d'estats dels interruptors [Font pròpia]

Taula binària d'estat dels interruptors					
<i>i</i>	Mode	SW1 (G)	SW2 (L)	SW3 (PV)	SW4 (BSS)
0	0	0	0	0	0
3	3	1	1	0	0
7	7.a	1	1	0	1
10	10	1	0	1	0
11	11.a	1	1	1	0
	11.b	1	1	1	0
12	12	0	0	1	1
13	13.a	0	1	1	1
	13.b	0	1	1	1
14	14.a	1	0	1	1
15	15.b	1	1	1	1
	15.c	1	1	1	1
SW = 0		Interruptor tancat			
SW = 1		Interruptor obert			



**Figura 4.9.** Esquema de la microxarxa elèctrica amb interruptors[Font pròpia]

### 4.3.3. Dimensionament de la microxarxa elèctrica

#### 4.3.3.1. Dimensionament del generador fotovoltaic

El dimensionament de la instal·lació fotovoltaica és un procés clau per a que el sistema de gestió d'energia funcioni correctament. En primer lloc, serà necessari disposar de les dades de consum de l'habitatge recopilats durant l'auditoria energètica realitzada prèviament. A partir d'aquestes dades es vol decidir els següents punts:

- Tensió nominal de funcionament del sistema fotovoltaic.
- Demanda o consum total d'energia elèctrica de la instal·lació (Ah/dia).

La tensió nominal de la instal·lació es sol escollir segons la potència que es vol instal·lar de fotovoltaica a l'habitatge. Generalment es recomana:

- **12 V** per a potències menors a 1.5 kW.
- **24 V** per a potències entre 1,5 i 5 kW.
- **48 o 120 V** per a potències superiors a 5 kW.

Per altra banda, es necessari conèixer l'energia necessària o requerida per l'habitatge, contemplant les pèrdues,  $C'_{req}$ , per poder calcular posteriorment el número de mòduls fotovoltaics que cobriran aquesta demanda. Les equacions 4.1 a 4.6 defineixen el procés de càlcul de  $C'_{req}$ . Es calcula el consum energètic  $E_{total}$  de la instal·lació a partir de l'equació 4.1.

$$E_{total} = E_{DC} + E_{AC} \quad (\text{Eq. 4.1})$$

A partir de l'equació 4.2 es calcula el consum net d'energia necessària de la instal·lació,  $C_{total}$ , en Ah.

$$C_{total} = \frac{E_{total}}{V_{nom}} \quad (\text{Eq. 4.2})$$

A continuació es calculen les pèrdues per connexions, considerades un 10% del consum total net necessari de la instal·lació, i se li suma a aquesta última.

$$C_{loss} = 0,1 \cdot C_{total} \quad (\text{Eq. 4.3})$$

$$C_{req} = C_{total} + C_{loss} \quad (\text{Eq. 4.4})$$

Finalment es realitza una avaluació de les pèrdues de la instal·lació  $K_T$ , a partir de l'equació 4.5 i es calcula l'energia requerida  $C'_{req}$  a partir de l'equació 4.6.



$$K_T = [1 - (K_B + K_C + K_R + K_X)] \cdot [1 - \frac{K_A \cdot D_{aut}}{P_{D,max}}] \quad (\text{Eq. 4.5})$$

$$C'_{req} = \frac{C_{req}}{K_T} \quad (\text{Eq. 4.6})$$

**On:**

**$K_A$ :** Pèrdues degudes a l'autodescàrrega diària de la bateria, donades a 20°C.

**$K_B$ :** Pèrdues degudes al rendiment de la bateria.

**$K_C$ :** Pèrdues degudes al rendiment de l'inversor.

**$K_R$ :** Pèrdues degudes al rendiment del regulador.

**$K_X$ :** Altres pèrdues no contemplades. Ex: Efecte Joule.

**$D_{aut}$ :** Dies d'autonomia de la bateria.

**$P_{D,max}$ :** Profunditat màxima de descàrrega de la bateria.

#### 4.3.3.1.1 Elecció de la inclinació òptima del mòduls fotovoltaics

Per a l'elecció de l'angle d'inclinació òptim es realitzarà seguint qualsevol dels dos criteris esmentats a continuació, segons quin sigui l'objectiu de la instal·lació dels mòduls fotovoltaics:

- Criteri del mes crític
- Criteri de la màxima captació energètica anual

#### **Criteri del mes crític**

S'intenta optimitzar el rati consum/radiació en cada mes, i s'escull les dades del mes més favorable.

1. En primer lloc s'haurà de disposar d'una matriu dels valors de la radiació solar global de cada mes, donada en kWh/m<sup>2</sup>, i per a diferents inclinacions. S'utilitza la base de dades de la Comissió Europea *Photovoltaic Geographical Information System*[6], que disposa de valors històrics d'irradiància i radiació, d'entre altres paràmetres.

**Taula 4.3.11.** Valors de radiació solar global diària mes a mes per a diferents angles d'inclinació en kWh/m<sup>2</sup>·dia[4]

Inclinació	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°
Gener	3,20	2,99	3,38	3,55	3,69	3,81	3,90
Febrer	4,71	4,47	4,91	5,08	5,22	5,33	5,40
Març	5,51	5,35	5,62	5,71	5,76	5,78	5,75
Abril	6,31	6,26	6,32	6,29	6,23	6,13	5,99
Maig	6,79	6,85	6,70	6,57	6,40	6,20	5,95
Juny	7,55	7,66	7,39	7,19	6,96	6,68	6,37
Juliol	7,71	7,81	7,57	7,38	7,16	6,89	6,60
Agost	7,46	7,45	7,43	7,35	7,23	7,06	6,85
Setembre	6,43	6,29	6,53	6,59	6,61	6,59	6,52
Octubre	4,45	4,28	4,59	4,71	4,80	4,85	4,88
Novembre	3,36	3,17	3,53	3,68	3,81	3,91	3,99
Desembre	3,17	2,95	3,36	3,54	3,69	3,82	3,92

Les dades de la taula 4.3.11 corresponen a la localització geogràfica del Cogul, poble de la província de Lleida, i son dades històriques de l'any 2016.

2. A partir de la taula 4.3.11 es calcularà el quocient de consum mig mensual, que equival al rati que s'ha mencionat prèviament. En altres paraules, es dividirà el consum mig diari de cada mes, per cada un dels valors de la taula anterior.

En aquest exemple, es suposa un consum diari mig mensual  $L_{md}$  igual per a tots els mesos de l'any, però en un cas aplicat aquest calor variarà de mes a mes, segons el perfil de consum de l'habitatge estudiat. S'agafa doncs un valor de  $L_{md} = 3000 \text{ Wh/dia}$ .

**Taula 4.3.12.** Taula del resultat del quocient entre la radiació global diària i consum mig anual per diferents inclinacions[Font pròpia]

Inclinació	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°
Gener	938,54	1003,45	886,73	845,38	812,79	787,53	768,72
Febrer	637,28	670,55	610,86	590,14	574,40	563,08	555,74
Març	544,91	560,38	533,38	525,39	520,80	519,47	521,36
Abril	475,36	478,90	474,63	476,75	481,72	489,80	501,23
Maig	441,57	437,75	447,91	456,62	468,63	484,20	503,85
Juny	397,49	391,44	406,12	417,13	431,14	448,97	470,64
Juliol	388,94	384,00	396,45	406,75	419,13	435,39	454,66
Agost	401,90	402,48	403,80	408,18	415,09	425,03	438,06
Setembre	466,54	476,97	459,30	455,07	453,77	455,33	459,84
Octubre	674,55	701,46	653,37	637,25	625,63	618,23	614,79
Novembre	893,39	947,87	849,70	814,92	787,68	767,00	752,07
Desembre	947,14	1016,50	891,83	847,69	812,65	785,34	764,61

3. A continuació, per a cada inclinació, s'agafarà el quocient màxim, obtenint així el mes crític per a cada inclinació. Finalment, de tots aquests màxims, s'agafarà el menor ja que d'aquesta manera s'aconsegueix maximitzar la captació energètica solar en el mes crític. En altres paraules, s'escull la inclinació més òptima per al pitjor dels mesos, de forma que s'optimitza aquesta inclinació pel pitjor dels mesos.

**Taula 4.3.13.** Taula del resultat del quocient entre la radiació global diària i consum mig anual per diferents inclinacions [Font pròpia]

Inclinació	20	25	30	35	40	45	50
Gener	938,54	1003,45	886,73	845,38	812,79	787,53	768,72
Febrer	637,28	670,55	610,86	590,14	574,40	563,08	555,74
Març	544,91	560,38	533,38	525,39	520,80	519,47	521,36
Abril	475,36	478,90	474,63	476,75	481,72	489,80	501,23
Maig	441,57	437,75	447,91	456,62	468,63	484,20	503,85
Juny	397,49	391,44	406,12	417,13	431,14	448,97	470,64
Juliol	388,94	384,00	396,45	406,75	419,13	435,39	454,66
Agost	401,90	402,48	403,80	408,18	415,09	425,03	438,06
Setembre	466,54	476,97	459,30	455,07	453,77	455,33	459,84
Octubre	674,55	701,46	653,37	637,25	625,63	618,23	614,79
Novembre	893,39	947,87	849,70	814,92	787,68	767,00	752,07
Desembre	947,14	1016,50	891,83	847,69	812,65	785,34	764,61

El valor menor d'aquests quocients ressaltats en vermell és el corresponent a la inclinació de 50º, on el mes crític serà el gener.

#### Criteri de la màxima captació energètica anual

L'objectiu d'aquest mètode és determinar la inclinació òptima dels mòduls fotovoltaics que maximitzin la captació energètica anual. En aquest cas, es vol optimitzar el quocient consum/radiació al llarg de l'any, i no en el mes crític, com s'ha fet anteriorment.

1. A partir de la mateixa web d'on s'extreuen les dades pel criteri del mes crític, s'aconsegueix un vector de valors de la radiació solar global anual mitja, que correspon al valor mig dels dotze mesos de l'any, per cada una de les inclinacions possibles. El consum en aquest cas serà el consum mig anual  $L_{ma}$ .

**Taula 4.3.14.** Valors de la radiació global mitja anual per a diferents angles en kWh/m<sup>2</sup>·any[4]

Inclinació	20	25	30	35	40	45	50
ANUAL	2028,15	1995,18	2048,99	2057,91	2054,89	2038,84	2011,02

**Taula 4.3.15.** Valors del quocient consum/radiació[Font pròpia]

Inclinació	20	25	30	35	40	45	50
ANUAL	539,90	548,82	534,41	532,09	532,88	537,07	544,50

En aquest cas, es considera un consum mig anual  $L_{ma} = 1095000$  Wh/any. D'entre els valors de la taula 4.3.14, s'agafarà el valor menor, ja que correspon al de màxima captació energètica anual.

#### 4.3.3.1.2 Càlcul de la radiació total diària mes a mes d'aquell angle d'inclinació

Un cop conegut l'angle d'inclinació amb el que treballaran els mòduls fotovoltaics, cal determinar quina es la energia disponible que hi haurà diàriament per part del recurs solar, per poder posteriorment calcular la generació fotovoltaica. Una vegada més, es fa ús de l'eina PVGIS de la Comissió Europea[6] per adquirir dades històriques. Si en el procés d'audició energètica s'hagués disposat d'un mesurador d'irradiància, no caldria recórrer a aquesta base de dades. A continuació, s'agrupen les dades d'interès de la radiació solar diària:

**Taula 4.3.16.** Dades de la radiació solar per a un pla amb angle de 35º[4]

Inclinació 35º	dies	kWh/m <sup>2</sup> ·mes	kWh/m <sup>2</sup> ·dia	HSP(35º)
Gener	31	110	3,55	3,55
Febrer	28	142,52	5,09	5,09
Març	31	177,01	5,71	5,71
Abril	30	188,78	6,29	6,29
Maig	31	203,66	6,57	6,57
Juny	30	215,75	7,19	7,19
Juliol	31	228,64	7,38	7,38
Agost	31	227,84	7,35	7,35
Setembre	30	197,79	6,59	6,59
Octubre	31	145,94	4,71	4,71
Novembre	30	110,44	3,68	3,68
Desembre	31	109,71	3,54	3,54

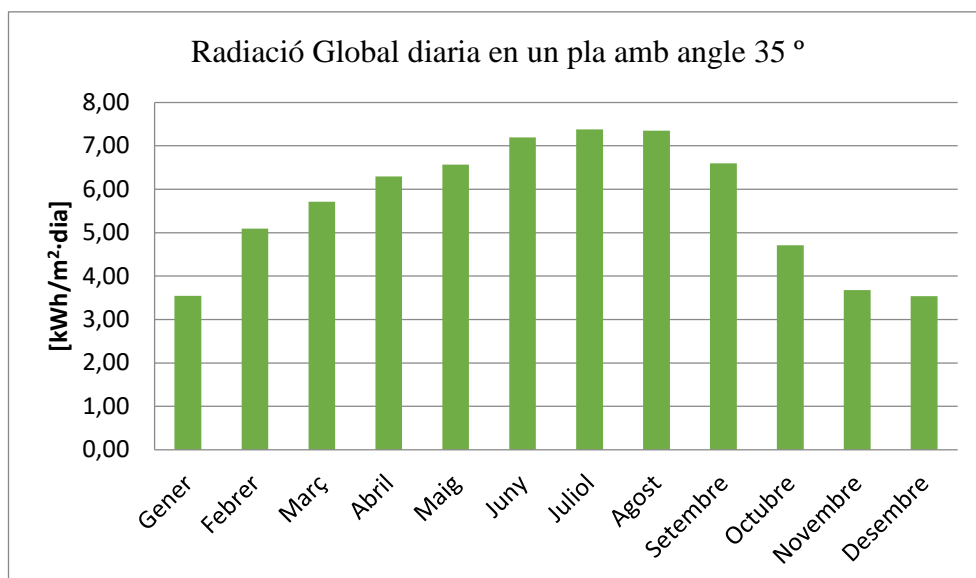


Figura 4.10. Gràfic de la radiació global diària en un pla amb angle 35°[Font pròpia]

#### 4.3.3.1.3 Selecció del model de panell i determinació de la seva potència

Pel càlcul de l'energia proporcionada del generador fotovoltaic a la microxarxa elèctrica s'han de tenir en compte les característiques del mòdul fotovoltaic escollit. Ja que els valors de tensió i corrent venen definits per la irradiància disponible, aquests valors varien constantment. En general, els fabricants donen les característiques tècniques a unes condicions específiques; Condicions Estàndard de Mesura, CEM. Son les condicions que es testegen els mòduls fotovoltaics i son:

- Temperatura: 25 °C.
- Irradiància: 1000 W/m<sup>2</sup>
- Espectre: AM 1,5.

Partint d'aquesta base, els paràmetres que son d'interès per calcular l'energia proporcionada a la microxarxa elèctrica son:

- *Intensitat de curtcircuit ( $I_{sc}$ ):* És la màxima intensitat que es pot obtenir del mòdul fotovoltaic.
- *Tensió en circuit obert ( $V_{oc}$ ):* És el valor màxim de voltatge que es mesura en el mòdul en cas de que no hi hagi corrent entre els seus borns.
- *Tensió nominal ( $V_n$ ):* Valor de disseny al que treballa el mòdul fotovoltaic.
- *Potència màxima ( $P_{mp}$ ):* És el valor màxim de potència que s'obté en el producte de la corrent per la tensió de sortida del mòdul fotovoltaic.
- *Tensió de màxima potència ( $V_{mp}$ ):* El valor de la tensió per a la potència màxima.
- *Corrent de màxima potència ( $I_{mp}$ ):* El valor de la corrent per a la potència màxima.

Amb els valors de les hores solars pic (HSP) extretes i recopilades a la taula 4.3.16 i juntament amb les característiques que dona el fabricant, es pot fer una estimació de l'energia proporcionada pel mòdul fotovoltaic, utilitzant l'equació 4.4:

$$E_{mod} = \eta_{mod} \cdot I_{mp} \cdot HSP_{med}(\alpha) \quad (\text{Eq. 4.7})$$

On:

$E_{mod}$ : Energia proporcionada pel mòdul fotovoltaic (Ah/dia).

$\eta_{mod}$ : Rendiment del mòdul fotovoltaic (85-90%).

$I_{mp}$ : Intensitat en el punt de màxima potència (A).

$HSP(\alpha)$ : Hores solar pic per una inclinació específica (h).

Per tant, un mòdul amb una  $I_{mp}$  més elevada, produirà més energia, ja que entregarà més corrent.

#### 4.3.3.1.4 Càlcul de número de panells en sèrie i paral·lel

Si es tractés d'una instal·lació aïllada permanentment de la xarxa elèctrica de distribució, l'equació 4.8 seria correcte, ja que  $C'_{req}$  hauria de ser coberta totalment pels mòduls fotovoltaics, i per tant el número d'aquests en paral·lel es calcularien:

$$n_{pv-p} = \frac{C'_{req}}{E_{mod}} = \frac{C'_{req}}{\eta_{mod} \cdot I_{mp} \cdot HSP_{med}(\alpha)} \quad (\text{Eq. 4.8})$$

En la microxarxa elèctrica plantejada, el generador fotovoltaic és planteja com un suport energètic i no el principal productor d'energia del sistema, i per tant no es desitja fer una inversió econòmica tan elevada ni cobrir tot el consum exclusivament amb energia provinent del generador fotovoltaic de la instal·lació. Per tant, se li aplica un factor  $K$  que pren valors menors a la unitat, per reduir en cada cas el número de panells fotovoltaics que s'instal·laran.

$$n_{pv-p} = K \cdot \frac{C'_{req}}{E_{mod}} = K \cdot \frac{C'_{req}}{\eta_{mod} \cdot I_{mp} \cdot HSP_{med}(\alpha)} \quad (\text{Eq. 4.9})$$

El nombre de mòduls fotovoltaics disposats en sèrie depèn del voltatge de la instal·lació decidit al principi d'aquest apartat, i de  $V_{mp}$  del mòdul escollit, tal i com dicta l'equació 4.10:

$$n_{pv-s} = \frac{V_{nom}}{V_{mp}} \quad (\text{Eq. 4.10})$$

Econòmicament, interessa que el voltatge de la instal·lació i del mòdul siguin el mateix o semblant, per tal de que no s'hagi de doblar o triplicar la quantitat de mòduls fotovoltaics de la instal·lació. Finalment, el conjunt total de mòduls vindrà donat per l'equació 4.11:

$$n_{pv-total} = n_{pv-p} \cdot n_{pv-s} \quad (\text{Eq. 4.11})$$

#### 4.3.3.2. Dimensionament de les bateries

##### 4.3.3.2.1 Càlcul de la capacitat tota de les bateries

Pel càlcul de la capacitat total de la bateria s'han de tenir en compte els paràmetres; energia total necessària contemplat les pèrdues, dies d'autonomia i profunditat de descàrrega del tipus de bateria utilitzat. L'equació que s'utilitza pel càlcul de la capacitat de la bateria és:

$$C_{alm} = \frac{C'_{req} \cdot D_{aut}}{P_{D,max}} \cdot 100 \quad (\text{Eq. 4.12})$$

A més, els fabricants de bateries disposen d'uns models de bateries amb una capacitat nominal definida i a un voltatge nominal d'ús definit. Per tant el més probable és que no es trobi una sola bateria adequada, sinó que s'hauran de combinar un conjunt d'elles en sèrie i paral·lel. Les equacions 4.13, 4.14 i 4.15 ho defineixen:

$$n_{bss-p} = \frac{C_{alm}}{C_{nom}} \quad (\text{Eq. 4.13})$$

$$n_{bss-s} = \frac{V_{nom}}{V_{mp}} \quad (\text{Eq. 4.14})$$

$$n_{bss-total} = n_{pp} \cdot n_{ps} \quad (\text{Eq. 4.15})$$

##### 4.3.3.2.2 Dies d'autonomia

L'elecció dels dies d'autonomia del conjunt de bateries és un valor que condiona la capacitat de la mateixa. En un habitatge amb connexió a la xarxa elèctrica principal no és necessari i no és recomanable tenir un valor de dies d'autonomia elevat i equiparable al d'una instal·lació aïllada de la xarxa.

Si l'objectiu és aplicar l'estratègia de *peak shaving* exclusivament, el dies d'autonomia prendran un valor de la unitat o menor. Si a més, es desitja poder operar la microxarxa elèctrica en mode aïllat

durant un període prolongat, llavors el número de dies d'autonomia ascendirà al número de dies que es vol operar en aquest mode.

#### 4.3.3.2.3 Profunditat de descàrrega

El més comú és utilitzar bateries d'àcid-plom o de ió-liti per a microxarxes elèctriques amb suport fotovoltaic. Cada una d'aquestes tecnologies treballa a una profunditat de descàrrega diferent.

- Bateries de plom-àcid: 50%.
- Bateries d'ió-liti: 80%.

Per tant, les d'ió-liti son capaces de descarregar-se més, tenint la possibilitat d'aprofitar més la capacitat de la bateria. A més son més eficients i a la vegada més cares. Això comporta que per la mateixa instal·lació, es necessiti pràcticament el doble de capacitat de bateries de plom-àcid respecte a les altres esmentades.

S'utilitzaran bateries d'ió-liti per aplicacions de *peak shaving*, ja que la capacitat necessària és menor i per tant surt econòmicament més barat. En aplicacions on a capacitat necessària de la bateria és gran o es desitja treballar en mode aïllat prolongadament, es farà un estudi tant tècnic com econòmic per decidir l'aplicació d'un tipus o altre de bateries.

#### 4.3.3.3. Dimensionament de l'inversor

Per al dimensionament de l'inversor en una instal·lació elèctrica és necessari conèixer les següents característiques tècniques de l'ondulador:

- Forma d'ona de sortida, que pot ser sinusoidal, quadrada, trapezoïdal, depenent de la qualitat de l'inversor.
- La potència nominal, en kW.
- La tensió nominal d'entrada en corrent continua, en V.
- La tensió nominal de sortida en corrent alterna, en V.
- La freqüència d'operació, generalment 50 Hz en el cas d'Espanya.
- El rendiment a potència nominal, en tant per cent.

És important tenir en compte que la tensió d'entrada a l'inversor no és constant, i que per tant, aquest últim ha de ser capaç de convertir diferents tensions de continua. D'altra banda, la potència nominal ha de ser lleugerament superior a la màxima entregada per el generador fotovoltaic. L'equació 4.16 s'utilitza per dimensionar la potència de l'inversor:

$$P_{inv} = \frac{P_{PV-pic}}{\eta_{inv}} \quad (\text{Eq. 4.16})$$



On:

$P_{inv}$ : Potència necessària per a l'inversor, en W.

$P_{pv-pic}$ : Potència pic del generador fotovoltaic, en W.

$\eta_{inv}$ : Rendiment de l'inversor, en %.

#### 4.3.3.4. Dimensionament del regulador

En el cas d'utilitzar un regulador per a la gestió de la part de corrent continua de la microxarxa elèctrica s'hauran de tenir en compte les següents característiques de funcionament que el defineixen:

- La tensió nominal de sortida en continua, en V.
- Les tensions mínima i màxima d'entrada en continua, en V.
- La corrent nominal d'entrada al regulador des del generador, en A.
- La corrent nominal de sortida cap a les càrregues, en A.
- El rendiment a potència nominal, en %.

És la corrent màxima proporcionada pels mòduls fotovoltaics que determina el dimensionament del regulador, juntament amb la corrent total consumida per la càrrega. Per tant, es calculen aquests dos paràmetres per conèixer les dimensions del regulador (eq. 4.17 i 4.18):

$$I_{gen} = 1,2 \cdot n_{pv-total} \cdot I_{mp} \quad (\text{Eq. 4.17})$$

$$I_{càrrega} = \frac{P_{DC}}{V_{nom}} + \frac{P_{AC}}{\eta_{inv} \cdot V_{nom}} \quad (\text{Eq. 4.18})$$

On:

$I_{gen}$ : Intensitat màxima proporcionada pel conjunt fotovoltaic, en A.

$n_{pv-total}$ : Número total de mòduls fotovoltaics de la instal·lació.

$I_{mp}$ : Intensitat màxima proporcionada per un mòdul fotovoltaic en A.

$I_{càrrega}$ : Intensitat consumida per les càrregues, en A.

$P_{DC}$ : Potència total consumida per les càrregues, en W.

$V_{nom}$ : Tensió nominal en continua de la instal·lació

És important deixar constància que el model escollit de regulador ha de poder incorporar un conjunt de bateries, i que bateries i panells fotovoltaics puguin treballar de la mà en cas de ser necessari.

#### 4.3.3.5. Dimensionament del cablejat

Seguint el Reglament Electrotècnic de Baixa Tensió, i en concret la ITC-BT-19 integrada en aquest reglament, el dimensionament del cablejat de la instal·lació vindrà definit per la secció de cada un dels cables de la microxarxa elèctrica, calculades a l'equació 4.19:

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I}{\sigma \cdot U} \quad (\text{Eq. 4.19})$$

La secció  $S[\text{mm}^2]$  ve definida per la longitud del cable  $L[\text{m}]$  de tram en qüestió, la intensitat màxima  $I[\text{A}]$  que hi pot circular, la caiguda de tensió  $U[\text{V}]$  permesa i per la conductivitat  $\sigma[\text{m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)]$  del cable. Segons el REBT, els cables utilitzats en les instal·lacions hauran de ser de coure o alumini i sempre aïllats. En el cas d'instal·lacions en habitatges la caiguda de tensió en tant per cent serà del 3%. Un cop calculades les seccions de tots els cables, aquestes es normalitzaran, seguint les seccions normalitzades del REBT de la.

**Taula 4.3.17.** Seccions normalitzades dels conductors del REBT[7]

Seccions normalitzades de conductors ITC-BT-19 ( $\text{mm}^2$ )														
1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240

#### 4.3.3.6. Proteccions

Els dos principals elements de protecció que es faran servir són el magnetotèrmic i el fusible, elements que actuen com a protecció davant de curtcircuits i sobreintensitats. D'altra banda, els dispositius de conversió com l'inversor i el regulador disposen de circuits interns que s'encarreguen de protegir contra sobretensions i sobrecàrregues.

##### 4.3.3.6.1 Fusibles

Aquests dispositius, que es converteixen en circuit obert si es sobrepassa un cert nivell d'intensitat, es col·loquen a la part de la corrent continua. En concret, s'utilitzen els fusibles de tipus gL-gG, i es posen en els següents espais i tenen els següents valors:

1. **Entre mòduls i regulador:** El valor de la corrent de curtcircuit del camp fotovoltaic, sent aquesta la suma de les intensitats de curtcircuit de cada una de les branques en paral·lel.
2. **Entre regulador i bateries:** El valor del corrent del regulador calculat a l'equació 4.18.
3. **Entre regulador i inversor:** El quocient entre la potència de l'inversor a l'entrada del mateix i la tensió de sortida del regulador.

#### 4.3.3.6.2 Magnetotèrmic

Aquest dispositiu protegeix l'habitatge de curtcircuits i sobrecàrregues, i també s'anomena PIA (Petit Interruptor Automàtic). A la ITC-BT-25 es deixa constància de quins PIA s'han d'utilitzar per a cada circuit elèctric de l'habitatge:

**Taula 4.3.18.** Interruptor automàtics pels circuits d'un habitatge[7]

Circuit d'utilització	Interruptor Automàtic (A)	Secció mínima (mm <sup>2</sup> )
C <sub>1</sub> Il·luminació	10	1,5
C <sub>2</sub> Ús general	16	2,5
C <sub>3</sub> Cuina i forn	25	6
C <sub>4</sub> Rentadora, rentaplats i caldera elèctrica	20	4
C <sub>5</sub> Lavabo	16	2,5
C <sub>8</sub> Calefacció	25	6
C <sub>9</sub> Aire condicionat	25	6
C <sub>10</sub> Assecadora	16	2,5

#### 4.3.3.6.3 Interruptor diferencial

És obligatori protegir a les persones dels contactes indirectes, aquest sent generats pel circuit de continua. Per tant s'utilitza l'interruptor diferencial que actua com a presa a terra, eliminant les possibles derivacions en les parts metàl·liques del dispositius de la instal·lació fotovoltaica.

## 5. Enginyeria d'aplicació d'una microxarxa elèctrica domèstica

En aquest apartat s'aplica l'enginyeria de concepció desenvolupada a l'apartat 3, fent un estudi en un habitatge existent de caràcter residencial de la implementació del sistema de gestió d'energia i la microxarxa elèctrica dissenyada.

### 5.1. Planificar. Revisió energètica

L'edifici estudiat es troba al Cogul, un poble de 160 habitants de la província de Lleida. L'edifici és una casa unifamiliar que ha sigut remodelada parcialment de manera que s'hi ha construït un petit apartament de dos pisos on actualment es realitza el 95% de les activitats, deixant pràcticament sense utilitzar la resta de l'edifici. A continuació es recullen les dades generals d'aquest apartament.

#### 5.1.1. Dades generals de l'habitatge

##### 5.1.1.1. Dades generals del centre auditat

La taula 5.1.1 presenta les dades generals de l'habitatge fruit de revisió energètica.

**Taula 5.1.1.** Dades generals de l'habitatge unifamiliar del Cogul[Font pròpia]

DADES GENERALS DE L'EDIFICI	
Ús de l'edifici	Residencial
Ubicació	El Cogul, Lleida
Propietaris	Anna Torres i Albert Giralt
Número de persones	3
Tipus d'edifici	Aïllat
Tipus constructiu	Tot pedra
Tipus de teulada	Terrat pla
Superfície total	60 m <sup>2</sup>
Nombre de plantes	2
Any de construcció	2012
Tipus de climatització	Bomba de calor
Calefacció	Bomba de calor, xemeneia comuna i calefactor elèctric
Dades energètiques disponibles	Any 2019 complert i 2020 fins al present

### 5.1.1.2. Ocupació del centre i programa de treball

L'edifici és residencial, i per tant les tasques realitzades en el mateix tenen lloc durant tot el dia, no com a horaris d'oficina. A l'habitatge hi viuen 3 persones, pares i fill, i els seus hàbits de consum s'han pogut agrupar en el gràfic de la figura 5.1:

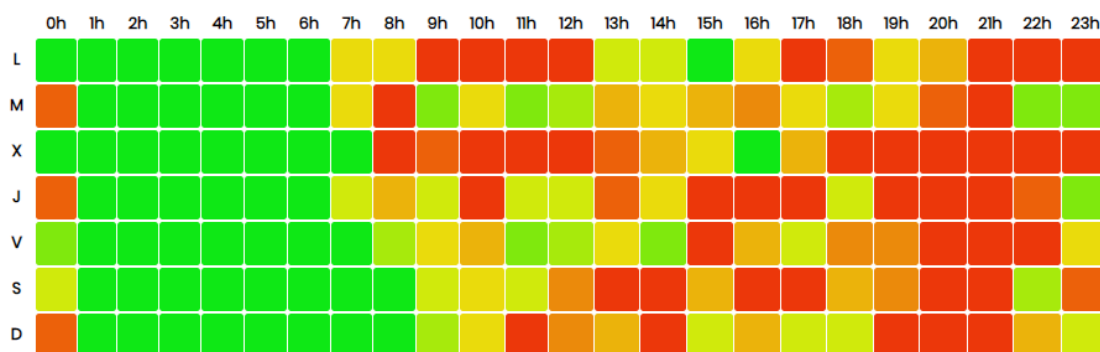


Figura 5.1. Ocupació de l'habitatge de cogul per dies i hores de la setmana[16]

Les hores del dia amb més consum s'agrupen al vespre-nit, moment del dia on tothom ja és a casa. Al migdia també hi ha hores d'alt consum i durant la nit el consum es veu reduït dràsticament ja que és un edifici residencial, i per tant no hi ha activitat nocturna per norma general.

### 5.1.1.3. Anàlisi del subministrament energètic

L'habitatge disposa dels següents subministraments energètics:

#### 5.1.1.3.1 Energia elèctrica

L'energia elèctrica utilitzada en l'edifici presenta les següents característiques.

Taula 5.1.2. Subministrament elèctric[Font pròpia]

Subministrament elèctric	
Empresa Comercialitzadora	Endesa Energía S.A.U.
Empresa Distribuïdora	Endesa Distribución Eléctrica
Producte contractat	Tarifa elèctrica simple
Potència contractada	4,4 kW
Costs dels conceptes facturats	
Import per potència contractada	0,132646 €/kW·dia
	Peatge d'accés: 38,043426 €/kW·any
Import per energia consumida	0,144751 €/kWh
	Peatge d'accés: 0,044027 €/kWh

### 5.1.1.3.2 Combustibles

L'edifici fa ús dels següents recursos energètics per a la realització de diferents activitats residencials.

**Taula 5.1.3.** Subministrament de gas butà[Font pròpia]

Subministrament de gas butà	
Subministrament	Bombones de gas butà
Ús	Fogons i forn
Contractació	Cap,
Consum anual	3 unitats
Cost unitari	15,25 €/unitat
Cost anual	45,75 €

**Taula 5.1.4.** Subministrament de biomassa[Font pròpia]

Subministrament de biomassa	
Subministrament	Compra de biomassa
Ús	Calefacció de biomassa
Contractació	Cap,
Consum anual	1500 kg
Cost unitari	0,25 €/kg
Cost anual	375 €

### 5.1.1.3.3 Autoproducció d'energia

En el moment de la realització de la revisió energètica l'edifici no disposa de cap autoproducció d'energia pròpia.

#### 5.1.1.4. Consums i facturació anteriors

Amb la informació cedida de les factures elèctriques dels períodes anteriors a la data d'estudi es recopila totes les dades de consum elèctric a la taula 5.1.4:

**Taula 5.1.5.** Facturacions d'electricitat anteriors[Font pròpia]

Període de Facturació		Potència		Energia		Otros	Impostos	IVA(21%)	Total
Inici	Final	[kW]	Import [€]	[kWh]	Import [€]	Import [€]	Import [€]	[€]	[€]
19/12/2018	18/2/2019	4,40	35,49	801,00	115,61	1,63	7,73	33,70	194,16
18/2/2019	16/4/2019	4,40	33,27	543,00	78,60	1,53	5,72	25,02	144,14
16/4/2019	18/6/2019	4,40	36,77	460,00	66,59	1,67	5,28	23,17	133,48
18/6/2019	20/8/2019	4,40	36,77	443,00	64,10	1,68	27,78	-	130,33
20/8/2019	16/10/2019	4,40	33,27	369,00	53,38	1,70	23,93	-	112,28
16/10/2019	22/12/2019	4,40	39,10	641,00	92,74	1,78	36,22	-	169,84
22/12/2019	17/2/2019	4,40	33,30	1183,00	170,92	1,51	55,84	-	261,57
17/2/2019	21/4/2020	4,40	37,40	830,00	119,90	1,70	43,12	-	202,12
TOTAL		-	285,37	5270,00	761,84	13,20	205,62	81,88	1347,92

## 5.1.2. Visita in situ

### 5.1.2.1. Instal·lació dels equips de monitorització i mesura

S'utilitza el monitor de consum domèstic Mirubee, actualment formant part de l'empresa Wibee. És un sistema d'adquisició de dades i monitorització dels consums elèctrics amb una plataforma web o app de suport per visualitzar i descarregar les dades obtingudes i els anàlisi realitzats.



**Figura 5.2.** Pack de monitorització Mirubee[16]

La instal·lació de l'equip de monitorització Mirubee es realitza el 28 de desembre del 2019, al quadre elèctric que és una ramificació del quadre elèctric general de l'edifici, i que segueix tenint la mateixa limitació de potència, l'únic que s'instal·la a la vegada que es construeix l'apartament al 2012. És per aquesta raó, que la resta de la casa no es comptabilitzarà amb aquest equip de monitorització. L'únic electrodomèstic del qual no se'n tindran mesures és la rentadora, que es troba fora de l'apartament nou. A continuació es pot visualitzar la instal·lació del Mirubee al quadre elèctric a la figura 5.3.

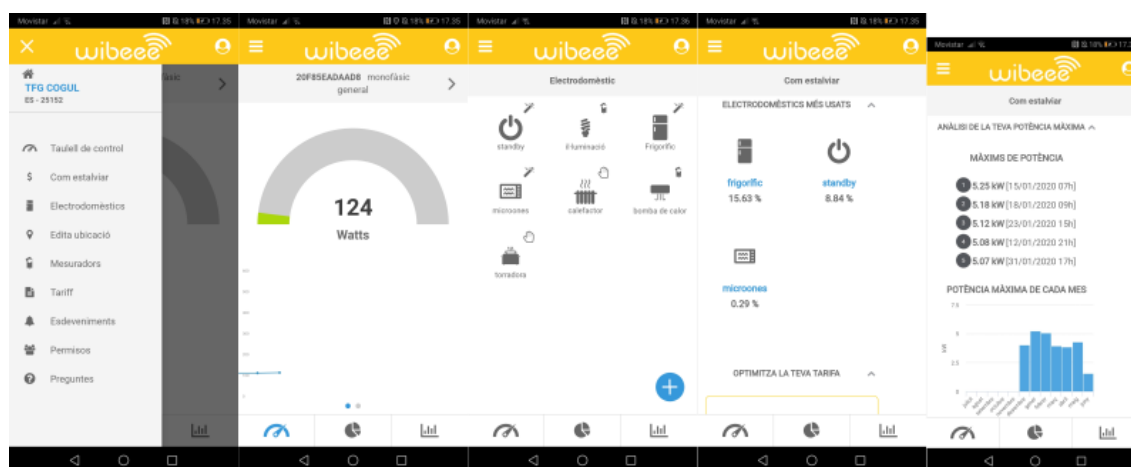


**Figura 5.3.** Instal·lació de l'equip de monitorització Mirubee[Font pròpia]

L'aparell doncs, registra dades des del dia que s'instal·la, i en concret, té dos canals de mesura; un que mesura la potència total de l'apartament i l'altre que mesura exclusivament el pis de dalt, on es troben cuina i menjador.

La plataforma de Wibeee permet les següents possibilitats:

- Visualització dels canals i per tant del consum en directe o en diferit, amb la possibilitat de veure des de minuts fins a mesos en una sola gràfica.
- La discriminació de certs electrodomèstics per portar el compte de quan es fan servir i quant consumeixen.
- La possibilitat de veure els pics de consum per poder estalviar i/o evitar sobrecàrregues en la facturació elèctrica per excedir la potència contractada.
- Conèixer quins són els electrodomèstics més utilitzats.
- Descarregar les dades mesurades amb la possibilitat de disposar-les en períodes de mesures en cada minut, hora i dia.



**Figura 5.4.** Plataforma web de Mirubee[16]



Les mesures preses durant aquest primer semestre de l'any 2020 s'analitzaran i es presentaran més endavant, concretament a l'anàlisi energètic.

### 5.1.2.2. Inventari dels equips energètics

Durant la visita a l'habitatge, es realitza un inventari dels equips més rellevants i que contribueixen al consum de la casa, i es fa una llista de tots ells amb el model i potència:

Taula 5.1.6. Inventari dels equips energètics[Font pròpia]

Equip electrònic	Model/tipus	Unitats	Potència (W)	Ús (hores/dia·u)
Nevera	Bosch	1	182 kWh/any	24
Microones	Orbegozo MI 2015	1	700	0,25
Torradora	Tefal TL365ETR	1	1000	0,25
Cafetera	Krups XN1001	1	1260	0,05
Televisió	Samsung J4290	1	10	2
Consola	Play Station 4	1	165	2
Ordinador	Acer Aspire 3	2	45	6
Bomba de calor	-	1	1000	temporada
Calefactor elèctric	-	1	2000	temporada
Enllumenat	-	13	12	6

### 5.1.3. Anàlisi energètica

A continuació venen recopilades les mesures dia a dia de cada mes monitoritzat. Cal remarcar que tots aquells dies que es troben a zero no s'han pogut comptabilitzar per problemes de connexió del sistema de monitorització Mirubee.



Figura 5.5. Consum habitatge del Cogul al mes de gener 2020 [16]

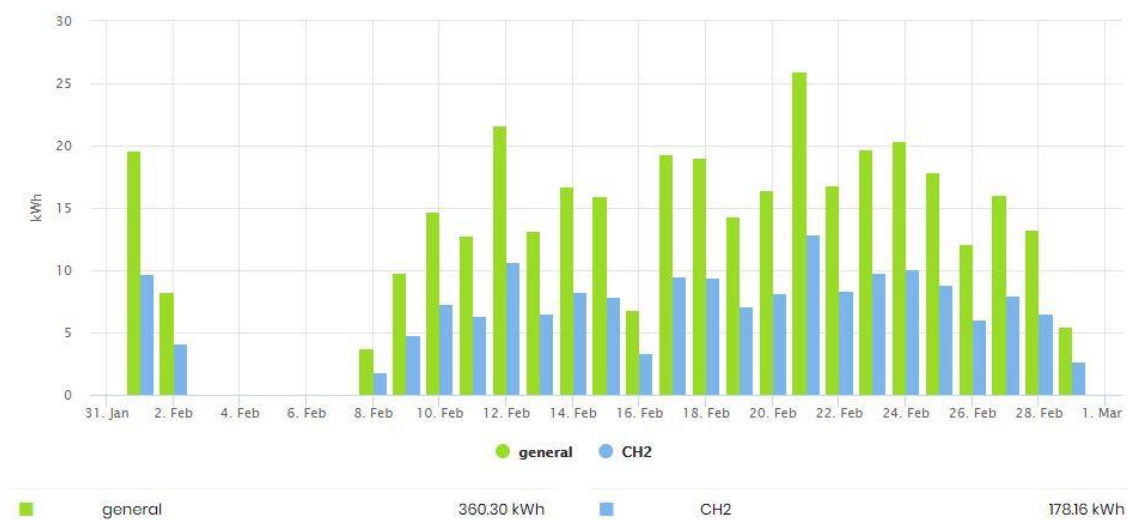


Figura 5.6. Consum habitatge del Cogul al mes de febrer 2020 [16]

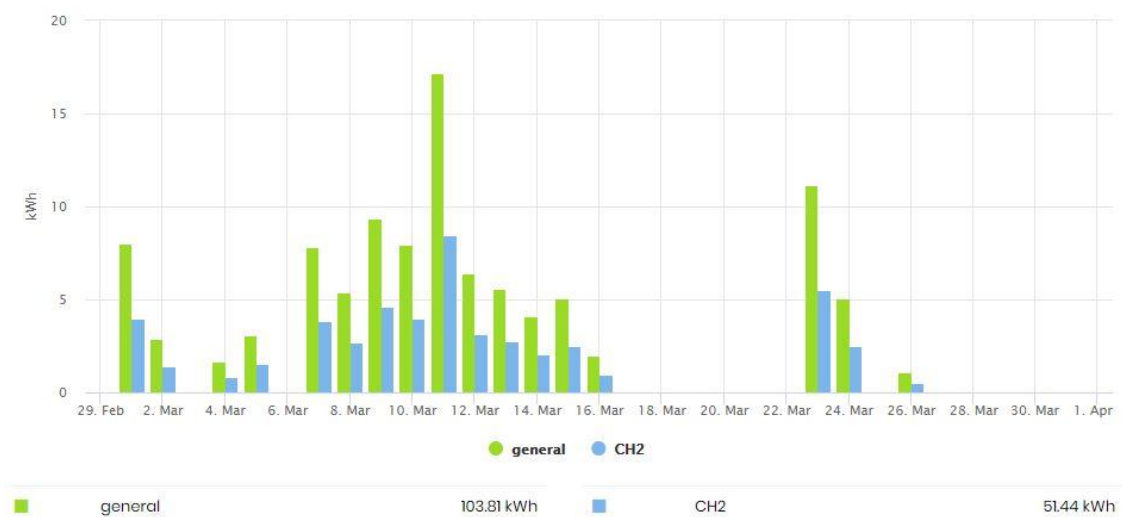


Figura 5.7. Consum habitatge del Cogul al mes de març 2020 [16]

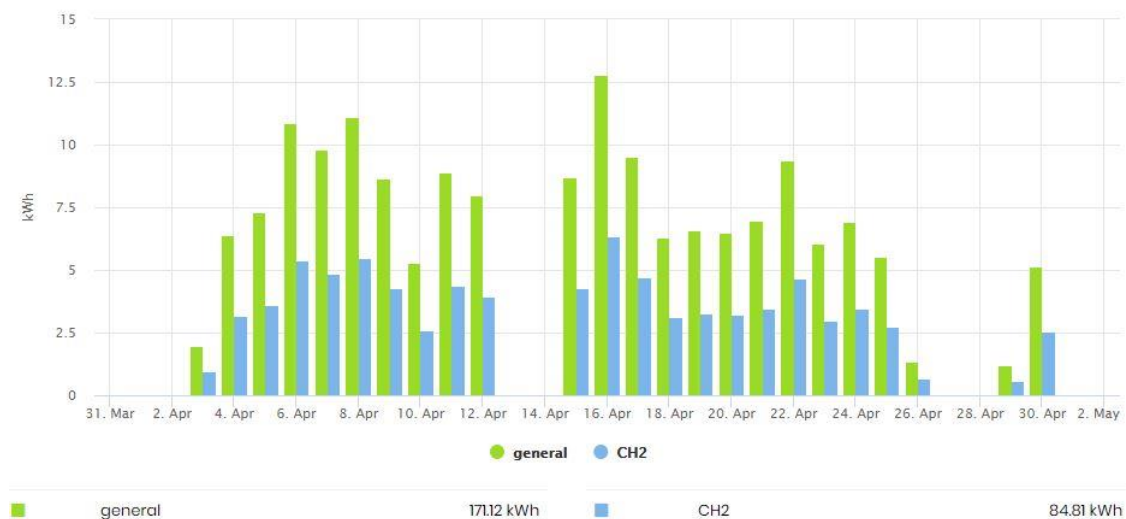


Figura 5.8. Consum habitatge del Cogul al mes de abril 2020[16]

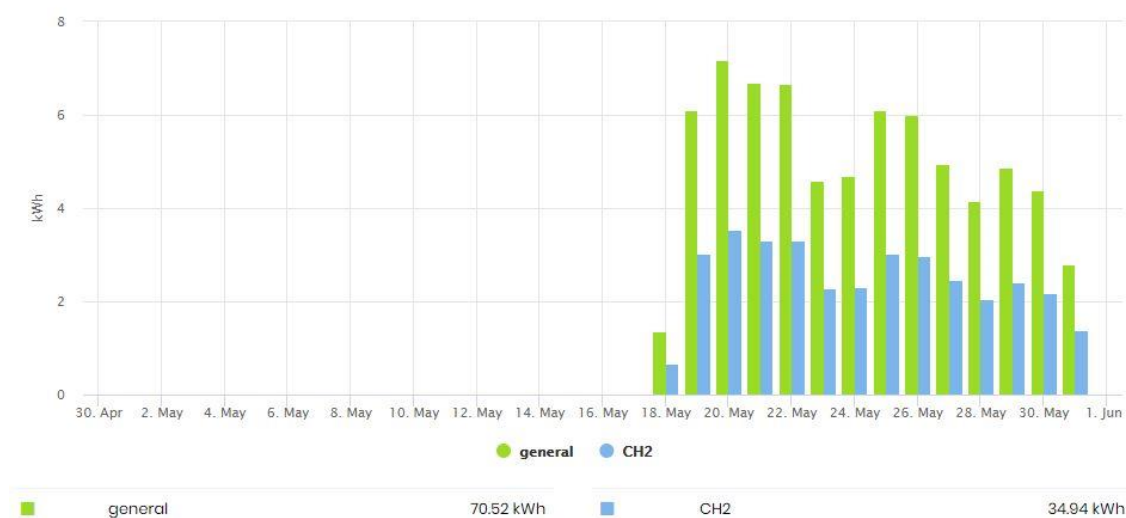


Figura 5.9. Consum habitatge del Cogul al mes de maig 2020 [16]

Amb les dades mesurades del 2020 i les dades disponibles de la facturació de l'any 2019 es fa un càlcul del consum mig diari mensual i anual per tenir una idea de com es comporta el consum i la demanda a través de l'any.

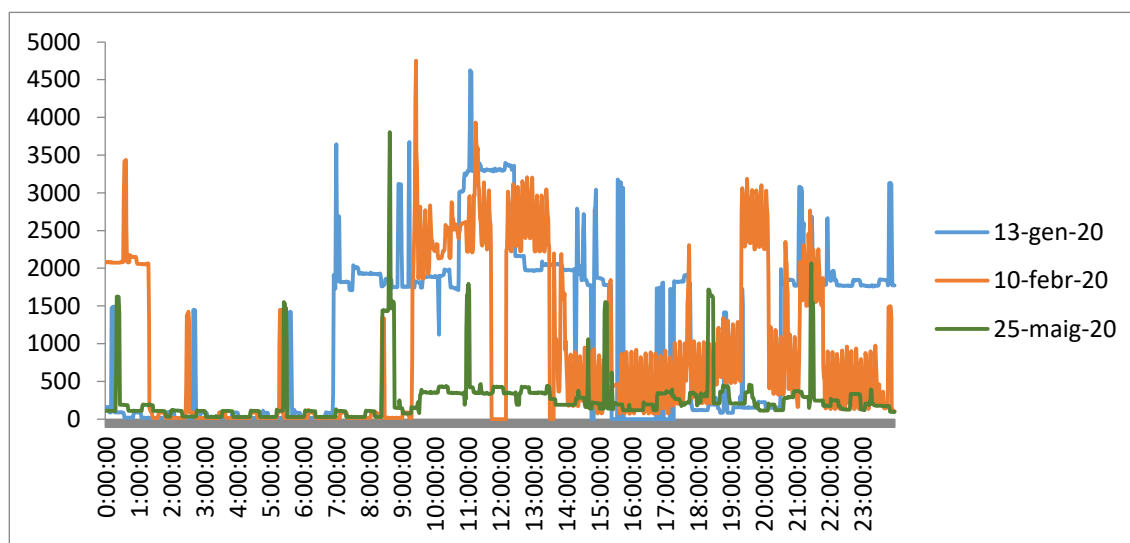
Taula 5.1.7. Consum mig diari dels mesos monitoritzats de l'habitatge del Cogul[Font pròpia]

2020	Consum mig diari (kWh)
Desembre	8,53
Gener	21,12

Febrer	15,00
Març	6,11
Abril	7,13
Maig	5,32
Juny	2,88
<b>Anual</b>	<b>9443,2</b>

**Taula 5.1.8.** Consum mig diari de l'habitatge de Cogul de la facturació disponible [Font pròpia]

Període de Facturació		Consum mig diari (kWh)
Inici	Final	
19/12/2018	18/2/2019	12,92
18/2/2019	16/4/2019	9,53
16/4/2019	18/6/2019	7,42
18/6/2019	20/8/2019	7,15
20/8/2019	16/10/2019	5,95
16/10/2019	22/12/2019	10,34
22/12/2019	17/2/2020	19,08
17/2/2020	21/4/2020	13,39
<b>TOTAL</b>		<b>10,72</b>



**Figura 5.10.** Consum de l'habitatge del Cogul de tres dies de l'any 2020 [Font pròpia]

A la figura 5.10 es veu un clar exemple de la diferència de consums que existeix en època d'hivern i en èpoques de bonança climàtica. La distribució de consums de l'habitatge venen donats a la figura 5.11, i reflecteix en termes d'energia, que el **16,9%** del consum és de la nevera, el **12,89%** és *standby*, el **0,3%** del microones i la resta de l'enllumenat i els altres electrodomèstics que no s'han pogut discriminar.

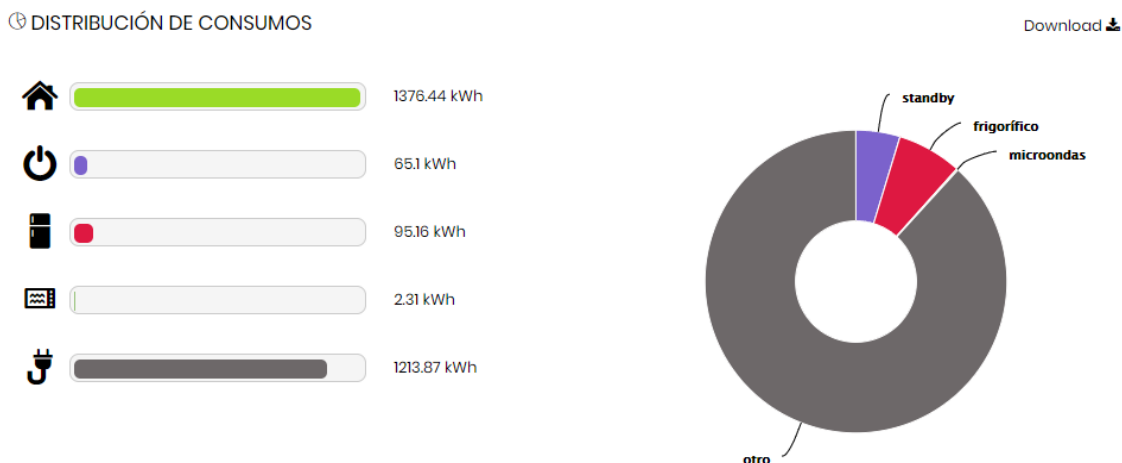


Figura 5.11. Distribució de consum smart-metering de Mirubee[16]

A més cal destacar que el consum diari (12h a 22h) és del **59%** i el **41%** restant és per la nit( de 22h a 12h). El mesurador Mirubee permet veure els màxims de potència que han tingut lloc durant el període mesurat, i veure en quin dia i a quina hora han tingut lloc, a més d'anotar el màxim pic de consum mensual.

Taula 5.1.9. Pics de consum més elevats del període mesurat[16]

Màxims de potència	
Top 5 màxims de consum	Potència [W]
Gener [15/01/2020 a les 7h]	5,25
Gener [18/01/2020 a les 9h]	5,18
Gener [23/01/2020 a les 15h]	5,12
Gener [12/01/2020 a les 21h]	5,08
Gener [31/01/2020 a les 17h]	5,05

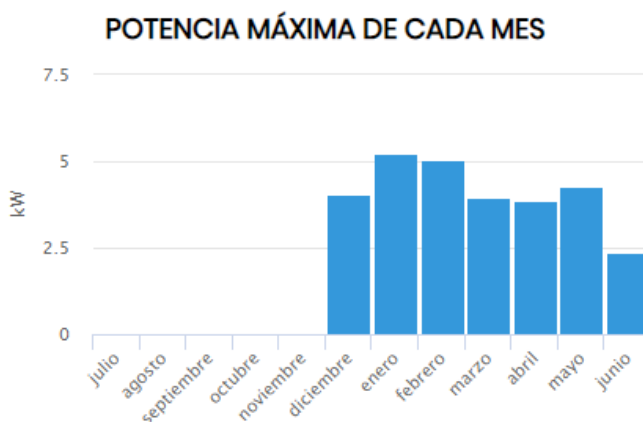


Figura 5.12. Potència màxima de cada mes[Mirubee]

A partir de la informació exposada fins ara, es realitza l'anàlisi energètic de l'habitatge, i s'arriba a les conclusions destacades a continuació:

**a.- Consum elevats d'hivern:** La primera observació evident és que als mesos d'hivern el consum es dispara. El consum mig de gener triplica el de maig, tal i com es mostra a la taula 5.1.7. El valor més alt mesurat de consum diari és el **13 de gener del 2020**, amb més de **31 kWh** consumits. Després d'analitzar les hores d'aquest dia, i sabent que una de les persones treballa des de casa, la justificació d'aquests consums es deu a l'ús d'un calefactor durant les hores de treball, visible a la figura 5.10, de 7h a 16h. Tot i que disposen d'una llar de foc que escalfa, la calor produïda per la xemeneia de la mateixa s'acumula al pis de dalt, i el pis de baix, on està l'estudi, requereix d'un calefactor extra per suplir aquesta falta de calor.

**b.- Pics de consum:** En més d'una ocasió es supera la potència contractada, sobretot al gener, ja que es comptabilitzen els màxims de potència tots en aquest mes, veure taula 5.1.9. En la figura 5.12 es pot veure que al febrer s'arriba als 5 kW de potència, superant també la potència contractada, i als altres mesos és prou elevada tot i no superar el 4,4 kW.

**c.- Distribució de consums:** Tot i que no s'ha pogut discriminar la potència de tots els electrodomèstics, es pot veure clar quins són els aparells que consumeixen més. El calefactor és l'element més volàtil, utilitzat puntualment els dies de fred a l'hivern. El consum de la nevera és raonable. L'*standby* és força elevat i prové principalment de l'ordinador i la televisió, a més de tots aquells elements que estan connectats i tenen un consum mínim. D'altra banda, els consums estan repartits de manera que durant el dia esdevé el 59% de la demanda, i durant la nit el 41% restant, fent que la tarifa elèctrica contractada no sigui d'utilitat.

#### 5.1.4. Anàlisi econòmica

Aprofitant les dades recopilades en l'apartat 5.1.1. *Dades generals de l'habitatge*, es recupera la taula 5.1.5 i a més, es fa un anàlisi de les despeses anuals del 2019, donades a la taula 5.1.10:

**Taula 5.1.5.** Facturacions d'electricitat anteriors[Font pròpia]

Període de Facturació		Potència		Energia		Otros	Impostos	IVA(21%)	Total
Inici	Final	[kW]	Import [€]	[kWh]	Import [€]	Import [€]	Import [€]	[€]	[€]
19/12/2018	18/2/2019	4,40	35,49	801,00	115,61	1,63	7,73	33,70	194,16
18/2/2019	16/4/2019	4,40	33,27	543,00	78,60	1,53	5,72	25,02	144,14
16/4/2019	18/6/2019	4,40	36,77	460,00	66,59	1,67	5,28	23,17	133,48
18/6/2019	20/8/2019	4,40	36,77	443,00	64,10	1,68	27,78	-	130,33
20/8/2019	16/10/2019	4,40	33,27	369,00	53,38	1,70	23,93	-	112,28
16/10/2019	22/12/2019	4,40	39,10	641,00	92,74	1,78	36,22	-	169,84
22/12/2019	17/2/2019	4,40	33,30	1183,00	170,92	1,51	55,84	-	261,57

17/2/2019	21/4/2020	4,40	37,40	830,00	119,90	1,70	43,12	-	202,12
TOTAL		-	285,37	5270,00	761,84	13,20	205,62	81,88	1347,92

**Taula 5.1.10.** Facturacions d'electricitat anteriors[Font pròpia]

Anàlisi econòmic anual 2019 [€]	
Electricitat	884,23
Gas butà	45,75
Biomassa	375
Total	1304,98

Els mesos amb la facturació més elevada coincideixen amb els mesos amb més consum d'electricitat, sent aquests els d'hivern. Per tant, la despesa energètica més elevada és la de l'electricitat, ja que de gas butà és molt baixa. La biomassa s'utilitza únicament per escalfar la casa, per tant també s'arriba a la conclusió, que gran part del cost econòmic es destina a l'escalfament de l'habitatge.

### 5.1.5. Propostes de millora energètica

Davant les conclusions que s'extreuen de les anàlisi energètica i econòmica, es plantegen les següents propostes de millora energètica per tal de que tan a nivell energètic com a nivell econòmic, l'habitatge millori.

Propostes per la millora energètica	
Problemàtica	Solució
a.- Consums elevats a l'hivern	- Substitució del calefactor elèctric per un calefactor de gas butà. - Instal·lació de mòduls fotovoltaics i emmagatzematge elèctric.
b.- Pics de consum	- Instal·lació de mòduls fotovoltaics i emmagatzematge elèctric. - Implementació d'estratègies com el <i>Peak Shaving</i> .
c.- Distribució de consums	- Canvi en la tarifació elèctrica per una tarifa amb discriminació horària. - Eliminació de <i>standby</i> .

- **Substitució del calefactor elèctric per un calefactor de gas butà:** Els calefactors elèctrics representen una despesa d'energia desmesurada, i només s'haurien d'utilitzar puntualment, i no durant tot el dia, tal i com passa en aquest habitatge. Per tant, una solució més eficient i més econòmica és la substitució d'aquest per un que funciona amb bombones de gas butà.

- **Instal·lació de mòduls fotovoltaics i emmagatzematge elèctric:** Aquestes dos fonts d'energia son un suport per a l'habitatge, i ajudaran a reduir l'energia utilitzada directament de la xarxa elèctrica, reduint la tarifa elèctrica considerablement. És important dimensionar correctament aquests dos elements de manera que la inversió dels mateixos queda amortitzada en el menor temps possible.
- **Implementació d'estratègies com el *Peak Shaving*:** Aquesta estratègia té per objectiu reduir els pics de consum a partir de la utilització de l'emmagatzematge elèctric en hores d'alt consum.
- **Canvi en la tarifació elèctrica per una tarifa amb discriminació horària:** L'habitatge té un 40% del seu consum entre les 22h i les 12h, fent que una tarifa amb discriminació horària pugui reduir considerablement el cost final de l'electricitat.
- **Eliminació de *standby*:** En aquest cas, s'ha de conscienciar al propietari de l'existència d'aquest consum residual, i que siguin els habitants de la casa qui desconnectin els elements passius que no utilitzen durant certes hores del dia.

## 5.2. Fer. Dimensionament de la microxarxa elèctrica domèstica

El dimensionament de la microxarxa elèctrica domèstica es realitza seguint el procés de càlcul i decisió de l'apartat 4.3.3. *Dimensionament de la microxarxa elèctrica*. Primerament es presenten els models de mòduls fotovoltaics i bateries que s'utilitzen, a continuació es presenta una taula que agrupa tots el càlculs de dimensionament d'aquests dos elements, i finalment es dimensionen els convertidors electrònics d'energia necessaris, així com el cablejat de tots els trams de línia de baixa tensió nous que comporta la instal·lació de la microxarxa elèctrica.

### 5.2.1. Mòduls fotovoltaics i emmagatzematge elèctric

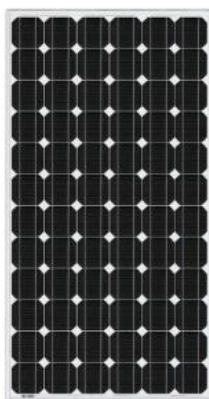
L'empresa Victron Energy disposa d'un model de mòdul fotovoltaic d'alta potència utilitzat tan a habitatges residencial com a instal·lacions fotovoltaïques d'injecció a la xarxa elèctrica principal. Aquest model, SPM043052000, s'escull com a mòdul fotovoltaic per l'habitatge del Cogul, i presenta les característiques elèctriques principals de la taula 5.2.1, veure **annex XX** per full tècnic complet:

**Taula 5.2.1.** Característiques tècniques del mòdul fotovoltaic [Font pròpia]

Característiques Victron Energy SPM043052000		
Rated Maximum Power at STC(W)	W	305
Open Circuit Voltage(Voc)	V	39,70
Maximum Power Voltage(Vmp)	V	32,50
Maximum Power Current(Imp)	A	9,38
Short Circuit Current(Isc)	A	10,27
Power Tolerance	%	3



Rendiment	-	0,165
Superfície	m2	1,63



BlueSolar monocristalino 305W

Figura 5.13. Mòdul fotovoltaic BlueSolar monocristal·lí 305 W[Victron Energy]

Aquests mòduls es posaran a una inclinació de 35º i azimuth 0º, ja que prèviament a l'apartat 4.3.3.1. *Dimensionament de la instal·lació fotovoltaica*, queda constància que seguint el criteri de la màxima captació anual, aquesta disposició dels panells fotovoltaics és l'adequada.

La mateixa empresa Victron Energy s'especialitza en elements d'acumulació electroquímica d'energia. En la vessant de l'autoconsum residencial, disposa de models de bateries de liti. Aquestes bateries son les que s'utilitzaran com a emmagatzematge elèctric de l'habitatge del Cogul. A la taula 5.2.2 es presenten les característiques tècniques principals de la bateria:

Taula 5.2.2. Característiques tècniques de la bateria [Font pròpia]

Característiques Bateria Victron Energy Liti 25,6 V / 200 Ah		
Profunditat de descàrrega	-	0,7
Dies d'autonomia	dies	0,5
Energia total	kWh	5,12
Capacitat nominal bateria	Ah	200
Tensió nominal bateria	V	25,6
Rang de Tensió	V	14 V - 28,8 V
Potència pic (3s)	kW	3,7



Figura 5.14. Bateria ió-liti 25,6 V/200 Ah [Victron Energy]

La bateria es dimensionarà de manera que pot tenir un màxim de dies d'autonomia  $D_{aut} = 0,5$  i mantenint una profunditat de descàrrega màxima de  $P_{D,max} = 0,7$  ja que és la que permet a la bateria tenir més cicles de vida.

Amb els models de mòdul fotovoltaic i bateria escollits ja es pot calcular quina quantitat de cadascun son necessaris per cobrir la demanda energètica de l'habitatge. En la taula 5.2.3 queden agrupats tots els paràmetres d'importància pel dimensionament de la instal·lació fotovoltaica i les bateries per mesos:

Taula 5.2.3. Dimensionament del generador fotovoltaic i les bateries [Font pròpia]

	Unitats	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Setembre	Octubre	Novembre	Desembre	Mitja
Dies	dies	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	-
Consum mig diari (Taula XX)	kWh/dia	<b>21,12</b>	<b>15,01</b>	<b>6,11</b>	<b>7,13</b>	<b>5,32</b>	<b>2,88</b>	-	-	-	-	-	<b>8,53</b>	<b>9,44</b>
Irradiació global(35°)	kWh/m2/mes	110,00	142,52	177,01	188,78	203,66	215,75	228,64	227,84	197,79	145,94	110,44	109,71	171,51
Irradiació global(35°)	kWh/m2/dia	3,55	5,09	5,71	6,29	6,57	7,19	7,38	7,35	6,59	4,71	3,68	3,54	5,64
HSP(35°)	h/dia	3,55	5,09	5,71	6,29	6,57	7,19	7,38	7,35	6,59	4,71	3,68	3,54	5,64
Energia generada mensual (a)	kWh/mes	29,53	38,26	47,52	50,68	54,67	57,91	61,38	61,16	53,09	39,18	29,65	29,45	46,04
Energia generada mensual (b)	kWh/mes	33,55	43,45	53,96	57,53	62,09	65,76	69,74	69,46	60,27	44,51	33,66	33,45	51,56
Energia generada diària (a)	kWh/dia	0,95	1,37	1,53	1,69	1,76	1,93	1,98	1,97	1,77	1,26	0,99	0,95	1,72
Energia generada diària (b)	kWh/dia	1,08	1,55	1,74	1,92	2,00	2,19	2,25	2,24	2,01	1,44	1,12	1,08	1,53
Mòduls Fotovoltaics paral·lel	unitats	20	10	4	4	3	1	-	-	-	-	-	-	6
Mòduls Fotovoltaics sèrie	unitats	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Mòduls Fotovoltaics totals	unitats	20	10	4	4	3	1	-	-	-	-	-	-	6
Energia generada Camp Fotovoltaic	kWh/dia	<b>6,49</b>	<b>9,31</b>	<b>10,44</b>	<b>11,51</b>	<b>12,02</b>	<b>13,15</b>	<b>13,50</b>	<b>13,44</b>	<b>12,05</b>	<b>8,62</b>	<b>6,73</b>	<b>6,48</b>	<b>10,31</b>
Capacitat de la Bateria	kWh	15,09	10,72	4,36	5,09	3,80	2,06	-	-	-	-	-	6,09	6,75
	Ah	589,41	418,88	170,38	198,94	148,47	80,30	-	-	-	-	-	238,00	263,48
Bateries en paral·lel	unitats	3	2	1	1	1	0	-	-	-	-	-	1	1
Bateries en sèrie	unitats	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Bateries totals	unitats	3	2	1	1	1	0	-	-	-	-	-	1	1

Un total de 6 mòduls fotovoltaics de l'empresa Victron Energy son necessaris per a cobrir el consum diari mig anual (9,44 kWh), fent que a l'hivern en molts dies no sigui suficient per cobrir tota la demanda energètica i a l'estiu la majoria de dies sigui el generador fotovoltaic el principal productor d'energia. La bateria ha de disposar de 6,75 kWh d'energia disponible, amb una capacitat de 140,5 Ah. Per a complir aquest requisit, s'ha de disposar d'una bateria de la casa Victron Energy.

### 5.2.2. Convertidors d'energia elèctrica

Es segueix treballant amb un model de la casa Victron Energy per assegurar la compatibilitat entre tots ells, per la facilitat d'adquisició i instal·lació. L'empresa disposa d'un convertidor d'energia, model EasySolar, que combina un controlador de càrrega solar MPPT, un inversor/carregador per l'emmagatzematge elèctric i un distribuïdor de corrent alterna. Aquest dispositiu és ideal per al sistema dissenyat, ja que permet la càrrega de les bateries a partir del generador fotovoltaic i l'entrega d'energia tan del generador fotovoltaic com les bateries a les càrregues en alterna de l'habitatge. Aquest dispositiu es connecta al quadre elèctric principal de l'habitatge. Es treballa amb el model EasySolar 24V / 1600VA, ja que per una banda l'entrada del controlador de carga solar accepta valors de tensió entre 14,4 V i 28,8 V, i la tensió nominal dels mòduls fotovoltaics és de 20 V, i per l'altra banda, la tensions de treball del carregador de bateria don entre 14,4 i 28 V, compatibles amb la bateria de liti, que presenta el mateix rang de treball. En la figura 5.15 es pot veure el model EasySolar 24V / 1600VA i les dades tècniques queden recollides a l'annex XX:



Figura 5.15. Inversor carregador EasySolar 24 V/1600 VA[Victron Energy]

### 5.2.3. Cablejat de la instal·lació

La instal·lació d'un sistema fotovoltaic i un sistema d'emmagatzematge elèctric comporta la instal·lació del cablejat que fa possible les interconnexions entre els diferents elements. S'identifiquen els següents trams de cablejat nous que s'han de dimensionar i instal·lar:

- **Generador fotovoltaic – Convertidor EasySolar:** Tram que va des del conjunt de mòduls fotovoltaics que es troba a la teulada de l'antiga casa al inversor/carregador EasySolar.
- **Bateries – Convertidor EasySolar:** Tram que va des de les bateries fins a l'entrada del carregador del convertidor EasySolar.
- **Convertidor EasySolar – Quadre elèctric:** Tram d'alterna que connecta la instal·lació fotovoltaica i d'emmagatzematge al sistema principal de l'habitatge.

Fent una aproximació de la longitud, i tenint en compte intensitats i caigudes de tensió de cada tram, les següents seccions de cablejat son necessaris:

**Taula 5.2.4.** Característiques tècniques de la bateria [Font pròpia]

Tram	Longitud	Voltatge	Intensitat	Conductivitat	C.d.t.	Secció	Secció norm.
	<i>m</i>	<i>V</i>	<i>A</i>	$m/(\Omega \cdot mm^2)$	<i>V</i>	$mm^2$	$mm^2$
Generador PV - Inversor	7	24	67,536	58	0,72	22,64	25
Inversor - Bateria	2	24	67,54	58	0,72	6,47	10
Inversor - quadre elèctric	3	48	49,02	58	1,44	3,52	4

### 5.3. Verificar. Simulació de la microxarxa elèctrica

En aquest apartat es presenten i s'analitzen els resultats de la implementació de la microxarxa elèctrica, i s'extreuen conclusions per a poder millorar el sistema de gestió d'energia, detectant possibles defectes en la funcionalitat de la microxarxa elèctrica.

#### 5.3.1. Anàlisi de resultats

Es realitza una simulació d'un dia tipus de cada mes monitoritzat, i s'estudia exclusivament la gestió de l'energia elèctrica. Les simulacions son realitzades amb l'eina de càlcul de l'annex A2. Els dies simulats son un dilluns de cada mes monitoritzat i es presenten com a dia tipus de cada mes. Les variables representades en els resultats es defineixen a continuació:

- **Demanda:** Potència demandada per l'habitatge.
- **Consum de xarxa:** Potència que la xarxa elèctrica cobreix de la demanda energètica.
- **Autoconsum:** Potència del generador fotovoltaic que cobreix la demanda energètica.
- **Càrrega de la bateria:** Potència del generador fotovoltaic destinada a la càrrega de la bateria.
- **Descàrrega de la bateria:** Potència de la bateria destinada a cobrir la demanda energètica.
- **Injecció:** Potència del generador fotovoltaic que s'injecta a la xarxa elèctrica perquè és un excedent del sistema.

Es realitzen els següents supòsits que definiran l'escenari de la simulació:

- La corba de la generació fotovoltaica és ideal ja que es contempla cel net les 24 hores del dia.
- La generació fotovoltaica dels dies d'un mes son la mateixa, i per tant no presenten cap canvi.
- La bateria comença carregada totalment per a cada simulació.

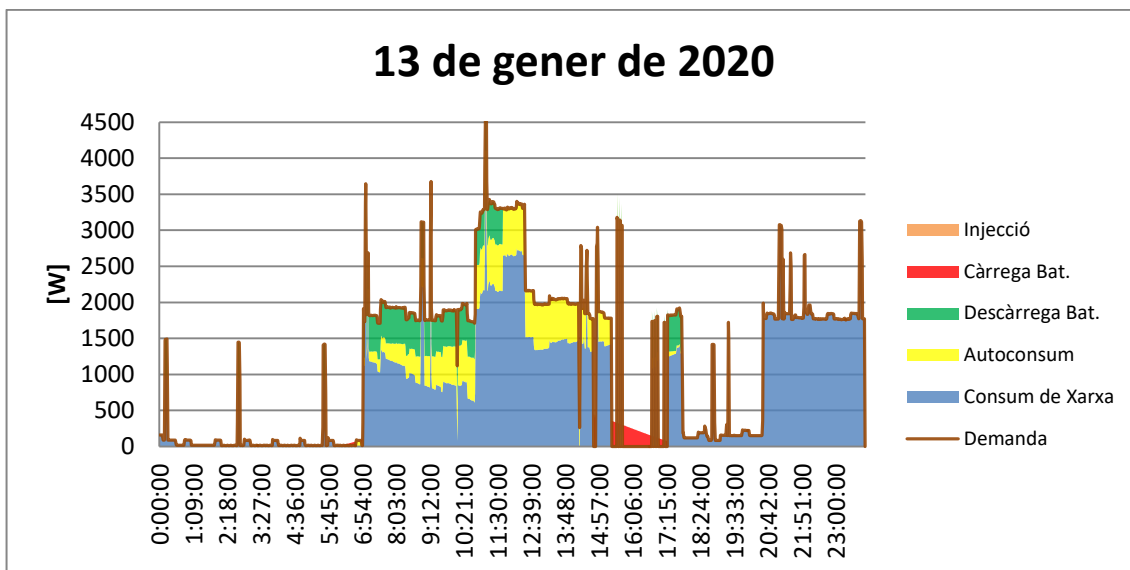


Figura 5.16. Simulació de la microxarxa elèctrica del 13 de gener de 2020 [Font pròpia]

En la figura 5.16 es veu representat la distribució de potències del dilluns 13 de gener de 2020. És un dels dies de l'any amb més demanda energètica per part de l'habitatge, i per tant, es un dia que posa a prova l'HEMS. Cal destacar que l'aportació del generador fotovoltaic és petita ja que en els mesos d'hivern l'aprofitament solar és menor. La combinació d'aquest alt consum i baixa generació fotovoltaica porta a un ús molt agressiu i continu de la bateria, arribant al seu límit (50% de l'estat de càrrega) en només 8 hores. No existeix injecció a la xarxa ja que tota l'energia és aprofitada per l'autoconsum.

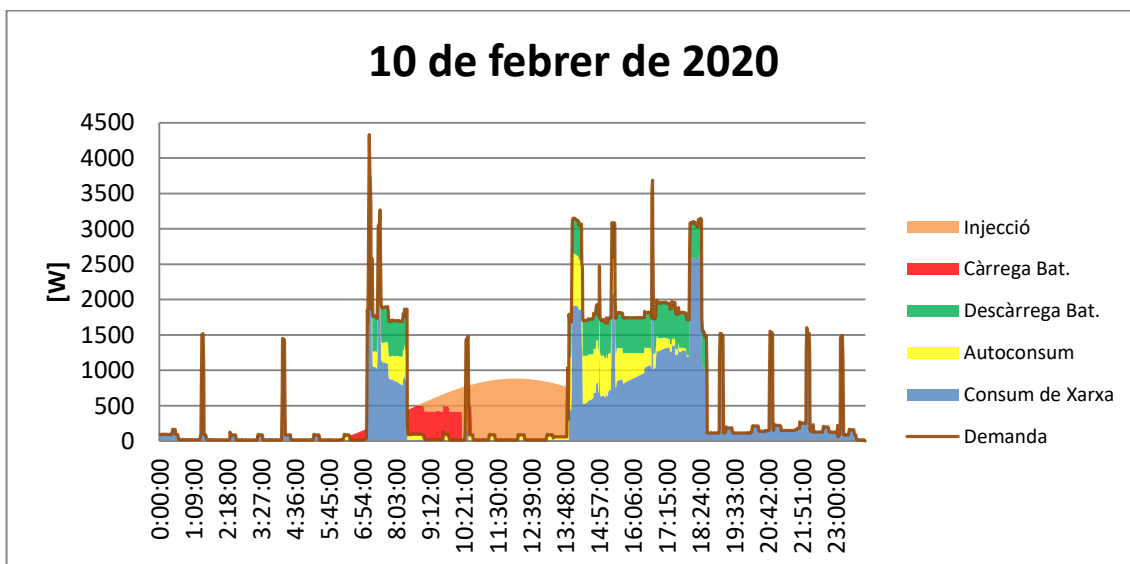
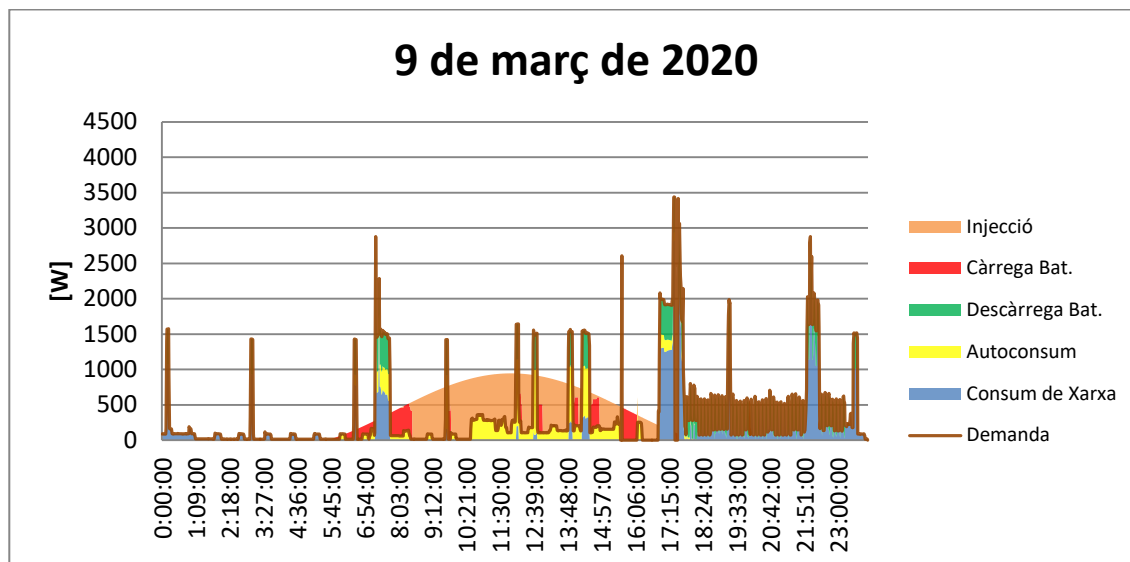


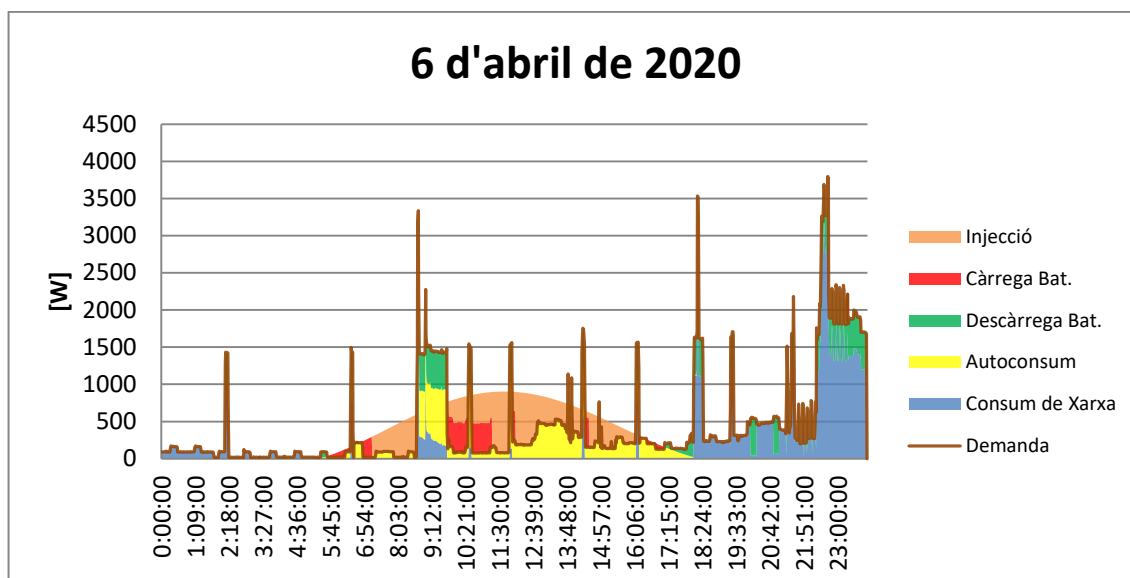
Figura 5.17. Simulació de la microxarxa elèctrica del 10 de febrer de 2020 [Font pròpia]

En la figura 5.17 es veu representat la distribució de potències del dilluns 10 de febrer de 2020. La generació fotovoltaica segueix sent petita pero la demanda energètica ja no és tan elevada i continua com al gener, per la reducció en l'ús d'aparells d'escalfament. Aquesta situació porta a que la bateria pugui realitzar un retall en els pics de consum en tot moment del dia sense descàrregar-se completament. A més, no hi ha massa demanda al migdia, donant lloc a una alta injecció a xarxa, després d'haver carregat la bateria.



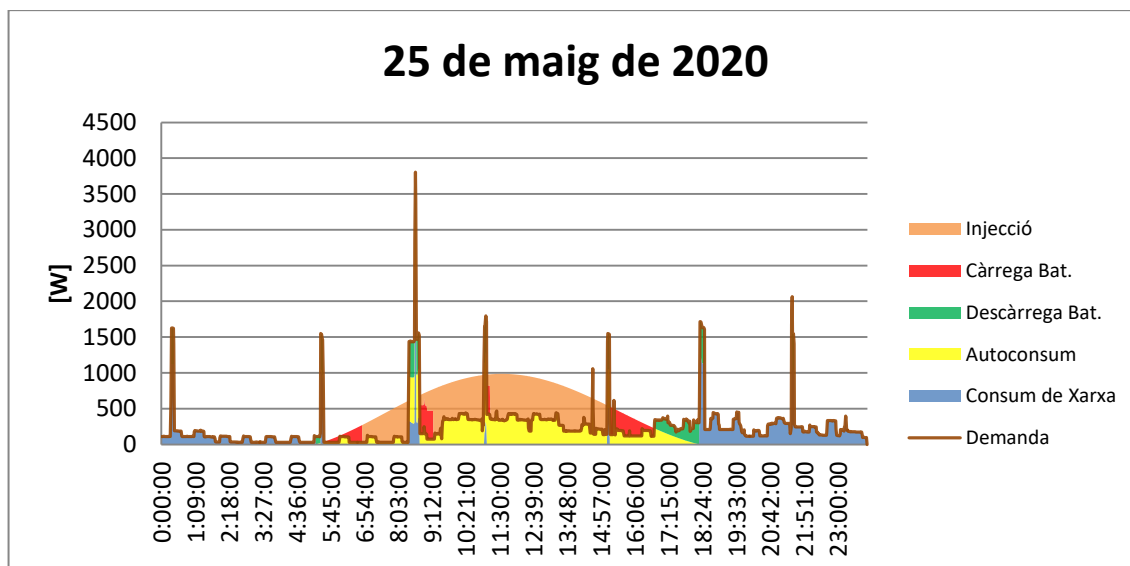
**Figura 5.18.** Simulació de la microxarxa elèctrica del 9 de març de 2020 [Font pròpia]

En la figura 5.18 es veu representat la distribució de potències del dilluns 9 de març de 2020. La demanda energètica de l'habitatge a maig és molt més baixa, presentant pics en moments concrets del dia, com a l'inici del dia laboral, el migdia i per la tarda. En aquest gràfic es veu clar la flexibilitat de la microxarxa elèctrica, sent capaç d'estar carregant la bateria i quan hi ha un pic de consum, que aquesta juntament amb la generació fotovoltaica cobreixin la demanda. També es pot apreciar la jerarquia de l'HEMS, on la prioritat és cobrir la demanda i si hi ha excedent de fotovoltaica, aquesta carrega la bateria fins al màxim i finalment injecta, pudent-se veure entre les 7h i 9h.



**Figura 5.19.** Simulació de la microxarxa elèctrica del 6 d'abril de 2020 [Font pròpia]

En la figura 5.19 es veu representat la distribució de potències del dilluns 6 d'abril de 2020. Aquest dia és un clar exemple de com durant el dia la xarxa elèctrica no és necessària, ja que la producció fotovoltaica es capaç de gestionar la demanda energètica, i quan no és suficient, la bateria i la xarxa fan la seva petita contribució. És llavors a la nit, quan la bateria és necessària perquè el consum es dispara.

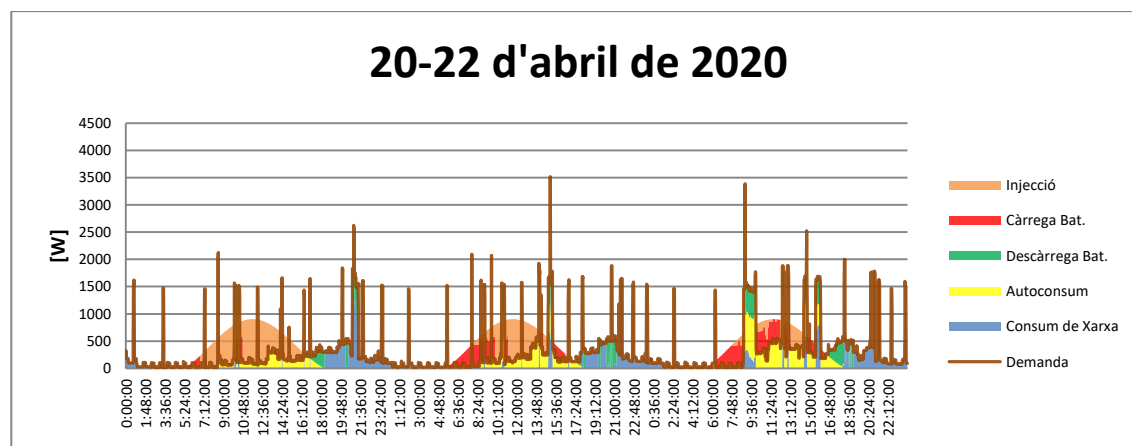


**Figura 5.20.** Simulació de la microxarxa elèctrica del 25 de maig de 2020 [Font pròpia]

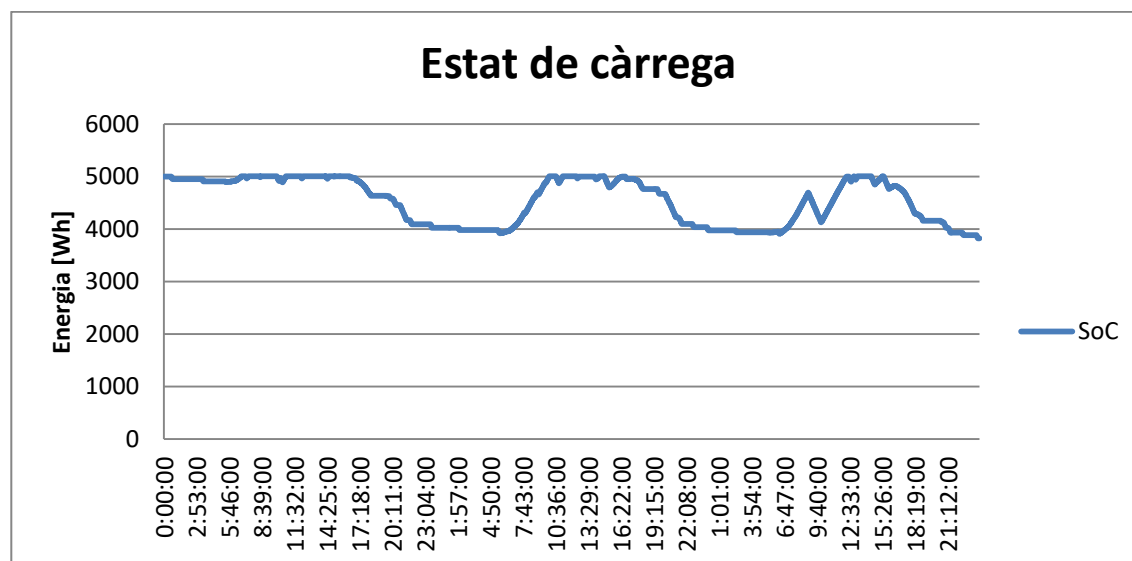
En la figura 5.20 es veu representat la distribució de potències del dilluns 25 de maig de 2020. Aquest dia deixa constància de que la microxarxa elèctrica dissenyada té millor funcionament a l'estiu, ja que l'habitatge, com s'ha dit anteriorment, té un consum molt més elevat en èpoques

de baixes temperatures. La bateria entre en joc exclusivament per realitzar *peak shaving*, i per tant, es compleixen els propòsits de l'HEMS.

Es realitza una última simulació que analitza el comportament de la microxarxa elèctrica durant tres dies seguits, per comprovar el funcionament de la bateria al llarg del temps. S'agafa els consums extrets del Mirubee dels dies 20, 21 i 22 d'abril del 2020.



**Figura 5.21.** Simulació de la microxarxa elèctrica del 20, 21 i 22 d'abril de 2020 [Font pròpia]



**Figura 5.22.** Simulació de l'estat de càrrega de bateria durant els dies 20, 21 i 22 d'abril de 2020 [Font pròpia]

La bateria es descarrega principalment al període de tarda-vespre, quan ja no hi ha generació fotovoltaica o aquesta és mínima. Puntualment es descarrega en altres períodes, degut a que s'aplica l'estratègia de *peak shaving*. D'altra banda, es carrega pels matins, aquella franja horària on el consum és mínim i la producció fotovoltaica elevada (de 8 a 11h aproximadament). És important remarcar que la descàrrega i la càrrega no són agressives, i que en cap moment la



bateria es descarrega completament, fet que indica que està ben dimensionada, almenys pel període de primavera i estiu.

### 5.3.2. Anàlisi econòmica

S'analitzen quatre escenaris econòmics que poden tenir lloc, segons si es considera la implementació de la microxarxa elèctrica, la tarifa de discriminació horària, ambdues o cap.

- **N + T2.0:** Escenari actual sense la implementació de la microxarxa elèctrica i amb la tarifació actual.
- **N + TD:** Escenari actual sense la implementació de la microxarxa elèctrica i amb la tarifació amb discriminació horària.
- **MX + T2.0:** Escenari amb microxarxa elèctrica i tarifació actual.
- **MX + TD:** Escenari amb microxarxa elèctrica i tarifació amb discriminació horària.

Els valors de la demanda energètica han estat extrets de l'equip de monitorització Mirubee, i aquells dies on no hi havia consum s'han considerat com dies on els consum és la mitja mensual. A més, agafant els dies simulats en aquest apartat, s'han considerat com valors de referència els de consum de la xarxa, autoconsum i injecció a la xarxa elèctrica d'aquests dies. Finalment, com només es disposa de 6 mesos de valors monitoritzats de demanda energètica, es considera que aquest període es repeteix dos vegades, per tal de fer-ho anual. En la taula 5.3.1 queden recollits les factures mensuals amb les suposicions explicades anteriorment:

**Taula 5.3.1.** Cost de l'electricitat mensual dels quatre escenaris plantejats [Font pròpia]

	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	TOTAL
N + T2.0	199 €	146 €	87 €	93 €	81 €	81 €	<b>1.377 €</b>
N + TD	157 €	119 €	75 €	80 €	71 €	71 €	<b>1.145 €</b>
MX + T2.0	154 €	128 €	72 €	71 €	61 €	61 €	<b>1.092 €</b>
MX + TD	125 €	105 €	64 €	63 €	56 €	56 €	<b>936 €</b>

És d'esperar que l'escenari amb la implementació de la microxarxa elèctrica (MX + T2.0 i MX + TD) tingui una facturació menor, ja que existeix un tractament de l'energia i per tant un aprofitament més elevat de la mateixa, gràcies a la programació de l'HEMS, el suport fotovoltaic i l'emmagatzematge elèctric. D'altra banda, si només s'aplica la tarifació amb discriminació horària també existeix un estalvi ja que el consum en l'habitatge està força repartit entre període vall i punta ( 40 % i 60% respectivament).

**Taula 5.3.2.** Estalvi econòmic respecte l'escenari N + T2.0 [Font pròpia]

Estalvi respecte N + T2.0	
N + TD	232 €
MX + T2.0	284 €
MX + TD	441 €

Finalment, en la taula 5.3.2 es pot veure l'estalvi respecte l'escenari actual sense cap modificació. El que resulta més interessant d'observar és que la tarifa de discriminació horària aplicada juntament amb la microxarxa elèctrica té molt més estalvi que aplicada a l'escenari normal. La raó principal és perquè l'autoconsum s'aplica en les hores punta, i per tant el consum de xarxa es redueix considerablement durant aquest període.

### 5.3.3. Pressupost orientatiu de l'enginyeria d'aplicació

Per tal de veure la viabilitat econòmica del projecte es fa un estudi econòmic de la inversió que suposa l'obtenció, instal·lació i programació des equips necessaris i després s'analitza el cost anual de la factura de l'electricitat amb i sense la implementació de la microxarxa elèctrica. La diferència entre aquest últims càlculs equival a l'estalvi anual gràcies a la implementació de les millores energètiques, el que permetrà veure el període de retorn de la inversió.

#### 5.3.3.1. Cost de la inversió

La taula 5.3.3 recull tots els costos d'inversió considerats de l'enginyeria d'aplicació, dividits en costos de l'equip energètic i costos d'instal·lació i programació.

**Taula 5.3.3.** Cost de la inversió en equips energètics i la instal·lació [Font pròpia]

Cost associat als equips del sistema					
Equip	Marca	Model	Quantitat	Preu unitari	Import
Modul fotovoltaic	Victron Energy	BlueSolar monocristali 305 W	6	255,00 €	1.530,00 €
Bateria	Victron Energy	Lithium 25,6/200	1	4.500,00 €	4.500,00 €
Convertidor d'energia elèctrica	Victron Energy	EasySolar 24/1600	1	1.420,00 €	1.420,00 €
Smart Meter	Victron Energy	Energy Meter ET112	2	90,00 €	180,00 €
Proteccions			Quantitat	Preu unitari	Import
Fussibles	Din	Fussible 50 A 14x51	2	3,00 €	6,00 €
Portafussibles	Din	Portafussibles 50 A 14x51	2	13,00 €	26,00 €
Interruptor magnetotèrmic	Schneider Electric	IC60N-2P-16A	1	80,00 €	80,00 €
Interruptor diferencial	Schneider Electric	IDPNa 16 A	1	425,00 €	425,00 €
Cablejat			Longitud [m]	Preu [€/m]	Import
Cable Generador - inversor	TopSolar	TopSolar negre 25 mm	7	6,00 €	42,00 €
Cable inversor- bateria	TopSolar	TopSolar vermell 10 mm	2	2,80 €	5,60 €
Cable inversor - quadre elèctric	Sumidelec	Blau 4 mm (neutre)	3	0,50 €	1,50 €
Cable inversor - quadre elèctric	Sumidelec	Marró 4 mm (fase)	3	0,50 €	1,50 €
Cable inversor - quadre elèctric	Sumidelec	Groc-verd 4 mm (terra)	3	0,50 €	1,50 €
<b>TOTAL INVERSIÓ EN EQUIPS</b>					<b>8219,1</b>
Cost associat a la instal·lació i programació dels equips					
Concepte	Descripció		Temps (h)	Preu [€/h]	Import
Instal·lació dels equips	Tècnic per a la instal·lació de tots els equips		20	30,00 €	600,00 €
Programació HEMS	Tècnic per a la programació de l'HEMS		5	35,00 €	175,00 €
<b>TOTAL MÀ D'OBRA</b>					<b>775,00 €</b>
<b>TOTAL INVERSIÓ</b>					<b>8.994,10 €</b>

### 5.3.3.2. Cost de la facturació elèctrica

La taula 5.3.4 presenta la factura detallada dels primers 6 mesos de 2020, sense haver implementat cap millora energètica.

**Taula 5.3.4.** Factura elèctrica de l'any 2020 en l'escenari actual [Font pròpia]

Concepte		Preu(€/u)	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Total
Potència contractada	Import Peatge d'accés(€/kW any)	38,043426	13,95	13,95	13,95	13,95	13,95	13,95	83,70
	Import terme fix(€/kW dia)	0,132646	18,09	18,09	18,09	18,09	18,09	18,09	108,56
Energia consumida	Import Peatge d'accés(€/kWh)	0,044027	28,83	19,17	8,33	9,42	7,26	7,26	80,28
	Import per cost d'energia(€/kWh)	0,144751	94,79	63,02	27,40	30,96	23,88	23,88	263,93
<b>SUBTOTAL IMPORT POTÈNCIA I ENERGIA</b>			<b>155,67</b>	<b>114,23</b>	<b>67,78</b>	<b>72,42</b>	<b>63,18</b>	<b>63,18</b>	<b>536,46</b>
Impost d'electricitat(%)		5,11%	7,96	5,84	3,47	3,70	3,23	3,23	27,43
Lloguer d'equips de mesura i control(€/dia)		0,026552	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	4,94
<b>SUBTOTAL ABANS DE L'APLICACIÓ DE L'IVA</b>			<b>164,45</b>	<b>120,89</b>	<b>72,07</b>	<b>76,95</b>	<b>67,24</b>	<b>67,24</b>	<b>568,83</b>
IVA: Impost sobre el valor afegit (%)		21%	34,53	25,39	15,13	16,16	14,12	14,12	119,45
<b>TOTAL FACTURA ANUAL ANY ANTERIOR</b>			<b>198,98</b>	<b>146,28</b>	<b>87,20</b>	<b>93,11</b>	<b>81,36</b>	<b>81,36</b>	<b>688,28</b>

La taula 5.3.5 presenta la factura detallada dels primers 6 mesos de 2020, aquesta sent la facturació en cas de que s'hagués implementat l'estructura de microxarxa elèctrica i s'hagués canviat la tarifa a un amb discriminació horària.

**Taula 5.3.4.** Factura elèctrica de l'any 2020 de l'escenari MX + TD[Font pròpia]

Concepte		Preu(€/u)	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Total
Potència contractada	Import Peatge d'accés(€/kW any)	38,043426	13,95	13,95	13,95	13,95	13,95	13,95	83,70
	Import terme fix(€/kW dia)	0,132646	18,09	18,09	18,09	18,09	18,09	18,09	108,56
Energia consumida	Import Peatge d'accés(€/kWh)	0,044027	20,64	15,76	5,60	5,32	3,44	3,44	54,21
	Import per cost d'energia DIA(€/kWh)	0,158	44,45	33,93	12,07	11,46	7,41	7,41	116,72
	Import per cost d'energia NIT(€/kWh)	0,0794	14,89	11,37	4,04	3,84	2,48	2,48	39,10
Energia injectada	Retribució excedent (€/kWh)	0,05	0,0016	0,0016	0,0016	0,0016	0,0016	0,0016	0,01
<b>SUBTOTAL IMPORT POTÈNCIA I ENERGIA</b>			<b>97,13</b>	<b>81,72</b>	<b>49,71</b>	<b>48,83</b>	<b>42,89</b>	<b>42,89</b>	<b>363,18</b>
Impost d'electricitat(%)		5,11%	4,97	4,18	2,54	2,50	2,19	2,19	18,57
Lloguer d'equips de mesura i control(€/dia)		0,026552	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	4,94
<b>SUBTOTAL ABANS DE L'APLICACIÓ DE L'IVA</b>			<b>102,92</b>	<b>86,72</b>	<b>53,08</b>	<b>52,15</b>	<b>45,91</b>	<b>45,91</b>	<b>386,69</b>
IVA: Impost sobre el valor afegit (%)		21%	21,61	18,21	11,15	10,95	9,64	9,64	81,20
<b>TOTAL FACTURA ANUAL ANY ANTERIOR</b>			<b>124,54</b>	<b>104,94</b>	<b>64,23</b>	<b>63,10</b>	<b>55,55</b>	<b>55,55</b>	<b>467,89</b>

En ambdós casos no es disposa de més informació degut a que l'estudi de monitorització es realitza exclusivament durant els sis mesos presentats i per tant s'assumeix que aquest període té lloc dos vegades a l'any i per tant la factura d'ambdues situacions es doble. Per tant, en un escenari on l'habitatge no es sotmetés a cap canvi la factura seria de 1377 €. En l'escenari on s'ha implementat les millores energètiques descrites en aquest treball, la factura anual seria de 936 €. Existeix per tant un estalvi anual de 441€ en el cas de que es comences a aplicar el segon escenari.

### 5.3.3.3. Període de retorn de la inversió

Considerant que cada any s'estalvia 441 € i la implementació de les millores energètiques té una inversió de 8994,10 €, es calcula el període de retorn (TR) o *payback*, que indica el temps que es tarda en recuperar la inversió.

$$TR = \frac{\text{Inversió}}{\text{estalvi anual}} = \frac{8994,10}{441,00} = 20,4 \text{ anys} \quad (\text{Eq. 5.1})$$

La inversió que es realitzaria a l'hora d'instal·lar la microxarxa elèctrica seria de 20,4 anys.

### 5.3.4. Conclusions

Després de l'anàlisi energètica i econòmica dels resultats de la implementació de les millores energètiques en l'habitatge del Cogul, Lleida, es conclou:

- L'HEMS programat funciona correctament, no té cap error funcional i compleix amb la jerarquia establerta. La generació fotovoltaica es destina primerament a l'autoconsum, en

segon lloc a la càrrega de la bateria i per últim com a excedent injectat a la xarxa elèctrica. La demanda energètica queda coberta en tot moment, primerament per l'autoconsum, després per la bateria, i si aquesta arriba al seu límit de potència de descàrrega la xarxa elèctrica cobreix la resta.

- L'estratègia de *peak shaving* es duu a terme amb èxit, però esta mal plantejada. La bateria descarrega quan la potència és elevada, suavitzant els pics de consum. Un dels problemes però, és que la potència de descàrrega està limitada a mig quilowatt perquè sinó la bateria es descarrega molt ràpidament. Això comporta que encara hi hagi pics de consum elevats per part de la xarxa en poques ocasions, no podent reduir la potència contractada de l'habitatge, una de les possibles estratègies per a l'estalvi econòmic.
- La capacitat de la bateria és adequada pels períodes de primavera, estiu i tardor. Esta dimensionada de manera que no s'arribi a descarrega totalment en cap moment. La demanda que ha de cobrir és baixa i els pics de consum son puntuals, per tant la bateria no sofreix cap càrrega o descàrrega agressiva que podria retallar la seva vida útil. No passa el mateix a l'hivern però, una època de l'any on el consum de l'habitatge és molt elevat i continu, i la generació solar és més baixa i s'utilitza principalment per l'autoconsum. La bateria es descarrega a una gran velocitat i no hi ha suficient excedent per poder-la carregar al mateix ritme que es descarrega. Per tant la bateria no està preparada per aguantar tot l'hivern i per tant la seva contribució serà parcial perquè estarà en els seus mínims una bona part del temps. Això comportarà que l'estratègia de retall de pics de consum no es pugui duu a terme a l'hivern en tot moment.
- La millor opció a nivell d'estalvi econòmic respecte l'escenari actual és la implementació de la microxarxa elèctrica amb la tarifa de discriminació horària, amb un estalvi de 441 €/ any. Aquest estalvi és degut principalment a l'autoconsum de l'habitatge, l'aportació de la bateria i la injecció a xarxa de l'excedent. A més la tarifa de discriminació horària té un major impacte en un escenari on s'implementa la microxarxa elèctrica ja que aquesta té un consum de xarxa reduït al període punta.
- El període de retorn obtingut indica que la inversió és molt elevada respecte a l'efectivitat de les millores energètiques implementades per aconseguir aquest estalvi econòmic i energètic. Els mòduls fotovoltaics, el convertidor d'energia i l'emmagatzematge elèctric es troben per sobre del preu mig que hi ha actualment al mercat i son la raó per la qual el període de retorn és tan gran.

## 5.4. Actuar. Propostes de millora del SGE

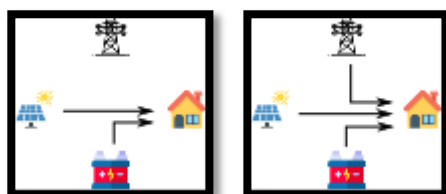
Després d'un anàlisi exhaustiu dels resultats de la implementació dels criteris d'eficiència energètica escollits, i havent extret les conclusions de l'apartat 5.3.4. *Conclusions*, es decideix que s'ha d'actuar de la següent manera per assegurar una millora continua en l'eficiència energètica de l'habitatge:

- Realització d'un estudi més avançat de monitorització i discriminació dels equips energètics de l'habitatge.

- Reprogramació de l'HEMS per millorar la implementació de l'estratègia de *peak shaving*.
- Tractament de la demanda amb estratègies com el *Load Shifting*.
- Reemplaçament dels mòduls fotovoltaics i bateries per altres models més competents a nivell econòmic.

Una de les grans deficiències de l'aplicació d'aquest sistema de gestió d'energia en l'habitatge ha sigut la monitorització dels equips energètics. S'ha topat amb un problema de connexió a internet que no s'ha pogut solucionar al no poder desplaçar-se per motius del confinament que ha patit el país on es troba l'habitatge. Aquesta desconexió puntual del mesurador ha portat a unes dades de consum incompletes, i amb la impossibilitat de discriminar certs equips per fer un anàlisi més profund dels processos energètics. Per tant, una solució vàlida per a la millora de l'eficiència energètica és la realització d'un nou estudi de monitorització més avançat, podent obtenir totes les dades, per a un anàlisi més real de l'habitatge, evitant així extrapolacions de dades o mitges que s'allunyen dels valors reals. A més, hi hagut una limitació en el temps de mesura degut a que és un treball que té data límit. Però en un pròxim cicle del SGE, la monitorització ha de durar un any complet, obtenint així dades de referència d'un període rodó, el que facilita el treball de comparació amb altres períodes.

Un altre punt de millora després de l'anàlisi de la fase de verificació és que l'HEMS té marge de millora en quant a l'aplicació de l'estratègia de *peak shaving*. Els estats que realitzen aquest retall en els pics de consum són el 13.b i el 15.a, el primer combinant la descàrrega de la bateria i l'autoconsum, i el segon afegint-hi la xarxa als altres dos.



**Figura 5.23.** Configuració de la microxarxa elèctrica en els modes d'operació 13.b i 15.a respectivament [Font pròpia]

De la manera com està programat, en el mode d'operació 13.b l'aportació de la bateria és menor a la potència màxima de descàrrega  $P_{dch}$ , i en el 15.a l'aportació sempre és  $P_{dch}$  i la potència que falti per cobrir la potència de la xarxa elèctrica. Per tant, sigui quina sigui la potència demandada per l'habitatge, si la suma de l'aportació de la bateria i l'autoconsum no és suficient, la bateria treballarà al seu màxim. Això comporta que la bateria s'utilitzi contínuament en aquest estat i es descarregui ràpidament. A més, porta a que s'estigui fent un *peak shaving* en un moment del dia on la potència no és tan elevada per aplicar un retall en el consum. Per tal de solucionar aquest problema, s'ha de

reprogramar l'HEMS de manera que en aquest dos modes d'operació la bateria participi exclusivament si el valor de la demanda energètica excedeixi un valor predeterminat de potència, per exemple 3 kW. D'aquesta manera, la bateria només treballa quan la potència de l'habitatge està per sobre aquest valor, i per tant assegura que la potència contractada s'està complint i inclús es pot reduir, i d'altra banda, s'assegura que la bateria no es descàrrega en altres moments que no són tan imprescindibles.

Veient que en el període d'hivern la demanda energètica es dispara durant el dia degut a l'ús d'equips de climatització, i que la implementació de la microxarxa elèctrica no ho ha solucionat, es proposa la implementació de l'estratègia de *load shifting*. En el **load shifting** les càrregues es desplacen en funció de la generació distribuïda disponible i els consums, per a que consumeixin en un interval on el consum és menor o en l'interval on l'horari correspon al de tarifació més baixa. Aquest desplaçament pot ser manual, és a dir, realitzat conscientment pels propietaris de l'habitatge, o d'altra banda, automatitzat. L'escalfament de l'habitatge es pot realitzar per la nit, quan el preu es vall i hi ha menys consum energètic, deixant el període de dia lliure de grans pics de consum.

Finalment, es creu necessari plantejar un nou pressupost, ja que actualment els equips de hardware escollits són de cost elevat. Els mòduls fotovoltaics de la casa Victron Energy valen 0,84 €/Wp, un rati que es pot disminuir fins a 0,35 €/Wp. En el cas de les bateries s'està contemplant un cost de 900 €/kWh instal·lat. Actualment en el mercat existeixen bateries competents per 360 €/kWh. Per tant, el marge de reducció de la inversió és gran si es deixa de banda la consigna de instal·lar equips de la mateixa marca. La proposta de substitució d'aquests elements és la següent:

Model Actual				Model proposat			
Mòdul fotovoltaic BlueSolar SPM043052000	6	255 €/u	1530 €	Mòdul fotovoltaic ERA Solar 200 W BSP200P	7	135 €/u	945 €
Bateria Victron Energy Liti 25,6 V/ 1600 VA	1	4500 €/u	4500 €	Bateria Upower 12,8 V / 50 Ah	3	540 €/u	1620 €
Total			6030 €	Total			2565 €

L'elecció dels mòduls fotovoltaics ERA Solar de 200 W i la bateries Upower de 50 Ah abarateixen la inversió 3465 €, el que implica al voltant de 8 anys menys d'amortització de la inversió.









## Conclusions

S'ha complert amb l'objectiu principal del projecte, sent aquest el disseny d'un algoritme de gestió d'energia capaç de millorar de forma continua l'eficiència energètica d'un habitatge unifamiliar. Aquest algoritme, és exclusiu per a habitatges unifamiliars, però dins d'aquest àmbit és completament flexible i resolutiu.

D'altra banda, s'ha dissenyat una microxarxa elèctrica amb suport fotovoltaic i emmagatzematge elèctric. S'han implementat els criteris d'eficiència energètica a partir del desenvolupament d'un Home Energy Management System (HEMS) per aquest microxarxa elèctrica. L'HEMS ha dotat a la microxarxa elèctrica d'un control de l'energia intel·ligent i programable, dividit en tres nivells: operatiu, tàctic i estratègic. A través de l'HEMS s'han implementat les estratègies energètiques de *Peak Shaving* i *Feed in tariff*, dotant a l'habitatge d'un sistema que gestiona la generació d'energia i els excedents de la mateixa.

S'ha aplicat el sistema de gestió d'energia a un habitatge del Cogul, Les Garrigues. En aquesta aplicació s'ha pogut veure una reducció del consum energètic i un millora en l'aprofitament de l'energia elèctrica. A més, s'ha demostrat que la implementació de la microxarxa elèctrica i de les estratègies energètiques comporta una reducció en la facturació elèctrica, reduint el cost energètic. També es pot concloure que els elements que encareixen la implementació de la microxarxa elèctrica son les bateries i en menor impacte els panells fotovoltaics.

És clau que es realitzi més d'una iteració en l'algoritme de gestió d'energia per tal d'assegurar aquesta millora continua en l'eficiència energètica. En aquest projecte només es realitza una iteració per motius de temps de realització del treball, però es proposen indicacions per a la pròxima iteració. Entre elles, es deixa constància de la necessitat de realitzar una nova revisió energètica, de la millora en el nivell estratègic de l'HEMS i de la necessitat de reduir la inversió a partir de la substitució de les bateries i panells fotovoltaics per models més econòmics.



## Pressupost del projecte

En aquest apartat es presenta l'estudi econòmic relacionat amb els costos per la realització del projecte. Es consideren les hores dedicades per un enginyer de l'energia, incloent dins d'aquest grup d'hores tan les hores dedicades a recerca, creació, redacció i repàs. Els cost d'un enginyer de l'energia per hora realitzada varia en funció de la part del treball que s'ha desenvolupat, i inclou tan el sou de l'enginyer com aquelles despeses que l'enginyer ha hagut de suportar per realitzar el projecte. Per separat s'inclouen les despeses de software, ja que representen un valor massa elevat com per incloure'l directament al cost horari de l'enginyer.

COST DEL PROJECTE			
Concepte	Temps [h]	Preu [€/h]	Cost [€]
<b>1. PREVI</b>	<b>75</b>	-	<b>1.150,00 €</b>
1.1. Recerca d'informació	50	15	750,00 €
1.2. Estudi de la normativa	20	15	300,00 €
1.3. Instal·lació del mesurador de consum	5	20	100,00 €
<b>2. REALITZACIÓ PROJECTE</b>	<b>300</b>	-	<b>6.000,00 €</b>
<b>2.1 Enginyeria de concepció</b>	<b>190</b>	-	<b>3.800,00 €</b>
Disseny algoritme	50	20	1.000,00 €
Planificació energètica	30	20	600,00 €
Disseny HEMS	75	20	1.500,00 €
Disseny i dimensionament microxarxa elèctrica	35	20	700,00 €
<b>2.2. Enginyeria d'aplicació</b>	<b>110</b>	-	<b>2.200,00 €</b>
Revisió energètica	35	20	700,00 €
Dimensionament de la microxarxa elèctrica	35	20	700,00 €
Anàlisi de resultats	25	20	500,00 €
Propostes de millora	15	20	300,00 €
<b>TOTAL</b>	<b>375</b>	-	<b>7.150,00 €</b>
<b>3. SOFTWARE</b>	Preu [€/u]	Unitats	Cost [€]
Microsoft Word i Excel	150	1	150,00 €
Matlab R2018b	2000	1	2.000,00 €
<b>TOTAL</b>			<b>9.300,00 €</b>

Cal deixar constància que si s'hagués de realitzar aquest mateix projecte en un futur, les hores emprades serien considerablement menors degut a que el procediment i les eines de càlcul ja estarien desenvolupades. Per tant, s'aconseguiria abaratir el procés de fer el projecte.

## Bibliografia

- [1] AENOR. 2014. *UNE-EN 16247-1:2012 Auditories energètiques. Part 1: Requisits generals*. AENOR. Madrid, desembre 2014. Depòsit legal M 34366:2014.
- [2] AENOR. 2014. *UNE-EN 16247-2:2014 Auditories energètiques. Part 2: Edificis*. AENOR. Madrid, desembre 2014. Depòsit legal M 34366:2014.
- [3] AENOR. 2011. *UNE-EN ISO 50001: Sistemes de gestió de l'energia. Requisits amb orientació pel seu ús*. AENOR. Madrid, novembre 2011. Depòsit legal M 34366:2014.
- [4] Comissió Europea. 2019. *Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS): Solar radiation tool and PV performance tool*. <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>.
- [5] Herminio Martínez. 2019. *Energia solar fotovoltaica. Diapositives de l'assignatura Energies Renovables*. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 2019.
- [6] Institut Català d'Energia (ICAEN). 2012. *Col·lecció Quadern Pràctic número 7: Guia metodològica per realitzar auditories energètiques*
- [7] España, Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. 2020. *BOE-326 Reglamento Electrotécnico Para Baja Tensión e ITC*. Boletín Oficial Del Estado (BOE).
- [8] España, Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. 2011. *Real Decreto 1699/2011, de 18 de Noviembre, Por El Que Se Regula La Conexión a Red de Instalaciones de Producción de Energía Eléctrica de Pequeña Potencia*. BOE Núm. 295, de 8 de Diciembre de 2011.
- [9] España, Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. 2019. *Real Decreto 244/2019, de 5 de Abril, Por El Que Se Regulan Las Condiciones Administrativas, Técnicas y Económicas Del Autoconsumo de Energía Eléctrica*. Boletín Oficial Del Estado (BOE).
- [10] Luís Hernández Callejo. 2019. *Microrredes Eléctricas: Integración de generación renovable distribuida, almacenamiento distribuido e intel·ligència*. España: Garceta grupo Editorial
- [11] Miguel Pareja Aparicio. 2010. *Energía solar fotovoltaica: Càlculo de una instalación aislada, segunda edición*. España: Marcombo Ediciones técnicas.
- [12] Nourai, Ali. 2002. *Large-Scale Electricity Storage Technologies for Energy Management*. In Proceedings of the IEEE Power Engineering Society Transmission and Distribution Conference, 1:310–15. <https://doi.org/10.1109/pess.2002.1043240>.

[13] Rekioua D., Matagne E. 2012. *Optimization of Photovoltaic Power Systems. Modelization, Simulation and Control*. London: ISBN 978-1-4471-2348-4.

[14] Robert Piqué. *Microxarxes elèctriques. Diapositives de l'assignatura de Control de Sistemes Energètics*. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 2019.

[15] Singh, Pushpendra, D. P. Kothari, and Mool Singh. 2014. *Integration of Distributed Energy Resources. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology* 7 (1): 91–96. <https://doi.org/10.19026/rjaset.7.225>.

[16] Wibeer Home. 2020. *Monitorització dels consums a partir del Mirubox*. <https://wibeer.com/wibeer-home/>.





## Annexos

En aquesta secció es troben detallats la informació que per motius d'espai o rellevància no s'han inclòs a la memòria del projecte.

### A1. Real Decret 244/2019

En el Real Decret 244/2019 es regulen les condicions administratives, tècniques i econòmiques de l'autoconsum d'energia elèctrica. Aquest document modifica i renova el concepte d'autoconsum establert en l'article 9 de la Llei 24/2013 del Sector Elèctric. Segons l'article 4 del Real Decret 244/2019, la classificació de modalitats d'autoconsum s'estableix de la següent forma:

1. Modalitat de subministrament sense excedents: Correspon a les modalitats definides a l'article 9.1.a) de la Llei 24/2013 del Sector Elèctric. En aquestes modalitats s'haurà d'instal·lar un mecanisme anti-abocament que impedeixi la injecció d'energia excedentària a la xarxa de transport o distribució. En aquest cas existirà un únic tipus de subjecte dels esmentats en la Llei 24/2013 del Sector Elèctric, que seran el subjecte consumidor
2. Modalitat de subministrament amb autoconsum amb excedents: Correspon a les modalitats definides a l'article 9.1.b) de la Llei 24/2013 del Sector Elèctric. En aquestes modalitats les instal·lacions de producció pròximes i associades a les de consum podran, a més de subministrar energia per a autoconsum, injectar a energia excedentària a les xarxaes de transport i distribució. En aquests casos existiran dos tipus de subjectes dels esmentats en l'article 6 de la Llei 24/2013 del Sector Elèctric, que seran subjecte consumidor i productor. Aquesta modalitat doncs, es divideix en:
  - a. Modalitat amb excedent acollida a compensació: Pertanyen a aquesta modalitat aquells casos de subministrament amb excedents en els que tant el consumidor com el productor voluntàriament opten per acollir-se a un mecanisme de compensació de excedents. Aquesta opció només serà possible en aquells casos en els que es compleixi amb totes les condicions que seguidament es recullen:
    - i. La font d'energia primària sigui d'origen renovable.
    - ii. La potència total de les instal·lacions de producció associades no siguin superiors a 100 kW.
    - iii. Si fos necessari realitzar un contracte de subministrament per serveis auxiliars de producció, el consumidor hagi subscrit un únic contracte de subministrament per al consum associat i per als consums auxiliars de producció amb una empresa comercialitzadora, segons el que es diu en l'article 9.2 del present real decret.
    - iv. El consumidor i el productor associats hagin subscrit un contracte de compensació de excedents d'autoconsum definit en l'article 14 del present real decret.

- v. La instal·lació de producció no tingui atorgat un règim retributiu adicional o específic.
- b. Modalitat amb excedents no acollida a compensació: Pertanyen a aquesta modalitat tots aquells casos d'autoconsum amb excedent que no compleixin amb algun dels requisits per pertànyer a la modalitat amb excedents acollida a compensació o que voluntàriament optin per no acollir-se a aquesta modalitat.

<b>Autoconsumo INDIVIDUAL</b> Un consumidor asociado  O  <b>Autoconsumo COLECTIVO</b> Varios consumidores asociados	<b>Instalación PRÓXIMA en RED INTERIOR</b> Conexión Red interior.	<b>SIN excedentes (individual)</b> Mecanismo anti-vertido.  <b>SIN excedentes ACOGIDA a compensación (colectivo)</b> Mecanismo anti-vertido.	<b>CONSUMIDOR</b> Titular del suministro <b>PRODUCTOR</b> No existe <b>TITULAR INSTALACIÓN</b> Consumidor <b>PROPIETARIO</b> Puede ser diferente
		<b>CON excedentes ACOGIDA a compensación</b> Fuente renovable. Potencia de producción $\leq$ 100kW. Si aplica, contrato único consumo-auxiliares. Contrato de compensación No hay otro régimen retributivo.	<b>CONSUMIDOR</b> Titular del suministro <b>PRODUCTOR</b> Titular de la instalación <b>TITULAR INSTALACIÓN</b> El inscrito en el registro de autoconsumo <b>PROPIETARIO</b> Puede ser diferente
		<b>CON excedentes NO ACOGIDA a compensación</b> Resto de instalaciones con excedentes.	<b>CONSUMIDOR</b> Titular del suministro <b>PRODUCTOR</b> Titular de la instalación <b>TITULAR INSTALACIÓN</b> El inscrito en el registro de autoconsumo y RAIPRE <b>PROPIETARIO</b> Puede ser diferente
	<b>Instalación PRÓXIMA a TRAVÉS DE RED</b> Conexión a red BT del mismo centro de transformación. Distancia entre contadores generación y consumo < 500 m, ambos conectados en BT. Misma referencia catastral (14dígitos).	<b>CON excedentes NO ACOGIDA a compensación</b> Instalaciones con excedentes.	<b>CONSUMIDOR</b> Titular del suministro <b>PRODUCTOR</b> Titular de la instalación <b>TITULAR INSTALACIÓN</b> El inscrito en el registro de autoconsumo y RAIPRE <b>PROPIETARIO</b> Puede ser diferente

Figura 0.1. Taula de modalitats d'autoconsum[Real decret 244/2019]

En la modalitat d'autoconsum amb excedents acollida a compensació el consumidor utilitza l'energia procedent de la instal·lació d'autoconsum quan la necessita, podent comprar l'energia a la xarxa en moments en que aquesta energia no sigui suficient per cobrir el consum elèctric. D'altra banda, quan

no es consumeix la totalitat de l'energia procedent de la instal·lació d'autoconsum aquesta es podrà injectar a la xarxa. En cada període de facturació, la factura emesa per la comercialitzadora compensarà el cost de l'energia comprada a la xarxa amb l'energia excedentària injectada a la xarxa. Aquesta última però no tindrà el mateix preu que l'energia comprada a la xarxa, sinó que estarà valorada a preu mig del mercat horari menys el cost dels desviaments, o al preu acordat amb la comercialitzadora. En cap cas però, el resultat de la facturació podrà ser negativa, és a dir, a favor del consumidor.

Independentment de la modalitat d'autoconsum, aquest autoconsum podrà ser individual o col·lectiu, depenent de si existeix un sol consumidor associat a la instal·lació de producció o més d'un. A més es podran instal·lar elements d'emmagatzematge en totes les modalitats d'autoconsum.

## A2. Eines de càlcul

A continuació venen recopilats els scripts del software *Matlab* i *Simulink* que han fet possible el càlcul dels resultats de la implementació de les millores energètiques.

El següent contingut correspon a *From\_workspace.m*, on es defineixen totes les variables d'entrada per a l'eina de càlcul, en concret es calcula la potència generada pels panells fotovoltaics per cada mes, i s'introdueixen els consums, així com totes les constants necessàries.

```
clear all
clc
close all

%% Dades extretes del PVGIS

%Irradiancia[W/m^2] dels mesos de consum( vector no complet, s'ha de
tenir
%en compte tots els minuts del dia)
sol_enero = xlsread('Irradiancia','Hoja1','E8:E32');
sol_febrero = xlsread('Irradiancia','Hoja1','F8:F32');
sol_marzo = xlsread('Irradiancia','Hoja1','G8:G32');
sol_abril = xlsread('Irradiancia','Hoja1','H8:H32');
sol_mayo = xlsread('Irradiancia','Hoja1','I8:I32');
sol_junio = xlsread('Irradiancia','Hoja1','J8:J32');

%% Gràfiques de irradiància per extreure equació de la corba

% %Enero
% figure
```

```

% plot(minuts_dia,sol_enero)
% xlabel('Minuts del dia')
% ylabel('Irradiancia [W/m^2]')
% title('Irradiancia enero')
%
%
% %Febrero
% figure
% plot(minuts_dia,sol_febrero)
% xlabel('Minuts del dia')
% ylabel('Irradiancia [W/m^2]')
% title('Irradiancia febrero')
%
% %Marzo
% figure
% plot(minuts_dia,sol_marzo)
% xlabel('Minuts del dia')
% ylabel('Irradiancia [W/m^2]')
% title('Irradiancia marzo')
%
% %Abril
% figure
% plot(minuts_dia,sol_abril)
% xlabel('Minuts del dia')
% ylabel('Irradiancia [W/m^2]')
% title('Irradiancia abril')
%
% %Mayo
% figure
% plot(minuts_dia,sol_mayo)
% xlabel('Minuts del dia')
% ylabel('Irradiancia [W/m^2]')
% title('Irradiancia mayo')
%
% %Junio
% figure
% plot(minuts_dia,sol_junio)
% xlabel('Minuts del dia')
% ylabel('Irradiancia [W/m^2]')
% title('Irradiancia junio')

%% Vectors irradiancia a partir d'equacions
i=1;
for min = 0:1:1439

    %Enero
    p1 = -1.2901e-18;
    p2 = -1.263e-14;
    p3 = 6.9868e-11;
    p4 = -1.183e-07;
    p5 = 8.4548e-05;
    p6 = -0.024388;
    p7 = 2.3136;
    p8 = -25.218;

    y_enero = p1*min^7 + p2*min^6 + p3*min^5 + p4*min^4 + p5*min^3 +
p6*min^2 + p7*min + p8;

```

```
%Febrero
p1 = -3.2531e-18;
p2 = -7.8697e-15;
p3 = 7.2732e-11;
p4 = -1.3485e-07;
p5 = 9.9624e-05;
p6 = -0.028938;
p7 = 2.7327;
p8 = -29.294;

y_febrero = p1*min^7 + p2*min^6 + p3*min^5 + p4*min^4 + p5*min^3 +
p6*min^2 + p7*min + p8;

%Marzo
p1 = 3.2787e-18;
p2 = -4.0411e-14;
p3 = 1.355e-10;
p4 = -1.9312e-07;
p5 = 0.00012563;
p6 = -0.033681;
p7 = 2.9855;
p8 = -29.188;

y_marzo = p1*min^7 + p2*min^6 + p3*min^5 + p4*min^4 + p5*min^3 +
p6*min^2 + p7*min + p8;

%Abril
p1 = 7.39e-18;
p2 = -5.859e-14;
p3 = 1.6483e-10;
p4 = -2.1329e-07;
p5 = 0.00013023;
p6 = -0.033225;
p7 = 2.8198;
p8 = -25.777;

y_abril = p1*min^7 + p2*min^6 + p3*min^5 + p4*min^4 + p5*min^3 +
p6*min^2 + p7*min + p8;

%Mayo
p1 = 8.8752e-18;
p2 = -6.7607e-14;
p3 = 1.8579e-10;
p4 = -2.3646e-07;
p5 = 0.00014237;
p6 = -0.035791;
p7 = 2.9962;
p8 = -26.908;

y_mayo = p1*min^7 + p2*min^6 + p3*min^5 + p4*min^4 + p5*min^3 +
p6*min^2 + p7*min + p8;
```

```

%Junio
p1 = 7.3241e-18;
p2 = -6.1463e-14;
p3 = 1.7777e-10;
p4 = -2.3342e-07;
p5 = 0.00014339;
p6 = -0.036483;
p7 = 3.0796;
p8 = -27.973;

y_junio = p1*min^7 + p2*min^6 + p3*min^5 + p4*min^4 + p5*min^3 +
p6*min^2 + p7*min + p8;

%Vectors DIA( per cada minut del dia) IRRADIANCIA[W/m^2]
arr_min(i) = min;
g_Enero(i) = y_enero;
g_Febrero(i) = y_febrero;
g_Marzo(i) = y_marzo;
g_Abril(i) = y_abril;
g_Mayo(i) = y_mayo;
g_Junio(i) = y_junio;

i = i + 1;
end
%% Generació fotovoltaica
for i= 1:length(arr_min)

    if g_Enero(i) < 0

        x = 0;

    else

        x = g_Enero(i);

    end

    if (i < 250 || i > 1170) && g_Enero(i) > 0

        x = 0;

    end

    g_enero(i) = x;

    i = i + 1;
end

%Maig
figure
plot(arr_min,g_enero)
xlabel('Minuts del dia')

```

```
ylabel('Irradiancia [W/m^2]')
title('Irradiancia Enero')

for i= 1:length(arr_min)

    if g_Febrero(i) < 0

        x = 0;

    else

        x = g_Febrero(i);

    end

    if (i < 250 || i > 1170) && g_Febrero(i) > 0

        x = 0;

    end

    g_febrero(i) = x;

    i = i + 1;
end

%Juliol
figure
plot(arr_min,g_febrero)
xlabel('Minuts del dia')
ylabel('Irradiancia [W/m^2]')
title('Irradiancia Febrero')

for i= 1:length(arr_min)

    if g_Marzo(i) < 0

        x = 0;

    else

        x = g_Marzo(i);

    end

    if (i < 250 || i > 1170) && g_Marzo(i) > 0

        x = 0;

    end

    g_marzo(i) = x;
```

```
    i = i + 1;
end

%Setembre
figure
plot(arr_min,g_marzo)
xlabel('Minuts del dia')
ylabel('Irradiancia [W/m^2]')
title('Irradiancia Marzo')

for i= 1:length(arr_min)

    if g_Abril(i) < 0

        x = 0;

    else

        x = g_Abril(i);

    end

    if (i < 250 || i > 1170) && g_Abril(i) > 0

        x = 0;

    end

    g_abril(i) = x;

    i = i + 1;
end

%Novembre
figure
plot(arr_min,g_abril)
xlabel('Minuts del dia')
ylabel('Irradiancia [W/m^2]')
title('Irradiancia Abril')

for i= 1:length(arr_min)

    if g_Mayo(i) < 0

        x = 0;

    else

        x = g_Mayo(i);

    end

    if (i < 250 || i > 1170) && g_Mayo(i) > 0
```



```
        x = 0;

    end

    g_mayo(i) = x;

    i = i + 1;
end

%Febrer
figure
plot(arr_min,g_mayo)
xlabel('Minuts del dia')
ylabel('Irradiancia [W/m^2]')
title('Irradiancia Mayo')

for i= 1:length(arr_min)

    if g_Junio(i) < 0

        x = 0;

    else

        x = g_Junio(i);

    end

    if (i < 250 || i > 1170) && g_Junio(i) > 0

        x = 0;

    end

    g_junio(i) = x;

    i = i + 1;
end

%Febrer
figure
plot(arr_min,g_junio)
xlabel('Minuts del dia')
ylabel('Irradiancia [W/m^2]')
title('Irradiancia Junio')

% Tenint en compte el número de panells i superfície dels mateixos
% CE-310M60 / 310 W / 33 V maximum power voltage
N_p = 5; %Número de panells
m_quadrats_p = 2.01; %[m^2]
rendiment_p = 0.165;

%POTÈNCIA TOTAL ABSORBIDA [W]
```

```

p_enero = -(rendiment_p * N_p*m_quadrats_p*g_enero);
p_febrero = -(rendiment_p * N_p*m_quadrats_p*g_febrero);
p_marzo = -(rendiment_p * N_p*m_quadrats_p*g_marzo);
p_abril = -(rendiment_p * N_p*m_quadrats_p*g_abril);
p_mayo = -(rendiment_p * N_p*m_quadrats_p*g_mayo);
p_junio = rendiment_p * N_p*m_quadrats_p*g_junio;

%Potència de la fotovoltaica durant 3 dies
p_abril3 = [ p_abril p_abril p_abril];
% p_juliol3 = [ p_juliol p_juliol p_juliol];
% p_setembre3 = [ p_setembre p_setembre p_setembre];
% p_novembre3 = [ p_novembre p_novembre p_novembre];
% p_febrer3 = [ p_febrer p_febrer p_febrer];

%% SECCIO NOVA

time = 0:.1:10;
time = transpose(time);

% PV = transpose(p_enero);
% PV = transpose(p_febrero);
% PV = transpose(p_marzo);
PV = transpose(p_abril3);
% PV = transpose(p_abril);
% PV = transpose(p_mayo);

% L = xlsread('Irradiancia','Hojal','AE8:AE1447'); % 13/01/2020
% L = xlsread('Irradiancia','Hojal','AL8:AL1447'); % 03/01/2020
% L = xlsread('Irradiancia','Hojal','AP8:AP1447'); % 10/02/2020
% L = xlsread('Irradiancia','Hojal','BC8:BC1447'); % 09/03/2020
L = xlsread('Irradiancia','Hojal','BG8:BG4327'); % 20 21 y 22 de abril
2020
% L = xlsread('Irradiancia','Hojal','AY8:AY1447'); % 06/04/2020
% L = xlsread('Irradiancia','Hojal','AT8:AT1447'); % 25/05/2020

% PV = timeseries(PV);
% L = timeseries(L);

SoCin = 5000; % Capacitat Bateria inicial en Wh
SoCmin = 1500*ones(1440,1); % Capacitat Bateria mínima en Wh
SoCmax = 5000*ones(1440,1); % Capacitat Bateria màxima en Wh
SoCmig = 2500*ones(1440,1); % Capacitat Bateria mitja en Wh

SoCin = timeseries(SoCin);
SoCmin = timeseries(SoCmin);
SoCmax = timeseries(SoCmax);
SoCmig = timeseries(SoCmig);

Pch = 400*ones(1440,1); % Valor màxim de càrrega de la bateria
Pdch = 500*ones(1440,1); % Valor màxim de descàrrega de la bateria

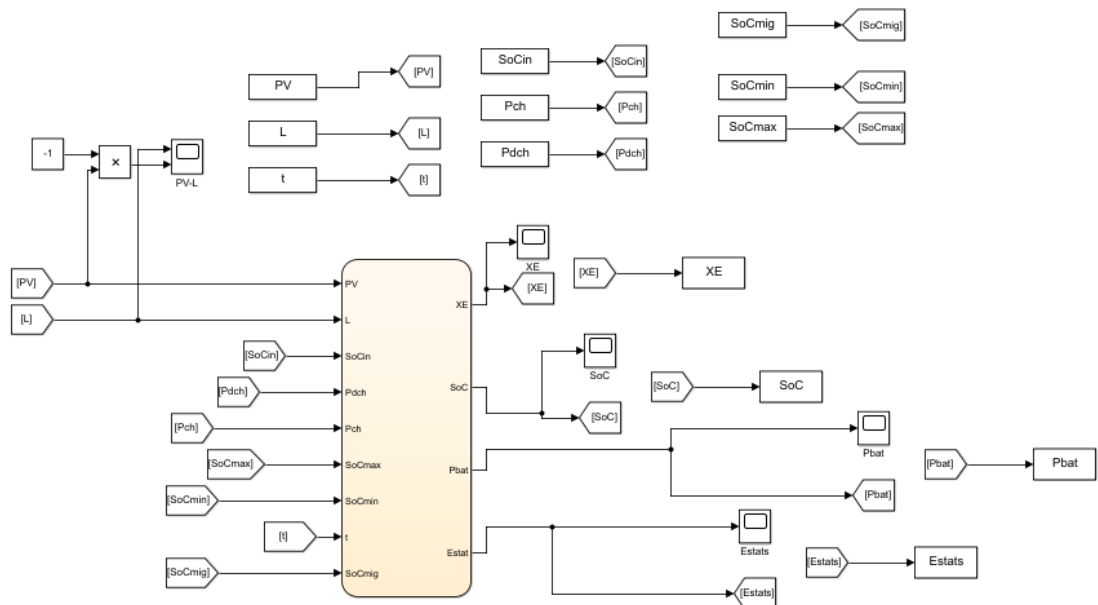
Pch = timeseries(Pch);
Pdch = timeseries(Pdch);

```

```
t = (1/60)*ones(1440,1); % minut a minut
t = timeseries(t);

% Output_matrix = [ XE ; Pbat ; SoC ];
```

El document de *Simulink* següent correspon a *Diagrama\_Estats.slxc*. Aquesta és l'eina que disposa d'un diagrama d'estats capaç de retornar els valors de sortida per a l'anàlisi de dades.



Finalment les dades son traspassades a fulles de càlcul d'Excel a partir del següent codi de *Matlab* del script *Simulations\_results.m*.

```
%% clear
clear all
clc
close all

% Càrrega de resultats de la Simulació per carregar-los a l'excel i
% graficar-los.

%% Febrer
load('L_febrer.mat');
load('PV_febrer.mat');
load('Pbat_febrero.mat');
load('XE_febrero.mat');
```

```

load('Estats_febrero.mat');
load('SoC_febrero.mat');

input_variables_febrer = [ L , PV ];
Simulation_results_febrer = [Estats , XE , Pbat , SoC];

xlswrite('Simulacio_Resultats',input_variables_febrer,'Hoja1','B3')
xlswrite('Simulacio_Resultats',Simulation_results_febrer,'Hoja1','D3')

%% Gener
load('L_gener.mat');
load('PV_gener.mat');
load('Pbat_gener.mat');
load('XE_gener.mat');
load('Estats_gener.mat');
load('SoC_gener.mat');

input_variables_gener = [ L , PV ];
Simulation_results_gener = [Estats , XE , Pbat , SoC];

xlswrite('Simulacio_Resultats',input_variables_gener,'Hoja2','B3')
xlswrite('Simulacio_Resultats',Simulation_results_gener,'Hoja2','D3')

%% Maig
load('L_maig.mat');
load('PV_maig.mat');
load('Pbat_maig.mat');
load('XE_maig.mat');
load('Estats_maig.mat');
load('SoC_maig.mat');

input_variables_maig = [ L , PV ];
Simulation_results_maig = [Estats , XE , Pbat , SoC];

xlswrite('Simulacio_Resultats',input_variables_maig,'Hoja3','B3')
xlswrite('Simulacio_Resultats',Simulation_results_maig,'Hoja3','D3')
%% Abril
load('L_abril.mat');
load('PV_abril.mat');
load('Pbat_abril.mat');
load('XE_abril.mat');
load('Estats_abril.mat');
load('SoC_abril.mat');

input_variables_abril = [ L , PV ];
Simulation_results_abril = [Estats , XE , Pbat , SoC];

xlswrite('Simulacio_Resultats',input_variables_abril,'Hoja4','B3')
xlswrite('Simulacio_Resultats',Simulation_results_abril,'Hoja4','D3')

%% Març
load('L_marzo.mat');

```

```
load('PV_marzo.mat');
load('Pbat_marzo.mat');
load('XE_marzo.mat');
load('Estats_marzo.mat');
load('SoC_marzo.mat');

input_variables_marzo = [ L , PV ];
Simulation_results_marzo = [Estats , XE , Pbat , SoC];

xlswrite('Simulacio_Resultats1',input_variables_marzo,'Hoja1','B3')
xlswrite('Simulacio_Resultats1',Simulation_results_marzo,'Hoja1','D3')

%% Abril 3 dies

load('L_abril3.mat');
load('PV_abril3.mat');
load('Pbat_abril3.mat');
load('XE_abril3.mat');
load('Estats_abril3.mat');
load('SoC_abril3.mat');

input_variables_abril3 = [ L , PV ];
Simulation_results_abril3 = [Estats , XE , Pbat , SoC];

xlswrite('Simulacio_Resultats1',input_variables_abril3,'Hoja2','B3')
xlswrite('Simulacio_Resultats1',Simulation_results_abril3,'Hoja2','D3')
```

### **A3. Fitxes tècniques**

Aquest apartat de l'annex recull les dades tècniques del equips energètics utilitzats al llarg del projecte, mostrant totes les característiques tècniques.

Referencia del artículo	Descripción	Peso neto	Rendimiento eléctrico bajo STC (1)				
			Potencia nominal	Tensión de potencia máx.	Corriente de potencia máx.	Tensión de circuito abierto	Corriente de cortocircuito
			P <sub>nom</sub>	V <sub>mp</sub>	I <sub>mp</sub>	V <sub>oc</sub>	I <sub>sc</sub>
		Kg	W	V	A	V	A
SPM040201200	20W-12V Mono 440 x 350 x 25mm series 4a	1.9	20	18.5	1.09	22.6	1.19
SPM040301200	30W-12V Mono 560 x 350 x 25mm series 4a	2.2	30	18.7	1.61	22.87	1.76
SPM040401200	40W-12V Mono 425 x 668 x 25mm series 4a	3.1	40	18.3	2.19	22.45	2.40
SPM040551200	55W-12V Mono 545 x 668 x 25mm series 4a	4	55	18.8	2.94	22.9	3.22
SPM040901200	90W-12V Mono 790 x 668 x 30mm series 4a	6.1	90	19.6	4.59	24.06	5.03
SPM041151200	115W-12V Mono 1015 x 668 x 30mm series 4a	8	115	19.0	6.04	23.32	6.61
SPM041751200	175W-12V Mono 1485 x 668 x 30mm series 4a	11	175	19.4	9.03	23.7	9.89
SPM042152400	215W-24V Mono 1580 x 808 x 35mm series 4a	15	215	37.4	5.75	45.82	6.30
SPM043052000	305W-20V Mono 1640 x 992 x 35mm series 4a	18	305	32.5	9.38	39.7	10.27
SPM043602400	360W-24V Mono 1956 x 992 x 40mm series 4a	22	360	38.4	9.38	47.4	10.24

Módulo	SPM 040201200	SPM 040301200	SPM 040401200	SPM 040551200	SPM 040901200	SPM 041151200	SPM 041751200	SPM 042152400	SPM 043052000	SPM 043602400
Potencia nominal (tolerancia ±3%)	20W	30W	40W	55W	90W	115W	175W	215W	305W	360W
Tipo de célula	Monocristalina									
Cantidad de células en serie	36						72	60	72	
Tensión máxima del sistema (V)	1000V									
Coefficiente de temperatura de MPP (%)	-0.45/°C	-0.45/°C	-0.45/°C	-0.45/°C	-0.45/°C	-0.45/°C	-0.45/°C	-0.45/°C	-0.45/°C	-0.45/°C
Coefficiente de temperatura de Voc (%)	-0.35/°C	-0.35/°C	-0.35/°C	-0.35/°C	-0.35/°C	-0.35/°C	-0.35/°C	-0.35/°C	-0.35/°C	-0.35/°C
Coefficiente de temperatura de Isc (%)	+0.04/°C	+0.04/°C	+0.04/°C	+0.04/°C	+0.04/°C	+0.04/°C	+0.04/°C	+0.04/°C	+0.04/°C	+0.04/°C
Rango de temperatura	Entre -40°C y +85°C									
Capacidad de carga máxima en su superficie	200 kg/m²									
Resistencia máxima al impacto	23 m/s, 7,53 g									
Tipo de caja de conexiones	PV-U0805	PV-U0806			PV-U0801	PV-U0808		PV-U0701	PV-U8002	
Longitud de los cables/ Tipo de conector	Sin cable				900 mm MC4					
Tolerancia de salida	±0.3%									
Revestidor	Aluminio									
Garantía del producto	5 años									
Garantía sobre el rendimiento eléctrico	10 años 90% + 25 años 80% de la entrega de potencia									
Cantidad mínima de unidades por embalaje	1 panel									
Cantidad por palet	380	260	180	140	90	80	36	32	32	37

1) STC (Condiciones de prueba estándar: 1000W/m², 25°C, AM (masa de aire) 1,5)

Victron Energy B.V. | De Paaal 35 | 1351 JG Almere | Países Bajos  
 Centralitzat: +31 (0)36 535 97 00 | Correo electrònic: [sales@victtronenergy.com](mailto:sales@victtronenergy.com)  
[www.victtronenergy.com](http://www.victtronenergy.com)



Figura A3.1. Full tècnic del mòdul fotovoltaic BlueSolar Monocrystal·lí Victron Energy [Font: Victron Energy]

Especificaciones de la batería							
TENSIÓN Y CAPACIDAD	LFP-Smart 12,8/60	LFP-Smart 12,8/100	LFP-Smart 12,8/150	LFP-Smart 12,8/160	LFP-Smart 12,8/200-a	LFP-Smart 12,8/300	LFP-Smart 25,6/200
Tensión nominal	12,8V	12,8V	12,8V	12,8V	12,8V	12,8V	25,6V
Capacidad nominal a 25°C*	60Ah	100Ah	150Ah	160Ah	200Ah	300Ah	200Ah
Capacidad nominal a 0°C*	48Ah	80Ah	125Ah	130Ah	160Ah	240Ah	160Ah
Capacidad nominal a -20°C*	30Ah	50Ah	75Ah	80Ah	100Ah	150Ah	100Ah
Capacidad nominal a 25°C*	768Wh	1280Wh	1920Wh	2048Wh	2560Wh	3840Wh	5120Wh
*Corriente de descarga: c1C							
CANTIDAD DE CICLOS (capacidad a 80% del valor nominal)							
80% de descarga	2500 ciclos						
70% de descarga	3000 ciclos						
50% de descarga	5000 ciclos						
DESCARGA							
Corriente de descarga máxima recomendada	120A	200A	300A	320A	400A	600A	400A
Corriente de descarga continua recomendada	≈50A	≈100A	≈150A	≈160A	≈200A	≈300A	≈200A
Tensión de final de descarga	11,2V	11,2V	11,2V	11,2V	11,2V	11,2V	22,4V
CONDICIONES DE TRABAJO							
Temperatura de trabajo	Descarga: -20°C a +50°C				Carga: +5°C a +50°C		
Temperatura de almacenamiento	-45°C – +70°C						
Humedad (sin condensación)	Max. 95%						
Clase de protección	IP 22						
CARGA							
Tensión de carga	Entre 14V/28V y 14,4V/28,8V (se recomienda 14,2V/28,4V)						
Tensión de flotación	13,5V/27V						
Corriente máxima de carga	120A	200A	300A	320A	400A	600A	400A
Corriente de carga recomendada	≈30A	≈50A	≈75A	≈80A	≈100A	≈150A	≈100A
OTROS							
Tiempo máx. de almacenamiento a 25 °C*	1 año						
Conexión con el BMS	Cable macho + hembra con conector circular M8, 50 cm de longitud						
Conexión eléctrica (inserciones roscadas)	M8	M8	M8	M10	M10	M10	M8
Dimensiones (al x an x p) mm	240 x 285 x 132	197 x 321 x 152	237 x 321 x 152	237 x 321 x 152	237 x 321 x 152	347 x 425 x 224	317 x 631 x 208
Peso	12kg	15kg	20kg	20kg	22kg	51kg	56kg
*Completamente cargada							

Victron Energy B.V. | De Paal 35 | 1351 JG Almere | Països Baixos  
 Centralitzat: +31 (0)36 535 97 00 | E-mail: sales@victronenergy.com  
 www.victronenergy.com



Figura A3.2. Full tècnic de la bateria LFP-Smart de Victron Energy [Font: Victron Energy]

EasySolar	EasySolar 12/1600/70	EasySolar 24/1600/40
<b>Inversor/cargador</b>		
Conmutador de transferencia	16 A	
<b>INVERSOR</b>		
Rango de tensión de entrada	9,5 – 17 V	19 – 33 V
Salida "reforzada" de CA 0	16 A	
Salida AC-1, 2, 3	Tensión de salida: 230 V CA $\pm$ 2% Frecuencia: 50 Hz $\pm$ 0,1% (1)	
Potencia cont. de salida a 25 °C (3)	1600 VA / 1300 W	
Potencia cont. de salida a 40 °C	1200 W	
Pico de potencia	3000 W	
Eficacia máxima	92%	94%
Consumo en vacío	8 W	10 W
Consumo en vacío en modo búsqueda	2 W	3 W
<b>CARGADOR</b>		
Entrada CA	Rango de tensión de entrada: 187-265 V CA Frecuencia de entrada: 45 – 65 Hz Factor de potencia: 1	
Tensión de carga de "absorción"	14,4 V	28,8 V
Tensión de carga de "flotación"	13,8 V	27,6 V
Modo almacenamiento	13,2 V	26,4 V
Corriente de carga de la batería auxiliar (4)	70 A	40 A
Corriente de carga de la batería de arranque (A)	4	
Sensor de temperatura de la batería	sí	
Relé programable (5)	sí	
Protección (2)	a - g	
<b>Controlador de carga solar</b>		
Modelo	MPPT 100/50	
Corriente máxima de salida	50 A	
Potencia FV máxima, 6a,b)	700 W	1400 W
Tensión máxima del circuito abierto FV	100 V	100 V
Eficacia máxima	98 %	
Autoconsumo	10 mA	
Tensión de carga de "absorción", por defecto	14,4 V	28,8 V
Tensión de carga de "flotación", por defecto	13,8 V	27,6 V
Algoritmo de carga	variable multietapas	
Compensación de temperatura	-16 mV / °C	-32 mV / °C
Protección	a - g	
<b>CARACTERÍSTICAS COMUNES</b>		
Rango de temp. de trabajo	-20 a +50°C (refrigerado por ventilador)	
Humedad (sin condensación):	máx. 95%	
<b>CARCASA</b>		
Material y color	aluminio (azul RAL 5012)	
Tipo de protección	IP 21	
Conexión de la batería	Cables de batería de 1,5 metros	
Conexión FV	Tres juegos de conectores FV, MC4 (PV-ST01).	
Conexión 230 V CA	Conector G-ST18I	
Peso	15 kg	
Dimensiones (al x an x p)	745 x 214 x 110 mm	

Figura A3.3. Full tècnic de l'inversor carregador EasySolar de Victron Energy [Font: Victron Energy]



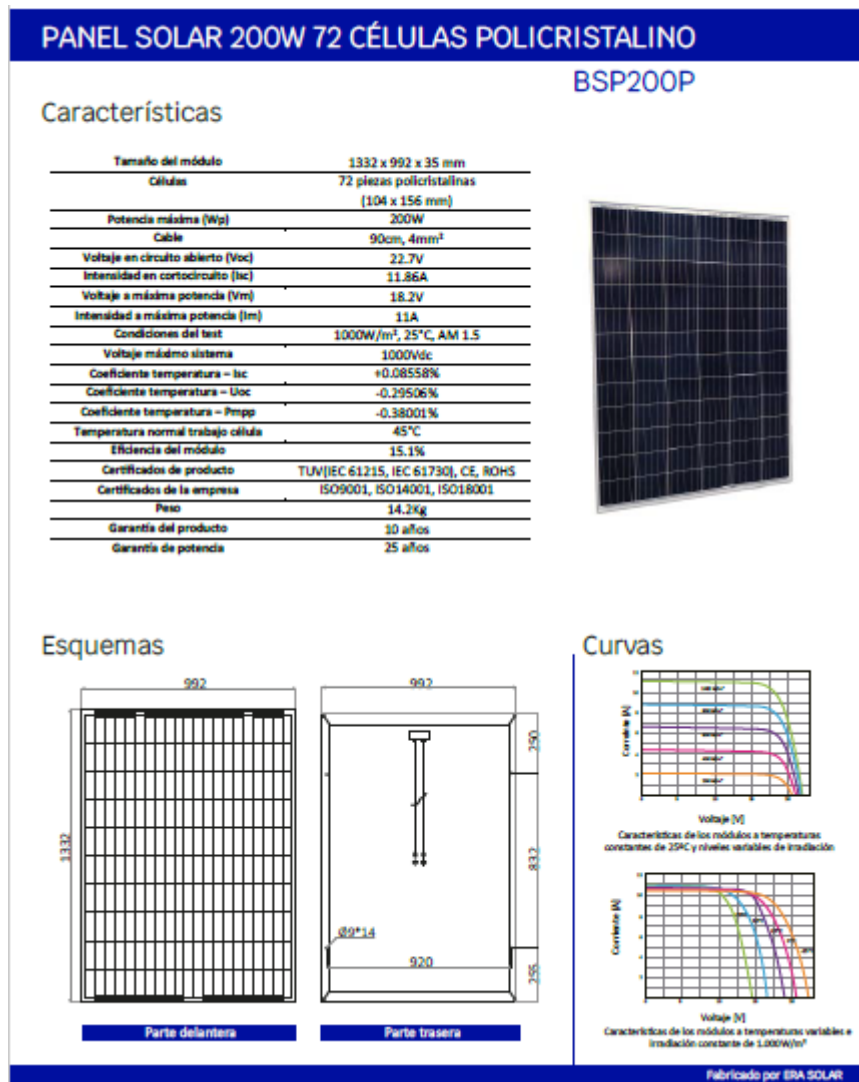


Figura A3.4. Full tècnic del mòdul fotovoltaic ERA Solar BSP200P [Font: ERA Solar]

Multi-application - LiFePO4 Power

**UE-12Li50BL**

Issued Date > 2016-02-24

Issued Version > V01

**LITHIUM IRON PHOSPHATE BATTERY**



### 1. General Information

This specification defines the performance of rechargeable LiFePO4 battery pack **UE-12Li50BL** manufactured by MASTER BATTERY, S.L., describes the type, performance, technical characteristics, warning and caution of the battery pack. The battery pack support Bluetooth communication function. Through Android and IOS APP, can read the battery status and information. Especially due to the Android system's openness, different smart phone manufacturer will have their own different Bluetooth hardware version and customized feature Android systems. So the APP may not work well on some smart phones (with Android system) due to compatible issue. It is necessary for the customer to confirm whether the phone is compatible for the APP.

### 2. Specification

NO.	Items	Description
<b>Normal Specification</b>		
1	Nominal Voltage	12.8V
2	Normal Capacity	50Ah
3	Internal Resistance	≤20mΩ
4	Series application	Not allowed
5	Communication function	Bluetooth
<b>Standard Charge</b>		
6	Operation temperature range @charging	0~45°C
7	Normal charge voltage	14.6±0.1V
8	Recommended float charge voltage (for Standby use)	13.8±0.1V
9	Allowed MAX charge current	50A @ Battery initial Temp 25±0°C
10	Recommended charge current	≤25A

01

Figura A3.4. Full tècnic la bateria UE-12Li50BL de Upower [Font: Upower]