



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

TREBALL DE FI DE GRAU
Grau en Enginyeria Elèctrica
**IMPLEMENTACIÓ DE CRITERIS D'UTILITZACIÓ DE L'ENERGIA
ELÈCTRICA EN HABITATGE UNIFAMILIAR, CONTEMPLANT L'ÚS
D'ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**



Memòria

Autor: Marc-Esteve Pérez Oliver
Director: Robert Piqué López
Convocatòria: Juny 2022



Llicència Creative Commons.



Aquesta obra està sota una llicència 4.0 Espanya de Creative Commons del tipus

**Reconeixement - No comercial - Sense obres derivades 4.0 Internacional
(CC BY-NC-ND 4.0)**

Per a veure una còpia d'aquesta llicència visiti https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es_ES.

**Vostè és lliure de copiar i redistribuir el material en qualsevol mitjà
o format sota les condicions següents:**

- **Reconeixement.** Ha de reconèixer adequadament l'autoria, proporcionar un enllaç a la llicència i indicar si s'han realitzat canvis. Pot fer-ho de qualsevol manera raonable, però no d'una manera que suggereixi que té el suport del licenciator o el rep per l'ús que fa.
 - **No comercial.** No pot utilitzar el material per a una finalitat comercial.
 - **Sense obres derivades.** Si remescla, transforma o crea a partir del material, no pot difondre el material modificat.
-

Resum

El Treball de Final de Grau que es mostra a continuació, té com a principal objectiu aconseguir fer un ús eficient de l'energia elèctrica en un habitatge unifamiliar a partir d'una font renovable de generació d'energia elèctrica com és la solar fotovoltaica i basant-se en la ISO 50.001 de millora continua. D'aquesta manera, es pretén reduir el consum de l'habitatge i fer una gestió tant de l'energia generada com de la consumida.

Per aconseguir aquest objectiu es farà el disseny d'una micro-xarxa on aquesta utilitzi un sistema fotovoltaic que aprofiti la radiació solar, i que l'energia generada es pugui emmagatzemar a unes bateries per optimitzar el consum de l'habitatge, tenint en compte que existeix la necessitat de disposar de xarxa elèctrica quan aquest sistema fotovoltaic no pugui abastir tota la demanda de consums de les càrregues domèstiques.

Per implementar-ho s'haurà de tenir en compte el marc legal vigent, tenint en compte quina és la instal·lació fotovoltaica dissenyada ja que aquesta pot variar la normativa aplicable depenent del projecte instaurat.

Per tant, es realitzaran comparacions entre dispositius per veure quin es el mes eficient, a més a més, de simulacions per veure el correcte funcionament de la instal·lació fotovoltaica.

Finalment, es realitzarà un estudi econòmic per veure la viabilitat del projecte i quina inversió requerirà l'usuari final.

Resumen

El Trabajo de Final de Grado que se muestra a continuación, tiene como principal objetivo conseguir hacer un uso eficiente de la energía eléctrica en una vivienda unifamiliar a partir de una fuente renovable de generación de energía eléctrica como es la solar fotovoltaica y basándose en la ISO 50.001 de mejora continua. De este modo, se pretende reducir el consumo de la vivienda y realizar una gestión tanto de la energía generada como de la consumida.

Para conseguir este objetivo se hará el diseño de una micro-red donde ésta utilice un sistema fotovoltaico que aproveche la radiación solar, y que la energía generada se pueda almacenar en unas baterías para optimizar el consumo de la vivienda, teniendo en cuenta que existe la necesidad de disponer de red eléctrica cuando este sistema fotovoltaico no pueda abastecer a toda la demanda de consumos de las cargas domésticas.

Para implementarlo deberá tenerse en cuenta el marco legal vigente, teniendo en cuenta cuál es la instalación fotovoltaica diseñada ya que ésta puede variar la normativa aplicable dependiendo del proyecto instaurado.

Por tanto, se realizarán comparaciones entre dispositivos para ver cuál es el más eficiente, además, de simulaciones para ver el correcto funcionamiento de la instalación fotovoltaica.

Por último, se realizará un estudio económico para ver la viabilidad del proyecto y qué inversión requerirá el usuario final.

Abstract

The main objective of the Final Degree Project shown below is to make efficient use of electrical energy in a single-family home from a renewable source of electricity generation such as photovoltaic solar and -is in the ISO 50.001 of continuous improvement. In this way, the aim is to reduce household consumption and manage both the energy generated and the energy consumed.

To achieve this goal, a microgrid will be designed to use a photovoltaic system that takes advantage of solar radiation, and that the energy generated can be stored in batteries to optimize the consumption of the home, taking into account that there is the need to have a power grid when this photovoltaic system can not supply all the demand for consumption of household loads.

In order to implement this, the current legal framework must be taken into account, which type of photovoltaic installation is designed, as this may vary the applicable regulations depending on the project established.

Therefore, comparisons will be made between devices to see which is the most efficient, in addition to simulations to see the correct operation of the photovoltaic installation.

Finally, an economic study will be done to see the viability of the project and what investment the end user will require.

Agraïments

Vull agrair a la meva família, sobretot al meu pare, mare, àvia i amics per haver-me donat suport durant la realització del meu Treball Final de Grau i els anys cursant el Grau en Enginyeria Elèctrica. També vull agrair als meus companys de Vector Motor Control, sobretot al Fran Pérez, el qual m'ha introduït al llarg d'aquest últim any en el món laboral gràcies a les seves ensenyances i consells. Per últim, vull agrair l'atenció cap a mi per part del meu tutor, en Robert Piqué, el qual s'ha interessat en resoldre els dubtes que em sorgien i sempre ha estat molt atent, aportant informació molt vàlida en la realització del projecte.

Glossari

ACS: Aigua calenta sanitària	MITECO: Ministeri per la Transició Ecològica i el Repte Demogràfic
BT: Baixa Tensió	MPPT: <i>Maximum Power Point Tracker</i>
DB HE: <i>Documento Básico. Ahorro de Energía</i>	NOCT: <i>Normal Operating Cell Temperature</i>
CA: Corrent altern	PIB: Producte Interior Brut
CC: Corrent continu	PVC: Policlorur de vinil
CEREE: Centrals elèctriques renovables	PVGIS: <i>Photovoltaic Geographical Information System</i>
CGBT: Quadre General de Baixa Tensió	PVSyst: <i>Photovoltaic Systems</i>
CGP: Caixa General de Protecció	RD: Reial Decret
CO₂: Diòxid de carboni	REE: <i>Red Eléctrica Española</i>
CTE: Codi Tècnic d'Edificació	REBT: Reglament Electrotècnic de Baixa Tensió
DER: <i>Distributed Energy Resources</i>	RITE: Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques dels Edificis
DoD: <i>Depth of discharge</i>	SGE: Sistema de Gestió d'Energia
EMS: <i>Energy Management System</i>	SoC: <i>State of Charge</i>
FV: Fotovoltaica	STC: <i>Standar Test Condition</i>
HSP: Hora Solar Pic	TIC: Tecnologies de la Informació i la Comunicació
ICAEN: Institut Català de l'Energia	TIR: Taxa Interna de Rendibilitat
IDAE: <i>Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía</i>	VAN: Valor Actual Net
ISO: <i>International Organization for Standardization</i>	XEIE: Xarxes elèctriques intel·ligents
IPC: Índex de Preus de Consum	XLPE: Polietilè reticulat
ITC: Instrucció Tècnica Complementària	
IVA: Impost al Valor Afegit	
LED: <i>Light-Emitting Diode</i>	

Índex

1.	Introducció.....	4
1.1.	Objectius	4
1.2.	Motivació	5
2.	Estat de l'art.....	6
2.1.	Sistema Elèctric Espanyol.....	6
2.2.	Recursos energètics distribuïts.....	7
2.2.1.	Solar fotovoltaica	9
3.	Estudi de mercat	13
3.1.	Normativa aplicable.....	13
3.2.	Consum energètic sectorial.....	15
3.2.1.	Sector de la indústria i transport	15
3.2.2.	Sector de serveis.....	16
3.2.3.	Sector residencial.....	17
3.3.	Introducció al marc regulador.....	19
3.4.	Identificació de les modalitats retributives.....	20
3.4.1.	Modalitats retributives associades a la producció d'energia elèctrica	20
3.5.	Modalitat retributiva associada a l'activitat d'autoconsum d'energia elèctrica.....	22
3.5.1.	Autoconsum sense excedents	22
3.5.2.	Autoconsum amb excedents	23
3.6.	Directiva de la UE 2018/2001.....	24
3.7.	Acord de Paris	24
3.8.	Llei del Canvi Climàtic i la Transició Energètica	25
4.	Marc conceptual	26
4.1.	Introducció a la Norma ISO 50.001.....	26
4.2.	Estructura de la norma ISO 50.001.....	27
4.2.1.	Planificació.....	27
4.2.2.	Fer: Implementació.....	28
4.2.3.	Verificació.....	29
4.2.4.	Actuació: revisió.....	29
5.	Marc físic.....	30
5.1.	Micro-xarxes.....	30

5.1.1.	Tipus de micro-xarxes	32
5.2.	Energy Management System (EMS)	33
6.	Enginyeria conceptual	35
6.1.	Objectius de la micro-xarxa.....	35
6.2.	Anàlisi energètic.....	36
6.3.	Disseny de la micro-xarxa híbrida.....	39
6.4.	Disseny de la instal·lació fotovoltaica.....	41
6.4.1.	PVGIS.....	42
6.4.2.	Criteris inicials de dimensionament.....	43
6.4.3.	Mòduls fotovoltaics	46
6.4.4.	Ondulador fotovoltaic.....	48
6.4.5.	Bateries.....	50
6.4.6.	Sistema de distribució.....	53
6.4.7.	Proteccions	56
6.4.8.	Posada a terra del generador	59
6.4.9.	Estructures de suport.....	60
7.	Situació d'estudi.....	61
7.1.	Localització de l'emplaçament	61
7.1.1.	Característiques constructives de l'habitatge	62
7.2.	Subministrament actual de l'energia elèctrica.....	63
7.3.	Descripció dels consums	65
7.4.	Aspectes energètics	66
7.4.1.	Certificat d'eficiència energètica	66
7.4.2.	Il·luminació.....	70
7.4.3.	Electrodomèstics.....	71
7.4.4.	Climatització i ACS.....	72
8.	Criteris d'utilització de l'energia elèctrica	75
8.1.	Substituir dels electrodomèstics per més eficients.....	76
8.2.	Disseny dels estats de la micro-xarxa híbrida	77
8.3.	Disseny de la instal·lació solar fotovoltaica	78
8.3.1.	Estudi de les trajectòries solars	78
8.3.2.	Selecció del mòdul fotovoltaic.....	79

8.3.3.	Estudi d'ombres	82
8.3.4.	Selecció de l'ondulador híbrid	84
8.3.5.	Dimensionament del sistema de generació fotovoltaica	86
8.3.6.	Dimensionament del sistema d'emmagatzematge	89
8.3.7.	Selecció de les estructures de suport dels panells	90
8.3.8.	Sistema de distribució	91
8.3.9.	Sistema de proteccions	93
8.3.10.	Posada a terra	94
8.4.	Implementació de l'EMS	95
8.4.1.	Equips de mesura i monitorització	98
9.	Pressupost	101
10.	Estudi de viabilitat econòmica	103
10.1.	VAN	103
10.2.	TIR	103
10.3.	Període de retorn	104
11.	Impacte ambiental	104
11.1.	Avantatges mediambientals	105
11.2.	Reducció de les emissions de CO ₂	105
	Conclusions	108
	Bibliografia	110

1. Introducció

Actualment, una de les grans preocupacions de la societat és la del canvi climàtic i els efectes que aquest produeix sobre el món on vivim. El canvi climàtic ve donat per una gran quantitat d'elements, per això hem de buscar diverses solucions on cadascuna pugui aportar una petita ajuda per aturar el desgast del medi ambient i que les futures generacions puguin viure de manera autosuficient gràcies a que hem fet un món millor tots plegats. Per aconseguir-ho, la tecnologia i la nostra qualitat de vida s'han d'adaptar a les necessitats de la vida quotidiana, per això, en aquest Treball de Fi de Grau es buscaran solucions tant en la generació d'energia a partir de fonts renovables com és la solar fotovoltaica i en la gestió de consums de l'habitatge amb la creació d'una micro-xarxa, la qual busqui la independència de la xarxa elèctrica actual.

1.1. Objectius

L'objectiu primordial del present Treball de Fi de Grau, és trobar una o diverses solucions al voler-se implementar una micro-xarxa híbrida amb solar fotovoltaica en un habitatge unifamiliar per aconseguir reduir els gasos d'efecte hivernacle, i aconseguir disminuir i gestionar de manera intel·ligent i eficient els consums d'aquest. Per tant, es vol implementar una micro-xarxa intel·ligent, la qual desenvolupi un algoritme de millora continua i sistemàtica de l'eficiència energètica.

Per poder aconseguir aquesta micro-xarxa intel·ligent, es vol implementar el sistema generador amb solar fotovoltaica, aquest implementarà unes bateries per emmagatzemar l'energia sobrant i utilitzar aquesta energia durant les hores pic per atenuar el consum de la factura. D'aquesta manera es pretén rebaixar el consum d'electricitat de la xarxa elèctrica i per tant, l'ús dels combustibles fòssils. A més a més, la factura es pot reduir a partir de fer optimitzacions de les càrregues de l'habitatge, per aconseguir l'objectiu esmentat de reduir la potencia contractada a partir de la gestió intel·ligent dels fluxos d'energia. D'aquesta manera al llarg del document s'explicaran els conceptes teòrics dels diferents sistemes existents i com fer el dimensionament i la gestió d'una micro-xarxa, tenint en compte les potencials millores que se li podran implementar un cop instaurada, a partir de la normativa ISO 50.001.

Finalment, es vol aconseguir aplicar els coneixements apresos durant els estudis del Grau d'Enginyeria Elèctrica, reflectir-los en la memòria i posteriorment, interioritzar tots aquests aspectes per utilitzar-los en un futur en el món professional.

1.2. Motivació

La meua gran motivació a l'hora de la realització d'aquest projecte és la de buscar una sèrie de mètodes de caràcter tècnic i dissenyar l'algoritme de gestió energètica per disminuir la factura deguda als consums d'un habitatge, el qual pertany als meus pares actualment. Tant per ells com per mi aquest habitatge significa molt, ja que té moltes vivències viscudes i molts records de la meua infància. Així, crec que puc agrair-los d'alguna manera tota la formació acadèmica que m'han brindat al llarg dels anys en una solució conjunta tant per ells com per mi i que miri les necessitats futures de tots els éssers i del medi ambient reduint les emissions de diòxid de carboni (CO₂) i poder contribuir a fer d'aquest món, un món millor gràcies a la producció d'energia a partir de les renovables.

També cal afegir que aquest Treball de Fi de Grau, té a veure amb la tasca que realitzo actualment a l'empresa Vector Motor Control (VMC) i crec personalment que pot ser una bona oportunitat per aprofitar pel meu desenvolupament personal com a enginyer tècnic.

Com a futur enginyer elèctric, l'àmbit del Treball de Fi de Grau em pot enriquir els meus coneixements sobre solar fotovoltaica i micro-xarxes, instal·lacions de baixa tensió i sobre l'electrònica de potència en els onduladors híbrids. Per últim i no menys important aprendre a redactar de manera eloqüent i saber explicar de manera clara, entenedora i concisa als demés, tots els aspectes plantejats en aquest projecte.

Gràcies als últims anys estudiant el Grau en Enginyeria Elèctrica a la EEBE, he après a saber realitzar una gran quantitat de tasques gràcies a les diferents assignatures cursades, en aquest cas a dissenyar i implementar una instal·lació generadora fotovoltaica aplicant els criteris mencionats anteriorment. Això comporta, saber realitzar instal·lacions de BT en un habitatge, fer un dimensionament d'una instal·lació fotovoltaica correctament, saber dissenyar plànols a partir d'AutoCAD, tenir en ment diversos aspectes de l'electrònica de potència, saber quin es el reglament que s'ha de tenir en compte a l'hora de fer una instal·lació fotovoltaica, en aquest cas d'autoconsum. Cal afegir que durant l'últim quadrimestre realitzat a la EEBE, vaig cursar l'assignatura optativa de Xarxes Elèctriques Intel·ligents, la qual va ser molt important per fer una petita introducció al tema d'aquest treball i per saber de que tracten les micro-xarxes i com dissenyar-les.

2. Estat de l'art

2.1. Sistema Elèctric Espanyol

Un sistema elèctric de potència (SEP) és el conjunt d'instal·lacions i aparells l'objectiu dels quals és generar, transportar i distribuir l'energia elèctrica per tal de satisfer la demanda d'energia elèctrica. Les xarxes de transport connecten les centrals generadores d'energia fins les zones de consum.

L'objectiu principal és assegurar la seguretat, continuïtat, i la coordinació entre sistemes de producció i transport. L'energia produïda pels generadors ha de ser de qualitat i al menor preu possible fins que aquesta arribi al consumidor final.

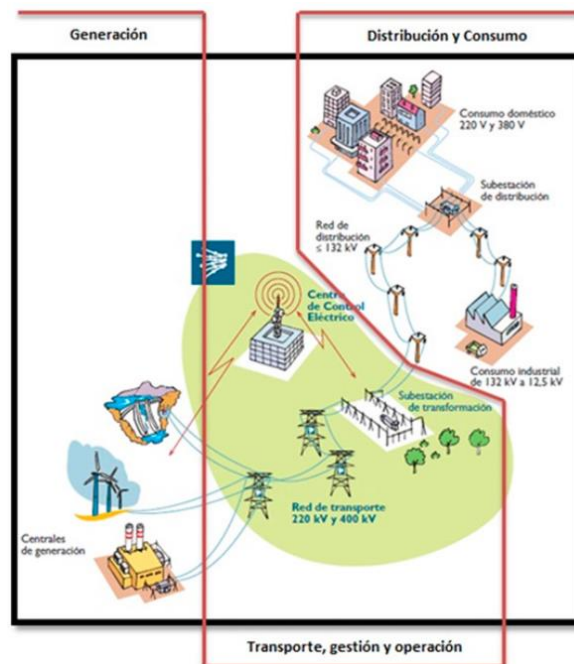


Figura 2.1.- Representació del sector elèctric espanyol. (Font: Atalaya [1])

Una característica de l'energia elèctrica és que no es poden emmagatzemar grans quantitats d'energia, per tant la generació i el consum han de ser equitatius en tot moment. Per això l'estabilitat d'un SEP denota la habilitat de recuperar un punt de funcionament de equilibri després de veure's sotmès a una pertorbació, tant sigui curta o prolongada. Els paràmetres que defineixen l'estat d'equilibri de la xarxa elèctrica són la freqüència, de 50 Hz en el sistema elèctric espanyol, les tensions en els nusos de xarxa i els nivells de càrrega dels elements de la xarxa, com per exemple línies de tensió, transformadors, etc. En conseqüència, davant de qualsevol incidència s'ha d'actuar per a tornar de nou a un estat d'equilibri.

Estat d'equilibri (règim permanent) → Contingència (règim transitori) → Estat d'equilibri (règim permanent)

En tot cas el sistema, ha de ser capaç d'operar satisfactòriament sota aquestes condicions, ja es tingui un canvi en el flux de càrrega, o canvis més severos com curtcircuits o desconnexió d'un gran generador. [2]

En corrent altern les instal·lacions es poden distingir en monofàsiques, si utilitzen dos conductors actius (fase i neutre), i s'utilitzen majoritàriament en habitatges que no superin els 15 kW de potencia. La seva tensió de treball són 230 V. Per altra banda, les instal·lacions trifàsiques utilitzen quatre conductors (3 fases i el neutre). La principal avantatge que presenten els sistemes trifàsics envers els monofàsics és que transmeten més potència i presenten menys pèrdues. La seva principal aplicació són en motors elèctrics, per tant en la indústria. La tensió de treball nominal són 400 V en alterna. [3]

També, existeixen agregadors independents per balancejar l'energia a més petita escala. Els dos tipus existents d'agregadors són els següents:

- **Control de freqüència:** Fan un control de la generació i de la demanda. Aquests tenen tres tipus de regulació del sistema:
 - *Regulació primària:* Són els que actuen primer, en tant sols 30 segons arriben al punt màxim de treball, es fa a nivell intern de cada central. (esmorteir la pertorbació).
 - *Regulació secundària:* Entren als 30 segons i als 15 minuts arriben al punt màxim d'acció. (fer tornar el sistema al valor correcte).
 - *Regulació terciària:* (substitueix a la regulació secundària).
- **Control de tensió:** Fan el control sobre la potència reactiva. La potència reactiva és necessària però s'ha de generar a prop del punt de consum per evitar que es perdi potencia activa.

2.2. Recursos energètics distribuïts

Amb els anys, la xarxa elèctrica espanyola s'ha anat envellint i les solucions convencionals de grans sistemes de generació i distribució centralitzats per a subministrar a grans blocs d'energia amb fluxos unidireccionals han quedat una mica desfasats en termes d'optimització de l'energia. Majoritàriament la generació està basada en generadors síncrons i turbines. [4]

A nivell de generació, la xarxa elèctrica actual presenta problemes en robustesa, ja que si falla una central generadora molt usuaris perden el subministrament d'energia, a més a més, de tenir grans costos de renovació i manteniment a part d'un baix rendiment.

Cal afegir que cada cop que la societat avança, el consum energètic també augmenta, per aquest motiu els combustibles fòssils estan minvant al llarg dels anys i estan encarint-se de preu a causa de la seva escassetat. Cal afegir, la tendència a utilitzar noves fonts d'energia com pot ser la solar fotovoltaica, eòlica i geotèrmica està augmentant l'interès.

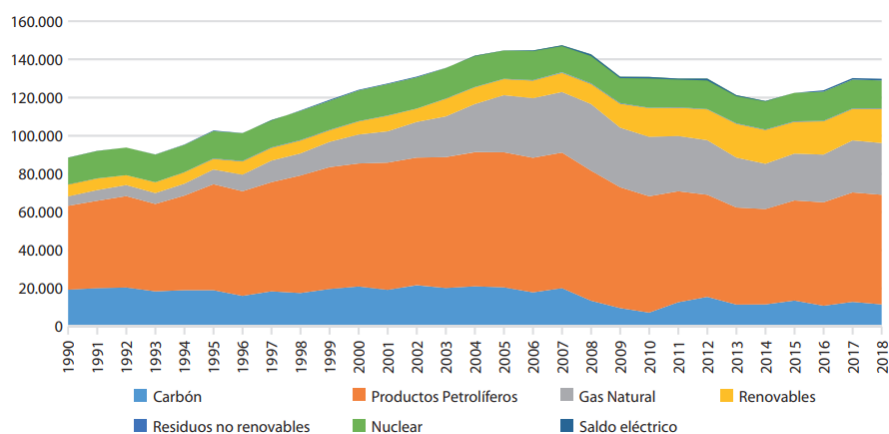


Figura 2.2.- Consum d'energia primària a Espanya. (Font: MITECO [5])

Tots aquests factors s'han de tenir en compte a l'hora d'analitzar el sistema actual. Per aquest motiu s'ha tornat una qüestió clau la necessitat d'una evolució tecnològica per la producció i consum de l'energia a les zones pròximes dels usuaris finals. Per aconseguir els canvis d'aquest tipus de recursos en el sistema elèctric es requereixen canvis a nivell polític i legislatiu, a més a més, d'eliminar les barreres de caire tecnològic.

Per tant, els recursos energètics distribuïts tal i com indica el seu nom, són recursos energètics gestionables i es troben connectats a les xarxes de distribució o en les instal·lacions dels consumidors finals. L'objectiu que es vol aconseguir en els pròxims anys és mantenir les capacitats de la xarxa elèctrica actual utilitzant agregadors de manera distribuïda i deixant enrere el model de gestió centralitzat per reduir costos del sistema i minimitzar l'impacte ambiental. Els recursos energètics distribuïts són per exemple les fonts primàries d'autogeneració i generació distribuïda, l'emmagatzematge d'energia en bateries, els vehicles elèctrics i les càrregues elèctriques controlables. [6]

La utilització d'energies renovables imposa un canvi de paradigma al canviar el model de gestió centralitzada cap a un de generació distribuïda. Per aconseguir una societat energèticament sostenible és precís aconseguir rendiments elevats en la conversió de l'energia elèctrica a través de l'electrònica de potència, disposar de sistemes eficients de mesura, comunicació i controls; i optimitzar la gestió dels recursos energètics a partir de les micro-xarxes intel·ligents.

Resumint, el que es vol implementar és una xarxa d'electricitat millorada a què s'ha afegit un sistema de comunicació digital bidireccional entre el proveïdor i el consumidor i sistemes de control i de mesura intel·ligent. Aquesta xarxa que pot integrar de manera eficient el comportament i les accions de tots els usuaris connectats. Com per exemple, empreses de generació d'electricitat, consumidors i agents que exerceixen ambdós papers. Per tal de proporcionar sistemes elèctrics econòmicament eficients i sostenibles, amb poques pèrdues i un alt nivell de qualitat, garantia de proveïment i seguretat.

Per tant, les avantatges que genera una xarxa intel·ligent són les següents:

- Facilita la connexió i operació entre els generadors de totes les mides i tecnologies.
- Permetre que els consumidors participin en la optimització del funcionament del sistema.
- Proporcionar als consumidors més informació i opcions sobre la forma en què utilitzen el seu subministrament.
- Reduir significativament el impacte mediambiental del sistema elèctric.
- Mantenir o inclús millorar els actuals nivells de fiabilitat, qualitat i seguretat del subministrament.
- Mantenir o millorar els serveix existents de manera eficient.

2.2.1. Solar fotovoltaica

L'energia solar fotovoltaica és una font d'energia d'origen renovable que utilitza la qual s'obté a partir de la radiació solar per a produir electricitat per poder-la utilitzar posteriorment. L'element que ajuda a captar aquesta radiació solar per aconseguir generar energia són els mòduls fotovoltaics que contenen a més petita escala cèl·lules fotovoltaïques, les quals són les responsables de captar l'energia lumínica provinent del Sol i transformar l'energia de la radiació solar en electricitat de corrent continu. La inclinació i la orientació són aspectes importants a tenir en compte a l'hora de dimensionar la instal·lació per la generació d'energia elèctrica.

L'efecte fotoelèctric origina una diferencia de potencial sobre un material semiconductor on incideixen fotons que són absorbits per els de les cèl·lules fotovoltaïques i generen el corrent elèctric al alliberar altres electrons.

Els materials semiconductors més comuns per les cel·les són el silici i el cadmi, encara que majoritàriament el silici té més presència. El sistema fotovoltaic pot injectar energia a la xarxa o estar en aïllada (onduladors híbrids) els quals permeten la instal·lació de bateries per emmagatzemar la electricitat sobrant i donar-li un ús posterior. [7]

Com s'ha mencionat en els anteriors paràgrafs es una energia 100% renovable, inesgotable i no contaminant, ja que no consumeix combustibles fòssils i contribueix a la generació i desenvolupament sostenible.

Programes d'incentius econòmics, junt a sistemes d'autoconsum fotovoltaic i balanç net, han donat un gran suport en la implantació d'instal·lacions fotovoltaïques en un gran nombre de països, contribuint a evitar l'emissió d'una major quantitat de gasos d'efecte hivernacle. Espanya en concret té un gran recurs solar i a Europa és un dels països amb més atractiu i potencial a l'hora d'invertir en aquest tipus d'energia renovable.

Per poder magnificar la radiació solar s'utilitzen dos valors els quals fan referència a la potencia d'energia que incideix la radiació solar sobre un m².

- **Irradiància:** Potència instantània rebuda en un lloc determinat. És la intensitat de la radiació solar. La seva unitat de mesura és $[W/m^2]$.
- **Irradiació:** Quantitat d'energia solar rebuda en un període de temps. La seva unitat de mesura és $[Wh/m^2]$. La irradiació es distingeix en 3 components:
 - **Component directa (b):** És l'energia que provenen de la incidència directa de la llum solar sobre el generador.
 - **Component difusa (d):** És l'energia que incideix sobre el generador provinent de la dispersió dels raigs solars sobre els components de l'atmosfera.
 - **Component reflectida (r):** És la llum reflectida per la superfície terrestre que incideix sobre el generador.

La radiació incident sobre la superfície de la Terra varia segons la localització geogràfica. Quan més lluny de l'equador, menys radiació. Aquesta radiació pot variar fins a un 30% des de un punt a un altre de la superfície.

Per altra banda, l'altitud respecte el nivell del mar és un dels factors que també afecta directament a la quantitat de radiació incident. La radiació varia en funció de la distància que hi ha entre la ubicació i l'estratosfera terrestre tal i com es pot comprovar a la següent taula:

Alçada sobre el nivell del mar (m)	0	900	1.500	2.250
Intensitat màxima de radiació (W/m^2)	950	1.050	1.100	1.150

Figura 2.3.- Taula de la variació de la radiació en funció de l'alçada respecte el nivell del mar (Font: ICAEN [8]).

Cal tenir en compte que les estacions de l'any venen determinades a partir de la declinació de la Terra respecte al Sol, cosa que també afecta a l'angle d'incidència de la radiació solar amb la superfície. A causa de la geometria solar variant, l'angle d'incidència i el temps d'exposició va canviant al llarg de l'any i depèn de cada estació. Això provoca que en mig any de diferència la radiació solar incideix en angles molt diferents.

Per assolir la màxima eficiència d'aprofitament d'un sistema solar s'ha de tenir cura de les ombres properes generades pels elements que hi ha al voltant, ja que tapen en certs moments la radiació provinent del Sol. L'efecte de les ombres s'ha d'avaluar a l'hora de determinar la ubicació dels panells ja que disminueixen de manera important la producció d'energia.

Els mòduls fotovoltaics convencionals tenen unes condicions estàndard de mesura (STC) per extreure les seves característiques tècniques. Per extreure els resultats del rendiment del mòdul es fan assaigs tenint en compte els següents valors:

- Irradiància solar: $1000 W/m^2$.
- Temperatura de la cèl·lula fotovoltaica: $25 ^\circ C$.
- Distribució espectral: AM 1,5 G.

En les següents gràfiques es pot analitzar el comportament de la irradiància i la temperatura envers el corrent i la potència a partir de la corba característica I-V dels mòduls fotovoltaics:

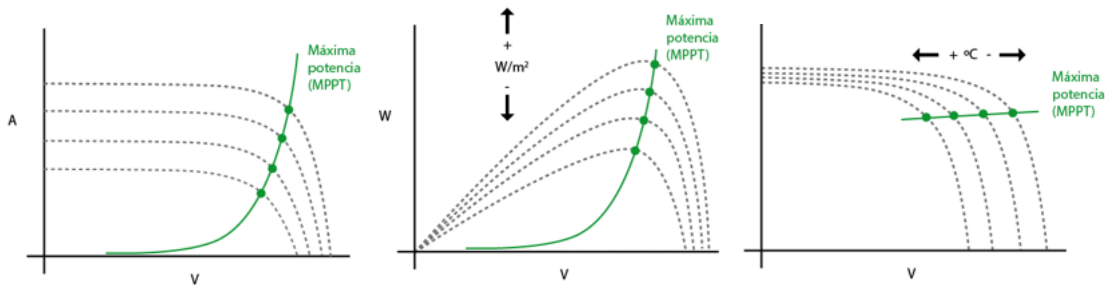


Figura 2.4.- Corbes V-I i V-P. (Font: VMC [9]).

En primer lloc, s'observa que la disminució de la irradiància és directament proporcional a la disminució de corrent en canvi, la tensió, tot i que també disminueix ho fa de manera molt lleugera. Per altra banda, amb el gràfic de potència s'aprecia clarament com amb la disminució de la irradiància, la potència obtinguda també disminueix però, de nou, el valor de tensió es manté gairebé constant. Per tant, s'extreu clarament que, tot i que la tensió quasi bé no es veu afectada pels canvis d'irradiància, la corrent i per tant la potència associada pateix un clar decreixement quan la irradiància baixa el que es traduirà amb una disminució del rendiment final del mòdul fotovoltaic.

Finalment, observant el gràfic de la temperatura, es pot observar que el comportament és totalment invers, el paràmetre que es veu afectat pel canvi de temperatura és la tensió, mentre que la corrent quasi bé no partirà variacions. A mesura que la temperatura va disminuint, la tensió augmenta i per tant, la potència també. És a dir, a mesura que la temperatura decreixi, el punt de màxima potència serà més elevat pel que el rendiment del panell serà major.

Tenint en compte tots aquests paràmetres mencionats que afecten directament al rendiment de la instal·lació, si es vol calcular el nombre de mòduls fotovoltaics per alimentar les càrregues domèstiques s'hauran de tenir en compte com es connecten entre si els panells. Els panells es connecten en sèrie, paral·lel o d'ambdues maneres per aconseguir la potència i voltatge desitjat per les càrregues.

Si els mòduls són connectats en sèrie es sumen les tensions de cada mòdul sense variar la intensitat. En canvi, si els mòduls es connecten en paral·lel, el voltatge es manté constant però les intensitats de cada un es sumen.

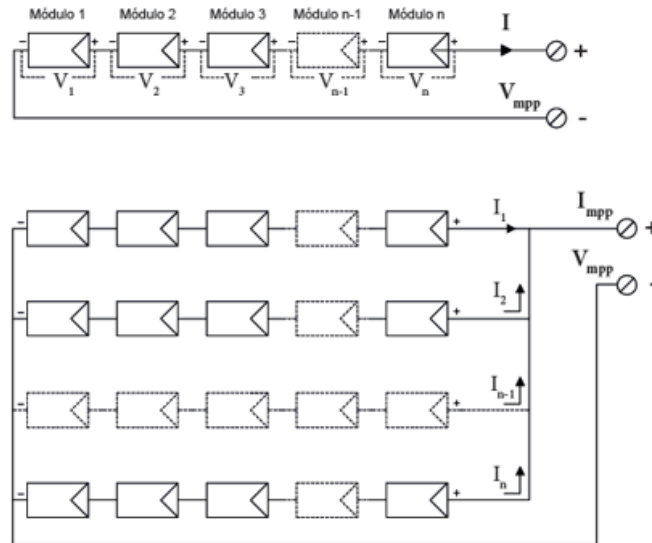


Figura 2.5.- Connexió en sèrie i paral·lel (Font: VMC [9]).

3. Estudi de mercat

3.1. Normativa aplicable

La normativa a la què s'ha d'acollir el projecte per poder-se dur a terme és la següent:

Lleis del Sector Elèctric Espanyol:

- Llei 54/1997, del 27 de novembre, del Sector Elèctric.
- Llei 24/2013, del 26 de desembre, del Sector Elèctric.
- Reial Decret 413/2014, pel qual es regula l'activitat de producció d'energia elèctrica a partir de fonts d'energia renovables, cogeneració i residus.
- Reial Decret 900/2015, del 9 d'octubre, pel qual es regulen les condicions administratives, tècniques i econòmiques de les modalitats de subministrament d'energia elèctrica amb autoconsum i producció amb autoconsum.
- Reial Decret 1565/2010, del 19 de novembre, pel qual es regulen i modifiquen determinats aspectes relatius a l'activitat de producció d'energia elèctrica en règim especial.
- Reial Decret 614/2001, del 8 de juny, sobre les disposicions mínimes per la protecció de la salut i seguretat dels treballadors davant el risc laboral.
- Reial Decret 16/2011, del 24 de juny, de contractes i crèdit al consum.
- Reial Decret 15/2018, del 5 d'octubre, de mesures urgents per la transició energètica i la protecció als consumidors.
- Reial Decret 2019/1997, del 26 de desembre, pel que s'organitza i es regula el mercat de producció d'energia elèctrica.
- Reial Decret 244/2019, pel qual es regulen les condicions administratives, tècniques i econòmiques de l'autoconsum d'energia elèctrica.
- Llei 15/2012, del 27 de desembre, de mesures fiscals per a la sostenibilitat energètica.
- Reial Decret 1175/1990, de 28 de setembre, pel qual s'aproven les tarifes i la instrucció de l'impost sobre activitats econòmiques.
- Reial Decret 1164/2001, de 26 d'octubre, pel qual s'estableixen tarifes d'accés a les xarxes de transport i distribució d'energia elèctrica.
- Ordre IET/2444/2014, del 19 de desembre, pel qual es determinen els peatges d'accés d'energia elèctrica per al 2015.
- Ordre TEC/1366/2018, de 20 de desembre, per la qual s'estableixen els peatges d'accés a l'energia elèctrica per al 2019.
- Llei 38/1992, de 28 de desembre, d'impostos especials.
- ISO 50.001

Reglament Electrotècnic de Baixa Tensió:

- Instrucció Tècnica Complementària ITC-BT 19, Prescripcions Generals de les Instal·lacions Interiors o Receptores.
- Instrucció Tècnica Complementària ITC-BT 40, Instal·lacions Generadores de Baixa Tensió.

Normativa UNE:

- UNE-EN 61194:1997, Paràmetres característics dels sistemes fotovoltaics autònoms.
- UNE-EN 61215:1997, Mòduls fotovoltaics de silici cristal·lí per l'aplicació terrestre.

3.2. Consum energètic sectorial

El resultat final de producció de qualsevol central elèctrica és l'energia, la qual té com a objectiu l'abast de les demandes energètiques dels consumidors finals. Aquests consumidors en el sistema elèctric espanyol es consideren com a clients. Tots aquests clients conformen els sectors els quals s'adreça el consum d'energia.

A partir d'aquí, podem determinar que els consumidors de les centrals elèctriques a Espanya es poden distingir en tres sectors de negoci diferents: el sector de serveis, l'industrial i de transport, i el sector residencial; l'últim sector serà de gran interès, degut a que és al qual adrecem aquest projecte.

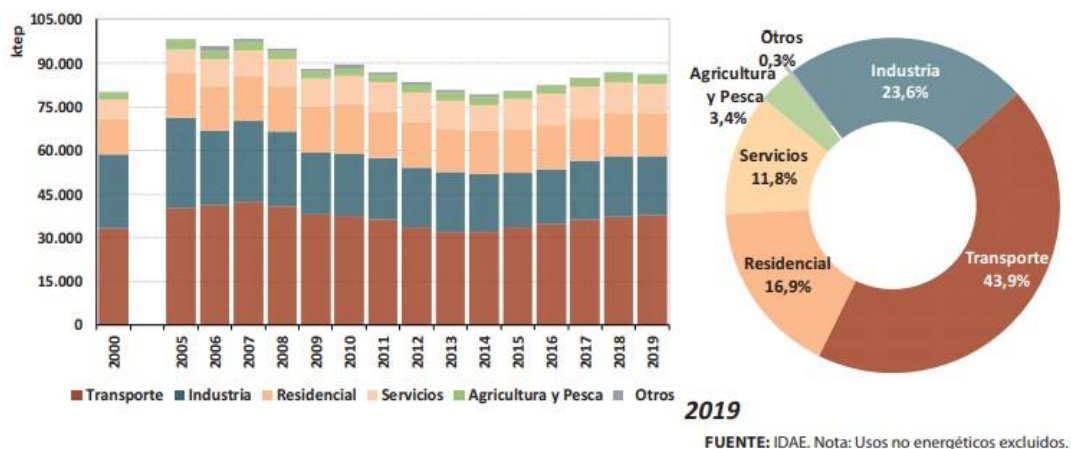


Figura 3.1.- Consum d'energia primària a Espanya. (Font: IDAE [10]).

3.2.1. Sector de la indústria i transport

Es tracta d'un sector prioritari en qualsevol política energètica d'estalvi i eficiència, degut a que a la llarga del temps s'ha anat constituint com el sector amb més demanda energètica, amb un 67,5% dintre del global mundial. Aquest fet produeix doncs, de forma conseqüent, que les propostes de canvis cap al mateix tinguin grans dificultats per a ser implementades, perquè la seva corba de demanda és gairebé permanent durant tot el dia.

Tot i així, amb el pas del temps, s'han anat incorporant modificacions en l'estructura de demanda d'aquest sector, per adquirir una millora en l'eficiència energètica, amb una reducció de costos gràcies a l'augment de demanda del gas natural i les energies renovables. Es preveu, a més, un augment exponencial de les energies renovables en els propers anys, ja que actualment només representa el 7,1% de l'estructura global.

Cal emfatitzar, però, en que el lideratge de consum, i per tant de demanda, dins d'aquest sector, és el del transport, amb un 43,9% de participació. Aquest percentatge és una conseqüència directa de la crisi del 2008, que per tal de reactivar el sector, va produir un augment de la mobilitat, tant a nivell particular amb els passatgers, com a nivell de mercaderies per l'abaratiment de les

importacions locals. Per últim, és necessari conèixer el fet que aquest sector utilitza com a font d'energia principal els combustibles convencionals.

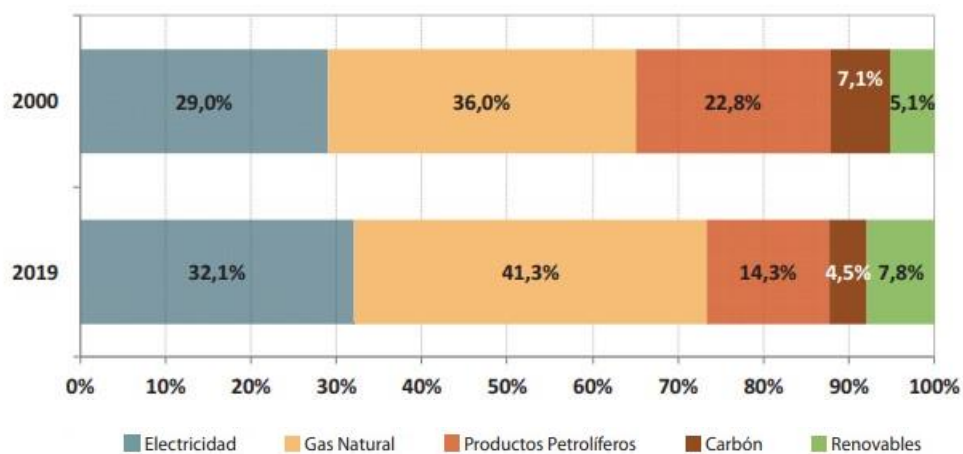


Figura 3.2.- Consum energètic de la indústria. (Font: IDAE [10]).

3.2.2. Sector de serveis

Es tracta del sector que més activitats diferents recull, com el comerç minorista, hoteleria, activitats d'oci i cultura o oficines, entre molts d'altres. A més, també es tracta del sector amb més activitat econòmica de l'estat espanyol, representant un 67,94% del PIB, segons dades recollides al 2019. Tot i així, en quant a demanda i consum energètic, el sector es troba per sota de l'esmentat anteriorment, tenint un 11,8% sobre el còmput global. Un cop més, trobem que un percentatge molt petit d'aquest es produeix a partir d'energies renovables, que tot i pretendre un augment en els propers anys, actualment només es cobreix amb un 1,8%.

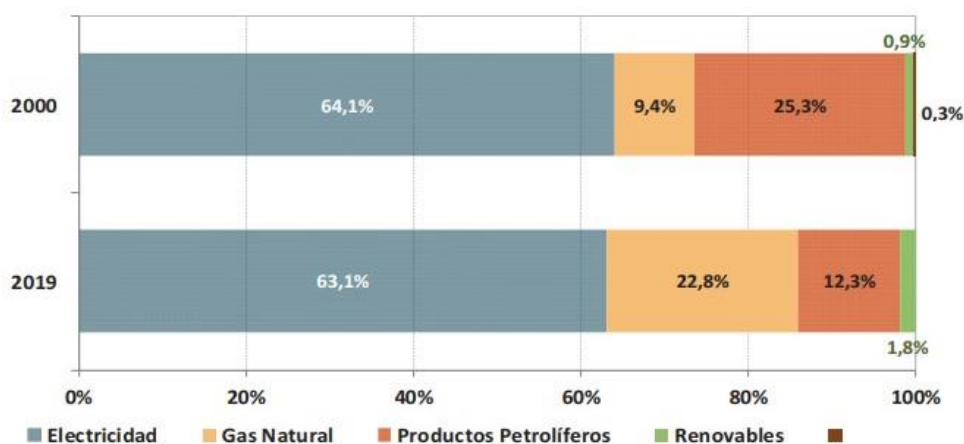


Figura 3.3.- Consum energètic del sector serveis. (Font: IDAE [10]).

3.2.3. Sector residencial

Com s'ha esmentat anteriorment, el projecte està centrat en aquest sector, motiu pel qual és important emfatitzar-lo sobre la resta, i analitzar-lo més detalladament. Davant dels altres sectors, el residencial és el que menys consum energètic té, amb només un 17,1% del consum sectorial global, segons dades del 2019. Tot i així, és cert que durant els últims anys, el sector residencial ha tingut un augment d'aquest consum, sobretot elèctric, degut a un augment directament proporcional d'estades a casa, i d'adquisició d'equipaments per a la llar amb un consum elèctric molt més elevat o de l'increment de nivell de vida dels consumidors dins les seves residències. Això, conseqüentment fa que s'hagi d'establir una millora en la planificació energètica a tots els nivells; també enfocant-nos en les conseqüents emissions de gasos d'efecte hivernacle.

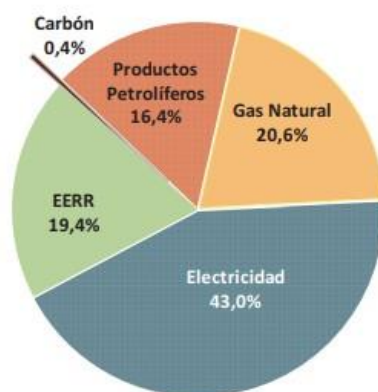


Figura 3.4.- Fonts de consum energètic del sector elèctric espanyol. (Font: IDAE [10]).

És important comprendre les dades anteriors. A partir d'aquí, es coneix que a l'estat espanyol hi ha una mitjana de consum anual de 119 kWh/m², que alhora provoca 32 kgCO₂/m² d'emissions. Totes aquestes dades estan determinades a partir del consum d'electricitat que genera directament la pròpia residència i el seu equipament. Avui en dia, degut als últims ajustos del preu de la llum, i la situació econòmica d'una residència "estàndard", especialment després de la pandèmia, s'ha produït un descens del consum energètic mitjà a totes les llars. Això també ve donat per les nombroses millores en l'eficiència energètica dels edificis, gràcies a noves situacions tecnològiques i polítiques.

Aquesta situació però, ha tingut alts i baixos al llarg del últims anys; des del 2005 va començar a haver-hi un descens del consum, que es va veure amb més intensitat a la crisi econòmica del 2008 per qüestions òbvies. Més tard, es va produir un augment a la sortida de la crisi, al 2014, i aquest es va mantenir fins al 2019, quan es va produir el gran descens mencionat anteriorment, degut a les causes extraordinàries que van sorgir. El 2020, tractant-se d'una situació completament excepcional a les residències, no pot determinar res sobre el consum energètic residencial.

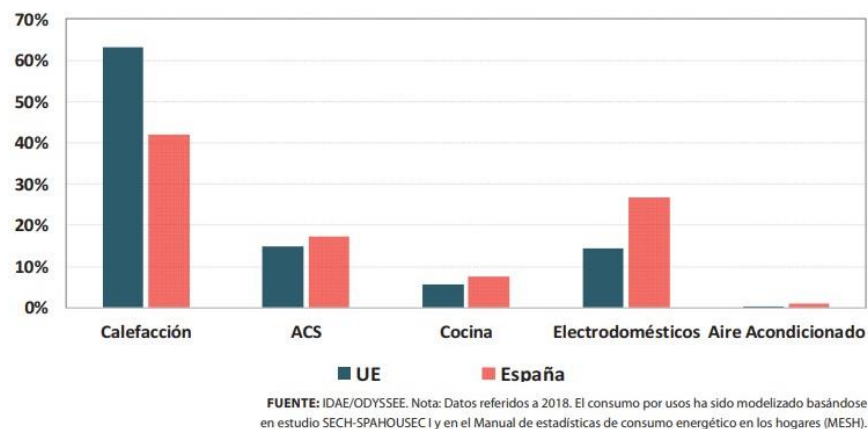


Figura 3.5.- Consum energètic del sector residencial a Espanya. (Font: IDAE [10]).

Per a tenir en compte la matèria de la qual es parla, és necessari entendre a què es destina el consum energètic en una llar, amb trets generals. Aquests són la il·luminació, la calefacció, els electrodomèstics, l'ACS, la climatització o la cuina. Dins d'aquests aspectes, el 67% del consum energètic d'una llar es destina a l'aspecte tèrmic, amb l'ACS, la cuina o la calefacció/climatització de la casa. A l'estat espanyol, a més, aquest últim és el més demandat i consumit en el sector residencial, especialment durant les temporades d'hivern i tardor.

En segon terme, els electrodomèstics, especialment els grans, són els que més consum energètic tenen en una llar, on hi ha equips de gran consum, com són la rentadora, el rentavaixelles o la nevera, entre molts d'altres. Les dades ens proporcionen que els petits i grans electrodomèstics, de la mà amb el consum produït per la il·luminació, és del 32% d'energia consumida en una llar, de mitjana. Es tracta d'un consum més elevat que el presentat per la resta de països de la Unió Europea, amb un 17,1%, establint les mateixes fonts que per al càlcul anterior.

Per últim, tot i presentar un nivell de consum molt mínim, amb un 1% a Espanya, i un 0,6% a la resta de la Unió Europea, l'aire condicionat pateix un augment en el seu consum any rere any, degut a les altes temperatures a les que estem sotmesos en els últims anys amb onades de calor a conseqüència del canvi climàtic. [5]

3.3. Introducció al marc regulador

El BOE ens regula el sector elèctric, i d'acord amb la *Llei 57/1997* aquesta va aconseguir liberitzar el sector elèctric, però amb els anys ha quedat gran part derogada per la *Llei 24/2013* del sector elèctric. A continuació, es fa un breu resum dels articles més importants d'aquesta última llei. [11]

D'acord amb l'*Article 1* de la *Llei 24/2013*, comenta que aquest garanteix el subministrament elèctric per als consumidors i ho adequa a les necessitats d'aquests. Conseqüentment, exigirà unes bases de "seguretat, qualitat, eficiència, objectivitat, transparència i al mínim cost".

Les activitats que desenvolupa l'*Article 1.2* venen explicades a l'*Article 6* de la *Llei 24/2013* del 26 de desembre. Aquest, ens defineix que els productors d'energia elèctrica són aquelles persones que tenen la funció de produir energia elèctrica per al seu propi consum. Tenen com a funcions bàsiques mantenir un bon funcionament a les instal·lacions de producció.

La producció d'energia elèctrica vindrà donada mitjançant un sistema fotovoltaic instal·lat sobre el recinte, en aquest cas sobre una casa unifamiliar, tal com indica l'*Article 2.1* de la *Llei 24/2013* que legitima la lliure iniciativa empresarial per a les activitats designades al subministrament d'energia elèctrica. D'altra banda, el Govern i les administracions públiques s'encarregaran de la distribució i el transport d'aquesta.

Conforme a l'*Article 8* de la *Llei 24/2013* del 26 de desembre, del sector elèctric descriu el mercat de producció d'energia elèctrica com un conjunt d'intercanvis mercantils de compra i venda d'energia elèctrica i el subministrament posterior. A més, la producció d'energia elèctrica es fomenta amb un reglament de lliure competència. Per tant, degut a la nostra implementació de plaques fotovoltaïques a l'empresa i la seva posada en funcionament posterior podem entrar en aquest mercat de producció per produir uns ingressos a partir de la venda d'energia elèctrica.

D'acord a l'*Article 13.1* de la *Llei 24/2013* defineix la sostenibilitat econòmica i financera del sistema elèctric com a "la capacitat per satisfer la totalitat dels costos del mateix". D'aquesta manera, els ingressos que s'obtenen de la venda del nostre actiu energètic seran els suficients per liquidar els costos del sistema elèctric totals.

Serà necessària l'afiliació al registre administratiu d'instal·lacions de producció d'energia elèctrica. Aquest requisit es necessari per poder prendre part al mercat de producció d'energia elèctrica en qualsevol de les modalitats i on s'establiran les característiques de la instal·lació i la potència respectiva.

Així doncs, els titulars d'aquestes competències estan obligats per normativa a mantenir la capacitat de producció prevista a la instal·lació. L'encarregat d'aquesta funció serà l'operador del sistema.

La contractació d'energia elèctrica podrà realitzar-se lliurement segons indica l'*Article 24* de la *Llei 24/2013* del 26 de desembre. Les ofertes d'adquisició d'energia elèctrica que es presentin a l'operador de mercat, tindran un compromís de subministrament pel sistema. L'operador de mercat s'encarregarà d'establir els mecanismes per al pagament de transaccions.

El consumidor final, com a productor d'energia elèctrica tindrà drets i obligacions segons dicta l'Article 26 de la Llei 24/2013, per la qual cosa cal seguir els termes previstos a la llei per a l'adquisició i la venda d'energia. De la mateixa manera, s'ha de donar pas a les xarxes de transport i distribució de l'energia elèctrica. Finalment, s'obté una retribució a partir dels acords vigents de la llei actual i es perceben compensacions pels costos ocasionats pel mal funcionament del sistema.

3.4. Identificació de les modalitats retributives

A continuació, es realitzarà l'estudi de les retribucions monetàries, considerant la Llei 24/2013 del sector elèctric espanyol, en el qual es distingeixen les diverses modalitats retributives, en aquest cas la producció i el subministrament d'energia elèctrica amb autoconsum, i les seves corresponents aplicacions orientades al projecte.

3.4.1. Modalitats retributives associades a la producció d'energia elèctrica

L'Article 14.5 de la Llei 24/2013, de 26 de desembre, defineix diferents modalitats retributives associades a la producció d'energia elèctrica.

- **Mercat diari i intradiari**

Segons l'Article 14.5.a) de la Llei 24/2013, el model del mercat diari e intradiari "es retribuirà sobre la base del preu resultant de l'equilibri entre l'oferta i la demanda". Resumint, en el mercat diari i intradiari es realitzen ofertes de compra o venda d'energia. L'energia elèctrica pot ser subhastada al mercat diari, el qual s'encarrega de fixar els preus admissibles per al dia posterior. En canvi, al mercat intradiari es pretén equilibrar la demanda energètica amb les ofertes disponibles per a satisfer-la, un cop ja s'ha fixat el Programa Diari Viable Definitiu (PDVD).

Per al sistema d'ofertes ens basem tant en l'Article 23 de la Llei 24/2013 com l'Article 9 del RD 413/2014, els quals dictaminen que els productors d'energia fan ofertes sobre la venda d'energia, a través d'un tercer, que serà l'operador de mercat per a cada període de programació. Això significa que les instal·lacions de producció d'origen renovable estan obligades a participar al mercat de producció d'energia elèctrica, i per això, estaran obligades a realitzar ofertes econòmiques a l'operador del mercat per a cada període de programació, als termes que reglamentàriament es determinin.

Per a l'entrada en funcionament de les unitats de producció d'energia elèctrica es prendrà l'oferta més rentable per a la instal·lació fins a igualar la demanda de energia.

D'altra banda, els comercialitzadors estaran obligats a fer ofertes econòmiques d'adquisició d'energia elèctrica a l'operador del mercat per al posterior subministrament d'aquesta.

- **Serveis d'ajust**

L'Article 14 de la Llei 24/2013 explica el funcionament dels serveis d'ajust. S'entén per serveis d'ajust tots aquells que ajuden a balancejar el sistema i assegurar el funcionament correcte i la seva continuïtat. La comissió Nacional dels Mercats i la Competència (CNMC) determina quins serveis són de caire obligatori per el correcte funcionament de la instal·lació fotovoltaica i quins de caràcter potestatiu. Segons la normativa vigent, els serveis d'ajust són els que donen solució a restriccions tècniques.

Segons l'Article 10.1 del RD 413/2014, quant a la seva aplicabilitat, les instal·lacions que es vulguin adherir a aquest tipus de modalitat retributiva hauran de tenir en compte que necessitaran una habilitació prèvia de l'operador de mercat i que el valor mínim de les ofertes per a la participació en aquest sistema d'ajust és de 10 MW. També necessitarà l'habilitació prèvia d'un operador de sistema. Per accedir a aquest concepte retributiu s'han de complir a la vegada les dues condicions descrites.

- **Retribució en concepte de mecanisme de capacitat**

Com dicta l'Article 14.5.c) de la Llei 24/2013, l'opció de beneficiar-se per pagaments de capacitat, els quals a la ITC/2794/2007 representa com el sistema elèctric i de mallat no és perfecte, per això el preu de l'energia pot ser una dada insuficient per garantir la cobertura del subministrament. De la mateixa manera la ITC/3127/2011 la qual diu que ens podríem beneficiar d'aquests mecanismes de capacitat, però, el preu de l'energia és un valor d'informació insuficient per cobrir la cobertura de subministrament elèctric. Per tant, aquelles instal·lacions que puguin "dotar el sistema d'un marge de cobertura adequat i incentivar la disponibilitat de potencia gestionable", seran objectes duna retribució regulada.

Cal recalcar que, en relació amb els pagaments per capacitat, segons la ITC/2794/2007, la disponibilitat (contractació de potència) pot no estar programada en els períodes de demanda punta, ja sigui perquè el seu funcionament al mercat li impedeix recuperar els costos fixos o que les matèries primeres es puguin emmagatzemar a baix cost.

Malauradament, pel fet que l'Ordre TEC/1366/2018 deroga els Articles 1-9 de l'Ordre ITC/2794/2011, no hi ha cap legislació actual que permeti a les plantes fotovoltaïques beneficiar-se dels mecanismes de pagament per capacitat.

- **Retribució addicional**

Segons l'*Article 14.6* de la *Llei 24/2013* sobre la retribució addicional, aquest declara que el Govern només podrà determinar un concepte retributiu addicional per cobrir la diferència entre els costos d'inversió i producció de l'energia elèctrica desenvolupats en territoris amb sistema elèctric no peninsulars. Els territoris no peninsulars fan referència a les illes Balears, les illes Canàries, i Ceuta i Melilla, per tant, com serà condició necessària viure en un d'aquests territoris per acollir-se a aquesta modalitat retributiva.

- **Retribució específica**

Segons l'*Article 14.7* a la *Llei 24/2013* sobre la retribució específica, aquesta sentència que el Govern podrà establir un règim retributiu específic, el qual fomenta la producció d'energies renovables, cogeneració d'alt rendiment i de residus. D'aquesta manera s'aplicarà aquest tipus de retribució quan la seva introducció redueixi el cost i la dependència energètica exterior.

També cal tenir en compte l'*Article 11 i 12* del *RD 413/2014*, del 6 de juny, que diu que s'acolliran a la retribució específica aquelles instal·lacions “*que no assoleixin el nivell mínim necessari per cobrir els costos i obtenir una rendibilitat raonable*”. D'aquesta manera, el model és aplicable en una situació on els costos del sistema no es puguin cobrir.

3.5. Modalitat retributiva associada a l'activitat d'autoconsum d'energia elèctrica

S'entendrà per autoconsum, utilitzar l'energia que es produeix a les instal·lacions pròximes a les zones de consum per a un benefici (estalviar costos d'energia). Apareixen diferents modalitats d'autoconsum com dicten els articles 9 i 14 de la *Llei 24/2013*, juntament amb el *RD 413/2014* i el *RD 244/2019*.

L'energia d'autoconsum en ser d'origen renovable, en aquest cas energia solar fotovoltaica, estarà exempta de càrrecs i peatges. Un auto consumidor d'energia elèctrica pot destinar la totalitat de la producció de la energia que ha generat al seu propi ús. D'altra banda, en cas de cedir energia a instal·lacions properes, s'establiran uns càrrecs per a l'ús de la xarxa de distribució.

A continuació es definiran els models retributius segons els excedents d'energia elèctrica.

3.5.1. Autoconsum sense excedents

Aquest concepte retributiu es vincula amb l'*Article 9.1* de la *Llei 24/2013* corresponent al subministrament amb autoconsum. Aquesta modalitat consisteix que el consumidor utilitza l'energia per al consum propi i impedeix la injecció d'energia excedentària a la xarxa de transport. Per assegurar que no s'injecti energia a la xarxa, serà necessari la instal·lació de dispositius físics per

assegurar el bloqueig. En aquest cas només hi ha un tipus de subjecte, que serà el subjecte consumidor i es troba explicat en l'Article 6 de la *Llei 24/2013*.

L'Article 5.3 del *RD 244/2019* indica com acollir-se a la modalitat d'autoconsum sense excedents. Aquest recull que el titular del punt subministrament ha de productor i consumidor alhora.

Per altra banda, en l'Article 7 del mateix Reial Decret d'autoconsum indica que al no haver-hi excedent d'energia, no cal obtenir permisos d'accés i connexió amb la xarxa elèctrica.

3.5.2. Autoconsum amb excedents

Aquest model retributiu es cita a l'Article 9.2 de la *Llei 24/2013*. Consisteix a més de subministrar energia per a l'autoconsum, subministrar energia excedentària a les xarxes de transport i distribució quan es generi més energia que la requerida pel consumidor. En aquest model hi ha dos subjectes, el consumidor i productor segons l'article 6 d'aquesta mateixa llei.

La modalitat d'autoconsum amb excedents es divideix en dos tipus tal com especifica l'article 4 del *RD 244/2019*:

- **Modalitat amb excedents acollida a compensació**

Aquesta modalitat correspon quan el consumidor i el productor adopten voluntàriament acollir-se a aquest mecanisme de compensació. Aquesta modalitat retributiva es descrita en l'article 2.a) del *RD 244/2019*.

L'Article 14 del *RD 244/2019* defineix com s'executa el mecanisme de compensació entre l'empresa comercialitzadora i el subjecte consumidor i productor.

Els requisits necessaris per acollir-se a aquesta modalitat de compensació són els següents:

- Necessàriament la font de producció d'energia ha de ser renovable.
- La potencia total de la instal·lació no ha de superar els 100 kW.
- La instal·lació no es pot acollir a un regim addicional o específic.

En el cas que es superin els 100 kW de potencia en la instal·lació, les ofertes per la venda de l'energia excedentària s'hauran de presentar i negociar en el mercat elèctric.

- **Modalitat amb excedents no acollida a compensació**

L'Article 4.2 del *RD 244/2019* dicta que pertanyen a aquesta modalitat els consumidors i productors que no compleixin els requisits de la modalitat prèvia o que per ells mateixos optin per triar aquesta mateixa modalitat, per tant estaran exempts de tenir una compensació per l'energia injectada a la xarxa elèctrica. En resum, contribueix a l'ús eficient i sostenible de l'energia elèctrica.

3.6. Directiva de la UE 2018/2001

La *Directiva 2018/2001* desenvolupada pel Parlament Europeu estableix un marc comú per fomentar l'ús d'energia procedent de font renovables. Aquesta directiva fixa mínim un 32% d'energia consumida en la UE que procedeixi de fonts renovables de cara l'any 2030.

Aquesta directiva inclou diferents aspectes:

- Ajudes financeres basades en el mercat i destinades a l'electricitat procedent de fonts energètiques renovables.
- Mecanismes de cooperació entre els països de la UE i els països extracomunitaris.
- Proporciona seguretat a llarg termini als inversors de projectes i accelera els procediments per l'obtenció de permisos per la implantació d'aquests.
- Reforça els criteris de sostenibilitat de la UE.
- Simplifica procediments administratius de projectes de renovables.
- Fixa un increment anual d'un 1,3% d'energies renovables en el sector de la climatització.
- Fixa un 14% de fonts d'origen renovable en el transport.
- Instaure normes que permeten als consumidors produir la seva pròpia electricitat sense cap mena de restricció.

3.7. Acord de Paris

El 12 de desembre de 2015, en la Convenció Marc de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic es va adoptar l'Acord de Paris i va entrar en vigor un any després. Aquest acord tenia com a objectiu reduir les emissions mundials de gasos d'efecte hivernacle i limitar la pujada de la temperatura global a 2°C i limitar la pujada a 1,5°C. L'Acord de Paris exigia el compliment dels següents punts:

- En l'*Article 2* es reafirmava l'objectiu de limitar l'augment de temperatura mundial per sota als 2°C.
- L'*Article 4* parla sobre el punt màxim i neutralitat climàtica, les parts representants es proposaven no superar el punt màxim d'emissions de gas d'efecte hivernacle (GEH) a nivell mundial.
- La mitigació també ve donada en l'*Article 4* i aquesta estableix compromisos vinculants per totes les parts per preparar, formar, comunicar i mantenir una contribució determinada a nivell nacional.
- La participació voluntària en el mercat es descriu en l'article 6, on s'estableix un mecanisme per contribuir a la mitigació d'emissions de GEH i a donar suport al desenvolupament sostenible alhora que defineix un enfocament no mercantil per el desenvolupament sostenible.
- En els *Articles 9, 10 i 11* sobre els recursos financers, tecnològics i sobre la capacitat es reafirmen les obligacions de tots els països desenvolupats donar suport als països en desenvolupament per fer un futur harmònic amb el medi ambient. El subministrament de recursos ha de tenir com a objecte un equilibri entre l'adaptació i la mitigació. També

els països desenvolupats es comprometen a proporcionar informació als països en vies de desenvolupament sobre el finançament públic.

3.8. Llei del Canvi Climàtic i la Transició Energètica

La *Llei 7/2021* del 22 de maig del 2021 sobre el canvi climàtic i la transició energètica entra en vigor amb l'objectiu de complir els acords pactats en l'Acord de Paris i consolidar les directives per l'any 2030 sobre el desenvolupament sostenible.

Els objectius són recollits en l'*Article 3*:

- Reduir les emissions de gasos d'efecte hivernacle un 23% respecte l'any 1990.
- Aconseguir que el consum d'energies renovables sigui d'almenys el 42% del total.
- Tenir un 74% de producció d'energia renovable.
- Disminuir el consum d'energia primària un 39,5%.
- Assolir la neutralitat climàtica abans del 2050.

Per poder consolidar l'objectiu de la neutralitat energètica abans del 2050 a través de la producció d'energia total de fonts renovables, es preveu una major flexibilitat en la integració d'energies renovables i ajudes econòmiques perquè els habitatges aconseguixin una major eficiència energètica.

L'*Article 8* d'aquesta llei recull els següents punt per assolir-ho:

- Es promou i es facilita l'ús eficient de l'energia, la gestió de la demanda i l'ús de font renovables en l'àmbit de l'edificació.
- Els materials de construcció hauran de tenir la mínima petjada de carboni assolible.
- S'estableixen incentius per la introducció d'energies renovables en la rehabilitació dels habitatges fomentant l'autoconsum i les instal·lacions de petita potència.

4. Marc conceptual

4.1. Introducció a la Norma ISO 50.001

La norma ISO 50.001 es basa en un sistema de gestió d'energia, que consisteix en diferents processos que permeten ajudar a les organitzacions, tant siguin públiques o privades a implementar una política energètica per aconseguir un abaratiment dels costos energètics a partir d'identificar les activitats que consumeixin més energia. Un cop identificades aquestes activitats, consisteix en minimitzar els consums energètics de les instal·lacions o sistemes on s'apliqui aquesta normativa. Les organitzacions interessades utilitzen dades i informació per millorar l'eficiència energètica per aconseguir reduir l'impacte al medi ambient. [12]

Una de les principals avantatges que aporta la norma ISO 50.001, és que s'aconsegueix una millora continua del sistema a través de l'avaluació i l'anàlisi periòdic del sistema. La normativa no fixa objectius per aconseguir aquesta millora, ja que es dona importància a la planificació energètica a través d'un marc teòric on cada organització estableix els seus propis objectius.

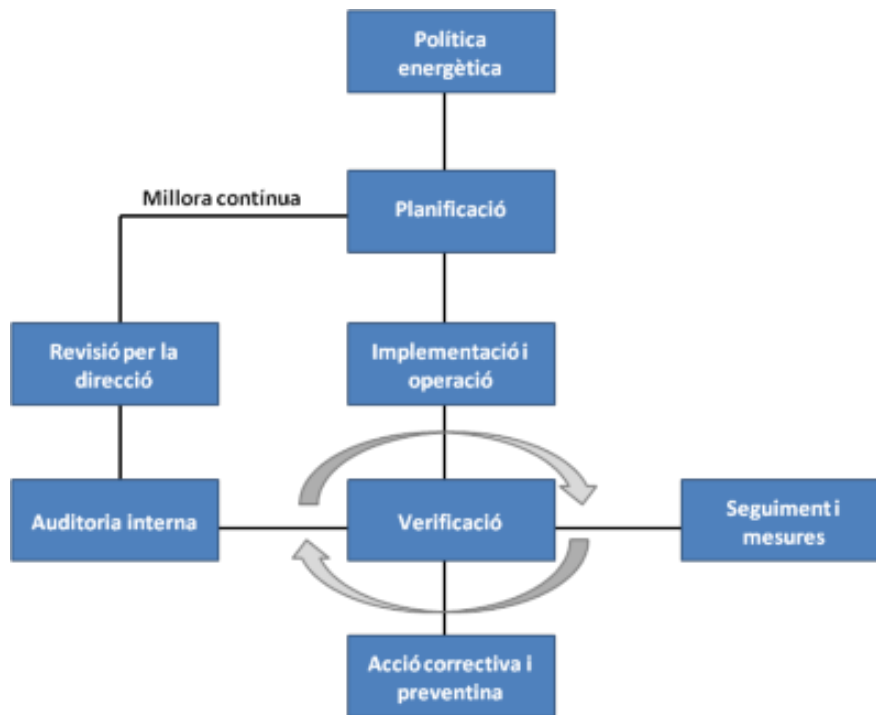


Figura 4.1.- Estructura ISO 50001 (Font: ICAEN [8]).

Analitzant l'esquema proporcionat per l'ICAEN, descriu el mètode per implementar el sistema de gestió d'energia. Com s'ha dit anteriorment, cada sistema que es vol implementar depèn de les metes que cada organització s'ha posat, però el model sistemàtic consisteix en els mateixos processos però amb diferent abast en cada projecte.

Aquesta norma segueix el model de *planificar, fer, verificar i actuar* que consisteix en revisar periòdicament el model per aconseguir millores en la gestió progressivament. [13]

- **Planificar:** Establir i fixar els objectius i processos energètics que es volen implementar d'acord a una política energètica per millorar l'eficiència energètica.
- **Fer:** Realitzar la implementació d'aquests processos mencionats de gestió energètica.
- **Verificar:** Analitzar que els processos aplicats per aconseguir el rendiment energètic s'estiguin complint per aconseguir les metes fixades.
- **Actuar:** Prendre les accions necessàries per millor el sistema implementat de manera continua en el sistema de gestió d'energia.

4.2. Estructura de la norma ISO 50.001

Per a realitzar un sistema de gestió energètica que actui correctament i implementar la norma ISO 50.001 respecte als seus consums d'energia, és imprescindible abans fer un breu anàlisi que determini on estem i on volem arribar. És a dir, és necessari determinar uns objectius i conèixer els recursos dels quals es disposa per al desenvolupament del sistema, tenint en compte els límits que s'interposaran en el procés. Tot això permetrà que el projecte pugui assolir millores continues en l'eficiència energètica de la instal·lació ja que és condició necessària fer un seguiment alhora de la funció energètica en coherència amb la situació actual i futura que es proposa i de realitzar plans preventius de millora continua. [13] [14]

Primer s'ha de conèixer la situació actual de la companyia o organització; com s'ha comentat anteriorment, és necessari establir un anàlisi per entendre els recursos disponibles, i també els límits dels quals disposarà tot el projecte. A continuació, es determinen unes fites, els objectius, per tal de poder escollir els indicadors energètics viables, i per tal de poder dur a terme una correcta planificació energètica. A partir d'aquests aspectes, es permetrà conèixer què és allò a millorar, i per tant es podran establir plans d'acció preventius, correctius i de millora.

4.2.1. Planificació

L'actual ús i producció de l'energia ha afectat a molts factors externs com són el medi ambient, l'economia o l'àmbit social. Com a conseqüència, i per tal de determinar una guia que millori l'ús i consum energètic, així com la seva eficiència, s'han establert una sèrie de lleis -a molts nivells- que així ho permeten.

Tota organització, amb l'objectiu d'aconseguir l'ús racional i eficient de l'energia, i la fiabilitat del sistema, determina un procés d'optimització d'aquesta, que és precisament el que anomenem d'una companyia la política energètica. Es tracta del document que estableix aquest compromís per part de la organització, i per tant és molt important per aconseguir una millora contínua, cohesionada amb la naturalesa i la magnitud del consum d'energia propi.

Per altra banda, es troba la planificació energètica, que tindrà com a objectiu la correcta aplicació d'aquesta política energètica, amb el compliment dels requisits legals que s'hagin d'aplicar. Això, per tant, determina que aquests dos, han de ser dos documents cohesionats entre si. Es seguiran unes pautes ja establertes per a formular-lo, que són les següents:

- 1. Entrades de planificació:** És on podem veure i conèixer l'ús d'energia passat i actual de la companyia, així com les variables importants que puguin afectar i que es tindran en compte pel correcte desenvolupament.
- 2. Revisió energètica:** És l'auditoria en concepte d'energia que es durà a terme per tal d'identificar les àrees de consum més importants, i a partir d'aquí també es podran determinar quines opcions de millora hi ha.
- 3. Resultats de la planificació:** En aquesta fase es podran obtenir els indicadors energètics i la línia base. Ambdós ens permetran establir unes pautes que no permetin influir a variables externes d'aquest consum d'energia, com són la climatologia o el volum de producció.

4.2.2. Fer: Implementació

A partir de les dades que ens aporta l'anàlisi previ, la planificació duta a terme, es realitzarà una proposta per a establir millores en la pròpia organització. Es farà incorporant polítiques i responsabilitats energètiques. És doncs, el moment de determinar noves maneres per a utilitzar, consumir i donar eficiència energètica a la organització, amb la finalitat d'assolir els objectius que s'han fixat a la planificació.

La organització és l'encarregada de fer tot el recull de la documentació que precisa la descripció dels elements que conformen el sistema de gestió de l'energia, com són l'abast i límits de SGE, els objectius planificats per a l'acció proposada i els propis plans d'acció per a dur-ho a terme. A més d'això, serà necessari crear un pla de detall per a cada operació, en el qual es determinaran criteris de manteniment, operacions, registres, etc.

Més endavant es poden donar casos de nous dissenys, els quals es basen simplement en una modificació o una ampliació del procés dut a terme amb anterioritat. Serà però, on s'hauran de tenir en compte aspectes com la inversió inicial, en concordança amb les despeses d'operació i manteniment, així com la vida útil d'aquell sistema.

És important emfatitzar en el fet que tota aquesta fase ha de ser desenvolupada per persones que tinguin les habilitats, els coneixements i l'experiència necessària per complir amb tots els requisits del SGE. Això, consegüentment necessita d'una àrea de Recursos Humans que conegui aquests requeriments, i que també estableixi la formació adient.

4.2.3. Verificació

Es tracta d'un pas previ a l'actuació, en el qual s'haurà de dur a terme un seguiment de mesura, control i anàlisi de l'activitat energètica, per determinar la necessitat o no de modificacions preventives i de millora. Aquestes dades han de resultar d'un pla de mesura energètica, a més d'equips que puguin proporcionar informació fiable i exacta.

Amb aquesta avaluació es complirà amb la normativa vigent i s'assegurarà el seu correcte funcionament de cara també a les auditories energètiques. Es tracta de poder establir diferents actuacions, per determinar les solucions derivades de cadascuna d'elles, investigant possibles errors que puguin sorgir en tot moment.

4.2.4. Actuació: revisió

Per tal d'establir el correcte compliment de la norma ISO 50.001, s'han de realitzar revisions per part de la direcció del projecte. Només d'aquesta manera es podran observar modificacions no previstes que puguin determinar un incorrecte desenvolupament del procés.

Aquesta fase, doncs, permetrà conèixer si el sistema de gestió és o no eficaç, i si per tant també està complint amb els estàndards previstos a la planificació: objectius, en coherència amb les polítiques energètiques.

Ha de ser la direcció qui determini si es tracta d'una modificació necessària o no, i per tant és la gent que disposa de tota la informació necessària per a poder fer aquestes decisions. Serà important que la modificació sigui per a una millora, i no provoqui tot el contrari; és per això que la direcció serà qui s'encarregui de decidir, i conseqüentment modificar si així ho veu òptim.

Sabent doncs que es tracta d'un procés cíclic amb totes les seves fases, l'organització sempre ha de re-començar el procés i establir contínuament millores en l'eficiència energètica i la seva millora per a complir amb la norma ISO 50.001.

5. Marc físic

5.1. Micro-xarxes

Les micro-xarxes són una petita part de la xarxa elèctrica però de dimensions reduïdes amb capacitat de generar, transportar i emmagatzemar energia elèctrica i que també es poden arribar a desconnectar de la xarxa gràcies a la seva capacitat de gestió de manera independent de la resta de xarxa elèctrica. [15] Permet coordinar de forma intel·ligent els diferents components que la formen a través d'una monitorització bidireccional d'un equip de mesura, de la demanda i producció d'energia, proporcionant un subministrament sostenible, segur i eficient. Per tant, són un grup de càrregues interconnectades i recursos energètic distribuïts (DER) que formen un sistema d'energia elèctrica de BT. [16]

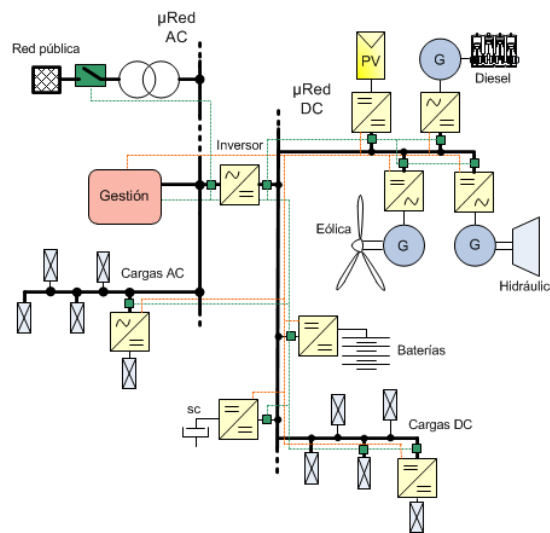


Figura 5.1.- Micro-xarxa híbrida (Font: XEIEE [17]).

Una de les característiques més importants de les micro-xarxes és que disposen de dispositius que poden emmagatzemar l'energia generada i consumeixen posteriorment a través de càrregues desplaçables en el temps que s'adeqüen a la demanda. De la mateixa manera i com és lògic, un dels principals objectius d'aquest projecte és la implementació d'una micro-xarxa a petita escala.

Les micro-xarxes s'implementaven prèviament en certes aplicacions on era indispensable que no es produïssin talls de subministrament d'energia com en llocs com hospitals, cadenes alimentàries frigorífiques, etc. L'ús de generadors dièsel evitaven aquests talls de subministrament de l'electricitat quan la generació del camp solar no era suficient.

La necessitat actual d'implementar les micro-xarxes ve donada gràcies a l'augment de la producció descentralitzada d'energies renovables i l'abaratiment del cost de l'energia produïda envers de la energia distribuïda. A més a més, produeix beneficis en el rendiment del sistema si es dissenya i es coordina de manera eficient tot plegat a partir de la gestió de càrregues.

A continuació s'anomenen uns quants avantatges que aporten les micro-xarxes en el sistema energètic i econòmic actual:

- Maximitzar l'ús de fonts renovables d'energia.
- Milliores en la seguretat de subministrament mitjançant la consideració de càrregues crítiques.
- Potència de reserva per millorar fiabilitat i seguretat de subministrament.
- Qualitat de servei (control de reactiva i tensió) segons requisits de l'usuari.
- Capacitat per reduir pics de consum.
- Optimització del benefici econòmic mantenint el nivell adequat de confort dels usuaris, participant en el mercat de forma agregada.
- Integració de generació distribuïda amb reducció de pèrdues i de costos d'inversió en xarxes de transmissió i distribució.

Els components bàsics del disseny i funcionament òptim d'una micro-xarxa són quatre, els quals es diferencien per fonts generadores, consumidores o ambdues.

- **Fonts generadores distribuïdes:** Qualsevol element de producció d'energia elèctrica a petita escala que cobreixi les necessitats de potència demandada per l'habitatge es considera un element de generació. Aquestes fonts aprofiten els recursos locals i poder ser d'origen renovable com turbines eòliques i solars o fonts d'energia tèrmica. Gràcies a aquesta generació distribuïda s'augmenta l'eficiència energètica en els punts de consum, evitant que les fonts de generació siguin centralitzades com en el sistema elèctric convencional.
- **Càrregues:** Es consideren tot tipus de càrregues, tant poden ser prioritàries o desplaçables en el temps. Les càrregues prioritàries tal i com indica el seu nom tenen preferència a l'hora energitzar-les davant de les flexibles que poden ser prescindibles i desconnectades en el temps. El consum de les càrregues controlables es poden modificar d'acord al preu del mercat elèctric.
- **Emmagatzematge:** La seva funció principal es fer de suport a la demanda de càrregues de l'habitatge a partir de l'emmagatzematge previ de l'energia generada distribuïda sobrant. Permet desplaçar en el temps les càrregues perquè gestioni el consum. Té una funció crucial en la optimització de costos a part que suavitza la producció distribuïda d'energia.
- **Sistemes de control:** És considerat el sistema de gestió intel·ligent de la micro-xarxa. Té un paper fonamental en la generació distribuïda, l'emmagatzematge elèctric, les càrregues i en el canvi de l'estat de funcionament de mode xarxa a mode illa. Es poden gestionar els fluxos de potència de la resta d'elements a partir de la monitorització a través d'analitzadors de xarxa que llegeixen les variables d'entrada del sistema.

Les micro-xarxes tenen dos modes de funcionament, un dels quals, la micro-xarxa està connectada a la xarxa elèctrica (ON-GRID) i aquesta exporta energia de la xarxa quan la potència a subministrar no és la suficient per alimentar les càrregues connectades a ella. Per altra banda, quan la micro-xarxa està aïllada de la xarxa (OFF-GRID) per una averia tècnica o per una qualsevol altre causa. En

aquest últim cas, aprofita un equip generador dièsel d'electricitat per alimentar les càrregues domèstiques prioritàries. Assolir aquestes característiques requereix un sistema de gestió intel·ligent per a la micro-xarxa, i els seus elements s'han de desenvolupar tenint en compte aquests requisits.

5.1.1. Tipus de micro-xarxes

Un cop s'ha definit el concepte de micro-xarxa, cal afegir que es poden classificar en diferents tipologies segons com sigui la seva distribució i connexió d'elements. Els busos d'energia, els quals poden ser CC o CA, indiquen la tipologia de la micro-xarxa i com es connecten amb la xarxa elèctrica gràcies a un convertidor. Seguidament es descriurà el funcionament de cadascuna de les tipologies. [18]

- **Micro-xarxa de corrent continu**

Gairebé la major part d'energies renovables generen un corrent continu per la sortida del generador. En la micro-xarxa de CC tots els elements estan connectats a través d'un bus CC i on un convertidor CC/CA els fa interconnectar amb la xarxa elèctrica. Com a avantatges a destacar es la seva simplicitat en el funcionament i no hi ha interrupcions de corrent fins i tot en el cas que no es pugui suplir tota la demanda d'energia de les càrregues.

- **Micro-xarxa de corrent altern**

Al igual que la micro-xarxa de CC, que els busos on estaven connectats els elements és de corrent continu, en aquest cas el bus d'aquesta micro-xarxa es de CA i anirà connectat a la xarxa a partir d'un convertidor CA/CA.

- **Micro-xarxa híbrida**

Per aquest tipus de micro-xarxes, la seva arquitectura consisteix en la combinació dels dos busos previs. Les càrregues CA van connectades directament a la pròpia xarxa elèctrica, en canvi, les càrregues CC necessiten un convertidor CA/CC per poder estar connectades a la xarxa elèctrica. D'aquesta manera la micro-xarxa s'adapta al tipus de tensió exigida en funció de les seves característiques.

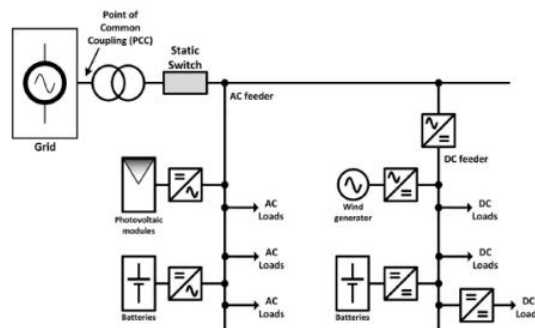


Figura 5.3.- Representació esquemàtica d'una micro-xarxa híbrida (Font: "Microgrid architectures for low voltage distributed generation" [19]).

5.2. Energy Management System (EMS)

En general, les micro-xarxes requereixen un sistema adequat de gestió, anomenat Micro Grid Management System (MGMS). Existeix una estratègia de control jeràrquica del MGMS mitjançant la introducció de tres nivells de supervisió, els quals són: AMI, EMS i DMS.

- **AMI:** El primer nivell de control està relacionat amb el control de càrrega. El consum d'energia dels electrodomèstics es controla mitjançant comptadors intel·ligents i el nivell de control AMI és l'encarregat d'enviar aquesta informació al nivell superior, que és l'EMS.
- **EMS:** El segon nivell de control de micro-xarxa és el Energy Management System (EMS) o Sistema de Gestió d'Energia (SGE), el qual s'encarrega de controlar la demanda i l'oferta basant-se en la informació rebuda a partir dels fluxos d'energia, els desplaçament de càrregues o les estratègies energètiques. L'EMS proporciona una programació per a cada operació d'element micro-xarxa mitjançant l'algoritme d'optimització per els modes de funcionament que té la micro-xarxa. L'EMS decideix la contribució de la micro-xarxa a la xarxa pública, determinant la part de contribució de cada font.
- **DMS:** El tercer nivell de control és responsable del control, la supervisió i la fiabilitat de la xarxa de distribució. Aquest nivell de control de supervisió revela quan la micro-xarxa podrà treballar connectada a la xarxa i subministrar càrregues des de la xarxa principal. Si existeix un error en la micro-xarxa, aquesta es desconnectarà de la xarxa principal per poder protegir el sistema.

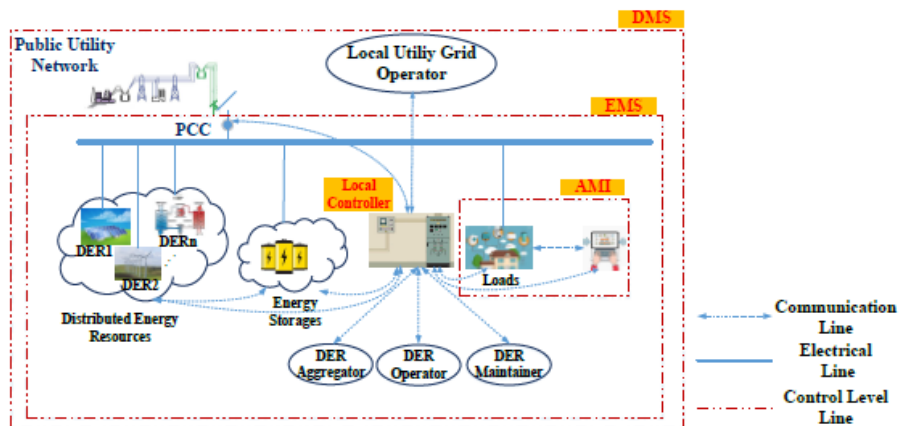


Figura 5.2.- Estructura d'una micro-xarxa (Font: energies-13 [22]).

Vista l'estructura del MGMS i desenvolupada la ISO 50.001, es pot concloure la rellevància que té l'EMS per aconseguir una optimització en l'ús energètic en la micro-xarxa mitjançant una generació fotovoltaica i l'ús de sistemes d'emmagatzematge a l'hora de reduir el consum energètic i per tant

el preu a pagar en la factura elèctrica fent un eficient i sostenible ús dels recursos energètics disponibles.

L'objectiu de la creació d'una normativa estàndard del SGE s'ha vist impulsat d'alguna manera davant la creixuda d'emissions de gasos d'efecte hivernacle, la dependència als recursos energètics no renovables i a la recent pujada de preu de l'electricitat.

Per tant, com afirma la ISO 50.001, l'EMS són *“un conjunt d'elements interrelacionats mútuament i que interactuen per establir una política i objectius energètics i els processos i procediments necessaris per assolir aquests objectius”*.

Resumint, l'EMS ha de satisfer quatre aspectes essencials en el funcionament i control de la micro-xarxa:

- Garantir el funcionament econòmic òptim i fiable d'un sistema energètic com per exemple el d'una micro-xarxa.
- Fixar els punts operatius dels controladors primaris localitzats a nivell de dispositiu.
- Controlar els fluxos de potència activa al sistema, és a dir, a les unitats controlables, d'acord amb les necessitats de les càrregues i els perfils de generació i consum d'energia.
- Coordinar les connexions i desconnexions de les fonts de generació distribuïda d'energia, els sistemes d'emmagatzematge i les prioritats a les càrregues. [21]

L'EMS pren la decisió de generar i enviar l'energia elèctrica i tèrmica en funció dels perfils de càrrega establerts en l'habitatge, les seves condicions meteorològiques, el preu del mercat elèctric per cadascun dels DER disponibles, etc. Així, la gestió inclou qüestions tècniques i econòmiques, que recomanen quina inversió és la òptima. Una correcta planificació podria aportar millor qualitat i fiabilitat de l'energia. El principal objectiu de l'EMS és aconseguir un objectiu econòmicament viable micro-xarxa amb una reduïda inversió i, per tant, hi té un paper vital maximització dels beneficis de la instal·lació fotovoltaica. [22]

6. Enginyeria conceptual

6.1. Objectius de la micro-xarxa

A partir de l'explicació teòrica del model energètic escollit per dur a terme la micro-xarxa híbrida, així com dels costos associats per a una llar unifamiliar, i per tal d'obtenir el resultat esperat, caldrà fer un anàlisi per conèixer els mètodes i processos a seguir, per aplicar els conceptes teòrics de forma òptima.

Serà necessari aplicar els coneixements resultants dels apartats anteriors d'una manera lògica, creant un mètode que tingui l'objectiu de maximitzar l'eficiència energètica. Aquest procés serà una guia per a establir el procediment de forma correcta, sempre tenint en compte les modificacions que puguin sorgir de les revisions, i mantenint-ho en sincronització amb les necessitats que presenti.

Es tracta d'un procés esquemàtic que pot ser extrapolat a altres processos d'optimització de l'ús i l'eficiència energètica d'una llar unifamiliar, d'acord a que es tracta d'un model estandarditzat per tal de poder adaptar-lo a altres processos.

Per tal que la norma ISO 50.001 pugui ser aplicada, és necessari, a més de tots els processos de documentació, implementació i millora comentats anteriorment, definir uns límits i un abast del SGE, de la següent forma:

- **Límits del SGE a l'habitatge unifamiliar:** Les limitacions s'estableixen a partir de la casa escollida per a fer la implementació. És a dir, dependrà en gran part de la quantitat de persones que hi visquin, així com de l'ús energètic que en facin aquestes.
- **Abast del SGE a l'habitatge unifamiliar:** Es tracta d'un procés centrat en que s'analitzi, es gestioni i es mesuri el consum energètic, tant el de tipus tèrmic com podria ser la climatització i calefacció, com el d'elèctric com per exemple la il·luminació i el consum dels electrodomèstics.

A partir de tot això, l'organització haurà d'establir els requisits a complir de la norma ISO 50.001, sempre amb l'objectiu d'establir una millora contínua en el sistema de gestió energètic.

El primer pas per al procés és dur a terme una planificació prèvia, tal com s'ha esmentat en el cicle de Deming o PDCA (plan, do, check, act). Això emana d'una primera auditoria (degut a que es tracta d'un habitatge ja construït) que estableixi i determini quin és el comportament energètic que presenta la llar, i quines són les debilitats que presenta o pugui presentar al llarg del temps. Alguns exemples de debilitats que pot presentar una llar d'aquestes característiques són la manca d'aïllants tèrmics o la certificació d'eficiència energètica dels grans electrodomèstics, per exemple.

En la segona etapa (do), la de dur a terme, consisteix en l'etapa en la que intervenir per tal de realitzar els canvis convenients per a establir i implementar el sistema de millora energètica proposat. Aquesta etapa necessitarà el disseny d'una micro-xarxa, determinada a partir del perfil de càrrega del consum energètic, així com la disponibilitat local dels diversos recursos energètics. Un cop es coneixen aquests recursos, es pot dur a terme el disseny del sistema de producció energètic

fotovoltaic. Aquest necessitarà d'elements que permetin l'emmagatzematge i la conversió d'aquesta energia.

Passem a la tercera etapa (check), en la qual es durà a terme un seguiment i una mesura que determinin si s'han assolit o no els objectius establerts des d'un principi. Per tant, es tracta d'una revisió de l'activitat, que determinarà quan serà necessari actuar o modificar algun element o alguna part del procés.

Per tant es determinaran quines modificacions o correccions s'hauran d'imposar en el següent cicle, per tal d'aconseguir l'objectiu principal de tot el procés: la millora del sistema de gestió energètic. Això serà per si mateix una nova etapa, la quarta (Act).

Tot i que tots els cicles sempre queden subjectes a modificacions i ajustos, si amb totes les etapes acabades, es donen unes conclusions òptimes i satisfactòries, el cicle quedaria tancat.

6.2. Anàlisi energètic

Caldrà fer un estudi previ del consum energètic, així com un anàlisi dels usos de l'energia de la llar auditada, per tal de poder dimensionar el sistema de generació d'energia elèctrica, amb els seus corresponents subsistemes, i els elements necessaris per a aquests.

Els anàlisis energètics són determinants per tal d'identificar les oportunitats que aporta el SGE, i poder alhora preveure de quina forma aplicar i potenciar les inversions per aquest tipus de projecte. Segons la informació energètica obtinguda de l'emplaçament, s'estableix un pla d'acció amb una estratègia de millora del consum energètic. La fita de tot aquest anàlisi és la de poder comprendre un patró d'ús del consum de l'energia, per poder estudiar i aplicar unes millores adients per a la seva optimització. És a dir, per exemple, per poder abaratir el cost del consum energètic, serà necessari conèixer abans quina és la quantitat i el tipus d'energia consumida en aquella llar. A més de tot això, l'impacte ambiental consegüent també es veurà reduït gràcies a aquestes implementacions.

En un habitatge, més que en qualsevol altre tipus d'implementació del sistema, serà imprescindible extreure dues conclusions prèvies: el tipus de subministrament que té la llar, i els destinataris d'aquesta (l'ús que se li donarà, com per exemple a la il·luminació, a un consum tèrmic, a l'aire condicionat, etc.). També pot esdevenir de gran ajuda de disposar de les dades de consum energètic en àmbit temporal, ja sigui diari, mensual, o fins i tot anual.

Aquest recull de tota la informació i totes les dades suposarà la primera de les etapes d'aquesta auditoria energètica, que recopilarà tota la informació de l'ús i els patrons de consum energètic dependent d'una època de l'any o un moment determinat del dia. Les corbes de demanda es tracten d'unes eines molt útils per a fer aquest tipus d'anàlisi i poder extreure'n les conclusions necessàries. Aquesta eina també ajudarà a fer una previsió de la demanda, i determinar les quotes de producció de les unitats generadores, tenint en compte les dades extrapolades d'aquesta corba de demanda.

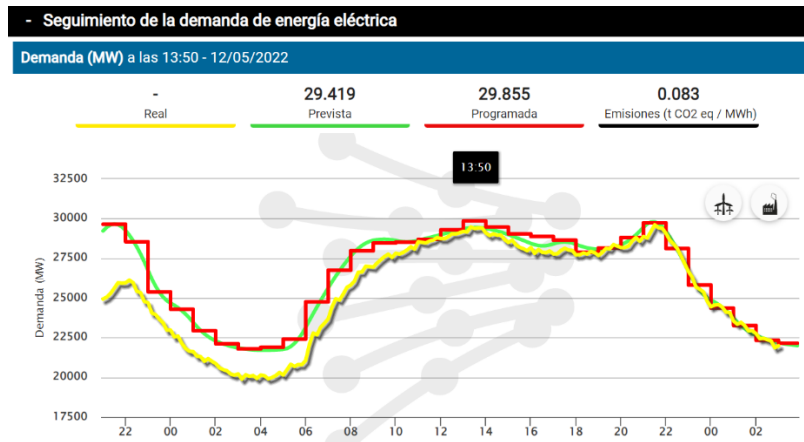


Figura 6.2.- Corba de demanda de consum (Font: REE [22]).

Per començar, és necessari fer un anàlisi del consum distribuït per franges horàries del sector elèctric espanyol, atenent especialment aquelles hores punta en que es produeix un major consum, i per tant consegüentment una major demanda. Es pot concloure que aquesta franja horària de major consum i demanda és de 12h a 22h a l'hivern, i de 13h a 23h a l'estiu. I aquesta diferenciació és del tot important per poder entendre la diferència d'aquests dos tipus de consums (de les dues èpoques de l'any diferents), degut a que l'hivern es tractarà d'un consum més enfocat a l'ús d'equips de climatització, i que necessitarà de més il·luminació per les escasses hores de sol. En canvi a l'estiu hi haurà un descens d'aquesta demanda, exceptuant aquells dies de molta calor, que necessitaran d'un altre tipus de climatització.

Actualment les hores punta tenen una despesa econòmica més alta que les hores vall, i això permet precisament adequar el consum, moderar-lo i incentivar-lo en les hores vall. A partir d'aquí es podrà conèixer amb determinació el total de la despesa energètica, els perfils de consum al llarg de l'any, i per tant consegüentment es podrà disminuir el cost de la factura elèctrica, intentant establir un equilibri de demanda llarg del dia.

És necessari tenir les eines correctes, que obtinguin mesures fiables, per tal de poder dur a terme de forma correcta l'auditoria energètica. Avui en dia, existeixen a més eines com els comptadors automàtics, que faciliten aquest tipus de feina i l'obtenció de les dades d'una forma molt més automàtica. També els sistemes de mesura connectats a una APP de software poden fer aquesta funció. Aquestes dades ens permetran conèixer el consum de forma detallada, els pics de demanda més elevats, que permetran establir unes dades fiables per a l'estalvi i la millora de l'eficiència energètica.

Amb aquestes dades, un cop s'obtinguin unes conclusions fiables i que permetin extrapolar-les, es podrà dur a terme un balanç energètic, per tal d'eliminar consums d'energia innecessaris, com per exemple l'ús d'un electrodomèstic en una franja horària de cost energètic elevat.

Per tant, no només es durà a terme una optimització a nivell econòmic, sinó que aquesta recollida de dades també ajudarà a fer un balanç i una millora a nivell tècnic. Es podran prendre mesures d'estalvi energètic, entre les quals trobem:

- **Cost nul:** Tenen una implementació immediata i no és necessària una inversió econòmica. Es basa en accions com les de canvi de costums i hàbits saludables de consum de les persones que visquin a l'habitatge, o per exemple, comprovar que s'està portant a terme un consum adequat segons les necessitats diàries.
- **Baix cost:** Tot i que necessita d'una inversió inicial, aquesta serà molt baixa i requerirà de petites modificacions, com són un canvi de sistema de il·luminació, basat en sensors que determinin en quin moment han de ser apagats els llums, per tal de poder establir una eficiència en el consum d'aquests. Un altre exemple pot ser el de netejar els conductes o els filtres.
- **Cost elevat:** Es tracten de canvis molt més bruscos, que necessiten una inversió molt major, i requereixen sistemes tecnològics molt més nous al mercat. Un exemple molt clar és en el que es centra aquest projecte: en la implementació d'una micro-xarxa híbrida amb un sistema de gestió energètica intel·ligent.

Totes les mesures han de resultar òptimes per al desenvolupament del sistema de gestió energètic dins de l'habitatge, adequant-se a les condicions i prestacions de les instal·lacions d'electricitat.

Per acabar, un cop s'han complert totes les etapes i han estat determinades totes les propostes de millora, caldrà realitzar una simulació dels equips i sistemes instal·lats nous, per tal de garantir que s'aconsegueixen els objectius d'eficiència energètica proposats des d'un principi del projecte. Per altra banda, serà important analitzar els costos energètics, operacionals i de manteniments que suposaran els nous equips i la instal·lació dels mateixos. Serà important tenir en compte també la petjada mediambiental, d'acord a que l'objectiu serà el de reduir aquesta i els costos que se'n deriven.

6.3. Disseny de la micro-xarxa híbrida

Una micro-xarxa ha de garantir la qualitat i fiabilitat del subministrament elèctric. L'EMS es pot considerar un enllaç d'unió entre una zona de generació energètica i una zona de consums, que inclou emmagatzematge. Cada punt de generació i cada punt de consum presenten, intrínsecament, una unidireccionalitat o bidireccionalitat en els seus fluxos de potència. Cada combinació de fluxos de potència, físicament possibles, es correspon a un estat de funcionament de la micro-xarxa. El hardware de la micro-xarxa ha d'estar format per convertidors estàtics d'energia elèctrica i per switches estàtics per permetre, els primers, el processament energètic i, els segons, les interconnexions (connexió/desconnexió) dels blocs constitutius de la micro-xarxa.

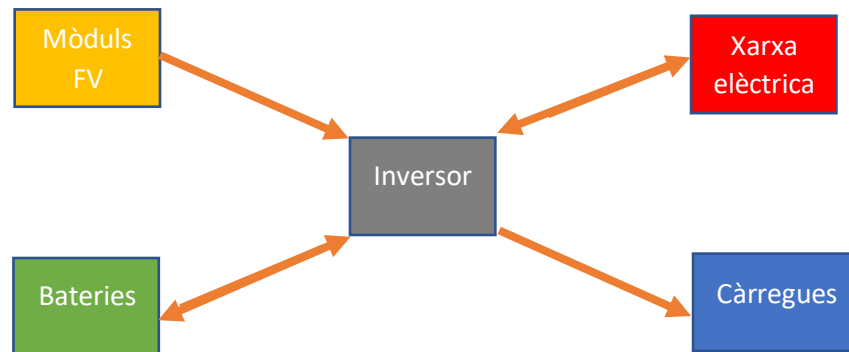


Figura 6.3.- Blocs de la micro-xarxa. (Font: Pròpia).

L'EMS ha de gestionar les transicions entre tots els estats i els fluxos d'energia de la micro-xarxa. Consta de tres nivells de gestió:

- **Operatiu:** Consisteix en integrar solucions per millorar la eficiència energètica mitjançant interruptors o seccionadors que permetin controlar els fluxos de potència.
- **Tàctic:** Tracta d'implementar diferents tàctiques perquè el sistema de fluxos de potència actuï segons el nostre sistema definit. Aquestes tàctiques són el *Load shifting*, el *Load shedding*, el *Net metering* o el *Peak shaving*.
- **Estratègic:** Són les accions econòmiques que es prenen segons el preu de l'electricitat del mercat segons el moment del dia.

La modelització dels blocs de la micro-xarxa ha de permetre el control de les transicions i la implementació dels algorismes associats per aconseguir les estratègies necessàries de funcionament de l'EMS dissenyat.

A continuació a partir de les taules adjuntades, s'indica en l'algorisme a implementar quin serà l'ordre de prioritat dels fluxos energètics en la micro-xarxa, diferenciant-los entre fonts generadores i consumidores d'energia elèctrica.

Taula 6.1.- Taula de fonts generadores.

	Font	Prioritat
Generadors	Generació fotovoltaica	1
	Bateries	2
	Xarxa elèctrica	3

Taula 6.2.- Taula de fonts consumidores.

	Font	Prioritat
Consumidors	Càrregues	1
	Bateries	2
	Xarxa elèctrica	3

A part de la correcta monitorització de tots els paràmetres implicats en la producció i consum d'energia elèctrica, és de vital importància com s'ha dit prèviament la optimització energètica i la reducció del consum i de l'impacte ambiental per aquesta manera dependre mínimament de l'energia obtinguda de la xarxa elèctrica. Es designa la generació fotovoltaica com la font prioritària de generació en l'habitatge i amb suport de bateries d'emmagatzematge d'energia carregades prèviament per fonts d'energia renovable quan la producció solar no sigui suficient per abastir les necessitats de les càrregues. Finalment, si no es pot satisfer la demanda energètica de les càrregues de cap de les dues opcions prioritàries s'optarà per abastir aquestes a través d'energia obtinguda de la xarxa de distribució.

Referent a les càrregues energètiques les quals demandaran energia, les domèstiques seran les prioritàries i posteriorment les bateries quan la demanda energètica de les càrregues domèstiques sigui inferior a la producció fotovoltaica.

Els sistemes de monitorització, els quals prenen dades de la gestió de la micro-xarxa, es permet fer previsions de demanda i de producció energètica per així adequar-nos a les futures demandes energètiques i evitar l'ús de l'energia obtinguda de la xarxa elèctrica. De totes maneres, no es preveu la injecció de la energia sobrant generada a la xarxa elèctrica ja que l'objectiu es reduir de manera dràstica la demanda energètica i aconseguir un balanç net de l'energia a partir de la generació renovable.

El control jeràrquic d'una micro-xarxa es pot implementar mitjançant un sistema centralitzat o un sistema descentralitzat. En l'enfocament centralitzat, cada element rep punts de consigna d'una central controlador i segueix un objectiu global, mentre que en un enfocament descentralitzat la presa de decisions en cada control de nivell està distribuït. Això ofereix avantatges com a patrons plug-and-play, sense necessitat d'una infraestructura de comunicació dedicada i s'ofereix una resposta ràpida a fallades del sistema i xarxa elèctrica. [23] [24]

6.4. Disseny de la instal·lació fotovoltaica

Per aconseguir una optimització tant de l'energia generada com en els consums en el disseny d'una micro-xarxa híbrida a partir de solar fotovoltaica, cal dimensionar correctament la instal·lació fotovoltaica seguint un procediment on s'aconsegueixi el màxim rendiment i benefici en la instal·lació amb el menor cost possible. Com a punts destacats en el dimensionament de la micro-xarxa consta, la determinació de la talla ideal del sistema de generació fotovoltaica i del emmagatzemament de l'energia sobrant en bateries. Cal tenir en compte també el correcte dimensionament de l'inversor, proteccions, posta a terra i cablejat que s'implementarà.

Abans d'iniciar el dimensionament és important tenir en compte tant la ubicació de l'emplaçament com el clima, per saber la radiació disponible durant l'any i quanta es podrà aprofitar per la producció d'energia elèctrica, la temperatura màxima i mínima i les hores solars disponibles.

D'altra banda, es de vital importància fer un anàlisi dels perfils de consum de l'habitatge per d'aquesta manera saber quina és la potència necessària quan es dissenya el generador fotovoltaic. Per aconseguir les dades de l'energia demandada per les càrregues de l'habitatge cal recórrer a la factura energètica que la companyia distribuïdora proporciona o instal·lant un analitzador de xarxa que ens analitzarà els perfils de consum de manera més detallada, i comprovar com pot ser la variació d'aquesta demanda energètica entre hivern i estiu. Per el disseny d'aquesta instal·lació finalment s'ha optat per el mètode de la factura energètica ja que no s'ha tingut ni temps ni recursos per poder preparar un analitzador de consums en l'habitatge.

Per realitzar el procediment de dimensionament s'han utilitzat els documents proporcionats per l'ICAEN [8] i la Guia PBL d'estudi tècnic de Jordi de la Hoz [25].

A continuació, s'explica i es mostra el procediment de dimensionament de la micro-xarxa híbrida amb suport fotovoltaic i emmagatzematge de bateries, connectada a la xarxa elèctrica junt amb els càlculs aportats per cada un dels elements que la conformen. Inicialment, no s'ha previst abocar els excedents energètics a la xarxa, ja que en un futur es vol aconseguir treballar el màxim en aïllat de la xarxa elèctrica.

6.4.1. PVGIS

Una vegada feta la introducció de conceptes importants sobre l'energia solar fotovoltaica cal saber quina irradiació solar anual obté l'emplaçament i els angles de trajectòria solar durant tot l'any per els càlculs posteriors.

Tenint en compte l'angle d'inclinació del mòdul fotovoltaic, aquest varia en la quantitat de radiació solar obtinguda. L'angle d'inclinació òptim permet maximitzar la producció d'energia aprofitable del mòdul fotovoltaic.

La Comissió Europea proporciona una eina gratuïta com és el PVGIS (*Photovoltaic Geographical Information System*), on a partir de la introducció de coordenades geogràfiques de la ubicació en un mapa, proporciona la irradiació diària i mensual, junt amb l'orientació i angle òptim d'inclinació de col·locació dels mòduls fotovoltaics en la ubicació prèviament seleccionada. També permet simular la producció solar per tots mesos de l'any.

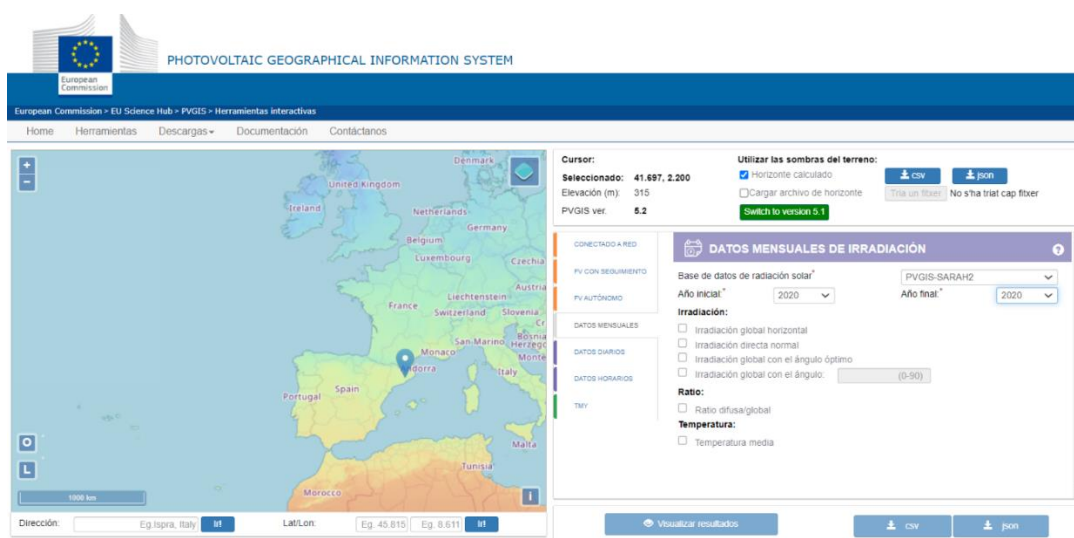


Figura 6.4.- PVGIS.

L'ICAEN [8] proporciona taules de radiació solar incident a Catalunya les quals es classifiquen diferenciant cada mes de l'any. A partir de les dades de irradiació solar diàries obtingudes a partir de softwares gratuïts com per exemple el PVGIS, es calcula les HSP les quals són les hores teòriques d'incidència solar amb una radiació hipotètica de 1000 W/m^2 .

El valor de les HSP es calcula dividint la irradiància solar mitjana en un dia en Wh/m^2 entre la radiació solar hipotètica.

$$HSP = \frac{H}{H_{(STC)}} \quad \text{Equació 6.1}$$

On:

HSP Hores solar pic

H Irradiació solar mitja diària

$H_{(STC)}$ Potència de la radiació incident en condicions estàndard de mesura (1000 W/m^2)

6.4.2. Criteris inicials de dimensionament

Per poder determinar quina serà la potència útil instal·lada, abans cal calcular la trajectòria solar i les ombres que puguin influir al nostre actiu energètic a l'hora de produir energia ja que la seva localització, orientació e inclinació, influirà en la potència útil final. L'objectiu és determinar la superfície útil per a la distribució dels nostres mòduls fotovoltaics i saber quin rendiment econòmic podem extreure.

Primerament s'ha de valorar que la localització del generador fotovoltaic tingui unes condicions adients de radiació solar a més de tenir poques ombres al seu entorn que limitin la producció d'energia elèctrica a causa per exemple d'arbres, muntanyes, etc. En aquest cas, els llocs més comuns per instal·lar els panells solars, solen ser cobertes, terrasses o en la mateixa superfície terrestre. El Codi Tècnic de l'Edificació (CTE) indica quin és el valor màxim en percentatge sobre els límits en pèrdues de rendiment ocasionades a per inclinació i orientació dels panells fotovoltaics, respecte les ombres que afecten l'emplaçament amb una orientació i inclinació òptimes.

Caso	Orientación e inclinación
General	10%
Superposició	20%
Integración arquitectónica	40%

Figura 6.5.- Taula de pèrdues d'orientació i inclinació. (Font: CTE [26]).

A continuació, aquests seran els paràmetres que es tenen en compte prèviament per al càlcul d'ombres i per posteriorment fer un correcte dimensionament:

- **Latitud (ϕ):** És la distància angular entre l'equador i un punt determinat de la Terra. Va des de -90° fins a $+90^\circ$. L'est és negatiu i l'oest és positiu.
- **Longitud (λ):** Expressa la distància angular entre un punt donat de la superfície terrestre i del Meridià de Greenwich $[0^\circ]$. Va des de -180° fins a $+180^\circ$.
- **Declinació (δ):** És l'angle que forma la línia Sol-Terra respecte a l'equador.
- **Inclinació (β):** Angle entre el pla indicat i l'horitzontal (0° a 180°). $\beta > 90^\circ$ significa que el pla inclinat té una component encarada a terra.

- **Angle horari (ω):** Desplaçament angular del Sol d'est a oest fixant el Meridià punt inicial. Equival a 15° .
- **Angle de sortida (ω_s) i posta del Sol (ω_d):** Com el mateix nom indica són el angle de sortida i posta del Sol.
- **Angle d'incidència (θ):** Angle entre la radiació directa sobre una superfície i la normal aquesta superfície.
- **Angle zenit (θ_z):** Angle entre la vertical i la línia del Sol. Equival a l'angle de incidència de la radiació directa sobre la superfície artificial.
- **Alçada solar (α_s):** Angle entre l'horitzontal i la línia del Sol. És el complementari de l'angle zenit.
- **Azimut solar de la superfície (γ):** Angle entre la projecció de la normal a la superfície i el Sud. L'est és negatiu i l'oest positiu.
- **Azimut solar (γ_s):** Desplaçament angular entre la projecció de la radiació directa sobre l'horitzontal i el sud. L'est [-] i l'oest positiu [+].

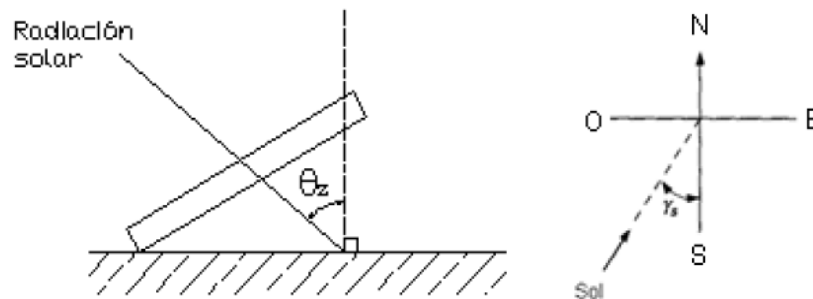


Figura 6.6.- Angle d'inclinació dels mòduls i angle azimut solar (Font: CTE [26]).

Per aconseguir maximitzar la radiació solar incident és de vital importància determinar l'angle d'inclinació òptim, el qual el podem obtenir mitjançant el PVGIS. Un cop determinats tant l'azimut com l'angle d'inclinació, s'obtenen els límits d'inclinació en la següent figura:

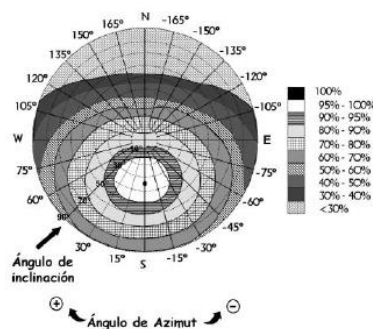


Figura 6.7.- Representació de l'angle d'inclinació i l'azimut sobre l'àbac de pèrdues per inclinació i orientació. (Font: CTE [26]).

d'ombres de tots aquells elements propers a la central. Per això s'efectuarà la modelització del comportament de la radiació solar incident, i s'aproximarà el valor a la radiació anual i tenint en compte la superfície útil de la teulada de l'habitatge. Es considera com a superfície útil, tot aquell espai disponible per habilitar el sistema de generació fotovoltaic en aquest cas. La potència del sistema vindrà donada per la quantitat de superfície instal·lada pels mòduls fotovoltaics.

Per altra banda, quan es situïn tots els elements que produeixen ombres, a través dels seus angles d'elevació i azimut es trobaran els percentatges de pèrdues de radiació associades a les ombres. Les pèrdues per ombres s'expressen com a un percentatge de la radiació solar incident sobre la superfície del panell solar.

El diagrama següent es troba fraccionat en diverses parts. Cadascuna de les parts representen el recorregut solar en un moment temporal del dia, amb una irradiació solar global anual específica per cada part del diagrama esmentat. En ell es projecten el perfil d'ombres de l'emplaçament al llarg de l'any.

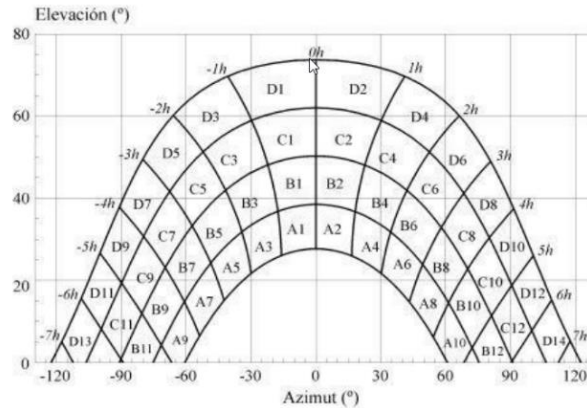


Figura 6.8.- Diagrama de trajectòries solars (Font: CTE [26]).

El percentatge d'irradiació solar global anual relatiu a cada part del gràfic se sostreu de una taula depenent de la inclinació i orientació de les superfícies de panells. Per dur a terme aquest procediment, es seleccionen les taules que siguin més similars a la superfície de l'estudi.

Finalment, les pèrdues produïdes per les ombres totals es retribueixen a la suma dels percentatges de radiació de totes les porcions, encara que siguin totals o només parcialment ocupades, considerant la proporció que cada part es troba fosca, per exemple, la cel·la que estigui mig plena tindrà una pèrdua de radiació del 50% i si és plena per un quart de cel·la les pèrdues seran d'un 25% del valor complet de la cel·la.

A més a més, també s'ha de tenir en compte la separació dels mòduls que es roben físicament en sèrie degut a les possibles ombres que es poden causar entre ells quan no existeix una correcta separació i com a conseqüència que decreixi la potència extreta de la generació fotovoltaica.

Com es mostra a la següent equació, es pot calcular la distància mínima entre mòduls perquè no es creïn ombres entre ells i minvi la producció:

$$d_{\text{ombra}} = \frac{h}{\tan(\alpha_s)} \quad \text{Equació 6.2}$$

On:

h alçada entre la part superior i inferior d'un mòdul [m]

α_s azimut solar [°]

6.4.3. Mòduls fotovoltaics

Vistos els criteris anteriors el perfil d'ombres segons la ubicació de l'emplaçament i el potencial perfil d'ombres, cal dimensionar de manera correcta el nombre de mòduls fotovoltaics que s'empraran per un òptim funcionament de la generació fotovoltaica i per no encarir el disseny innecessàriament.

El mòdul fotovoltaic són un conjunt de cèl·lules que capten l'energia solar per transformar-la en energia elèctrica. Els panells solars acostumen a ser majoritàriament de silici, i es connecten en sèrie o paral·lel entre ells i subjectat per elements de suport els qual assegurin la orientació i inclinació òptimes per al seu correcte funcionament. El rendiment dels mòduls varia d'un 15% a un 25% depenent del material semiconductor que estigui format. El nivell de conducció de cada cel·la fotovoltaica és de 0,7 V.

Els mòduls tenen un díode by-pass de protecció per evitar l'escalfament per ombrejat i així s'evita que es puguin fer malbé. També existeixen díodes d'antiretorn i bloqueig o una protecció degut a les possibles condicions atmosfèriques adverses que puguin danyar la instal·lació fotovoltaica.

La potència del mòdul fotovoltaic disminueix aproximadament un 0,5% per cada grau que augmenta la temperatura de la cel·la per sobre dels 25°C. Per tant, el percentatge d'energia convertida en electricitat útil és la eficiència. La eficiència d'un panell solar s'obté de la relació entre la potència elèctrica de sortida i la potència de radiació solar que es capta en la superfície de la cel·la. Les característiques elèctriques dels panells solars venen donades a partir de condicions STC (Standard Test Condition), els quals prenen com a referència una radiació solar de 1.000 W/m² i a 25°C la temperatura del mòdul. D'altra banda existeixen unes característiques elèctriques anomenades NMOT (Nominal module operating temperature) on es considera una irradiància de 800 W/m² a una temperatura ambient de 20°C. Tot i això les considerades habitualment pels càlculs són les condicions STC. [29]

Una cèl·lula de silici cristal·lina la capa superior ha de ser antireflexiva i texturitzada per reduir la reflexió i que aquesta aprofiti tota la radiació solar. Els diferents tipus de mòduls fotovoltaics són els següents:

- **Monocristal·lins:** El refredament és lent i el rendiment és elevat en comparació als altres tipus. Tenen un aspecte més fosc que els altres mòduls fotovoltaics. El rendiment és d'entre un 18-21 %.
- **Policristal·lins:** El refredament es ràpid. Té un aspecte blau fosc. Tenen un cost d'un 10% menys que els monocristal·lins i un eficiència d'un 15-17%.
- **Amorfs:** Es consideren els mòduls que són els panells solars de capa fina. Són panells amb menor eficiència també i funcionen bé amb llum difusa o altes temperatures.
- **Concentració CPV:** Tenen menys concentració de silici. Requereixen sistema de seguiment solar.
- **Orgànics**

El mòdul fotovoltaic es constitueix per les parts nombrades a la figura adjuntada a continuació:

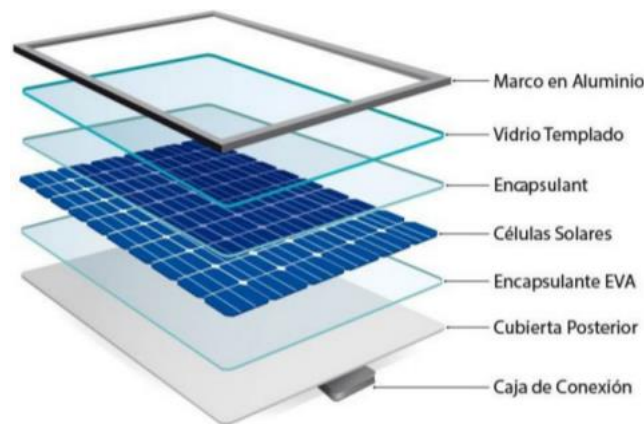


Figura 6.9.- Parts d'un mòdul fotovoltaic (Font: XEIEE).

Les característiques principals que s'han d'extreure d'un mòdul fotovoltaic són les següents:

- **Potència:** factor de mesura de consum elèctric definit a Watts (Wp).
- **Tensió de màxima potència (V_{MPP}):** És el voltatge que assoleix en panell en condicions de màxima potència. Es defineix en Volts (V).
- **Intensitat de màxima potència (I_{MPP}):** Valor d'intensitat que assoleix el panell en condicions de màxima potència. Definit en Ampers (A).
- **Tensió en circuit obert (V_{oc}):** És el valor màxim de voltatge que assoleix el panell en circuit obert, sense cap demanda energètica per part de les càrregues, i està definit a Volts (V).

Els paràmetres anteriorment vistos, es mostren a la corba V-I del mòdul fotovoltaic de cada fabricant:

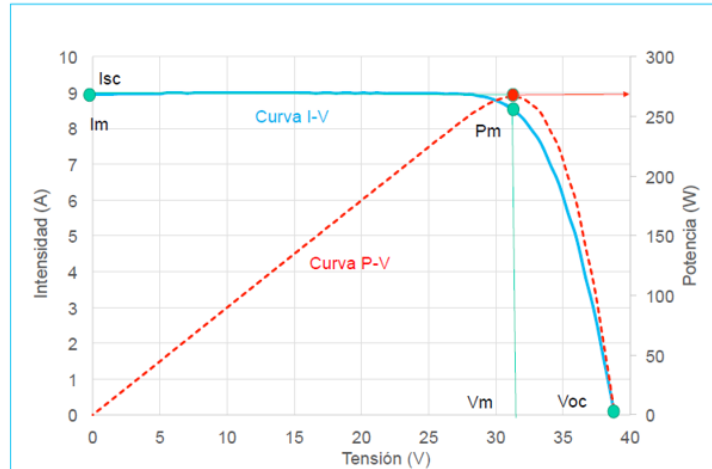


Figura 6.10.- Parts d'un mòdul fotovoltaic (Font: VMC [9]).

6.4.4. Ondulador fotovoltaic

Un inversor fotovoltaic és un dispositiu que transforma la corrent continua generada pel recurs solar a través dels mòduls fotovoltaics, en corrent alterna per alimentar càrreges domèstiques, emmagatzemar l'energia en bateries, o exportar l'energia sobrant cap a la xarxa elèctrica ajustant-se a la tensió i la freqüència en que opera.

Els onduladors híbrids tenen la característica d'emmagatzemar l'energia generada per altres fonts, com pot ser la eòlica, la xarxa elèctrica o grups dièsel. Per tant, l'inversor té la capacitat de gestionar les diferents prioritats de càrregues i adequar el seu funcionament a les necessitats de la instal·lació a més a més d'acumular l'energia sobrant en els sistemes d'emmagatzematge.

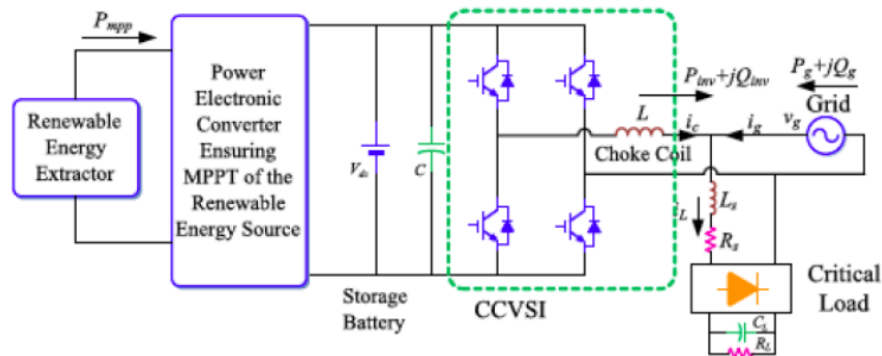


Figura 6.11.- Esquema d'un ondulador híbrid.

Les principals funcions que fa l'inversor fotovoltaic són les següents la conversió d'energia, l'optimització de l'energia, el seguiment i protecció i la operació constant de la instal·lació.

Una vegada s'han elegit quina potència de mòdul fotovoltaic i l'ondulador, s'han de realitzar els càlculs necessaris per saber el nombre de mòduls a utilitzar en la instal·lació per el correcte dimensionament del sistema i funcionament. A continuació es descriurà el procés que es duu a terme durant el dimensionament de la micro-xarxa híbrida.

Primerament, calda tenir en compte les dades tècniques proporcionades tant pel fabricant de l'inversor com pel dels mòduls fotovoltaics, per no superar els rangs establerts per aquests i així no ocasionar danys en la instal·lació ni a les persones. Paràmetres com la tensió i la potència pot variar per causa de la inclinació i la temperatura en les diferents estacions de l'any, per això, normalment s'han de considerar ambdós extrems oposats de l'any solar per ajustar adequadament la producció fotovoltaica.

Abans de començar amb el càlcul del dimensionament és necessari saber quin consum és el que volem abastir i a partir d'aquest valor aplicarem un factor de sobredimensionament degut a les pèrdues de potència extreta que es puguin ocasionar a causa de les ombres, l'envelliment de la instal·lació, etc. Amb la següent fórmula es podrà extreure la potència estimada del generador fotovoltaic:

$$P_{PV} = P_{consum} \cdot R_S \quad \text{Equació 6.3}$$

On:

P_{PV}	Potència del generador fotovoltaic
P_{consum}	Potència contractada en l'habitatge
R_S	Factor de dimensionament

Per tant, s'estableix el factor R_S com la proporció entre la potència nominal del generador fotovoltaic sota condicions STC i la potència nominal de CA de l'inversor que definirà la relació CC/CA de la instal·lació fotovoltaica. Gràcies en aquest valor podem comprovar si serà adequat el funcionament de la nostra instal·lació fotovoltaica.

Amb la següent expressió trobem el valor hipotètic de R_S pel nostre inversor:

$$R_S = \frac{P_{pv}}{P_{ACn}} \quad \text{Equació 6.4}$$

On:

R_S	Relació CC/CA	
P_{PV}	Potència del generador fotovoltaic	[W]
P_{ACn}	Potència de l'inversor	[W]

Un cop s'obté el valor òptim de dimensionament, el següent pas consisteix en saber quants mòduls en sèrie s'hi poden instal·lar com a màxim. Per saber quin nombre és l'exacte, s'haurà de fer el quocient de la tensió màxima del rang de treball de l'inversor seleccionat entre la tensió de circuit obert (V_{OC}) del mòdul fotovoltaic en condicions de STC.

$$N_s = \frac{V_{invm\grave{a}x}}{V_{oc(STC)}} \quad \text{Equació 6.5}$$

On:

N_s	<i>Número de mòduls fotovoltaics en sèrie</i>	
$V_{invm\grave{a}x}$	<i>Potència estimada del generador fotovoltaic</i>	[V]
$V_{oc(STC)}$	<i>Tensió en circuit obert</i>	[V]

Per altra banda, també s'haurà de comprovar el nombre de branques en paral·lel de la instal·lació. Aquest nombre no podrà excedir el resultat del corrent de treball en MPPT de l'inversor (I_{MPP}) entre el corrent de curtcircuit del mòdul fotovoltaic (I_{sc}) en condicions de STC.

$$N_p \leq \frac{I_{invm\grave{a}x}}{I_{string}} \quad \text{Equació 6.6}$$

On:

N_p	<i>Número de mòduls fotovoltaics en paral·lel</i>	
$I_{invm\grave{a}x}$	<i>Potència estimada del generador fotovoltaic</i>	[A]
I_{string}	<i>Intensitat nominal del mòdul en condicions STC</i>	[A]

Per tant, a partir del procediment mostrat en els paràgrafs anteriors, podem calcular el nombre de mòduls fotovoltaics que s'instal·laran, tant en sèrie com en paral·lel per poder extreure la potència estimada per posteriorment, comprovar si la relació CC/CA es adient per la instal·lació.

6.4.5. Bateries

Una bateria és un acumulador electroquímic el qual emmagatzema energia elèctrica quan no és necessària consumir-la, i envia l'energia acumulada cap a les càrregues quan aquestes ho sol·liciten. Els acumuladors estan formats per cel·les elementals on cadascuna aporta una tensió determinada.

El sistema d'emmagatzematge mitjançant bateries té la funció de cobrir la demanda energètica quan no existeix el recurs solar, no obstant en períodes on si es produeix energia a través dels mòduls aquestes aporten l'energia restant als consums que ho demanden, a més a més

d'emmagatzemar l'energia sobrant fins el seu màxim de capacitat quan la demanda de les càrregues domèstiques estigui satisfeta.

Quan parlem d'acumuladors d'energia podem diferenciar diferents tipus de bateries segons l'aplicació. Com és lògic, depenent el material del que estiguin formades aquestes bateries presentaran diferents característiques, com els seus cicles de càrrega i descàrrega, el seu cost i el manteniment que necessitin. Normalment les més utilitzades acostumen a ser les de àcid-plom, a causa de les seves característiques i rendibilitat econòmica a l'hora instal·lar-les. En general, són econòmiques i fàcils de fabricar. No admeten sobrecàrregues ni descàrregues profundes i tenen un pes i un volum elevats per a l'energia que emmagatzemen.

D'altra banda les bateries de ió-liti també tenen una gran importància ja que permeten treballar a més alta tensió. La capacitat d'aquestes bateries és elevada en relació amb el pes i el volum, tenint a més un factor d'autodescàrrega molt reduït. Es poden carregar sense necessitat d'haver estat descarregades prèviament i gairebé no es veuen afectades per l'efecte memòria, que és un efecte no desitjat que afecta les bateries i pel qual a cada recàrrega es limita el voltatge o la capacitat (a causa d'un temps llarg, una alta temperatura, o un corrent elevat). La conseqüència és la reducció de la capacitat per emmagatzemar energia. Com a contrapartida no suporten bé els canvis de temperatura i no admeten descàrregues completes.

Per aconseguir que un sistema treballi en aïllat o en mode illa és indispensable l'ús de bateries per garantir el subministrament de les càrregues elèctriques quan la producció d'energia a partir de la solar fotovoltaica no sigui la suficient.

Els paràmetres més importants que s'han de tenir en compte a l'hora de seleccionar i preveure el funcionament de les bateries són els següents:

- **Capacitat (C):** Es representa amb Ah. Indica la capacitat que té la bateria a subministrar a una tensió constant durant un temps limitat, però realment també depèn d'altres factors com pot ser la dependència del corrent, la temperatura, els cicles de càrrega, descàrrega, etc.
- **Tensió nominal (V_n):** És el nivell de tensió (V) en que opera la bateria i varia segons el procés de càrrega o descàrrega d'aquesta.
- **Cicles de vida:** Són tots els cicles de càrrega i descàrrega que un acumulador suporta amb les seves característiques principals.
- **Eficiència de la bateria (η_{bat}):** És la relació existent entre l'energia extreta durant el procés de descàrrega i l'energia necessària per carregar-la. Aquesta relació es mostra com un percentatge (%).
- **El corrent de descàrrega (A):** Es dona a partir del quocient de C/t , on t és el temps de la descàrrega completa de la bateria. Habitualment la capacitat d'una bateria es considera amb una descàrrega de 20 hores, per això es representa com C20.

Al igual que els mòduls fotovoltaics, els sistemes d'acumulació formats per varies bateries poden estar connectats en sèrie o paral·lel per aconseguir els nivells de capacitat i tensió desitjats en la instal·lació. En el cas de que els acumuladors es connectin en sèrie, la tensió de treball del sistema augmentarà. Per contrapartida, quan es connecten en paral·lel, la capacitat del sistema augmentarà. De totes maneres, es faci una configuració o l'altre o ambdues l'energia capaç d'emmagatzemar el sistema de bateries s'incrementarà.

$$E_{bat} = V_{bat} \cdot C_{bat} \quad \text{Equació 6.7}$$

Els valors de V_{bat} i C_{bat} venen de les diferents associacions en sèrie (A_s) i paral·lel (A_p) que es poden realitzar amb el sistema de bateries. Les expressions resultants són les següents:

Taula 6.3.- Associacions de bateries,

Associació en sèrie	Associació en Paral·lel	Associació mixta
$C_{sist} = C_{bat}$	$C_{sist} = A_p \cdot C_{bat}$	$C_{sist} = A_p \cdot C_{bat}$
$V_{sist} = A_s \cdot V_{bat}$	$V_{sist} = V_{bat}$	$V_{sist} = A_s \cdot V_{bat}$

La capacitat total del sistema ve donada a partir de la següent expressió:

$$C_{sist} = \frac{C_{real} \cdot Dies}{V_{cc} \cdot DoD} \quad \text{Equació 6.8}$$

On:

C_{sist}	Capacitat total del sistema d'acumulació de bateries	[Ah]
C_{real}	Consum real de les càrregues de l'habitatge	[Wh/dia]
$Dies$	Nombre total de dies d'autonomia	[dies]
V_{cc}	Tensió de CC	[V]
DoD	Profunditat màxima de descàrrega	[%]

Per altra banda, el procés mínim necessari per la càrrega de bateries consta de 3 fases però pot arribar a tenir-ne 5. Seguidament es descriuen les 3 fases mínimes que ha de tenir un acumulador per el seu correcte funcionament:

- **Fase 1. Càrrega a corrent constant (Bulk stage):** És més efectiu quan més descarregada es troba la bateria. S'aplica un corrent constant amb la qual cosa la tensió creix fins a un valor màxim U_{MAX} . Aquest valor, alguns cops, es fixa quan la bateria assoleix el 0,8C. Si la bateria està molt carregada aquesta fase dura un temps molt curt.

- **Fase 2. Càrrega a tensió constant (Absorption stage):** S'aplica una tensió constant, U_o , superior a l'anterior valor màxim (sobrevoltatge) durant el temps en que el corrent decreix fins a un petit valor llinar.
- **Fase 3. Flotació (Float charge state).** S'aplica una tensió constant, inferior a les anteriors, que la bateria pot suportar durant llargs períodes de temps. La fase acaba quan el corrent és mínim.

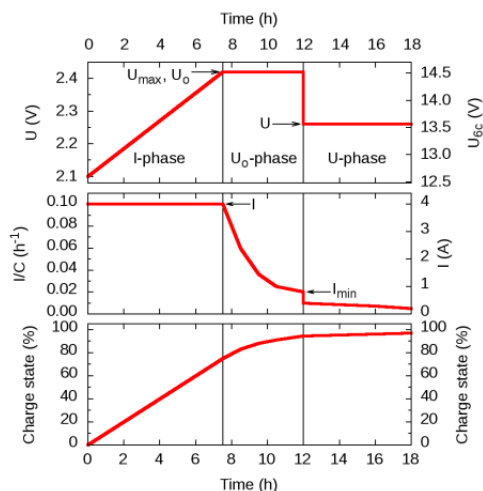


Figura 6.12.- Fases de comportament d'una bateria (Font: "Cap.5+4-CC-CC+CC-CA i Sistemes Fotovoltaics [2022R1][Short]" [28]).

6.4.6. Sistema de distribució

El dimensionat del sistema de distribució de la instal·lació es fa a través del criteri de caiguda de tensió, el criteri de màxima intensitat admissible i el criteri de intensitat màxima de curtcircuit. A continuació s'explicarà en que consisteixen i com dimensionar correctament tot el sistema el cablejat de la instal·lació fotovoltaica, tant per la part CC com CA.

6.4.6.1. Cablejat

La funció del cablejat consisteix en fer interconnectar tot el sistema fotovoltaic perquè d'aquesta manera, el corrent generat pels mòduls fotovoltaics i la xarxa elèctrica, alimenti a totes les càrregues demandants d'aquesta energia. [29]

L'objectiu és el dimensionament de la secció mínima de cable per cada un dels trams de la instal·lació tenint en compte els requeriments necessaris com els que s'estableixen a la *ITC-BT-40* sobre les Instal·lacions generadores de BT. Concretament, el punt 5 de la ITC en qüestió destaca:

- Els cables de connexió han d'estar dimensionats per una intensitat no inferior al 125% de la màxima intensitat del generador.

- La caiguda de tensió entre el generador i el punt d'interconnexió amb la xarxa elèctrica no pot superar el 1,5% de la intensitat nominal.
- La secció del conductor en les instal·lacions monofàsiques ha de ser el mateix tant per la fase com per el neutre. Passa el mateix amb les instal·lacions trifàsiques, on les tres fases i el neutre ha de tenir la mateixa secció de cable conductor.

6.4.6.2. Criteri màxim de caiguda de tensió

Segons el criteri màxim de caiguda de tensió, en el recorregut del corrent per un cables es perd potència i d'aquesta manera es produeix una caiguda de tensió entre un punt del sistema i un altre. Per calcular la secció d'un cable, tant en corrent continu com en altern, s'utilitza la següent equació:

$$S = \frac{2 \cdot \rho \cdot L \cdot I}{\Delta V(\%) \cdot V} \quad \text{Equació 6.9}$$

On:

ρ	Resistivitat del conductor	$[\Omega\text{mm}^2/\text{m}]$
L	Longitud del cable	$[\text{m}]$
I	Intensitat màxima prevista pel conductor	$[\text{A}]$
ΔV	Caiguda de tensió	$[\%]$
V	Tensió nominal del sistema	$[\text{V}]$

Segons la ITC-BT-40, existeixen diferents rangs de caiguda de tensió màxima en cada part diferenciable de la instal·lació fotovoltaica amb les seves respectives toleràncies de caiguda de tensió.

Taula 6.4.- Màxima caiguda de tensió per tram.

Tram	ΔV admissible (%)	ΔV recomanable (%)
Mòdul-mòdul	3	1,5
Generador-inversor	3	1,5
Inversor-bateries	1	1
Inversor-CGBT	3	1,5

A la ITC-BT-19 apareixen les seccions normalitzades dels conductors comercials de coure de les instal·lacions elèctriques.

Taula 6.5.- Seccions normalitzades pel conductor de coure.

Seccions normalitzades (mm ²)														
1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	240	300

Aquests són els valors que tindran les seccions del cablejat de tota la instal·lació fotovoltaica. Segons el resultat obtingut anterior, es tria un valor de la taula anterior immediatament superior al resultat obtingut.

6.4.6.3. Criteri de màxima intensitat admissible

La comprovació per criteri d'intensitat admissible implica que el corrent màxim del generador fotovoltaic no pugui superar la intensitat màxima permesa pel conductor. Així, es calcularà el corrent admissible en circumstàncies nominals del conductor escollit segons dictamina la norma UNE 20460-5-523 i en el REBT.

A la taula següent del REBT es mostren les intensitats màximes admissibles a 40°C de temperatura ambient pels cables de coure segons totes les condicions variables que es puguin donar en la instal·lació.

A		Conductores aislados en tubos empotrados en paredes aislantes	3x	2x	3x	2x												
			PVC	PVC	XLPE o EPR	XLPE o EPR												
A2		Cables multiconductores en tubos empotrados en paredes aislantes	3x	2x	3x	2x												
B		Conductores aislados en tubos en montaje superficial o empotrados en obra			3x	2x					3x	2x						
B2		Cables multiconductores en tubos en montaje superficial o empotrados en obra			3x	2x	3x	2x					XLPE o EPR	XLPE o EPR				
C		Cables multiconductores directamente sobre la pared			3x	2x	3x	2x					XLPE o EPR	XLPE o EPR				
E		Cables multiconductores al aire libre. Distancia a la pared no inferior a 0.3D					3x	2x	3x	2x					XLPE o EPR	XLPE o EPR		
F		Cables unipolares en contacto mutuo. Distancia a la pared no inferior a D					3x								XLPE o EPR	XLPE o EPR		
G		Cables unipolares separados mínimo D													3x	3x		
															XLPE o EPR	XLPE o EPR		
															XLPE o EPR	XLPE o EPR		
Cobre			mm ²	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11				
			1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	-	18	21	24	-				
			2,5	15	16	17,5	18,5	21	22	-	25	29	33	-				
			4	20	21	23	24	27	30	-	34	38	45	-				
			6	25	27	30	32	36	37	-	44	49	57	-				
			10	34	37	40	44	50	52	-	60	68	76	-				
			16	45	49	54	59	66	70	-	80	91	105	-				
			25	59	64	70	77	84	88	96	106	116	123	166				
			35		77	86	96	104	110	119	131	144	154	206				
			50		94	103	117	125	133	145	159	175	188	250				
			70				149	160	171	188	202	224	244	321				
			95				180	194	207	230	245	271	296	391				
			120				208	225	240	267	284	314	348	455				
			150				236	260	278	310	338	383	404	525				
185				268	297	317	354	386	415	464	601							
240				315	350	374	419	455	490	552	711							
300				360	404	423	484	524	565	640	821							

Figura 6.13.- Intensitat admissible a 40 °C segons el conductor coure i la secció. (Font: REBT [29])

Com s'ha esmentat anteriorment, la secció dels cables de la part generadora de la instal·lació, ha d'estar sobredimensionat almenys un 125% de la intensitat màxima admissible pel generador. Per tant, el corrent màxim admissible quedarà definit de la següent manera:

$$I_{max} < 1,25 \cdot I_{gen} \quad \text{Equació 6.10}$$

També, la secció de cables de corrent altern des de l'inversor fins les càrregues finals que ens demandaran l'energia, ha d'estar sobredimensionat almenys un 125% de la intensitat nominal de sortida de l'inversor. Per tant, al igual que el tram generador:

$$I_{max} < 1,25 \cdot I_{inv} \quad \text{Equació 6.11}$$

6.4.7. Proteccions

El sistema de proteccions haurà de complir les exigències previstes al reglament vigent. En aquest cas, està disposat a l'Article 11 del *Reial Decret 1663/2000*, del 19 de setembre, i en el *Reial Decret 413/2014*, del 6 de juny, pel qual s'estableixen quins són els dispositius necessaris que han de garantir la seguretat de les persones i equips en una instal·lació.

Les proteccions d'una instal·lació elèctrica, en aquest cas d'una instal·lació fotovoltaica, ha de protegir de manera segura, fiable i ràpida, els circuits i equips que l'integren, detectant les possibles anomalies com per exemple sobreintensitats, sobretensions i contactes directes o indirectes per posteriorment aïllar les parts afectades.

6.4.7.1. Proteccions de corrent continu

Les proteccions en la part de corrent continu de la instal·lació estan per evitar defectes en els mòduls fotovoltaics, el cas més comú es considera quan es projecten ombres en ells, les quals poden i crear punts calents en el sistema. Els díodes instal·lats a les caixes de connexió dels mòduls fotovoltaics, anomenats díodes by-pass, serveixen per prevenir el consum d'energia quan les cèl·lules estan ombrejades o danyades. D'aquesta manera s'evita que tot el string de mòduls quedi fora de servei quan en falla un.

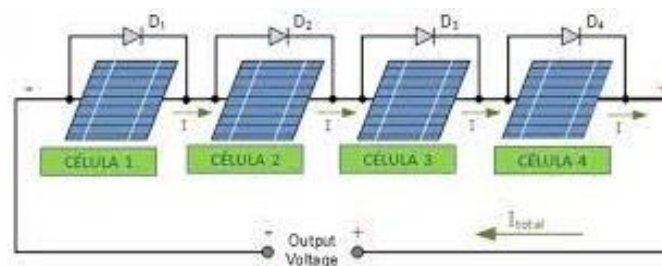


Figura 6.14.- Esquema d'instal·lació del díode antiretorn. (Font: Elektra [30]).

A més a més, després de cada string s'ha d'instal·lar com a mínim, un fusible i un díode de no retorn per evitar que el corrent circuli en sentit contrari i consumeixi energia. El sistema ha d'estar posat a terra en la mateixa posta a terra de l'habitatge ja que les parts metàl·liques dels mòduls fotovoltaics creen una diferència de potencial on l'usuari es pot arribar a causa danys físics com a conseqüència d'un contacte indirecte.

- **Proteccions de sobreintensitats:** Quan es produeixen sobreintensitats, els circuits han de tenir una protecció per evitar desperfectes i mals majors com incendis, per això la intensitat de circulació s'ha d'aturar quan es detecta un defecte. D'altra banda s'hi poden produir sobrecàrregues de corrent a causa de grans demandes en el consum en un temps determinat. La interrupció del corrent que hi circula s'ha de realitzar en una quantitat temps òptima i es necessita que estigui ben dimensionat per la sobreintensitat que pugui arribar a produir-se.

Un dels dispositius que es fan servir a l'hora d'aturar les sobrecàrregues són els fusibles. Aquest, s'utilitzen per protegir dels curtcircuits el sistema gracies a que el dispositiu es transforma en un circuit obert quan es sobrepassa un valor d'intensitat determinat. Els fusibles són d'una secció de fil més fina que els conductors normals, i estan col·locats a l'entrada del circuit a protegir, perquè en augmentar el corrent, degut a sobrecàrregues o curtcircuits, aquest faci fondre el fil conductor. [31]

Els fusibles han de complir dues condicions necessàries per cada circuit que es desitja protegir.

La intensitat nominal I_n (A) que circula pel fusible, es calcula com s'observa a continuació:

$$I_b \leq I_n \leq I_z \quad \text{Equació 6.12}$$

On:

I_b	<i>Intensitat de disseny del circuit segons la previsió de càrregues</i>	[A]
I_n	<i>Intensitat assignada al dispositiu de protecció</i>	[A]
I_z	<i>Intensitat màxima admissible del conductor</i>	[A]

El valor corresponent a la I_z s'obté de la Taula A.52-1 BIS (UNE 20.460 -5-523:2004)².

L'altre condició és que els cables elèctrics poden suportar sobrecàrregues transitòries (no permanents) sense deteriorar-se de fins a un 145% de la intensitat màxima admissible tèrmicament. Per tant la fórmula per saber la intensitat de funcionament del fusible és la següent:

$$I_f \leq 1,45 \cdot I_z \quad \text{Equació 6.13}$$

On:

I_f *Intensitat que assegura el funcionament efectiu de la protecció* [A]

I_z *Intensitat màxima admissible del conductor* [A]

Aquestes dues condicions prèvies permeten elegir els calibres normalitzats dels fusibles:

Taula 6.6.- *Calibres de fusibles i magnetotèrmics.*

Calibres comercials de fusibles i interruptors automàtics (A)															
2	4	6	10	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200

6.4.7.2. Proteccions de corrent altern

Per al tram de CA, on es troben les càrregues de l'habitatge i l'inversor de la instal·lació, les proteccions necessàries són un magnetotèrmic per cada línia i un diferencial. Aquestes proteccions han de tenir una intensitat admissible inferior a la corrent màxima admissible del cable i superior a la corrent nominal de sortida de l'inversor. A continuació, es defineix més detalladament els elements principals per protegir la instal·lació per la part de corrent altern.

- **Interruptor de control de potència (ICP)**
- **Interruptor general automàtic (IGA):** Interruptor magnetotèrmic amb intensitat de curtcircuit superior a la indicada per l'empresa distribuïdora al punt de connexió. L'interruptor es troba ubicat al quadre de comptadors de la instal·lació i només és accessible per l'empresa distribuïdora, amb la finalitat de fer la desconnexió manual si així es necessita per a tasques de manteniment. Com que no és accessible, això obliga a incorporar un segon magnetotèrmic a la instal·lació, de menor intensitat nominal i que serà el que realment protegeix la instal·lació de les sobrecàrregues i curtcircuits.
- **Interruptor diferencial:** La seva finalitat és protegir les persones en cas de derivació d'algun element de la instal·lació. La funció dels interruptors diferencials és la d'interrompre el circuit quan el corrent de defecte assoleix els valors prèviament seleccionats a l'interruptor diferencial. D'aquesta manera es garanteix un marge de seguretat òptim en la prevenció d'incendis ja que pocs mA de corrent de fuga a terra provoquen el salt de l'interruptor diferencial. En el cas d'un habitatge la sensibilitat de l'interruptor diferencial és de 30 mA i tenen un temps de resposta de 50 ms.
- **Interruptor automàtic magnetotèrmic:** És un dispositiu de protecció davant de curtcircuits i sobrecàrregues. El seu funcionament es basa en els efectes que es produeixen per la circulació del corrent elèctric, els efectes magnètics i tèrmics. D'una banda, la funció del circuit magnètic és la de protegir davant de possibles curtcircuits, tallant el pas del corrent quan s'assoleix un valor ja definit. D'altra banda, l'interruptor magnetotèrmic s'encarrega de la protecció davant de possibles sobrecàrregues. Quan

s'assoleix una certa temperatura, es talla el pas del corrent. Aquest interruptor està situat al quadre de proteccions de CA, just després de l'inversor. La intensitat nominal de l'interruptor magnetotèrmic ha de tenir les següents condicions:

$$I_b \leq I_n \leq I_{adm} \quad \text{Equació 6.14}$$

Per tant, el seu calibre vindrà definit per la taula 6.6.

6.4.7.3. Proteccions per sobretensions

A més a més de les proteccions que s'han mencionat anteriorment per protegir els circuits i dispositius de la instal·lació fotovoltaica, és necessari l'ús de proteccions per quan existeix un pic elevat de tensió degut a les descàrregues atmosfèriques o treballs de manteniment de la xarxa elèctrica. Per limitar el valor de les sobretensions impulsives, i protegir el sistema de les sol·licitacions degudes a descàrregues atmosfèriques s'instal·len descarregadors. Els descarregadors de sobretensions s'han d'instal·lar tant en la part de corrent altern com a la de corrent continu.

6.4.8. Posada a terra del generador

La posada a terra s'estableixen dins de la ITC-BT-18 del REBT, i aquest indica que quan es produeix una derivació del corrent cap a parts metàl·liques dels elements connectats degut a algun mal aïllament, on condueix aquesta intensitat cap a la posada a terra formada normalment per barres, malles o una xarxa metàl·lica sota el terra de la instal·lació, a menys de 50 cm d'aquest. Habitualment els conductors solen ser de coure amb una secció normalitzada de 35mm². La posta a terra d'una instal·lació té la funció de limitar la tensió, minimitzant la diferència de potencial de les parts metàl·liques, amb l'objectiu d'evitar contactes amb persones o danyar els dispositius connectats degut als corrents de defecte o per descàrregues de llamps. Els contactes es poden produir directament o indirectament.

- **Contacte directe:** Passa quan una persona toca directament parts metàl·liques que estan sota tensió, per exemple un cable energitzat amb aïllament danyat, etc.
- **Contacte indirecte:** Passa quan una persona entra en contacte amb algun element de la instal·lació elèctrica que normalment no està energitzat, però que pot estar-ho en cas d'una falla a l'aïllament.

La tensió no pot superar els 24 V segons el REBT en habitatges i local humits. Per tant, la tensió entre les diferents parts metàl·liques i el terra de la instal·lació no pot superar aquest valor referència.

$$V_d = I_d \cdot R_T \leq 24 \text{ V} \quad \text{Equació 6.15}$$

On:

V_d	<i>Tensió de defecte</i>	[V]
I_d	<i>Intensitat assignada a l'interruptor diferencial</i>	[A]
R_T	<i>Resistència a terra</i>	[Ω]

6.4.9. Estructures de suport

Per tal de que els mòduls fotovoltaics estiguin subjectats i suportin tant els esforços mecànics ocasionats com les condicions meteorològiques adverses és necessari fer ús d'estructures de muntatge. Les estructures tenen una funció vital a l'hora de donar-li la orientació i inclinació òptima per cada emplaçament i així que s'aprofiti la màxima radiació solar.

Cal afegir que d'estructures de suport existeixen de diferents tipus, com poden ser les fixes, les ajustables i les mòbils, les quals fan un seguiment solar. En el cas d'aquesta instal·lació s'elegeixen unes estructures de suport fixes que no es pugui regular la inclinació, ja que d'aquesta manera es redueixen els costos de la instal·lació fotovoltaica degut a la seva simplicitat i igualment tenen un gran rendiment. Existeixen diferents suports dins les estructures fixes com poden ser el propi terreny, un pal que elevi el mòdul, la pròpia façana de l'habitatge o sobre la teulada d'aquest.

En conclusió la instal·lació dels mòduls fotovoltaics junt amb les seves estructures de suport corresponents, es farà en la coberta de l'habitatge en aquest concret cas. D'aquesta manera s'eviten una major quantitat d'ombres que puguin ocasionar els elements que envolten el territori de la instal·lació fotovoltaica a part d'aprofitar la inclinació de la coberta a l'hora de realitzar la instal·lació.

7. Situació d'estudi

Un cop definida ja la part teòrica de l'enginyeria conceptual per tant la manera com es desenvoluparà i optimitzarà el consum de l'habitatge tenint en compte tots els aspectes que ens poden influir en la implementació del projecte.

7.1. Localització de l'emplaçament

La instal·lació fotovoltaica es portarà a terme a Riells del Fai, poble el qual pertany al municipi de Bigues i Riells, situat a la Vall del Tenes dins de la comarca del Vallès Oriental. L'habitatge consta de dues plantes, la part inferior està formada per dos pàrquings i la planta superior és la part habitada, formada per 4 dormitoris, 2 banys, menjador i cuina.

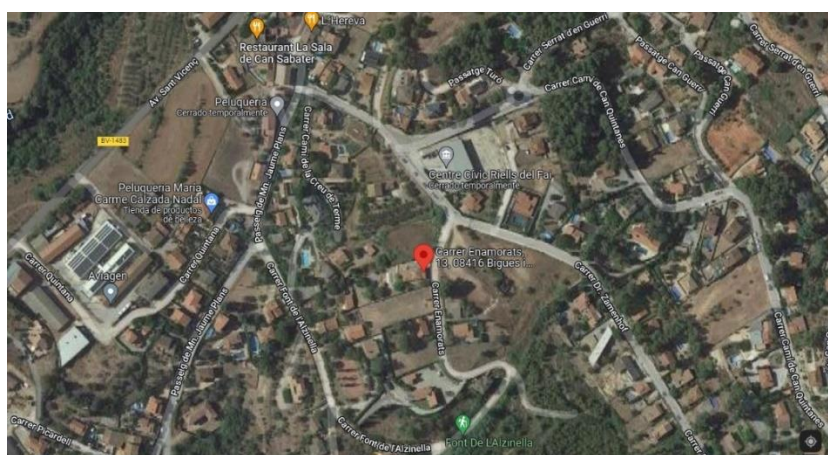


Figura 7.1.- Ubicació geogràfica de l'habitatge en estudi (Font: Google Maps).

Actualment l'habitatge en qüestió està habitat els caps de setmana i durant les èpoques de vacances, però l'objectiu és implementar el aquest projecte de gestió de consums a partir de solar fotovoltaica per en un futur poder viure-hi tot l'any i aconseguir un autoconsum de manera eficient tenint en compte totes les singularitats del terreny. Per això, es farà un anàlisi dels consums actuals quan la casa està habitada i s'aproximarà per la resta de l'any.

Taula 7.1.- Dades de l'emplaçament.

Direcció	Carrer dels Enamorats, 13
Codi postal	08416
Localitat	Bigues i Riells, Barcelona
Coordenades	41°41'50.7"N 2°11'59.4"E
Superfície del terreny	1533 m ²
Superfície de la teulada	112 m ²

7.1.1. Característiques constructives de l'habitatge

Aquest habitatge es va construir en una primera fase entre els anys 1961 a 1966, consistent en un planta baixa entorn als 100m² i un garatge semisoterrat d'entorn als 30m², aprofitant el desnivell cap a la part posterior, de manera que, la part davantera de la planta baixa es troba recolzada sobre el terreny natural i la part posterior es recolza sobre el garatge. L'habitatge presenta una orientació oest, sud-oest. Posteriorment l'any 1986, es va modificar l'edificació amb l'ampliació del garatge semisoterrat uns 30-40m², i a al damunt, ' de la planta baixa entorn als 40-60m². També es construeix la piscina i s'enjardina tota la part oest de la parcel·la.

La parcel·la té un desnivell d'uns 10 m entre l'entrada i el final de la parcel·la, a3mb una longitud de 6.5 m i un pendent mitjà d'uns 8.5º. A causa de l'antiguitat de l'habitatge molts dels electrodomèstics actuals tenen bastants anys i com a conseqüència molt poca eficiència energètica.

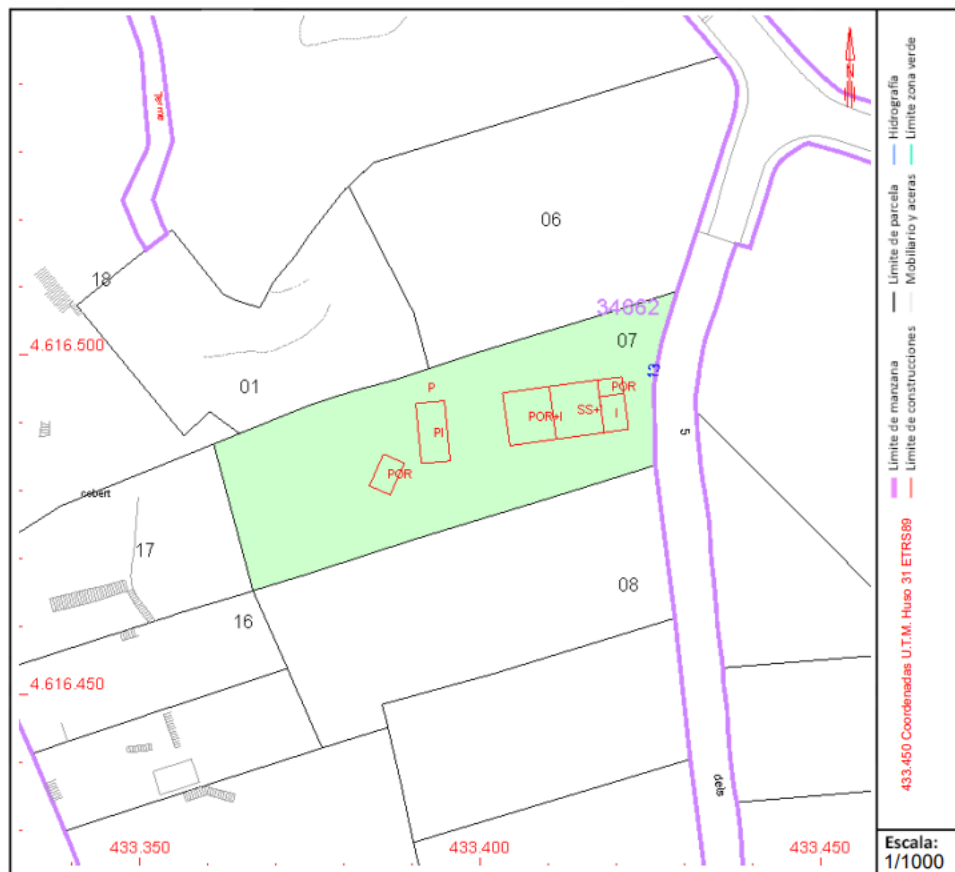


Figura 7.2.- Mapa del cadastre de l'habitatge (Font: Sede catastro [33]).

7.2. Subministrament actual de l'energia elèctrica

L'habitatge implicat en l'estudi i disseny de la micro-xarxa elèctrica disposa de la electricitat i gas butà com a fonts energètiques. Els electrodomèstics com la nevera, microones, radiadors i aparells electrònics fan ús de l'electricitat obtinguda a partir de la xarxa elèctrica la qual causa uns grans costos en la factura de la llum a final de cada dos mesos. D'altra banda els fogons, forns i algunes estufes per l'hivern funcionen amb gas butà.

L'empresa la qual subministra l'energia elèctrica a l'habitatge és ENDESA XXI amb tarifa contractada 2.OTD i amb potència màxima contractada de 4,4 kW.

Gràcies a la factura elèctrica es pot fer un anàlisi dels consums amb les dades que proporciona. Fent un estudi dels consums es pot reduir o optimitzar la despesa energètica establint contractes de tarifes planes als consums depenent de la franja horària desitjada, les quals serà d'interessant implementació en el suposat cas que es visqui tot l'any o ajustant la potència màxima contractada segons les necessitats energètiques que existeixin.

La factura proporcionada per l'empresa comercialitzadora que distribueix l'energia elèctrica aporta els consums anuals i mensuals de l'habitatge junt amb el preu del kWh del consum de les càrregues del propi. El preu de la factura inclou a part del preu del consum, la potència mínima contractada, els impostos de l'electricitat, el lloguer del comptador i l'IVA, a Espanya del 21% del preu total. Com s'ha mencionat en el primer paràgraf del punt, els períodes en els quals s'emet la factura són cada dos mesos.

La factura proporcionada per l'empresa comercialitzadora que distribueix l'energia elèctrica aporta els consums anuals i mensuals de l'habitatge junt amb el preu del kWh del consum de les càrregues del propi. El preu de la factura inclou a part del preu del consum, la potència mínima contractada, els impostos de l'electricitat, el lloguer del comptador i l'IVA, a Espanya del 21% del preu total. Com s'ha mencionat en el primer paràgraf del punt, els períodes en els quals s'emet la factura són cada dos mesos.

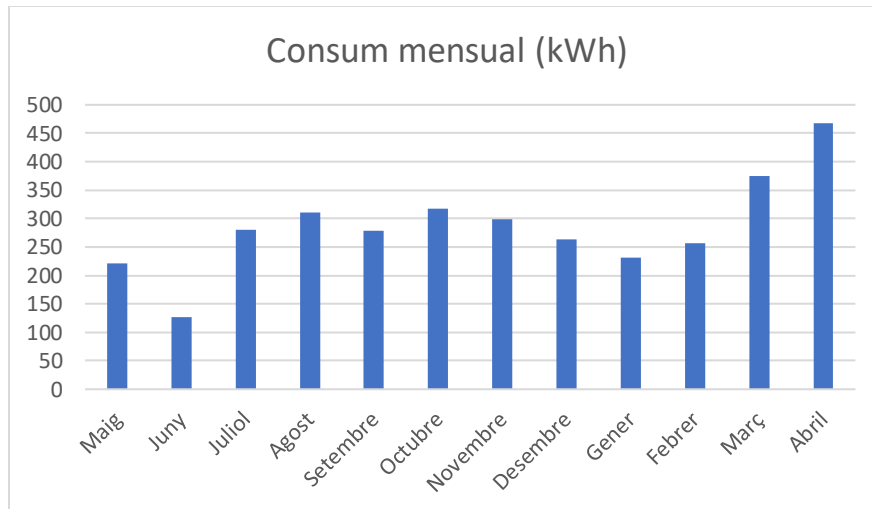


Figura 7.3.- Consum mensual.

De la factura elèctrica s'ha consultat el consum energètic mensual tal i com es mostra representat a la figura anterior. El consum energètic mitjà és de 285,75 kWh.

Per obtenir el consum energètic diari dividim el consum mensual entre el nombre de dies que té el mes en qüestió.

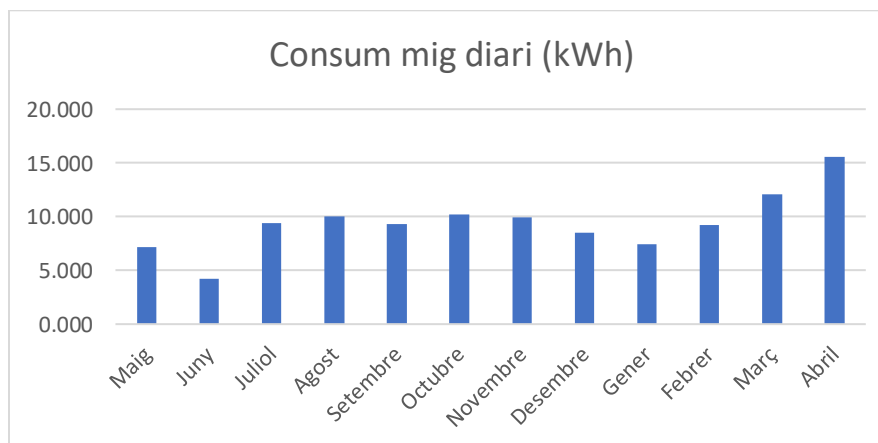


Figura 7.4.- Consum mig diari.

El resultat obtingut del consum energètic mig diari ha estat de 9,422 kWh.

7.3. Descripció dels consums

Les principals càrregues domèstiques a considerar en el consum d'energia en la llar unifamiliar, són la il·luminació, els electrodomèstics, la cuina, la climatització i l'ACS. Una vegada distingides totes les càrregues importants en l'habitatge, cal classificar-les segons la seva prioritat d'utilització en la demanda de consum.

- **Càrregues prioritàries:** Són aquelles càrregues que requereixen un subministrament elèctric continu i de qualitat. En són exemple el frigorífic, el congelador o la màquina d'oxigen.
- **Càrregues desplaçables:** El subministrament d'energia no cal que sigui continu. Per tant l'EMS gestiona si cal alimentar-les o no, segons si es poden utilitzar en qualsevol moment del dia i es poden desconnectar sense interferir en els hàbits diaris. Aquestes càrregues s'accionarien en moments on hi ha hagués generació fotovoltaica suficient o, en el cas contrari però en menys mesura, quan el preu de compra de l'energia en el mercat sigui més econòmic que en les hores punta.

Cal fer un anàlisi i un estudi sobre quines càrregues tenen més importància envers unes altres perquè l'EMS les gestioni i s'aconsegueixi el propòsit d'implementar polítiques energètiques segons si convé alimentar-les o posposar-les en el temps segons la producció d'energia momentània i l'horari d'ús d'aquestes. Per decidir quines càrregues són prioritàries i quines no, es tindrà en compte els hàbits de consum dels residents i la possibilitat tecnològica d'adaptació d'aquestes als hàbits esmentats.

Taula 7.2.- Taula de prioritats de les càrregues domèstiques.

Càrrega	Prioritat
Il·luminació	Prioritària
Televisor	Prioritària
Nevera	Prioritària
Cafetera	Prioritària
Microones	Prioritària
Rentadora	Desplaçable
Torradora	Prioritària
Rentaplats	Desplaçable
Telèfon	Prioritària
Termoelèctric	Desplaçable
Assecador	Prioritària
Escalfador	Prioritària
Aire condicionat	Desplaçable
Radiador	Desplaçable
Bomba d'aigua	Desplaçable
Compressor d'aire	Prioritària

7.4. Aspectes energètics

Un cop es té coneixement de tots els aparells que intervenen en l'ús de l'energia a la unitat domèstica, cal fer un estudi dels punts febles de l'habitatge sobre els quals es podria actuar per disminuir el seu consum o optimitzar-lo. Les auditories energètiques són una eina fonamental per identificar les oportunitats i potenciar les inversions futures del projecte d'estalvi energètic i energies renovables.






Contenido	Potencia		Equipo común	Ejemplo		
	Inicio	Clasificación		Equipo	Inicio	Clasificación
Carga resistiva	X 1	X 1	 Làmpara Incandescente	 100 W Làmpara Incandescente	100 VA (W)	100 VA (W)
Carga inductiva	X 3-5	X 2	  Ventilador Frigorífic	 150 W Frigorífic	450-750 VA (W)	300 VA (W)

Figura 7.5.- Taula de càrregues domèstiques consum.

7.4.1. Certificat d'eficiència energètica

L'eficiència energètica és un concepte que està prenent importància al llarg dels darrers anys. Actualment ja no és el màxim requisit produir l'energia a partir d fonts renovables, hi ha que fer una gestió i operació correcta dels equips que ens consumeixen energia elèctrica en la instal·lació. [34]

La *Llei 8/2017*, del 26 de juny, de rehabilitació i renovació i el *Reial Decret 235/2013*, del 5 d'abril, sobre la certificació energètica dels edificis, estipula el certificat d'eficiència energètica d'aquests, tant els ja edificats com els de construcció nova.

La certificació energètica es classifica de la A-G, on la A, és la màxima eficiència possible i la G la mínima.

Existeixen softwares gratuïts com el CE3X que faciliten l'obtenció de l'eficiència energètica de l'habitatge. En aquest cas, s'ha optat per fer una simulació de l'eficiència energètica segons els paràmetres de l'habitatge en estudi.

En la primera estanya s'han d'indicar les dades referents a l'habitatge, com per exemple la ubicació, el tipus de construcció i les dades personals del titular d'aquesta.

Localización e identificación del edificio

Nombre del edificio	Casa		
Dirección	Calle Enamorats, 13		
Provincia/Ciudad autónoma	Barcelona	Localidad	Otro
Referencia Catastral	3466207DG3136N0001BW	Código Postal	08416

Datos del cliente

Nombre o razón social	Marc Pérez Oliver		
Dirección	Calle Enamorats, 13		
Provincia/Ciudad autónoma	Barcelona	Localidad	Riells del Fai
Teléfono	622069643	E-mail	marcperezoliver@gmail.com

Figura 7.6.- Pestanya de les dades de l'edifici i client (Font: CE3X).

La següent pestanya consisteix en indicar les dades de l'habitatge en estudi. Cal indicar l'alçada de la planta, la superfície útil habitable i el consum de ACS. La normativa vigent en l'habitatge d'estudi és la NBE-CT-79.

Datos generales

Normativa vigente	NBE-CT-79	Año construcción	1972
Tipo de edificio	Vivienda Individual	Localidad	Otro
Provincia/Ciudad autónoma	Barcelona	Zona climática	C2

Definición edificio

Superficie útil habitable	112	m ²
Altura libre de planta	2.7	m
Número de plantas habitables	1	
Ventilación del inmueble	0.63	ren/h
Demanda diaria de ACS	28	l/día
Masa de las particiones internas	Media	

Se ha ensayado la estanqueidad del edificio

Figura 7.7.- Pestanya de les dades generals de l'edifici (Font: CE3X).

A continuació, el software necessita les dades tant de superfície exterior total com les d'orientació de l'edifici. D'altra banda, també demana l'aïllant de les portes i finestres per realitzar el càlcul tèrmic. Els valors o paràmetres no sabuts s'han deixat per defecte segons el software.

Envolvente tèrmica del edifici

Cubierta
 Muro En contacto con el terreno
 Suelo De fachada
 Partición interior Medianería
 Hueco/Lucernario
 Puente térmico



Muro de fachada

Nombre: Zona:

Dimensiones

Superficie: m²
 Longitud: m
 Altura: m

Características

Orientación:
 Patrón de sombras:

Parámetros característicos del cerramiento

Propiedades térmicas: Transmitancia térmica: W/m²K

Figura 7.8.- Pestanya del les característiques de l'edifici (Font: CE3X).

Instalaciones del edificio

Equipo de ACS Contribuciones energéticas
 Equipo de sólo calefacción
 Equipo de sólo refrigeración
 Equipo de calefacción y refrigeración
 Equipo mixto de calefacción y ACS
 Equipo mixto de calefacción, refrigeración y ACS

Equipo de ACS

Nombre: Zona:

Características

Tipo de generador:
 Tipo de combustible:

Demanda cubierta

Superficie (m²):
 Porcentaje (%):

Rendimiento medio estacional

Rendimiento estacional: Rendimiento medio estacional: %

Rendimiento nominal: %

Con Acumulación

Valor UA: UA: W/K

Figura 7.9.- Pestanya sobre el càlcul del dispositiu d'ACS (Font: CE3X).

Finalment, el software Ce3X ens dona el resultat de l'estudi sobre l'eficiència energètica del nostre habitatge. El resultat obtingut ha estat una qualificació de G i comparat amb el valor mig nacional, el qual és de D, l'impacte ambiental actual de l'habitatge és bastant greu.

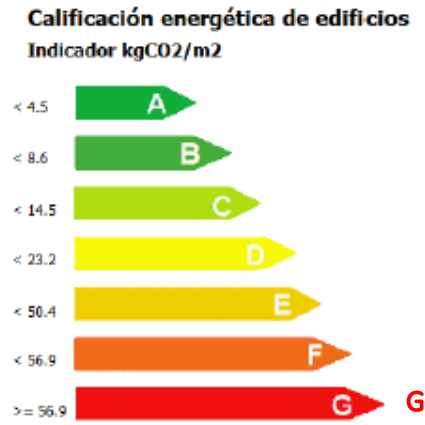


Figura 7.10.- Certificació energètica de l'edifici.

7.4.2. Il·luminació

Un cop sabuda el grau de certificació d'eficiència energètica es pren en estudi la il·luminària de l'habitatge. Generalment, aquesta il·luminària representa el 10-15% del consum dels edificis. Fen una bona tria del tipus de bombeta o fluorescent es pot arribar a optimitzar el consum, ja que quan decreix la llum diürna és necessari la utilització d'il·luminació per fer més còmode i fàcil la vida del consumidor.

Les bombetes incandescents són les que tenen un consum més elevat, en canvi, les LED tenen un consum energètic molt reduït, el qual pot anar des de els 5 fins els 15W. Aquest canvi de il·luminació incandescent a LED es va realitzar en l'habitatge del carrer dels Enamorats número 13 ja fa varis anys. D'aquesta manera es van instal·lar unes bombetes LED del fabricant LEXMAN amb certificació A++, per així reduir el consum i millorar l'eficiència energètica.

Seguidament es mostra una taula resum de les il·luminàries utilitzades en l'habitatge junt amb la potència total de les referides:

Taula 7.3.- Il·luminàries de l'habitatge.

Ubicació	U.	Fabricant	Certificació energètica	Il·luminació (lm)	Flux (K)	Potència (W)	Potència Total (W)
Menjador	6	LEXMAN	A++	1055	4000	8	48
Cuina	2						16
Lavabo 1	1						8
Lavabo 2	2						16
Dormitori 1	3						24
Dormitori 2	2						16
Dormitori 3	1						8
Dormitori 4	1						8
Passadís	9						72
Garatge 1	2						16
Garatge 2	3						24
Exterior	15						120
							376

7.4.3. Electrodomèstics

Els electrodomèstics conformen una gran part del consum total de l'habitatge. En aquest cas, aparells com la televisió els fogons i aires condicionats representen la majoria. Generalment, els aparells en *standby* representen gairebé el 10% del consum de l'habitatge. Altres dispositius com rentadores tenen un consum molt elevat en un petit temps per això no conformen una gran proporció d'aquest. El cas de la nevera és diferent, ja que està en funcionament una part del temps però fan servir menys potència per mantenir-se en funcionament un cop arriben a la temperatura adient perquè els aliments de l'interior no es facin mal bé.

A continuació, es mostra una taula resum dels electrodomèstics usats en l'habitatge junt amb la seva potència consumida i certificació energètica corresponent, si n'hi ha:

Taula 7.3.- Electrodomèstics de l'habitatge.

Electrodomèstic	Marca	Model	Potència (W)	Certificació energètica
Televisor	LG	32LE3300	90	-
	Sony	KDL-22S5500	60	-
Nevera	White-Westinghouse	-	150	-
	Balay	-	150	-
Cafetera	Nespresso	Krups	1260	-
Microones	Panasonic	-	1500	-
Rentadora	Balay	T-5605	2900	-
Torradora	Taurus	TypTS-BV	750	-
Rentaplats	Lynx	4VS741BA/71	2500	A+++
Telèfon	Thomson	-	5	-
Router	MitraStar	-	5	-
Caldera d'aigua	Cointra	TS-50	1500	-
Alarma	Securitas Direct	-	5	-
Assecador	Taurus	FH6206is	2000	-
Escalfador	S&P	TL-10N	2000	-
Aire condicionat	Mundo Clima	MUP-09X2HN	5000	-
	Climatic	-	3500	A++
Radiador	Thermor	-	1000	-
	Rowenta	Oleo	1500	-
Bomba d'aigua	Doll	A.VICTORIA PLUS	2000	-
Compressor d'aire	-	-	750	-

7.4.4. Climatització i ACS

A causa de les condicions aïllants tèrmiques de l'edificació, els consums poden variar bastant perquè la pèrdua de temperatura. L'edifici es classifica a la zona climàtica C2 segons el "Documento Básico HE. Ahorro de Energía" del CTE [35], al situar-se aproximadament 200 metres sobre el nivell del mar..

Provincia	Altitud sobre el nivell del mar (h)																						
	≤ 50 m	51 - 100 m	101 - 150 m	151 - 200 m	201 - 250 m	251 - 300 m	301 - 350 m	351 - 400 m	401 - 450 m	451 - 500 m	501 - 550 m	551 - 600 m	601 - 650 m	651 - 700 m	701 - 750 m	751 - 800 m	801 - 850 m	851 - 900 m	901 - 950 m	951 - 1000 m	1001 - 1050 m	1051 - 1250 m	1251 - 300 m
Albacete	C3									D3						E1							
Alicante/Alacant	B4				C3						D3												
Almeria	A4		B4		B3			C3				D3											
Araba/Álava	D1										E1												
Asturias	C1	D1								E1													
Ávila	D2								D1				E1										
Badajoz	C4						C3		D3														
Balears, Illes	B3				C3																		
Barcelona	C2				D2				D1				E1										

Figura 7.11.- taula de les zones climàtiques (Font: CTE [35]).

La solució més adient per aconseguir un aïllament tèrmic suficient per reduir el consum energètic consisteix en canviar els marcs i vidres de les Finestres junt amb el d'elles portes. Seria necessària la instal·lació de finestres amb doble vidre per millorar les condicions tèrmiques de l'habitatge. Segons l'IDAE l'estalvi energètic amb una bona rehabilitació tèrmica pot suposar de més del 60%. [37]

A part d'aïllar tèrmicament l'habitatge per reduir el consum energètic, és important preveure el consum d'ACS. Per saber-ho s'han de tenir en compte diferents variables que s'aniran explicant durant el desenvolupament d'aquest apartat.

La demanda de referència d'ACS per a edificis d'ús residencial privat s'obtindrà considerant unes necessitats de 28 litres/dia y persona (a 60 °C).

Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	≥6
Número de Personas	1,5	3	4	5	6	6	7

Figura 7.12.- taula de les zones climàtiques (Font: CTE [35]).

Com normalment en l'habitatge viuen 1 o màxim 2 persones es considerarà un total de 1,5 persones. La demanda total d'ACS a la temperatura preestablerta és la següent:

$$\text{Demanda ACS} = 28 \cdot 1,5 = 42 \text{ l/dia}$$

Equació 7.1

El CTE també proporciona taules de temperatura mitjana mensual de l'aigua freda per cada capital de província del territori espanyol.

Capital de província	Altitud	EN	FE	MA	AB	MY	JN	JL	AG	SE	OC	NO	DI
A Coruña	26	10	10	11	12	13	14	16	16	15	14	12	11
Albacete	686	7	8	9	11	14	17	19	19	17	13	9	7
Alicante/Alacant	8	11	12	13	14	16	18	20	20	19	16	13	12
Almeria	16	12	12	13	14	16	18	20	21	19	17	14	12
Àvila	1131	6	6	7	9	11	14	17	16	14	11	8	6
Badajoz	186	9	10	11	13	15	18	20	20	18	15	12	9
Barcelona	12	9	10	11	12	14	17	19	19	17	15	12	10

Figura 7.11.- Taula de la temperatura mitjana mensual d'aigua freda (Font: CTE [35]).

El mètode de càlcul de l'ACS de l'habitatge en qüestió s'estima amb la següent equació:

$$Q_{ACS} = V \cdot \Delta T \cdot \rho \cdot C_p \quad \text{Equació 7.2}$$

On:

Q_{ACS}	Consum energètic d'ACS anual.	[kWh/any]
V	Volum demandat d'ACS.	[m ³ /any]
ΔT	Increment de temperatures.	[°C]
ρ	Densitat de l'aigua a temperatura mitja de massa de fluid.	[kg/m ³]
C_p	Calor específic de l'aigua. ($C_p = 0,00116 \text{ kJ/kg}\cdot^\circ\text{C}$)	[kJ/kg·°C]

En la taula següent es mostra el procediment per calcular el consum energètic mensual en kWh d'ACS:

Taula 7.4.- Taula de l'energia mensual requerida d'ACS.

Mes	Usuaris	L/dia (HE-4)	Qdiari (l/dia)	Qmensual (l/mes)	Tacs (°C)	Tamb (°C)	ΔT (°)	En. mensual (kWh)
Gener	1,5	28	42	1302	60	9	51	77,03
Febrer	1,5	28	42	1176	60	10	50	68,21
Març	1,5	28	42	1302	60	11	49	74,01
Abril	1,5	28	42	1260	60	12	48	70,16
Maig	1,5	28	42	1302	60	14	46	69,47
Juny	1,5	28	42	1260	60	17	43	62,85
Juliol	1,5	28	42	1302	60	19	41	61,92
Agost	1,5	28	42	1302	60	19	41	61,92
Setembre	1,5	28	42	1260	60	17	43	62,85
Octubre	1,5	28	42	1302	60	15	45	67,96
Novembre	1,5	28	42	1260	60	12	48	70,16
Desembre	1,5	28	42	1302	60	10	50	75,52
En. Anual (kWh)								822,05

Segons l'informe sobre els Consums del Sector Residencial en Espanya, realitzat per la Comissió Europea, el Ministeri d'Indústria, Energia i Turisme i l'IDAE, la demanda d'energia mitjana d'ACS és de 1.605 kWh/any en el territori peninsular [46]. En l'edificació calculada, el consum és de 882,05 kWh/any. Per tant, el consum d'ACS és bastant inferior.

8. Criteris d'utilització de l'energia elèctrica

Una vegada definits els aspectes més importants de l'auditoria energètica, cal fer l'anàlisi de quines són les oportunitats de millora energètiques possibles. A continuació es farà un breu resum dels resultats obtinguts i del seu pla d'acció per reduir la factura energètica a més d'obtenir la major part possible d'energia per abastir les càrregues a partir de l'energia solar fotovoltaica.

Al no poder haver fet un anàlisi més extens dels consums de l'habitatge, sobre quines són les hores pic de consum ja que no es disposava d'un dispositiu mesurador de consums energètics com és el Wibeec es desestima inicialment fer ús tàctiques estratègiques com per exemple de tarifes planes de consum que ofereixen les distribuïdores d'energia elèctrica. Per tant aquesta opció es plantejarà a menys d'un any vista, una vegada estigui dimensionada i operativa la micro-xarxa, ja que amb aquesta possibilitat de mesura serà de més visualització i implementació la tarifa plana per aconseguir un estalvi en la factura elèctrica.

Per altra banda, prèviament s'han definit els fluxos energètics ideals de la micro-xarxa. S'ha de dimensionar correctament a partir del consum previst tant el sistema generador fotovoltaic com el sistema d'emmagatzematge de l'energia per poder alimentar les càrregues durant les hores on el consum pot arribar a ser molt elevat o quan el Sol no irradia suficient energia com per poder aprofitar-la. D'aquest mode s'assegura que l'habitatge sempre tingui energia de reserva suficient per operar correctament. També es definirà l'EMS a partir de diferents tàctiques i dispositius comercials que tindrà la micro-xarxa perquè pugui operar correctament a més d'optimitzar el consum sense variar els hàbits quotidians, trobar noves necessitats energètiques i poder-les implementar en un futur pròxim per aconseguir l'esmentada millora continua de l'habitatge.

Finalment, pel que fa l'enllumenat i els electrodomèstics existents en l'habitatge es pretén substituir tots aquests que no siguin d'alta eficiència per aconseguir millorar-la en el conjunt, i aconseguir una optimització del consum. També s'haurien de canviar els vidres actuals d'una fulla que envolten la llar, per uns altres amb doble fulla amb l'objectiu d'aïllar tèrmicament i reduir la demanda energètica de la climatització.

En resum, aquest serà el pla d'accions que es vol implementar per aconseguir els objectius que s'han anat mencionant segons diferents criteris d'utilització de l'energia elèctrica:

Taula 8.1.- Pla d'acció.

Objectius	Accions
Reducció del consum elèctric i disminució d'emissions de CO ₂	Mantenir bons hàbits de consum energètic
	Optimització del consum elèctric
	Polítiques energètiques
	Adquisició d'electrodomèstics més eficients que els actualment instal·lats
	Instal·lació de finestres aïllants de doble vidre
Generació renovable de l'energia	Instal·lació d'energia solar fotovoltaica
Sistema de gestió d'energia	Aplicar diferents tàctiques de gestió de fluxos de potència
Aplicació de procediments correctius al compliment d'objectius	Simulació del comportament de la micro-xarxa
	Estudi de la viabilitat econòmica del projecte
	Buscar oportunitat de millores en la eficiència energètica a partir de continus anàlisis en el procediment pres

8.1. Substituir dels electrodomèstics per més eficients

En aquest apartat es planteja la reducció del consum domèstic a partir de la substitució dels equips més antics i que tenen menys eficiència energètica.

Com ja s'ha esmentat en el punt 7 d'anàlisi del consum energètic, tant els fogons com la cuina funcionen amb gas butà. Cada dos mesos aproximadament es gasta una bombona de 13,6 kg. Segons l'IDAE el butà té un té un poder calorífic de 12,72 kWh/kg. Per tant, el consum d'energia per part de la placa elèctrica serà de 86,50 kWh al mes.

Una vegada s'ha obtingut el consum mensual dels fogons dividim aquest valor per els dies d'un mes. En aquest cas ha sortit una demanda diària de 2,88 kWh. Per tant es necessitaria una placa elèctrica de 3000 W mínim per satisfer la demanda energètica.



Figura 8.1.- Placa elèctrica i forn Beko BBSE12120XD.

8.2. Disseny dels estats de la micro-xarxa híbrida

La producció d'energia elèctrica a través de les fonts generadores d'origen renovable, depenen del seu rendiment de les condicions del medi que les envolta. Fent ús de sistemes de gestió d'energia es permet la optimització de la producció segons la demanda energètica en un període de temps determinat. Anteriorment en l'apartat 5.1. s'ha introduït la micro-xarxa junt amb els seus elements principals. En aquest apartat es farà el disseny teòric del sistema d'un gestió energètic intel·ligent dels estats de la micro-xarxa a partir de la gestió dels fluxos de potència tant de les fonts de generació com les de consum. És un procés importantíssim per assolir una bona part dels objectius establerts, a partir de criteris d'ús de l'electricitat i com a conseqüència la implementació de diferents tàctiques de gestió. Un dels punts forts és el baix cost que tenen envers a la inversió inicial del projecte, ajudant a obtenir una viabilitat econòmica de manera més eficaç.

Per poder representar de manera fàcil i clarificadora els estats de la micro-xarxa es fa ús de les taules de fluxos de potència, on es mostren els quatre elements del sistema que el formen. En aquest cas són la xarxa elèctrica, el camp fotovoltaic, el sistema d'emmagatzematge i la xarxa elèctrica. A continuació es representa si és un element generador amb un -1 i si és un consumidor amb un 1. Si l'element està en circuit obert i per tant desconnectat del sistema, es representa amb un 0 dins la taula. Finalment, el resultat obtingut final és el següent:

Taula 8.2.- Taula fluxos de potència i estats

	Xarxa elèctrica	FV	Bateries	Càrregues	Estat
1	0	-1	1	1	+
2	0	-1	1	0	+
3	0	-1	0	1	+
4	0	-1	-1	1	+
5	0	0	0	1	-
6	0	0	-1	1	+
7	0	0	-1	0	-
8	0	0	0	0	-
9	-1	-1	0	1	+
10	-1	-1	1	1	+
11	-1	-1	-1	0	-
12	-1	-1	-1	1	+
13	-1	0	1	0	+
14	-1	0	0	1	+
15	-1	0	0	0	-
16	-1	0	-1	1	-

No es tenen en compte els estats on les càrregues elèctriques no consumeixen energia o els estats on tenen un únic element actiu o cap, com es lògic, perquè no existiria una transferència d'energia

entre els elements. Es descarta completament la injecció a la xarxa elèctrica de l'energia excedentària provinent tant de la generació fotovoltaica com del sistema d'emmagatzematge degut a l'exigència de buscar una micro-xarxa eficient i autònoma.

8.3. Disseny de la instal·lació solar fotovoltaica

La principal avantatge d'instal·lar un sistema de generació fotovoltaica és la generació d'energia elèctrica de manera renovable i amb gairebé nul·les emissions de CO₂, ja que es redueix la demanda energètica a través de la xarxa on gran part de l'energia provinent ve per part de combustibles fòssils.

El procediment del disseny d'una instal·lació fotovoltaica ha de seguir certes pautes en el dimensionament per aconseguir la màxima eficiència energètica juntament amb el màxim benefici. El procés consta de varis apartats on s'extreuen dades primordials a l'hora d'elegir components o la tria d'aquests mateixos. És de gran importància conèixer les condicions del terreny i les seves característiques.

8.3.1. Estudi de les trajectòries solars

Per conèixer l'energia disponible en la ubicació de la instal·lació i poder aprofitar la radiació solar incident cal fer un anàlisi de les trajectòries solars durant el transcurs d'un any. És important realitzar-lo per així extreure paràmetres clau per el correcte dimensionament posterior.

El software gratuït proporcionat per la Comissió Europea, el PVGIS, ajuda a obtenir dades sobre el recurs solar i condicions climatològiques de l'emplaçament a part de realitzar gràfics i simulacions de la generació fotovoltaica.

La radiació solar incident sobre la superfície horitzontal del mòdul fotovoltaic forma un angle d'inclinació. Segons l'angle d'inclinació dels panells la producció serà major o menor depenent els mesos de l'any. De la mateixa manera s'haurà de valorar quina és la inclinació apropiada per la instal·lació dels panells; d'una banda la inclinació òptima per maximitzar la producció d'energia solar sobretot durant els mesos d'hivern on la demanda energètica és superior, o per contra, aprofitar la inclinació de la teulada si les pèrdues de radiació no són molt grans i optimitzar la superfície de l'habitatge.

En el territori espanyol, al estar situat a l'hemisferi nord terrestre, l'orientació ideal dels panells és cap al sud (azimut 0°), encara que orientacions encarades cap el sud-est i el sud-oest també són vàlides però la producció minvarà en certs trams diaris.

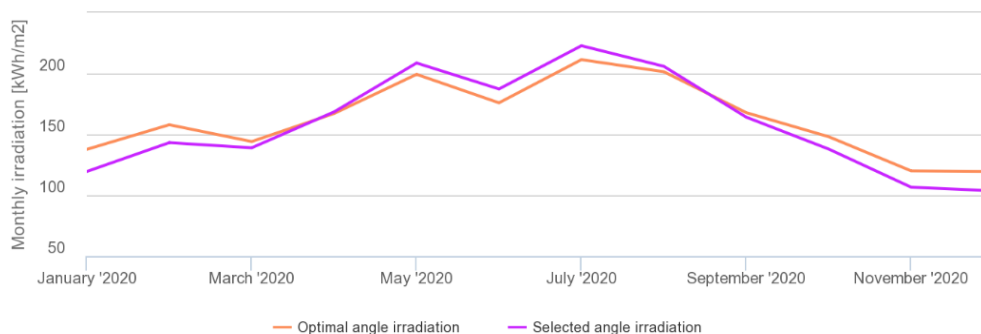


Figura 8.2.- Irradiació solar mensual segons l'angle òptim i el de la coberta. [Font: PVGIS]

Després de la comparativa dels dos angles d'inclinació en azimuth 0°, es conclou que s'aprofitarà la teulada de l'habitatge per la instal·lació dels panells ja que la producció és molt similar a la que s'obté a partir de l'angle òptim. Per tant després dels resultats obtinguts de producció solar a partir del PVGIS es decideix que els angles d'orientació i inclinació seran els següents:

Taula 8.3.- Taula sobre l'angle d'inclinació i azimuth de la instal·lació.

Angle d'inclinació	25°
Azimut	0°

8.3.2. Selecció del mòdul fotovoltaic

Tal i com s'ha anat mencionant durant la redacció del projecte, el mòduls fotovoltaics conformen el generador fotovoltaic de la instal·lació. Aquests energitzen les càrregues domèstiques segons la demanda de consum adequant-se a les condicions de tensió i corrent de treball segons cada situació. Per a la selecció dels panells usats s'han tingut en compte paràmetres com la potència pic, la tensió en circuit obert i el rendiment. Finalment s'ha optat per el mòdul monocristal·lí ZXM6-NH144 de 450 W del fabricant ZNSHINE SOLAR perquè té una gran potència pic a més d'una alta eficiència a un preu molt competitiu referent a les altres marques. Cal destacar que les seves característiques de tensió i corrent permeten una gran varietat de configuracions dins dels rangs de treball normals dels onduladors monofàsics. El mòdul en qüestió té un munt de certificacions que acrediten la seva qualitat i el seu compromís mediambiental.



Figura 8.3.- Certificacions del mòdul fotovoltaic ZNSHINE.

A continuació es mostren les dades del fabricant sobre les dimensions del mòdul fotovoltaic seleccionat:

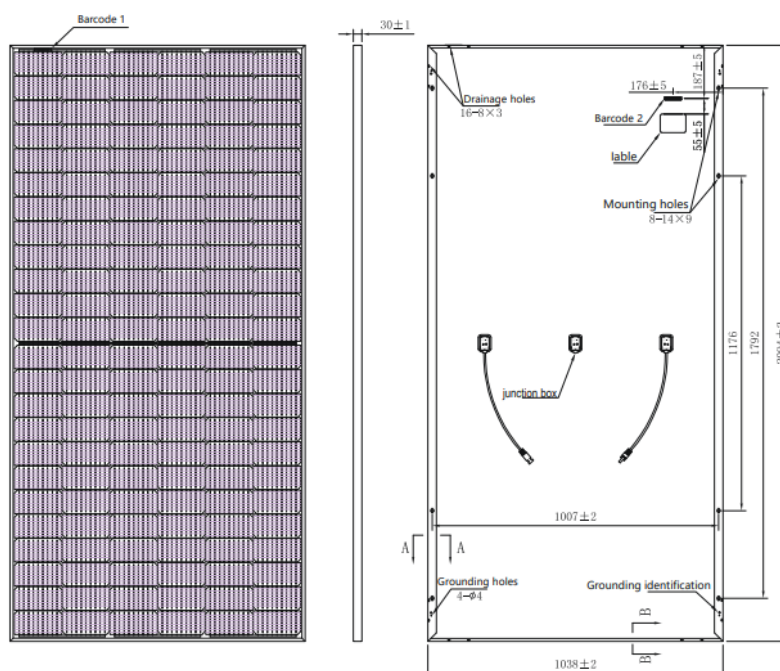


Figura 8.4.- Dimensions del mòdul fotovoltaic ZNSHINE.

Segons la figura anterior, la superfície útil del panel és de $2,17 \text{ m}^2$. A continuació es mostra una taula resum de les característiques tècniques del model sota les condicions STC que són les que es tindran en compte quan es dimensioni el generador fotovoltaic.

Taula 8.4.- Taula de les especificacions tècniques del mòdul fotovoltaic.

Característiques en condicions STC	
Potència nominal (P)	450 Wp
Tensió màxima de potència (V_{MP})	41,40 V
Intensitat màxima de potència (I_{MP})	10,87 A
Tensió de circuit obert (V_{OC})	50,30 V
Intensitat de curtcircuit (I_{SC})	11,46 A
Eficiència (η)	20,70 %
Característiques tèrmiques	
NMOT	42-46
Coefficient de temperatura de P	-0,36
Coefficient de temperatura de V_{OC}	-0,29
Coefficient de temperatura de I_{SC}	-0,05

L'eficiència del mòdul d'un 20,70% és bastant elevada comparada amb els altres fabricants i a un preu molt econòmic per les característiques d'aquest. Cal afegir que el fabricant assegura un 98% de potència de sortida el primer any d'ús i una garantia de caiguda lineal del rendiment de 30 anys fins al 86%. Com es pot comprovar aquesta eficiència garantida al llarg dels anys és molt superior a la oferta pels altres panells solars comercials.

Un cop esmentades les característiques tècniques i tèrmiques del panell cal definir el sistema de captació d'energia, per així saber el nombre de panells a instal·lar i la potència que extreu cadascun. La potència extreta pels mòduls fotovoltaics no serà la esperada ja que es perd potència a causa d'altres dispositius del sistema com poden ser l'inversor o les bateries. La expressió a seguir és la següent:

$$E_{\text{mòdul}} = \eta_{\text{mòdul}} \cdot I_{\text{MPP}} \cdot \text{HSP} \quad \text{Equació 8.1}$$

On:

$\eta_{\text{mòdul}}$ Eficiència del mòdul fotovoltaic. Es considera un valor del 90%. [%]

I_{MPP} Intensitat de MPPT del mòdul fotovoltaic. [A]

HSP Hores solar pic. [h]

A partir del PVGIS s'extreu la irradiació mensual per posteriorment obtenir les HSP mensuals. Les HSP diàries resulten del quocient els valors obtinguts entre els nombre de dies de cada mes corresponent.

Taula 8.5.- Taula de HSP per cada mes de l'any.

Mes	HSP
Gener	3,585
Febrer	4,962
Març	4,444
Abril	5,601
Maig	6,728
Juny	6,242
Juliol	7,177
Agost	6,612
Setembre	5,464
Octubre	4,362
Novembre	3,410
Desembre	3,119
MITJANA MENSUAL	5,142

Un cop calculades la mitja d'HSP es pot calcular l'energia produïda pel panell segons l'equació anterior:

$$E_{mòdul} = 0,9 \cdot 10,87 \cdot 5,412 = 50,30 \text{ Ah/dia} \quad \text{Equació 8.2}$$

8.3.3. Estudi d'ombres

Per saber el nombre de panells total que es poden instal·lar s'ha de saber la superfície útil. La superfície útil és la de coberta de la casa i fa un total de 112 m². Consegüentment s'han de tenir en compte les pèrdues per ombres que es poden produir quan es realitza l'estudi tècnic.



Figura 8.5.- Superfície útil de l'emplaçament.

Coneixent quin és el nostre azimuth del panell solar, es calculen els límits d'inclinació admissible tenint en compte les pèrdues màximes estipulades pel criteri CTE, que ens diu que per a la superposició de les pèrdues han de ser menors al 20%. L'angle azimuth de la instal·lació és de 41°.

Caso	Orientación e inclinación	Sombras
General	10 %	10 %
Superposición	20 %	15 %
Integración arquitectónica	40 %	20 %

Figura 8.6.- Taula sobre les pèrdues límit. (Font: CTE [36])

S'utilitza l'equació proporcionada per l'IDAE i mostrada seguidament per realitzar aquest càlcul en tant per cent de les pèrdues per orientació i inclinació:

$$\text{Pèrdues (\%)} = 100 \cdot [1,2 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta - \phi + 10)^2 + 3,5 \cdot 10^{-5} \cdot \alpha^2] \quad \text{Equació 8.3}$$

Els valors de les variables seran: $\beta = 25^\circ$, $\phi = 41$ i $\alpha = 0$.

$$\text{Pèrdues (\%)} = 100 \cdot [1,2 \cdot 10^{-4} \cdot (25 - 41 + 10)^2 + 3,5 \cdot 10^{-5} \cdot 0] = 0,432\% \quad \text{Equació 8.4}$$

Per això complint també els requisits de l'orientació i la inclinació, podem concloure que finalment la instal·lació de plaques serà en superposició perquè no supera el 20% determinat i per tant es compleix el que estableix el CTE.

El diagrama de trajectories solars i la taula de perfils d'ombres llunyanes del CTE ens indicaria les pèrdues causades per els objectes que ens envolten la instal·lació.

Per el cas de l'habitatge en estudi podem comprovar que no existeixen aquests tipus d'ombres ja que estan instal·lats els mòduls sobre la teulada, per tant les pèrdues es desestimen ja que es considera que estan per sota del 10% establert pel CTE.

Per altra banda, els propis mòduls es poden generar entre ells ombres que reduiran la producció fotovoltaica. Sobre el càlcul de les pèrdues de radiació solar que experimenta una superfície deguda a ombres circumdants, aquestes pèrdues s'expressen com percentatge de la radiació solar global que incidiria sobre la superfície esmentada, si no existeix cap ombra.

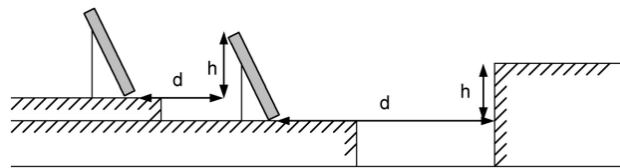


Figura 8.6.- Dimensions i inclinació del mòdul fotovoltaic. (Font: CTE [36])

Per el càlcul es considera el 22 de desembre que és el dia menys favorable per la generació d'energia, on l'alçada solar és de 27°. El panell té unes dimensions de 2,09 m de llargada i 1,04 m d'amplada, amb una inclinació de 25°. D'aquesta manera el càlcul de la distància mínim entre mòduls es realitza amb el següent procediment:

$$\sin(\beta) = \frac{h}{x} \quad \text{Equació 8.5}$$

$$h = 2,09 \cdot \sin(25) = 0,88 \text{ m} \quad \text{Equació 8.6}$$

$$d = \frac{0,88}{\tan(27)} = 1,72 \text{ m} \quad \text{Equació 8.7}$$

Així doncs, la distància mínima d'instal·lació entre panells, haurà de ser de 1,72 m per evitar les ombres generades entre ells.

8.3.4. Selecció de l'ondulador híbrid

Els onduladors han de complir la normativa vigent en cada territori sobre seguretat elèctrica perquè els dispositius que reben l'energia generada per l'inversor, no es danyin.

És important que l'inversor funcioni dins dels marges de tensió i corrent del generador fotovoltaic dimensionat. Els inversors monofàsics han d'operar a una tensió de 230 V aproximadament i a una freqüència de xarxa de 50 Hz.

Els inversors híbrids operen i coordinen els diferents fluxos de potència dels elements de la micro-xarxa.

A continuació es mostra una taula comparativa de les característiques dels possibles inversors híbrids seleccionats per la conversió i gestió d'energia de la micro-xarxa:

Taula 8.6.- Taula comparativa dels onduladors híbrids seleccionats.

Fabricant	SolaX Power	Voltronic Power	Victron	Kostal
Model	X1-Hybrid-5.0-D	Axpert MKSS IV 5600-48	Multiplus 48V 5000VA	Plenticore Plus 5.5kW
Entrada de CC (FV)				
Màxima potència d'entrada (Wp)	7.500	8.000	10.000	8.250
Màxima tensió d'entrada (V)	600	450	-	1.000
Tensió d'inici (V)	90	90	-	150
Tensió d'entrada nominal (V)	360	-	-	570
Rang de tensió MPPT (V)	70-550	120-430	-	120-720
Màxim corrent per entrada CC (A)	16/16	-	-	13/13/13
Sortida de CA				
Potència de sortida nominal (W)	5.000	6.000	4.000	5.500
Tensió de sortida (V)	230	230	230	400
Rang de freqüència de xarxa (Hz)	50-60	50-60	45-65	50
Màxima eficiència (%)	97,6	93	95	97,1

Finalment, un cop vistos els diferents models d'onduladors híbrids s'ha triat per el model X1-Hybrid-5.0-D de la nova generació (G4) del fabricant SolaX Power, degut a les seves bones característiques tècniques i bon cost de producte.



Figura 8.7.- Inversor X1-Hybrid-5.0.-D G4 de SolaX.

Com s'ha descrit al inici del punt, l'inversor es pot fer servir per optimitzar l'autoconsum o emmagatzemar-lo a les bateries per al seu ús futur. Té diferents modes de funcionament els quals depenen de les preferències de l'usuari. Té la possibilitat proporcionar un corrent d'emergència en cas de talls de llum (EPS) i on estaran connectades les càrregues considerades necessàries. A més es poden connectar diferents equips en paral·lel .

D'altra banda, la gama d'inversor X1-Hybrid G4 està dissenyada per tenir quatre circuits fora de la xarxa. Els clients poden triar la càrrega de parts compatibles fora de la xarxa i parts compatibles fora de la xarxa amb l'ús de tota la càrrega. Les càrregues elèctriques en mode Off-grid seran les càrregues domèstiques que s'han considerat prioritàries en l'apartat 7.3. de la memòria.

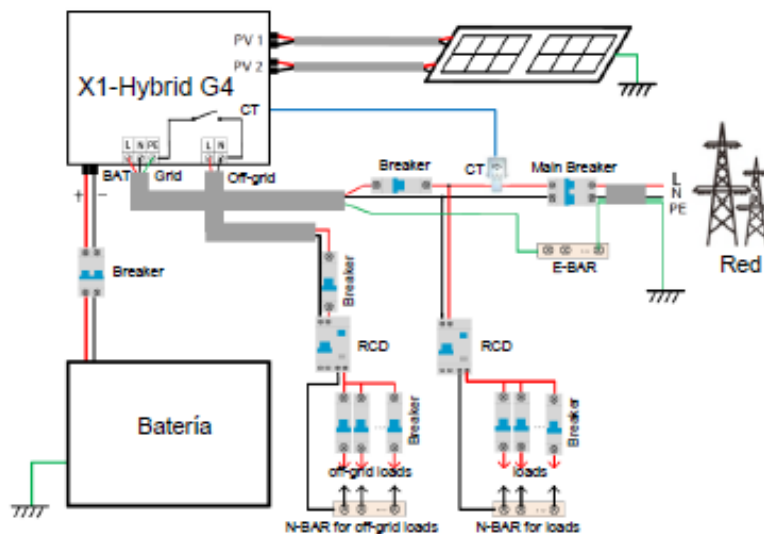


Figura 8.8.- Esquema unifilar l'ondulador híbrid SolaX.

Les dimensions de l'inversor híbrid són de 41,7 cm d'alçada i 48,2 cm d'amplada, a més d'un grossor de 18,2 cm i un pes de 24 kg. Aquestes dimensions força reduïdes permeten la instal·lació en espais reduïts, encara que sempre es recomana que l'espai tingui una bona ventilació per evitar el seu sobreescalfament.

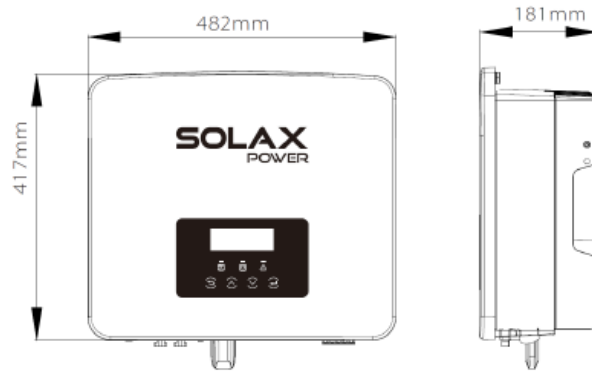


Figura 8.9.- Dimensions de l'ondulador híbrid SolaX.

8.3.5. Dimensionament del sistema de generació fotovoltaica

Una vegada feta la tria tant dels mòduls fotovoltaics que s'utilitzaran per la producció d'energia i l'ondulador híbrid per la conversió i gestió d'energia elèctrica, és el moment de dimensionar el nombre de mòduls fotovoltaics i la seva distribució per aconseguir els rangs de treball adequats per la instal·lació. Per la realització d'aquests càlculs és necessari saber el consum per saber la potència total a subministrar a les càrregues. Gràcies a l'anàlisi dels consum diari d'energia de l'habitatge realitzat prèviament, on s'ha determinat que l'energia mitjana consumida és de 9.422 Wh, es determina el consum en Ah/dia segons la següent equació:

$$Consum = \frac{E_{diaria}}{V_{nominal}} \quad \text{Equació 8.8}$$

La tensió nominal de funcionament de la instal·lació ve donada segons la taula mostrada a continuació:

Taula 8.7.- Taula de tensió nominal del sistema segons la potència.

Potència (W)	Tensió nominal (V)
$P \leq 1.000$	12
$1.000 < P < 2.500$	24
$2.500 < P < 5.000$	48
$P \geq 5.000$	120

La potència contractada per l'habitatge és de 4.400 W, per tant la tensió nominal de funcionament de la instal·lació en el bus de CC serà de 48 V.

$$Consum = \frac{9.422}{48} = 196,3 \text{ Ah/dia} \quad \text{Equació 8.9}$$

El consum obtingut no és el real ja que s'han de comptabilitzar certes pèrdues en la instal·lació fotovoltaica, les quals es consideraran d'un 10%.

$$C_{pèrdues} = 196,3 \cdot 0,1 = 19,63 \quad \text{Equació 8.10}$$

Per tant el consum real serà la suma dels dos consums prèviament calculats:

$$C_{teòric} = Consum + C_{pèrdues} \quad \text{Equació 8.11}$$

$$C_{teòric} = 196,3 + 19,63 = 215,5 \text{ Ah/dia} \quad \text{Equació 8.12}$$

El sistema fotovoltaic té pèrdues durant el recorregut del sistema, degut a l'inversor, les bateries, el cablejat, etc. Per saber les pèrdues reals en el sistema es fa ús de les dades d'eficiència i caigudes de tensió dels elements de la instal·lació. L'expressió utilitzada és la següent:

$$K_T = (1 - k_b - k_c - k_x) \cdot \left(1 - \frac{k_a \cdot N}{P_d}\right) \quad \text{Equació 8.13}$$

On:

- K_a Coeficient de pèrdues per autodescàrrega diària. Es considera un 0,1%.
- K_b Coeficient de pèrdues de les bateries. Es considera un 5%.
- K_c Coeficient de pèrdues de l'inversor. L'inversor seleccionat té un rendiment del 97,6%. Per tant, les pèrdues es consideraran un 2,4%.
- K_x Coeficient de pèrdues varies. Es considera un 10%.
- N Nombre de dies d'autonomia de la instal·lació. Es considera 1,3 dies.
- P_d Profunditat de descàrrega. La bateria té una capacitat de fins el 90% de descàrrega.

$$K_T = (1 - 0,05 - 0,024 - 0,1) \cdot \left(1 - \frac{0,001 \cdot 1,3}{0,9}\right) = 0,825 \quad \text{Equació 8.14}$$

A partir de les pèrdues que generen els elements de la instal·lació es calcula el consum real de la instal·lació completa a partir de la equació adjunta a continuació:

$$C_{real} = \frac{C_{teòric}}{K_t} \quad \text{Equació 8.15}$$

$$C_{real} = \frac{215,5}{0,825} = 261,78 \text{ Ah/dia} \quad \text{Equació 8.16}$$

Un cop és sabut el consum real de la instal·lació cal saber la col·locació en sèrie o paral·lel dels mòduls fotovoltaics que produiran l'energia. Per fer els càlculs es farà referència a les equacions mostrades a l'apartat 6.4.4 sobre el dimensionament d'una instal·lació fotovoltaica..

El nombre de mòduls en sèrie vindrà determinat per l'equació 6.5. És necessari fer el quocient de la tensió màxima d'entrada de l'inversor entre la V_{oc} del panell, en STC. Amb aquest mètode trobarem el nombre màxim de mòduls que es poden seriar sense sobrepassar els rangs de treball màxim.

$$N_{smax} = \frac{600}{50,3} = 12 \text{ panells} \quad \text{Equació 8.17}$$

$$N_{smax} = \frac{90}{50,3} = 2 \text{ panells} \quad \text{Equació 8.18}$$

Després de veure el nombre màxim i mínim de panells en sèrie, cal considerar que com l'ondulador té 2 entrades MPPT s'utilitzaran ambdues per optimitzar al màxim la potència extreta a la sortida de CA de l'inversor. Per tant es decideix que s'usaran 12 mòduls fotovoltaics en total disposats en 2 cadenes de 6 mòduls en sèrie cadascuna.

Per comprovar que estigui ben dimensionat el sistema dels camp solar i l'inversor híbrid, es farà ús de l'equació 6.4. per verificar que el factor de dimensionament sigui el correcte.

$$R_s = \frac{5400}{4400} = 1,22 \quad \text{Equació 8.19}$$

Com es pot comprovar, el factor de dimensionament si entra en els rangs òptims d'una instal·lació fotovoltaica. A més a més, cal remarcar que la disposició dels mòduls en dues branques ens permet afegir mòduls per augmentar l'energia produïda, en el cas que s'augmentés la demanda de consum en un futur o el rendiment del sistema no fos l'esperat.

En l'Annex 2 es podrà comprovar la disposició dels mòduls fotovoltaics sobre la teulada de l'habitatge del carrer Enamorats N° 13.

8.3.6. Dimensionament del sistema d'emmagatzematge

El sistema de càrrega i descàrrega de l'inversor de la sèrie X1-Hybrid G4 pot anar equipat amb bateria de liti d'alt voltatge i bateria de plom. S'ha de tenir en compte que la tensió del sistema de bateries ha de ser inferior a la del camp fotovoltaic, si no es respecta aquesta condició el sistema d'emmagatzematge quedaria inutilitzat al no poder circular el corrent en ell. Les bateries de ió-liti tenen una gran popularitat i demanda en el sector ja que proporcionen una alta demanda d'energia, a part de tenir un gran rendiment en tot tipus de condicions i tenen un llarg cicle de vida. Per contra, tenen un preu més elevat que els altres tipus de bateries del mercat. []

Per tant, es decideix la instal·lació d'una unitat del model de bateria T58 d'ió-liti. Finalment, la capacitat nominal serà de 5,8 kWh ja que és el model més òptim per dimensions i amb possibilitat d'augmentar notòriament la capacitat d'emmagatzematge en un futur si s'escau. La gran avantatge cau en que la bateria T-BAT H 5.8 és la bateria la qual inclou el BMS i permet gestionar els fluxos de potència de l'inversor.



Figura 8.11.- Models de bateria T59.

Les característiques tècniques de la bateria seleccionada proporcionades pel fabricant es representen seguidament:

Taula 8.8.- Taula sobre les característiques tècniques de la bateria

Característiques tècniques de la bateria seleccionada	
Tipus	LiFePO4
Tensió nominal (V)	115,2
Rang de tensió (V)	100-131
Energia total (kWh)	5,8
Eficiència (%)	95
Màxim corrent de càrrega i descàrrega (A)	35
Cicles de vida	6000
DoD (%)	90

Segons el fabricant, la vida útil de les bateries LiFePO4 amb una descàrrega fins el 90% de 6000 cicles i una garantia de 10 anys de durada. Es considera que el sistema tindrà un total de 1,3 dies d'autonomia amb la relació de capacitat de la bateria i la potència de consum diària de l'habitatge.

També s'ha de tenir en compte que el màxim voltatge de la bateria no pot sobrepassar els 480 V, i el voltatge nominal de la bateria no ha de passar dels 360 V, i abans de connectar la bateria, s'haurà d'instal·lar un fusible modular (MCB) de CC no polaritzat per la seguretat de la instal·lació.

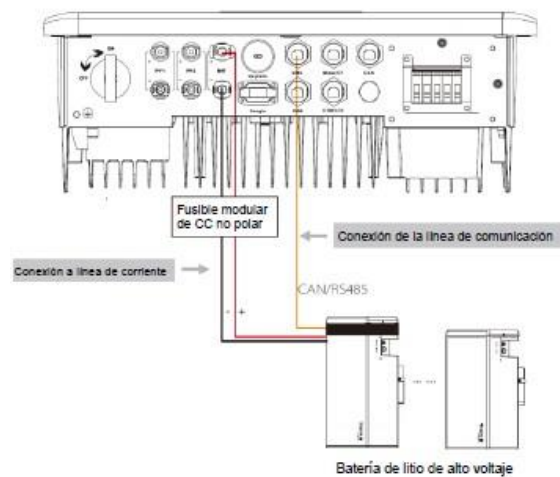


Figura 8.11.- Connexions de les bateries amb l'inversor Solax.

8.3.7. Selecció de les estructures de suport dels panells

L'estructura de suport dels mòduls fotovoltaics es situarà sobre la Teulada de l'habitatge per així aprofitar el màxim de superfície útil possible. A més a més, al no tenir grans ombres durant el dia dona gran valor a aquest tipus d'instal·lació, encara que no instal·lem els panells amb la inclinació òptima segons la localització geogràfica. El sistema ha d'estar ben ancorat perquè suporti el pes dels panells a part d'altres factor meteorològics. Normalment les barres d'aquestes estructures són d'alumini i estan recoberts d'una petita capa d'òxid per evitar la corrosió i que es malmeti l'estructura. L'estructura que permetrà la instal·lació dels panells és del fabricant Aplitech del grup Circutor degut a que la instal·lació és senzilla i versàtil segons cada coberta a més de tenir elements amb molt fàcil manteniment.

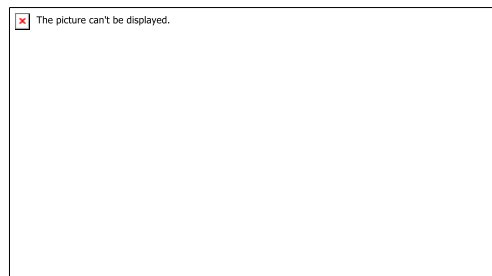


Figura 8.12.- Estructura de suport Aplitech per els mòduls fotovoltaics.

8.3.8. Sistema de distribució

Tots els trams de cablatge que es plantegin a la instal·lació, tant de la part de contínua com de la part d'alterna, han de complir el Reglament Electrotècnic de Baixa Tensió (REBT) com s'ha comentat anteriorment.

Per a la instal·lació s'utilitzarà el conductor de tipus aïllat amb polietilè reticulat (XLPE 90°C), per la seva alta temperatura màxima i gran aïllament (RV-K 0,6 kV), amb conductor de coure i normalitzat segons la norma UNE 21123.

Cal triar un valor de secció correcte, per evitar possibles augments de caigudes de tensions, que comportin augments del corrent que circula i que comporta un augment de la temperatura. Aquest augment de temperatura pot suposar el deteriorament del material aïllant, que suposa un augment de la possibilitat de curtcircuit i de perill d'incendi.

8.3.8.1. Secció i caiguda de tensió del cablejat

A continuació es realitzaran els càlculs respectius per cada tram de la instal·lació fotovoltaica:

- **Mòdul-Mòdul**

El valor de corrent que circula per un string de mòduls fotovoltaics connectats en sèrie, és el corrent màxim de potència del mòdul (I_{MP}). Segons la *ITC-BT-40* del REBT el corrent que circula pels conductors ha d'estar sobredimensionat mínim un 125% de la màxima intensitat del mòdul.

$$I_{string} = 1,25 \cdot I_{MP} \quad \text{Equació 8.20}$$

$$I_{string} = 1,25 \cdot 10,87 = 13,59 \text{ A} \quad \text{Equació 8.21}$$

La tensió en el Bus de CC per part dels panells solar considerant la suma de 6 d'ells, és d'un total de 301,8 V. La secció del conductor ve donada per la de l'equació 6.9 del projecte on la caiguda de tensió màxima no pot superar el 1,5% i la longitud total és de 15 metres.

$$S = \frac{2 \cdot 0,023 \cdot 15 \cdot 13,59}{0,015 \cdot 301,8} = 2,07 \text{ mm}^2 \quad \text{Equació 8.22}$$

Per tant, la secció comercial triada és la de 2,5 mm². Per altra banda, segons la taula de la *ITC-BT-19* d'intensitats admissibles, el corrent que circula per aquest cable és de 21 A.

Finalment, es calcula que no es supera la caiguda de tensió del 1,5%.

$$e_{string} = \frac{2 \cdot 0,023 \cdot 15 \cdot 13,59}{2,5 \cdot 301,8} = 1,243\% \quad \text{Equació 8.23}$$

- **Mòdul-Generador**

caiguda de tensió no pot superar el 1,5% en un string, al igual que el tram anterior. Per calcular el corrent que circula pel conductor s'ha de multiplicar el nombre total de string per la I_{string} calculada anteriorment.

$$I_{FV} = n_{strings} \cdot I_{MP} \quad \text{Equació 8.24}$$

$$I_{FV} = 2 \cdot 10,87 = 21,74 \text{ A} \quad \text{Equació 8.25}$$

Per buscar la secció de cable en mm^2 , s'ha de tenir en compte la intensitat generada per aquest tram.

$$S_{FV} = \frac{2 \cdot 0,023 \cdot 10 \cdot 21,74}{0,015 \cdot 301,8} = 2,21 \text{ mm}^2 \quad \text{Equació 8.26}$$

Segons el fabricant de l'inversor, la instal·lació del cable solar normalment utilitzat de 6 mm^2 de secció amb un corrent màxim admissible de 49 A.

Per comprovar que la caiguda de tensió no superi el 1,5% establert es realitza el següent càlcul amb una longitud de cable de 10 m en el tram en qüestió.

$$e_{FV} = \frac{2 \cdot 0,023 \cdot 10 \cdot 21,74}{6 \cdot 301,8} = 0,552\% \quad \text{Equació 8.27}$$

- **Inversor-Bateries**

La I_{max} de càrrega i descàrrega de les bateries es fixa de 35A.

$$I_{BAT} = 1 \cdot 35 = 35 \text{ A} \quad \text{Equació 8.28}$$

La secció del tram es calcularà tenint en compte la tensió nominal de la bateria, en aquest cas de 100V i una distància entre l'inversor i la bateria de 1 m.

$$S = \frac{2 \cdot 0,023 \cdot 1 \cdot 35}{0,01 \cdot 100} = 1,61 \text{ mm}^2 \quad \text{Equació 8.29}$$

Igual manera que en el tram anterior es considera un cable de 6 mm^2 amb una màxima intensitat admissible de 49 A.

Cal comprovar que la caiguda de tensió del tram no superi l'1% establert.

$$e_{BAT} = \frac{2 \cdot 0,023 \cdot 1 \cdot 35}{6 \cdot 301,8} = 0,268\% \quad \text{Equació 8.30}$$

- **Inversor-Xarxa elèctrica**

L'últim tram a dimensionar és el de la sortida en CA monofàsica cap al CGBT de la instal·lació on es connecta amb la xarxa elèctrica. La sortida de l'inversor cap a la CGBT és de 6 mm² i una intensitat de CA de 21 A.

$$I_{AC} = 1,25 \cdot 21 = 26,25 \text{ A} \quad \text{Equació 8.31}$$

La longitud de l'inversor a la CGBT es considera d'uns 10 metres aproximadament. Per tant la caiguda de tensió resultant és:

$$e_{AC} = \frac{2 \cdot 0,023 \cdot 10 \cdot 26,25}{6 \cdot 230} = 0,875\% \quad \text{Equació 8.32}$$

8.3.9. Sistema de proteccions

L'inversor SolaX X1-Hybrid ja porta proteccions internes que protegeixen les càrregues domèstiques de la instal·lació. D'igual manera s'han d'instal·lar d'igual manera dispositius de tall del corrent elèctric per protegir la resta de la instal·lació.

- **Proteccions de corrent continu**

Per els circuits de corrent continu, es farà ús de díodes by-pass i d'antiretorn per protegir el circuit elèctric contra possibles sobrecàrregues.

La intensitat nominal I_n (A) que circula pel fusible, es calcula segons l'equació 6.12:

$$10,87 \text{ A} \leq 16 \text{ A} \leq 21 \text{ A} \quad \text{Equació 8.33}$$

La segona condició és la referent a l'equació 6.13:

$$I_f \leq 1,45 \cdot 21 \text{ A} = 30,45 \text{ A} \quad \text{Equació 8.34}$$

El fusible que protegeix el mòdul es considerarà de 16 A per string amb un protecció de sobretensions de fins a 600V de contínua i díodes by-pass disposats en paral·lel de cada panell. També és necessària la instal·lació d'un descarregador de sobretensions connectat al terra de la instal·lació.

Considerant el tram de l'inversor a la bateria, també s'ha d'instal·lar un fusible per tallar el corrent de CC en cas d'algun inconvenient que pugui malmetre la instal·lació. La màxima intensitat admissible per part del fusible de la bateria serà de 63 A

$$35 \text{ A} \leq 40 \text{ A} \leq 63 \text{ A} \quad \text{Equació 8.35}$$

$$I_f \leq 1,45 \cdot 35 \text{ A} = 50,75 \text{ A} \quad \text{Equació 8.36}$$

- **Proteccions de corrent altern**

Els circuits elèctrics situats entre l'inversor i la CGBT també necessita proteccions externes per no danyar el conjunt de càrregues domèstiques de l'habitatge. En la instal·lació es requereixen interruptors automàtics magnetotèrmics per protegir els circuits de CA davant de sobreintensitat o curtcircuits.

La intensitat nominal del interruptor automàtic magnetotèrmic serà de 32 A ja que la intensitat de funcionament del circuit d'alterna és de 21 A.

$$21 A \leq 26,5 A \leq 32 A$$

Equació 8.37

A més a més, de la instal·lació de l'interruptor magnetotèrmic és necessària la instal·lació d'un interruptor diferencial que garanteix la protecció contra contactes indirectes en l'habitatge. Aquest interruptor diferencial serà mínim del tipus B i segons la normativa vigent tindrà una Per altra banda, en el tram de CA també és necessària la instal·lació d'un dispositiu descarregador de sobretensions.

Les proteccions d'interconnexió ha de desconnectar de la xarxa elèctrica, els circuits de l'habitatge. Si detecta que la tensió és al 0,85 o superior al 1,1 de la tensió nominal de la instal·lació aquests tallaran el corrent. També han de garantir que el rang de freqüència de treball de l'ona sinusoidal a la sortida de l'inversor és entre 49-51 Hz.

8.3.10. Posada a terra

La posta a terra de la instal·lació de la micro-xarxa híbrida no caldrà realitzar-se, ja que com s'ha indicat en la enginyeria conceptual, tant la part de CC com la part de CA de la instal·lació van connectades a la derivació a terra de l'habitatge general.

8.4. Implementació de l'EMS

Es volen implementar solucions comercials a nivell operatiu mitjançant la introducció de 4 relés que s'obrin o es tanquin segons les necessitats bàsiques del SGE.

- **Interruptor del generador fotovoltaic (T_{FV}):**
 - Es mantindrà obert quan la generació fotovoltaica sigui igual a 0 ($FV = 0$).
 - Es mantindrà tancat quan es desitja alimentar les càrregues, carregar el sistema d'emmagatzematge o injectar a la xarxa si s'escau.
- **Interruptor del sistema d'emmagatzemament (T_{bat}):**
 - Es mantindrà obert quan la càrrega de la bateria es trobi al màxim permès per aquesta ($SoC = 1$) i la potència demandada per les càrregues sigui menor que la generada ($FV \geq C\grave{a}rregues$).
 - Es mantindrà en tancat quan la demanda de les càrregues sigui superior a la generació fotovoltaica ($P_{FV} < P_C$) i en períodes on existeixi energia sobrant per carregar les bateries ($SoC = 0$; $FV \geq C\grave{a}rregues$).
- **Interruptor de connexió amb la xarxa elèctrica (T_{xarxa}):**
 - Es mantindrà obert quan la potència demandada per les càrregues sigui menor que la potència subministrada pel camp fotovoltaic i el sistema d'emmagatzemament ($(FV + BAT) > C\grave{a}rregues$).
 - Es mantindrà tancat en el cas que no existeixi generació fotovoltaica i no hi hagi suficient energia emmagatzemada en les bateries per poder satisfer la demanda energètica de les càrregues ($(FV + BAT) < C\grave{a}rregues$). Com primerament s'ha decidit no injectar a la xarxa elèctrica l'energia excedent, no es considera en l'actualitat.
- **Interruptor de les càrregues (T_C):**
 - Sempre es mantindrà tancat perquè les càrregues elèctriques es puguin alimentar en qualsevol moment del dia.

A nivell tàctic es necessari dotar el sistema d'un segon anell lògic de dispositius de mesura i interruptors amb l'objectiu d'optimitzar el consum energètic de la micro-xarxa i poder aplicar les diferents tàctiques de gestió energètica mencionades anteriorment. Les tàctiques de funcionament anteriorment mencionades de l'EMS i que es volen implementar en el projecte venen descrites a continuació:

- **Peak shaving:** L'objectiu principal d'implementar aquesta tàctica no és més que limitar la potència extreta de la xarxa elèctrica. S'ajusta un valor en kWh el qual no es pot superar i l'energia requerida per les càrregues vindrà subministrada mitjançant l'energia emmagatzemada per les bateries procedent de la solar fotovoltaica. Perquè es pugui arribar a realitzar aquesta tàctica de gestió, és necessària la instal·lació d'un equip de mesura perquè aporti la potència instantània aportada per la xarxa elèctrica.

- **Load shifting:** Consisteix en desplaçar certes càrregues de les hores pic a les hores vall, on el preu de la energia és més barat. Es necessita un dispositiu de control de les càrregues elèctriques.
- **Load shedding:** Tàctica que consisteix en impedir la simultaneïtat de funcionament de les càrregues amb l'objectiu de reduir la demanda de potència en un breu període de temps. Per aconseguir la seva implementació cal dotar la micro-xarxa d'un anell lògic el qual avalui l'estat de les càrregues per poder permetre o no el seu funcionament.

Per implementar alguna d'aquestes tàctiques mencionades, l'inversor SOLAX X1-Hybrid-5.0-D, mitjançant el seu BMS té diferents modes de funcionaments. El BMS permet gestionar i controlar els possibles estats de la micro-xarxa. Aquests modes s'adapten a les diferents necessitats energètiques de l'usuari per fer un ús òptim tant de l'energia produïda com la consumida. A continuació s'explicaran cada un d'aquests modes i quines característiques principals tenen a l'hora de gestionar els fluxos d'energia de la micro-xarxa:

- **Self Use (Ús propi):** El mode Self Use (Ús propi) és adequat per a zones amb poca demanda per part de les càrregues i elevats preus de l'electricitat.

Taula 8.9.- Mode de funcionament Self Use.

Estats	Descripció
Quan és suficient el corrent FV	<p>Període de càrrega o descàrrega activa: l'energia PV alimentarà primer les càrregues i després l'excedent d'energia carregarà la bateria. Si la bateria està completament carregada, l'inversor limitarà la sortida si es necessita alimentació o no hi ha subministrament.</p> <p>$FV > \text{càrrega}, FV \rightarrow \text{Càrrega} \rightarrow \text{Bateria} \rightarrow \text{Xarxa}$</p>
Quan el corrent PV és insuficient	<p>Període de càrrega activa: l'energia PV alimentarà primer les càrregues i l'energia restant s'extraurà de la xarxa. La bateria no es descarregarà aleshores.</p> <p>$FV < \text{Càrrega}, FV + \text{Xarxa} \rightarrow \text{Càrrega}$</p>
	<p>Període de descàrrega: FV+BAT alimentaran les càrregues conjuntament. Si el corrent no és suficient, l'energia restant s'extraurà de la xarxa.</p> <p>$FV < \text{Càrrega}, PV + \text{Bateria} + \text{Xarxa} \rightarrow \text{Càrrega}$</p>
Sense energia PV	<p>Període de càrrega activa: la xarxa subministra les càrregues i també pot carregar la bateria.</p> <p>$FV = 0, \text{Xarxa} \rightarrow \text{Càrrega} + \text{Bateria}$</p>
	<p>Període de descàrrega activa: La bateria alimentarà primer les càrregues de la casa. Si el corrent de la bateria no és suficient, l'energia restant s'extraurà de la xarxa. L'inversor es posarà en estat d'espera.</p> <p>$FV = 0, \text{Bateria} + \text{Xarxa} \rightarrow \text{Càrrega}$</p>

- **Feed-in priority (Subministrament prioritari):** És adequat per a zones amb alta producció però amb limitació de subministrament.

Taula 8.10.- Mode de funcionament Feed-in.

Estats	Descripció
Quan és suficient el corrent FV	<p>Període de càrrega activa: L'energia FV alimentarà primer les càrregues i l'excedent d'energia passarà com a subministrament a la xarxa. Si el subministrament és limitat, l'excedent pot carregar la bateria.</p> <p style="text-align: center;">(FV > Càrrega, FV → Càrrega → Xarxa → Bateria)</p>
	<p>Període de descàrrega activa: L'energia FV alimentarà primer les càrregues i l'excedent d'energia passarà com a subministrament a la xarxa.</p> <p style="text-align: center;">(FV > Càrrega, FV → Càrrega → Xarxa)</p>
Quan el corrent PV és insuficient	<p>Període de càrrega activa: L'energia PV alimentarà primer les càrregues i l'energia restant s'extraurà de la xarxa. La bateria no es baixarà.</p> <p style="text-align: center;">FV < Càrrega, PV + Xarxa → Càrrega</p>
	<p>Període de descàrrega: FV+BAT alimentaran les càrregues conjuntament. Si el corrent no és suficient, l'energia restant s'extraurà de la xarxa.</p> <p style="text-align: center;">FV < Càrrega, PV + Bateria + Xarxa → Càrrega</p>
Sense energia PV	<p>Període de càrrega activa: La xarxa alimentarà les càrregues de la casa i també carregarà la bateria.</p> <p style="text-align: center;">FV = 0, Xarxa → Càrrega + Bateria</p>
	<p>Període de descàrrega activa: La bateria alimentarà primer les càrregues de la casa. Si el corrent de la bateria no és suficient, l'energia restant s'extraurà de la xarxa. L'inversor es posarà en estat d'espera.</p> <p style="text-align: center;">FV = 0, Bateria + Xarxa → Càrrega</p>

- **Backup Mode (Mode de còpia de seguretat):** És adequat per a zones amb freqüents talls de llum. Té les mateixes normes de funcionament que en el mode *Self Use*. Aquest mode mantindrà la capacitat de la bateria a un nivell relativament alt segons la configuració desitjada per l'usuari per assegurar-se que les càrregues d'emergència es puguin utilitzar quan la xarxa no funcioni. Amb aquest mètode, els clients no s'han de preocupar per la capacitat de la bateria.

- **Off-grid (Fora de la xarxa):** L'inversor té una funció fora de la xarxa i es fa servir quan ha caigut aquesta. La funció Off-grid es pot connectar a una part del subministrament o també es pot utilitzar per connectar tot el subministrament. El sistema proporciona corrent d'emergència per energia FV i bateries per alimentar les càrregues domèstiques.

Taula 8.11.- Mode de funcionament Off-grid.

Estats	Descripció
Quan és suficient el corrent FV	L'energia FV alimentarà primer les càrregues i després l'excedent d'energia carregarà la bateria. $FV > \text{Càrrega}, FV \rightarrow \text{Càrrega} \rightarrow \text{Bateria}$
Quan el corrent PV és insuficient	El corrent restant s'extraurà de la bateria. $FV < \text{Càrrega}, PV \rightarrow \text{Càrrega}$
Sense energia PV	La bateria alimentarà les càrregues d'emergència fins que arribi al SOC mínim, aleshores l'inversor passarà inactiu. $FV = 0, \text{Bateria} \rightarrow \text{Càrrega}$

Cal afegir que en cas de connexió amb la xarxa elèctrica, tots els modes de funcionament funcionen amb normalitat quan el SOC de la bateria és superior al 5%. Quan la càrrega de la bateria estigui per sota del 5%, l'energia fotovoltaica o de la xarxa primer carregarà fins a un 11% de SOC de la bateria i després tornarà al mode de funcionament seleccionat per l'usuari.

Quan es parla de la gestió de càrregues a nivell estratègic, es considera clau saber del mercat energètic territorial, per tant es necessari tenir coneixement de les comercialitzadores, distribuïdores, horaris i tarifes aplicables. Primerament, s'ha de saber la potència necessària i l'energia anual consumida a partir d'una auditoria energètica. Un cop es sap quins són els punts claus del nostre consum s'han de buscar les diferents alternatives com tots els tipus de tarifes disponibles que ens presenta el mercat a través. Aquesta tàctica s'implementarà uns mesos després de la instauració del projecte degut a que es vol esperar a tenir més informació del funcionament de la mico-xarxa.

8.4.1. Equips de mesura i monitorització

Els sistemes de mesurament i registre de variables per la generació d'energia són essencials per poder vigilar el correcte funcionament de la instal·lació fotovoltaica. El seguiment de les dades que ofereixen aquests equips de mesura contribueix a optimitzar el funcionament d'aquesta instal·lació i a detectar les possibles fallades que puguin sorgir. Fer un bon sistema de motorització ajuda a reportar informació per a diferents condicions climatològiques i millorar el disseny i la metodologia de l'EMS.

Segons el *Reial Decret 1100/2007* tota la informació al·lusiva als sistemes de mesura ve dictada en aquest document. El responsable del sistema fotovoltaic haurà d'indicar on aniran situats els equips de mesura, però caldrà ajustar-se amb el punt d'unió a la xarxa.

D'altra banda, s'hauran de col·locar dispositius de comunicació per a la lectura remota. Es disposaran dispositius mesuradors els quals poden parametritzar les dades rebudes i emmagatzemar-les per posteriors càlculs de les tarifes de subministrament, com pot ser per exemple l'analitzador de consums Wibeec.

8.4.1.1. Comunicació del vatímetre/CT

L'inversor X1-Hybrid G4 funciona amb un comptador elèctric o un sensor de corrent (CT) que controlen el consum elèctric del domicili. El comptador elèctric o el CT poden transmetre les dades elèctrics rellevants a l'inversor o la plataforma, que convé que els usuaris vegin de tant en tant. La configuració de l'equip de mesura es farà a través de la pantalla LCD de l'inversor. El cables que produiran la comunicació del meter a través dels ports RS-485 van als terminals 4 i 5 de l'inversor i els del CT als terminals 1 i 8.

8.4.1.2. Comunicació COM

El dispositiu bàsicament s'encarrega de la gestió i comunicació de la instal·lació solar de forma local i està gestionat per un microcontrolador industrial. Té una interfície de comunicació estàndard, mitjançant la qual s'obtenen directament les dades de monitorització de l'inversor. Així mateix, es poden connectar altres aparells de comunicació externs per dur a terme les funcions de gestió d'energia de l'inversor.

- **RS-485:** És utilitzat per obtenir informació del propi inversor en tots els seus nivells i així controlar o realitzar canvis en la configuració. L'accés de tota aquesta informació es realitza mitjançant el protocol de comunicacions industrials Modbus-RTU.

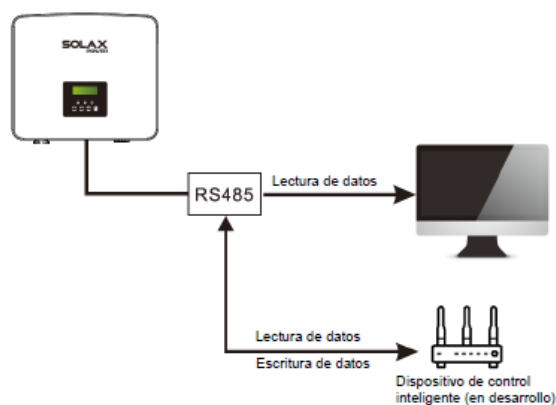


Figura 8.12.- Esquema de comunicació a través de RS-485.

- **Wifi:** L'equip treballa de dues formes diferents de comunicació per senyal wifi.
 - **AP:** Generant el seu propi punt d'accés a l'equip de forma local i canviar ajustaments i configurar-lo inicialment. El microcontrolador conté un servidor Modbus-TCP que permet accedir als diversos paràmetres de configuració entre els quals es troba el SSID i la contrasenya Wifi que s'utilitzarà per l'enviament de dades.
 - **STA:** Connectant-se com a client a una xarxa per poder enviar informació del propi equip i interactuar amb ell. Aquesta interacció es realitza mitjançant la utilització de HTTP Post.

9. Pressupost

A continuació s'ajuntaran els materials pressupostats per el muntatge i posada en marxa de la instal·lació fotovoltaica i el SGE de l'habitatge.

Taula 9.1.- Material elèctric pressupostat.

Material elèctric pressupostat				
Element	Fabricant	Unitats	€/unitat	Cost total (€)
Mòduls fotovoltaics	ZNSHINE	12	180	2160
Bateries	SOLAX POWER	1	3466,4	3466,4
Inversor híbrid	SOLAX POWER	1	1617,6	1617,6
Suport Coplanar	Aplitech	3	250	750
Kit d'únió de l'estructura	Aplitech	3	15,76	47,28
Pocket Wifi	SOLAX POWER	1	22	22
Vatímetre	Chint	1	115	115
Conductor unipolar RV-K XLPE 2,5 mm2	LEXMAN	15 m	1,6	24
Conductor unipolar RV-K XLPE 6 mm2	LEXMAN	25 m	1,775	44,38
Tub rígid PVC	Leroy Merlin	30 m	1,08	32,4
Fusible 16 A	Mersen	2	4,83	9,66
Fusible 40 A	Mersen	2	7,68	15,36
Interruptor diferencial 40 A 30 mA	LS Electric	1	129,68	129,68
Interruptor magnetotèrmic C32 6 kA	LS Electric	1	33,08	33,08
Descarregador sobretensions CC	Cirprotect	1	44,5	44,5
Descarregador sobretensions CA	Cirprotect	1	48,7	48,7
Diode de protecció pels mòduls 16 A	Mersen	12	1,04	12,48
SUBTOTAL				8572,52

A continuació, s'adjuntarà el pressupost total de la mà d'obra de la instal·lació, els costos destinats a la seguretat i tot el cost econòmic documentació necessària per la tramitació i legalització de la instal·lació.

Taula 9.1.- Ma d'obra, seguretat i salut.

Ma d'obra, seguretat i salut i tràmits			
Concepte	U.	€/u.	Total (€)
Muntatge instal·lació fotovoltaica i connexió d'equips de mesura i protecció	30	40	1200
Seguretat i salut	1	500	500
Documentació, tramitació i legalització	1	300	300
SUBTOTAL			2000

Les empreses instal·ladores generalment apliquen un 13% del subtotal de l'import degut a les despeses generals. També s'ha de tenir en compte que existeix un percentatge d'un 6% sobre el

subtotal. Aquesta despesa es considera el benefici que extreu l'empresa en la implementació del projecte. Finalment, se li ha d'afegir el 21% d'IVA. Aquests percentatges finals sumats al subtotal acumulat, generen l'import total del pressupost.

Taula 9.3.- Pressupost total

Imports addicionals	10572,515
Despeses general (13%)	1663,06
Benefici industrial (6%)	672,41
SUBTOTAL	12907,98
IVA (21%)	2710,68
Pressupost total	15618,66

En resum, el pressupost total per la implementació del projecte és de quinze mil sis cents divuit amb seixanta sis cèntims.

10. Estudi de viabilitat econòmica

El primer pas a realitzar per fer un estudi de la viabilitat econòmica és obtenir el pressupost total de la instal·lació. D'aquesta manera es podrà saber la inversió inicial a realitzar per part del consumidor i trobar la rendibilitat que proporciona la instauració de la micro-xarxa.

Per a la realització de l'anàlisi econòmic a part de tenir en compte tot el material pressupostat inicialment també és necessari saber el cost de l'enginyeria projectista, els tràmits administratius i de seguretat, taxes. A més de tots aquests s'han de considerar les despeses que es generen anualment per el manteniment i funcionament de la instal·lació fotovoltaica.

- Manteniment
- Assegurança
- Vida útil
- Pèrdua de rendiment dels mòduls
- Índex de preus de consum (IPC)

Un cop extrets els valors en tant per cent, es podrà extreure el benefici total de la instal·lació anual. El benefici anual es considera la diferència existent entre la inversió total de la implementació de la micro-xarxa i l'estalvi generat per la producció d'energia solar fotovoltaica i la reducció de consums.

10.1. VAN

El VAN és el sumatori de tots els fluxos de caixa de cada any considerant la inversió inicial del projecte. En resum, mesura els ingressos i despeses de cada any i tenint en compte el tipus d'interès, el qual es considerarà del 3% anual. El VAN es calcula mitjançant la següent expressió:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} - I_0 \quad \text{Equació 10.1}$$

La inversió en el projecte es considera rentable quan el valor del VAN és positiu, per tant que tots els fluxos de caixa acumulats superen la inversió inicial realitzada. Al llarg dels 25 anys de vida útil de la instal·lació es genera un VAN positiu de 8611,24 €.

10.2. TIR

El TIR és una taxa que es calcula a partir del VAN de la inversió inicial del projecte, considerant a parir de que el seu valor sigui igual a 0. L'expressió del TIR inclou els paràmetres de càlcul del VAN i és de la següent manera:

$$TIR = \sum_{T=0}^n \frac{F_n}{(1+i)^n} \quad \text{Equació 10.2}$$

Una inversió serà rentable si el percentatge resultant del TIR és major que l'índex d'interès referent a la inversió inicial. El resultat final obtingut és del 8%.

10.3. Període de retorn

El període de retorn indica els anys necessaris per recuperar tota la inversió inicial realitzada a partir dels beneficis anuals. La expressió per calcular el període de retorn és el següent:

$$PR = \frac{I_0}{Ba} \quad \text{Equació 10.2}$$

Per tant, el PR total és de 14 anys. Tenint en compte la forta inversió inicial es conclou que la inversió acabarà sent rentable en un temps força adequat.

11. Impacte ambiental

Des de l'inici del projecte es va establir que una de les fites principals fos la disminució de l'emissió de gasos d'efecte hivernacle, provocats en gran part pels combustibles fòssils com a ús per a la generació d'energia elèctrica. Aquest és el motiu pel qual la proposta es basa en el disseny d'una micro-xarxa amb recolzament fotovoltaic.

Les instal·lacions solars fotovoltaïques es caracteritzen per ser una Font de subministrament elèctric, les quals tenen un menor impacte mediambiental, a diferència d'altres com les centrals tèrmiques. Això és degut a que aquest tipus d'instal·lacions no generen tant d'impacte en la fauna i la flora de l'entorn on es situen. A més, des d'una visió estètica, passen molt més desapercebuts, degut a que es fusionen fàcilment amb l'arquitectura de qualsevol edifici.

Tot i així, és important destacar i emfatitzar que, tot i fer una reducció en aquest impacte, cap de les energies renovables provoca un impacte nul a l'ecosistema. En el cas de les fotovoltaïques, tot i no provocar aquest impacte per sí mateixes, sí que ho fan en el seu procés de fabricació i logística. L'impacte, però, serà compensat en un període d'entre dos i quatre anys, i tenint en compte que la vida útil de mitja per als panells és de 25 anys, aquest període de compensació cap al medi ambient és de termini molt curt.

La magnitud i la gravetat de les possibles conseqüències que podrien sorgir de la construcció d'un camp solar són les variables a tenir en compte a l'hora de realitzar un estudi d'impacte mediambiental, sempre amb l'objectiu de reduir-lo.

11.1. Avantatges mediambientals

A continuació s'exposen els principals avantatges existents sobre l'impacte ambiental:

- L'energia que generen els mòduls fotovoltaics, a més de ser gratuïta, és completament inesgotable degut a la seva qualitat de renovable. Conseqüentment, això suposarà un estalvi econòmic, el qual alhora augmentarà la independència de la xarxa principal de distribució.
- No hi ha una generació de residus ni gasos contaminant o d'efecte hivernacle durant el procés de la generació de l'energia.
- Tampoc existeix un impacte acústic, principalment per la pròpia no-generació de residus.
- L'impacte visual, com s'ha esmentat anteriorment, no existeix a les zones urbanes gràcies al seu fàcil acoblament en cobertes, com es el cas de la micro-xarxa instaurada, o en altres zones inutilitzades.
- Actualment, degut al preu de l'electricitat i a la dependència energètica, es contempla la possibilitat de fer un augment de les instal·lacions d'aquest tipus, afavorint així la generació que es distribueix, i reduint costos i pèrdues energètiques.
- Ajuda al procés de reduir les emissions contaminants, contribuint així als compromisos mediambientals actuals.

11.2. Reducció de les emissions de CO₂

Per poder analitzar la reducció de les emissions de diòxid de carboni derivades de la micro-xarxa, es farà una comparació entre l'energia que es consumeix, i quant d'estalvi es produeix a partir de l'energia fotovoltaica.

Les conclusions obtingudes a partir d'aquest anàlisi han estat fetes a partir d'una observació que determina que l'ús d'electricitat disminueix 1443,02 kWh, obtenint dades d'un consum d'electricitat anterior a la implantació de 3811,57 kWh, i posterior de 2368,55 kWh . Això es produeix degut a la instal·lació fotovoltaica, independentment de si prové d'un consum directe o a partir de l'emmagatzematge.

A les factures de la companyia subministradora es calcula l'impacte mediambiental que el client té a partir del consum d'energia elèctrica. En una mitjana s'estableix, segons l'IDAE, que 0,075 kg CO₂/kWh són els kg de CO₂ que produeix una instal·lació fotovoltaica establert a un territori extrapeninsular. A partir d'aquí es fa un càlcul de la reducció que es produeix en les emissions de diòxid de carboni.

Taula 11.1.- Taula sobre l'impacte ambiental.

Any	Emissions energia convencional (kg/CO₂)	Emissions energia renovable (kg/CO₂)
0	1306,82	95,40
1	2613,64	190,80
2	3920,46	286,20
3	5227,28	381,60
4	6534,10	477,00
5	7840,92	572,40
6	9147,74	667,80
7	10454,56	763,20
8	11761,38	858,60
9	13068,20	954,00
10	14375,02	1049,40
11	15681,84	1144,80
12	16988,66	1240,20
13	18295,48	1335,60
14	19602,30	1431,00
15	20909,12	1526,40
16	22215,94	1621,80
17	23522,76	1717,20
18	24829,58	1812,60
19	26136,40	1908,00
20	27443,22	2003,40
21	28750,04	2098,80
22	30056,86	2194,20
23	31363,68	2289,60
24	32670,50	2385,00
25	33977,32	2480,40

En un període d'un any s'estima que hi ha un estalvi de l'emissió de fins a 1211,4 kg de diòxid de carboni a l'atmosfera. Aquesta xifra augmenta als 31496,92 kg, si es manté la variable dels 25 anys que té una instal·lació com a vida útil.

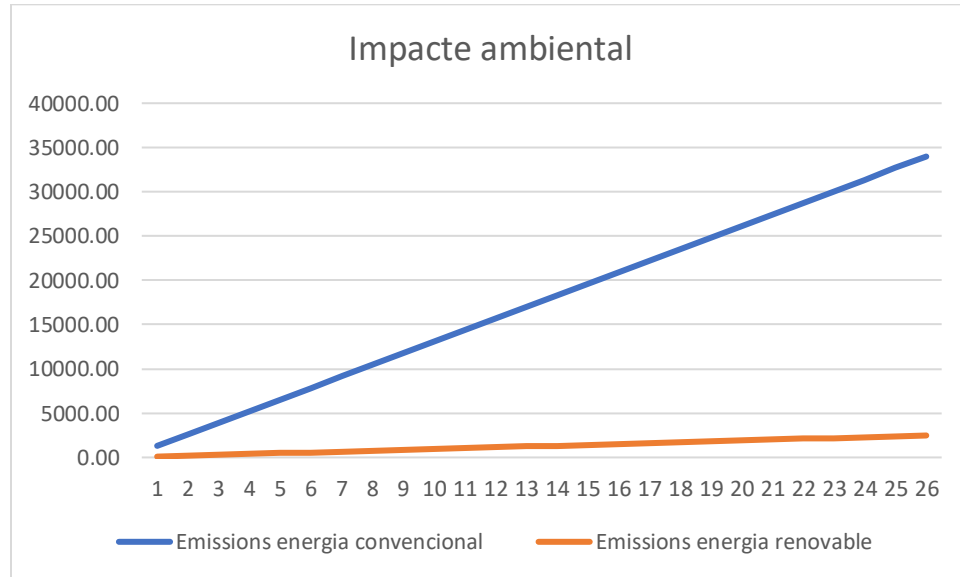


Figura 11.1.- Gràfic sobre l'impacte ambiental de la micro-xarxa.

Conclusions

Un cop acabat el projecte en el qual he treballat, es procedeix a fer les conclusions amb les observacions dels resultats que s'han obtingut sobre la elaboració d'aquest projecte d'implementació d'una micro-xarxa seguint els criteris d'utilització de l'energia elèctrica per reduir la petjada energètica.

Primer de tot, s'ha fet un estudi per recopilar tota la informació bàsica sobre les micro-xarxes, tant a nivell de legislació com els principis del funcionament de l'energia solar fotovoltaica. Un cop hem assolit aquests coneixements, hem descrit els fluxos de potència de la micro-xarxa prioritzant les fonts subministradores i consumidores. Aquest plantejament, permetrà aplicar-ho a qualsevol altre micro-xarxa només adaptant-nos a les noves necessitats i dimensions. Posteriorment, s'ha realitzat el disseny de la instal·lació solar fotovoltaica amb emmagatzematge. Finalment, s'ha desenvolupat un sistema de gestió d'energia per administrar els fluxos de potència de la micro-xarxa segons el consum domèstic i el recurs energètic disponible.

Així mateix, s'ha de tenir en consideració que la inversió inicial per muntar la micro-xarxa és considerable, però gràcies a la generació d'energia fotovoltaica i la disminució del consum de la xarxa, s'aconsegueix esmorteir la instal·lació en un període total de 14 anys, valor què és totalment positiu tenint en compte que la vida útil d'aquesta instal·lació és de 25 anys. Resumint, el benefici que representaria en aquest període de temps seria de 19649,15 € si ho comparem en el cas que no haguéssim implementat la micro-xarxa i per tant podem confirmar que el nostre projecte es totalment viable.

Des de el punt de vista del medi ambiental, s'aconsegueix disminuir considerablement l'emissió de diòxid de carboni a l'atmosfera, degut sobretot a la reducció del consum de la xarxa de distribució. Tenint en compte el preu altíssim del kWh a causa de la guerra de Rússia amb Ucraïna, ha estat de vital importància la instal·lació solar fotovoltaica a l'habitatge per aconseguir augmentar la generació d'electricitat a partir de la solar fotovoltaica, estalviant l'emissió de 1.211,4 kg de diòxid de carboni anuals a més de la disminució de la dependència energètica de combustibles fòssils per aconseguir frenar el canvi climàtic devastador que estem patint. Si aquesta dada l'extrapolem als 25 anys de la instal·lació evitarà emetre 31496,92 kg de CO₂. Per tant, el pla d'acció resultant ha estat un èxit ja que al fer la instal·lació rentable i aconseguir la reducció del consum elèctric amb implementacions de vidre aïllants per aconseguir la sinergia tèrmica.

Personalment, crec que s'ha complert gran part dels objectius que s'han proposat, encara que ha faltat temps per realitzar simulacions sobre el comportament de la micro-xarxa. De totes maneres al estar basat el projecte sobre la ISO 50.0001 sobre la millora continua de la eficiència energètica, aquestes millores es poden seguir implementant en els propers mesos o anys. Així mateix, s'ha repassat alguns temes sobre les micro-xarxes, instal·lacions fotovoltaiques, facturació elèctrica, cablejat i proteccions, etc; els quals m'han suposat enriquir-me de grans coneixements pel àmbit laboral el qual treballo. Per tot això considero que aquest projecte ha estat un procés totalment positiu que m'ajudarà a poder enfrontar en un futur pròxim la realització d'aquest projecte a

l'emplaçament seleccionat i intentar aconseguir que les generacions futures gaudeixin del planeta Terra tant com ho hem fet nosaltres, implementant les tecnologies energètiques que vagin sortint.

A més la execució d'aquest projecte ha portat a varies idees que finalment no s'han pogut executar i no s'han plantejat per falta de temps.

A continuació, es detallen les millores que podríem haver implementat en una ampliació de la micro-xarxa en el sistema de gestió de l'energia i la instal·lació fotovoltaica.

- La variabilitat i modificació de les normes vigents sobre la implantació del projecte. Per tant, s'ha de fer una revisió continua de la legalitat de la instal·lació.
- Seria important aplicar dispositius actuadors a partir de variables d'entrada i sortida i els quals apliquin tàctiques per l'EMS, i desplacin per exemple les càrregues que no siguin prioritàries en hores on el preu de la llum sigui més baix, a més de poder automatitzar la casa a partir de domòtica i fer-la encara més eficient energèticament.
- En un futur, es podria considerar si s'escau la venda de l'excedent d'energia a la xarxa elèctrica, per aconseguir d'aquesta manera una reducció en el cost de llum.
- S'ha trobat en falta a l'hora d'analitzar els consums domèstics, la instal·lació de dispositius analitzadors del consum per saber amb més detall quines càrregues domèstiques ens consumeixen més quantitat d'energia.
- El nombre de mòduls fotovoltaics instal·lats es podria sobredimensionar per aconseguir extreure més potència en el cas que s'implementessin nous aparells amb consums de potència més elevat.

Bibliografia

[1] Sistema Eléctrico Español - ATALAYA GENERACIÓN. (s. f.). ATALAYA Generación.
<https://www.atalaya.eu/renovables/sistema-electrico.php>

[2] Operación del sistema eléctrico | Red Eléctrica. (s. f.). Inicio | Red Eléctrica. <https://www.ree.es/es/actividades/operacion-del-sistema-electrico>

[3] CONOCE MEJOR EL SISTEMA ELÉCTRICO AL QUE TE CONECTAS | TotalEnergies. (s. f.). Compañía de luz y gas TotalEnergies.

<https://www.totalenergies.es/es/pymes/blog/conoce-el-sistema-eléctrico-al-que-te-conectas>

[4] Generación distribuida: definición y ventajas | Enel X. (s. f.). Enel X.

<https://corporate.enelx.com/es/stories/2020/09/distributed-energy-resources>

[5] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (s. f.). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. <https://www.miteco.gob.es/es/>

[6] Integración de los recursos energéticos distribuidos en el sistema eléctrico colombiano • CIDET. (s. f.). CIDET.

<https://cidet.org.co/integracion-de-los-recursos-energeticos-distribuidos-en-el-sistema-electrico-colombiano/>

[7] Qué es la energía solar fotovoltaica - Iberdrola. (s. f.). Iberdrola.

<https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/que-es-energia-fotovoltaica>

[8] Inici. (s. f.). Institut Català d'Energia. <https://icaen.gencat.cat/ca/inici/>

[9] Página de inicio. (s. f.). VMC. <https://www.vmc.es/es>

[10] Inicio | Idae. (s. f.). Inicio | Idae. <https://www.idae.es/>

[11] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico - Estructura del sector. (s. f.). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico - Energía. <https://energia.gob.es/electricidad/Paginas/sectorElectrico.aspx>

[12] Certificación del sistema de gestión energética ISO 50001 - AENOR. (s. f.). AENOR - Confianza en la marca más valorada. <https://www.aenor.com/certificacion/eficiencia-energetica/eficiencia-energetica-50001>

[13] Iniciativa Energía - Norma ISO-50001. (s. f.-a). Iniciativa Energía - Home. <https://www.iniciativaenergia.mx/eficiencia-energetica/norma-iso-50001>

[14] NB/ISO 50001: 2019- SISTEMA DE GESTIÓN DE ENERGÍA – REQUISITOS CON ORIENTACIÓN PARA SU USO (CORRESPONDIENTE A LA NORMA ISO 50001:2018) | IBNORCA. (s. f.). Inicio | IBNORCA. <https://www.ibnorca.org/es/noticias/nbiso-50001-2019-sistema-de-gestion-de-energia-requisitos-con-orientacion-para-su-uso>

[15] Microxarxa | enciclopedia.cat. (s. f.). enciclopèdia.cat | enciclopedia.cat. <https://www.enciclopedia.cat/ec-qec-0521955.xml>

[16] Smart grids and meters. (s. f.). Energy. https://energy.ec.europa.eu/topics/markets-and-consumers/smart-grids-and-meters_en?redir=1

[17] Villafáfila, Robert, "Apunts XEIE"

[18] Colaboradores de los proyectos Wikimedia. (2021, 23 de octubre). Microgrid - Wikipedia, la enciclopedia libre. Wikipedia, la enciclopedia libre. <https://es.wikipedia.org/wiki/Microgrid>

[19] I. Patrao, E. Figueres, G. Garcerá, and R. González-Medina, “Microgrid architectures for low voltage distributed generation,” vol. 43, pp. 415–424, 2015, doi: 10.1016/j.rser.2014.11.054.

[20] *Energies* 13

[21] R. Piqué López, “Capítol 10. Control de sistemes energètics. Cas de les microxarxes.”

[22] (s. f.). Pàgina inicial de UPCommons.

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/18094/1447.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[23] ¿Qué son las Smartgrid? | Red Eléctrica. (s. f.). Inicio | Red Eléctrica. <https://www.ree.es/es/red21/redes-inteligentes/que-son-las-smartgrid>

[24] Tightiz, H. Yang, and M. J. Piran, “A survey on enhanced smart micro-grid management system with modern wireless technology contribution,” 2020.

[25] De la Hoz, Jordi, “Guia PBL Estudi Tècnic.

[26] Inicio. (s. f.). Inicio. <https://www.codigotecnico.org/>

[27] Módulo fotovoltaico. (s. f.). Enel Green Power, the platform dedicated to renewables | Enel Green Power. <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-solar/modulo-fotovoltaico>

[28] Piqué Robert. “Cap.5+4-CC-CC+CC-CA i Sistemes Fotovoltaics [2022R1][Short]”

[29] REBT

[30] Grupo Elektra. Distribución de material eléctrico. (s. f.). Grupo Elektra. Distribución de material eléctrico. <https://www.grupoelektra.es/>

[31] (s. f.). RiuNet repositorio

UPV. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10765/FUSIBLES.pdf>

[32] Guía LiFePO4 para principiantes. (s. f.). DIY Baterías

LiFePO4. <https://www.bateriaslifepo4.com/ guia/>

[33] Sede Electrónica del Catastro - Consulta y certificación de Bien Inmueble. (s. f.). Sede Electrónica del Catastro -

Inicio. [https://www1.sedecatastro.gob.es/CYCBienInmueble/OVCConCiud.aspx?UrbRus=U&Rfc=3466207DG3136N0001BW&RCCompleta=&via=ENAMORATS&tipoVia=CL&numero=13&kilometro=&bloque=&escalera=&planta=&puerta=&DescProv=BARCELONA&prov=8&muni=23&DescMuni=BIGUES@I@RIELLS&TipUR=U&codvia=53&comVia=ENAMORATS%20\(CALLE\)&pest=urbana&from=OVC Busqueda&del=8&mun=23](https://www1.sedecatastro.gob.es/CYCBienInmueble/OVCConCiud.aspx?UrbRus=U&Rfc=3466207DG3136N0001BW&RCCompleta=&via=ENAMORATS&tipoVia=CL&numero=13&kilometro=&bloque=&escalera=&planta=&puerta=&DescProv=BARCELONA&prov=8&muni=23&DescMuni=BIGUES@I@RIELLS&TipUR=U&codvia=53&comVia=ENAMORATS%20(CALLE)&pest=urbana&from=OVC Busqueda&del=8&mun=23)

[34] Agència de l'Habitatge de Catalunya, "Certificació energètica," 2014.

[35] "Documento Básico HE. Ahorro de Energía," Doc. básico HE Ahorro. energía, pp. 1–70, 2013, <http://www.codigotecnico.org/web/recursos/documentos/>

[36] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, "Soluciones de Acristalamiento y Cerramiento Acristalado," 2019.



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

TREBALL DE FI DE GRAU
Grau en Enginyeria Elèctrica
**IMPLEMENTACIÓ DE CRITERIS D'UTILITZACIÓ DE L'ENERGIA
ELÈCTRICA EN HABITATGE UNIFAMILIAR, CONTEMPLANT L'ÚS
D'ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**



Estudi de costos

Autor: Marc-Esteve Pérez Oliver
Director: Robert Piqué López
Convocatòria: Juny 2022



Llicència Creative Commons.



Aquesta obra està sota una llicència 4.0 Espanya de Creative Commons del tipus

**Reconeixement - No comercial - Sense obres derivades 4.0 Internacional
(CC BY-NC-ND 4.0)**

Per a veure una còpia d'aquesta llicència visiti https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es_ES.

**Vostè és lliure de copiar i redistribuir el material en qualsevol mitjà
o format sota les condicions següents:**

- **Reconeixement.** Ha de reconèixer adequadament l'autoria, proporcionar un enllaç a la llicència i indicar si s'han realitzat canvis. Pot fer-ho de qualsevol manera raonable, però no d'una manera que suggereixi que té el suport del llicenciador o el rep per l'ús que fa.
 - **No comercial.** No pot utilitzar el material per a una finalitat comercial.
 - **Sense obres derivades.** Si remescla, transforma o crea a partir del material, no pot difondre el material modificat.
-

Índex

1. Introducció.....	2
2. Estudi de costos	2
2.1. Costos d'enginyeria	2
2.2. Costos d'administració de la documentació	3
2.3. Costos de hardware i software.....	4
3. Costos totals	4
Annex	5

1. Introducció

En aquest treball s'han tingut en compte totes les dades més rellevants per entendre aquest projecte globalment així com les imatges, plànols i gràfiques. Ara exposarem d'una manera més minuciosa els costos d'enginyeria i de la administració de la documentació tant en la vessant de recursos humans, materials i programes necessaris per dur a terme la instal·lació solar fotovoltaica.

Així mateix incloem els plànols de la ubicació de l'habitatge, esquema unifilar de connexions i l'emplaçament dels elements necessaris de la instal·lació fotovoltaica. En referència a l'estudi energètic, ja vam presentar les gràfiques de diferents dies d'estiu i d'hivern on es produïen els pics de consum, per poder veure el comportament de la micro-xarxa i el subministrament de les fonts energètiques. També hem inclòs el full d'Excel per representar gràficament els diferents fluxos de potència que es donen a la micro-xarxa.

Hem inclòs també els càlculs del Valor Actual Net, la Taxa Interna de Rendibilitat i el Període de Retorn (PR).

Com a últim punt, fem una recopilació dels fulls de dades tècniques de cada element de la micro-xarxa subministrades pels fabricants.

2. Estudi de costos

A la memòria d'aquest projecte vam calcular la inversió inicial necessària per la compra de material i el muntatge de la instal·lació solar fotovoltaica, tenint en compte la mà d'obra, seguretat i riscos laborals i els tràmits d'administració. En aquest punt hem desglossat els costos administratius i humans per recollir la documentació necessària per efectuar el marc teòric i la redacció de la memòria així com també els dispositius necessaris per fer els càlculs i plànols (hardware i software).

2.1. Costos d'enginyeria

En aquest punt estem tenint en compte tots els costos referents a la recopilació de la biografia, el disseny de la micro-xarxa i els estudis energètics, ambientals i econòmics que hem de valorar per fer aquest Projecte d'Enginyeria.

La persona responsable d'elaborar aquest projecte es un Enginyer Tècnic Electric degut a que posseeix els coneixements específics sobre les micro-xarxes, instal·lacions fotovoltaïques i optimització i eficiència energètica.

En la següent taula detallem la descripció de les tasques realitzades amb el còmput d'hores que han estat necessàries:

Taula 2.1.- Taula de costos d'enginyeria.

Descripció	Hores	Preu/hora €	Import
Obtenció del plànols	4	20,00	80,00
Recerca d'informació i normativa	30	20,00	600,00
Metodologia a seguir	40	20,00	800,00
Estudi consum energètic de l'habitatge	15	20,00	300,00
Avaluació dels components de la micro-xarxa	35	20,00	700,00
Disseny de la micro-xarxa	40	20,00	800,00
Simulació de la micro-xarxa	10	20,00	200,00
Valoració tècnica, econòmica i mediambiental	10	20,00	200,00
SUBTOTAL			6.680,00

Els costos total d'enginyeria son de set-mil cent Euros.

2.2. Costos d'administració de la documentació

En aquest punt valorem la feina realitzada en la confecció de la documentació del projecte incloent les gràfiques, plànols, esquemes i pressupostos. Tanmateix hem tingut en compte la feina relacionada amb les traduccions necessàries, revisions dels formats i l'ortografia així com els fulls de càlcul realitzats.

Taula 2.2.- Costos d'administració de la documentació.

Descripció	Hores	Preu/hora €	Import
Estructuració de la memòria	20	18,00	360,00
Redacció de la memòria	50	18,00	900,00
Esquemes i gràfiques	10	18,00	180,00
Fulles de càlcul	20	18,00	360,00
Plànols	15	18,00	270,00
Annexes	5	18,00	90,00
Revisions i correccions	15	18,00	270,00
SUBTOTAL			2.430,00

Els costos total d'administració de la documentació son de quatre-mil dos-cents trenta.

2.3. Costos de hardware i software

Per la elaboració d'aquest projecte hem necessitat equips i programes informàtics amb les llicències necessàries.

Taula 2.3.- Taula de costos de hardware i software.

Descripció	Hores
Paquet Microsoft Office Professional 2021	579,00
Llicència AutoCad (3 mesos)	873,00
SUBTOTAL	1.452,00

Els costos de Hardware i software son de mil quatre-cents cinquanta-dos.

3. Costos totals

A continuació us presentem el Pressupost final que recull els costos d'enginyeria, d'administració, hardware i software incloent el total d'hores per cada part.

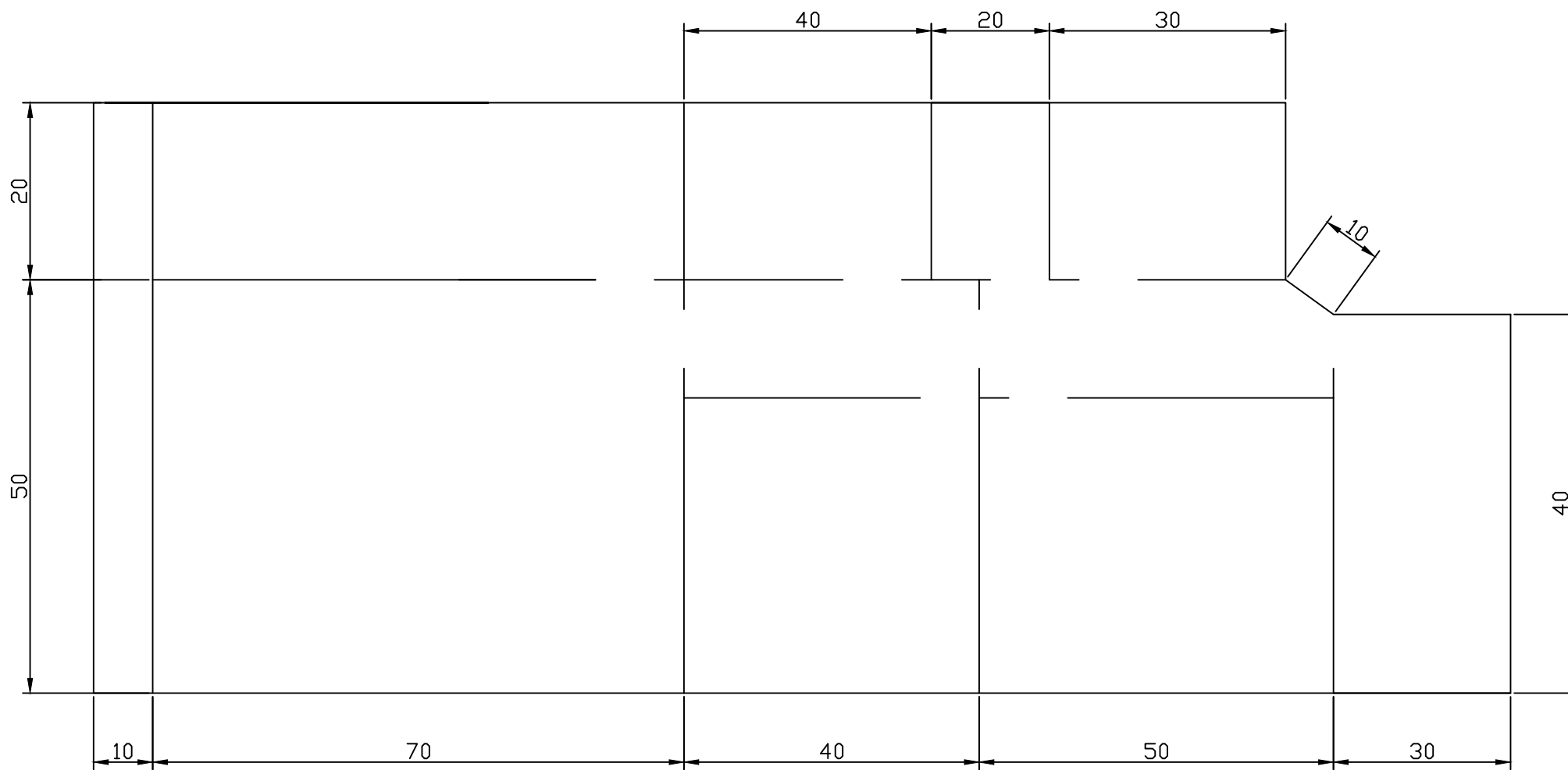
Taula 3.- Total costos.

Descripció	Hores	Import
Costos d'enginyeria	184	3.680,00
Costos d'administració de documentació	135	2.430,00
Costos Hardware i software	-	1.452,00
TOTAL		7.562,00

El cost total és de dotze-mil set-cents vuitanta dos.

Annex

- Plànol de la casa
- Disposició mòduls
- Esquema unifilar
- Fitxa tècnica mòdul fotovoltaic
- Fitxa tècnica inversor X1-Hybrid
- Fitxa tècnica bateria T58



Carrer dels Enamorats, 13
 Riells del Fai
 08416 Bigues i Riells
 Vallès Oriental, BARCELONA

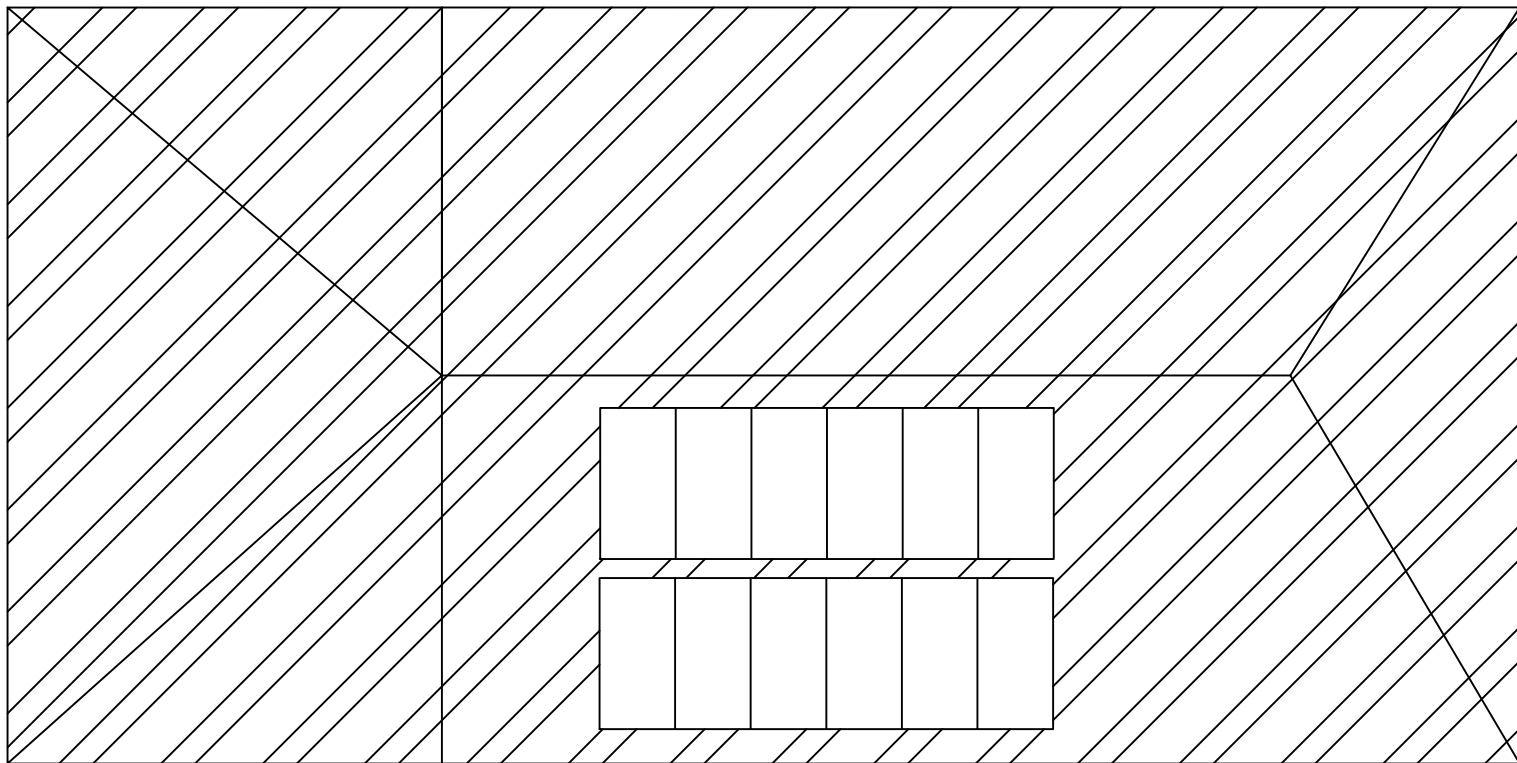
Dibuixat per:	Marc Pérez	Comprovat:	Robert Piqué
Data:	12/05/22	Revisió:	07/06/22

PLÀNOL DE L'HABITATGE

NUM. PLÀNOL:
1

DESCRIPCIÓ PLÀNOL:
 Implementació de criteris d'utilització de l'energia elèctrica en habitatge unifamiliar, contemplant l'ús d'energia solar fotovoltaica



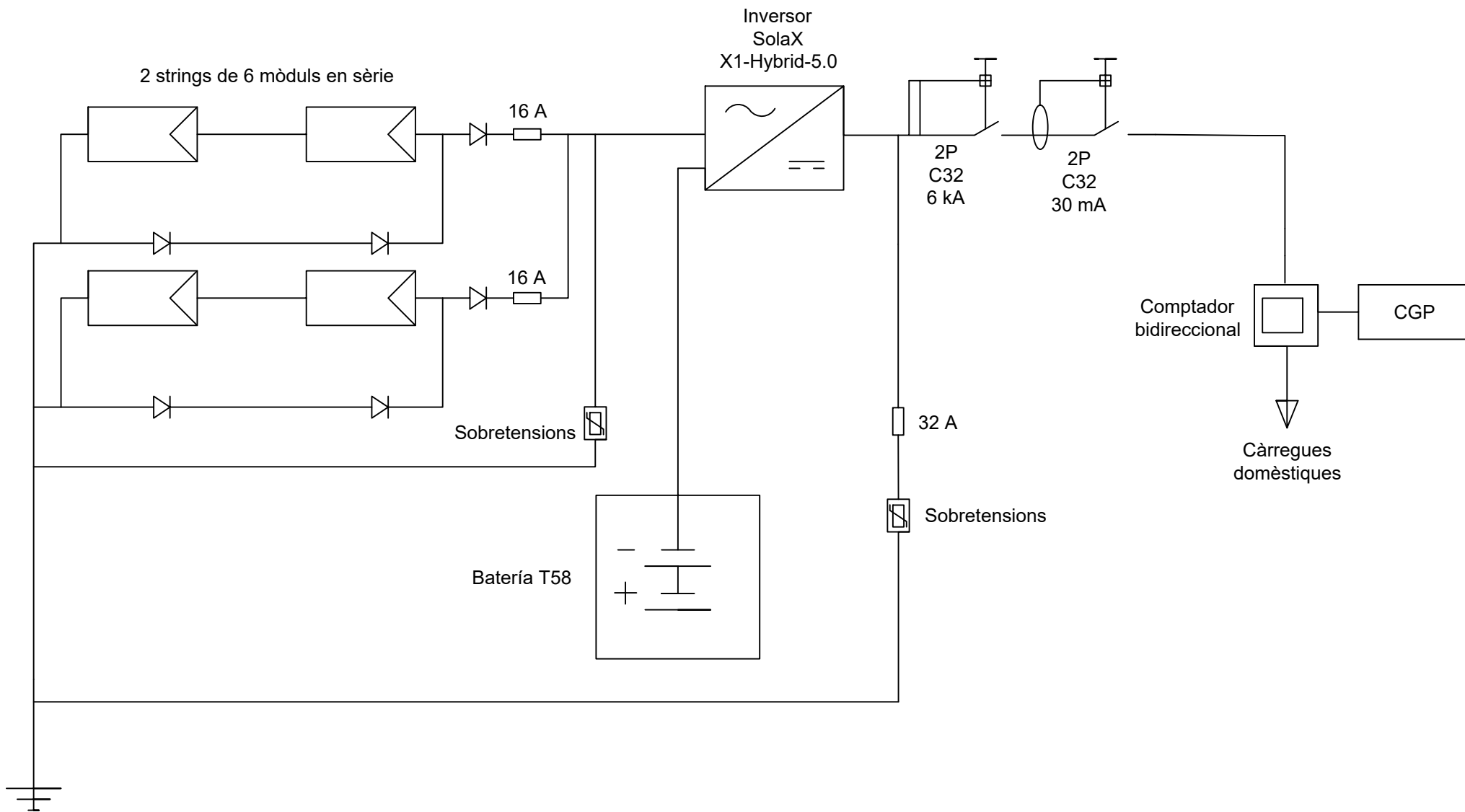


Carrer dels Enamorats, 13
 Riells del Fai
 08416 Bigues i Riells
 Vallès Oriental, BARCELONA

Dibuixat per:	Marc Pérez	Comprovat:	Robert Piqué
Data:	12/05/22	Revisió:	07/06/22

DISPOSICIÓ DELS MÒDULS

NUM. PLÀNOL:	2	DESCRIPCIÓ PLÀNOL:	Implementació de criteris d'utilització de l'energia elèctrica en habitatge unifamiliar, contemplant l'ús d'energia solar fotovoltaica
--------------	----------	--------------------	--



Carrer dels Enamorats, 13
 Riells del Fai
 08416 Bigues i Riells
 Vallès Oriental, BARCELONA

Dibuixat per:	Marc Pérez	Comprovat:	Robert Piqué
Data:	12/05/22	Revisió:	07/06/22

ESQUEMA UNIFILAR

NUM. PLÀNOL:
3

DESCRIPCIÓ PLÀNOL:
 Implementació de criteris d'utilització de l'energia elèctrica en habitatge unifamiliar, contemplant l'ús d'energia solar fotovoltaica

ZXM6-NH144 Series



Znshinesolar 9BB HALF-CELL
Monocrystalline PERC PV Module

430W | 435W | 440W | 445W | 450W | 455W



Excellent Cell Efficiency

9BB technology decreases the distance between busbar and finger grid line which is benefit to power increase.



Better Weak Illumination Response

More power output in weak light condition, such as haze, cloudy, and early morning.



Anti PID

Ensured PID resistance through the quality control of cell manufacturing process and raw materials.



Adapt To Harsh Outdoor Environment

Resistant to harsh environments such as salt, ammonia, sand, high temperature and high humidity environment.



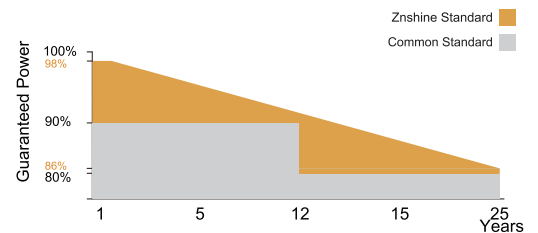
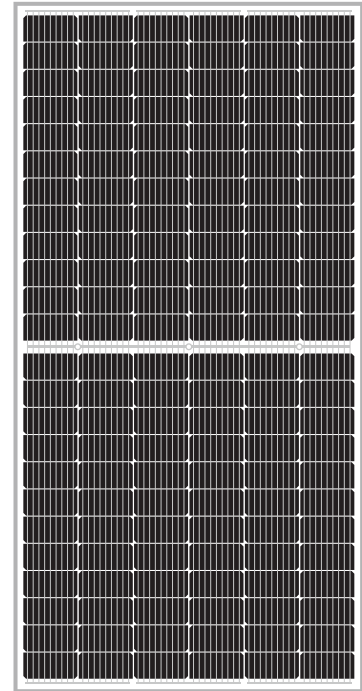
TIER 1

Global, Tier 1 bankable brand, with independently certified state-of-the-art automated manufacturing.



Excellent Quality Management System

Warranted reliability and stringent quality assurances well beyond certified requirements.



12 years product guarantee
25 years output guarantee



0.5% annual degradation
after the first year



IEC61215/IEC61730/IEC61701/IEC62716/UL61730

ISO 9001: Quality Management System

ISO 14001: Environmental Management System

ISO45001: Occupational Health and Safety Management System

Founded in 1988, ZNShine solar is a world's leading high-tech PV module manufacturer. With the state-of-the-art production lines, the company boasts module capacity of 6GW. Bloomberg has listed ZNShine as a global Tier 1 PV module maker. Today Znshine has distributed its sales to more than 60 countries around the globe.

www.znshinesolar.com

ELECTRICAL CHARACTERISTICS | STC*

Nominal Power Watt Pmax(W)*	430	435	440	445	450	455
Power Output Tolerance Pmax(%)	0~+3	0~+3	0~+3	0~+3	0~+3	0~+3
Maximum Power Voltage Vmp(V)	40.60	40.80	41.00	41.20	41.40	41.60
Maximum Power Current Imp(A)	10.60	10.67	10.74	10.81	10.87	10.94
Open Circuit Voltage Voc(V)	49.50	49.70	49.90	50.10	50.30	50.50
Short Circuit Current Isc(A)	11.19	11.26	11.33	11.40	11.46	11.53
Module Efficiency (%)	19.78	20.01	20.24	20.47	20.70	20.93

*STC (Standard Test Condition): Irradiance 1000W/m², Module Temperature 25°C, AM 1.5
*Measuring tolerance: ±3%

ELECTRICAL CHARACTERISTICS | NMOT*

Maximum Power Pmax(Wp)	321.50	325.20	328.90	332.70	336.10	339.80
Maximum Power Voltage Vmpp(V)	37.90	38.10	38.20	38.40	38.60	38.80
Maximum Power Current Impp(A)	8.49	8.54	8.60	8.66	8.70	8.76
Open Circuit Voltage Voc(V)	46.20	46.40	46.60	46.70	46.90	47.10
Short Circuit Current Isc(A)	9.04	9.09	9.15	9.21	9.25	9.31

*NMOT(Nominal module operating temperature):Irradiance 800W/m²,Ambient Temperature 20°C,AM 1.5,Wind Speed 1m/s

MECHANICAL DATA

Solar cells	Mono PERC
Cells orientation	144 (6×24)
Module dimension	2094×1038×35 mm(With Frame)
Weight	24 kg
Glass	3.2mm, High Transmission, AR Coated Tempered Glass
Junction box	IP 68, 3 diodes
Cables	4 mm ² , 1200 mm
Connectors	MC4-compatible

TEMPERATURE RATINGS

WORKING CONDITIONS

NMOT	44°C ±2°C	Maximum system voltage	1500 V DC
Temperature coefficient of Pmax	-0.36%/°C	Operating temperature	-40°C~+85°C
Temperature coefficient of Voc	-0.29%/°C	Maximum series fuse	20 A
Temperature coefficient of Isc	0.05%/°C	Maximum load(snow/wind)	5400 Pa / 2400 Pa

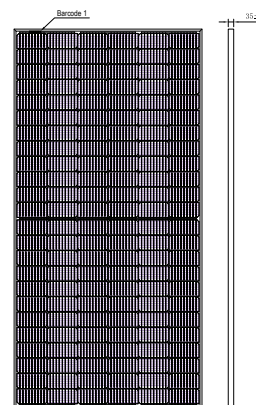
*Do not connect Fuse in Combiner Box with two or more strings in parallel connection
*Remark:Electrical data in this catalog do not refer to a single module and they are not part of the offer.They only serve for comparison among different module types.

PACKAGING CONFIGURATION

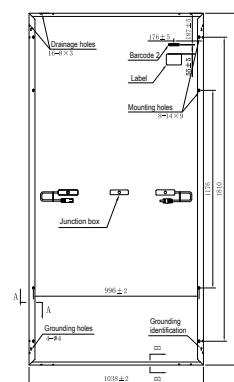
Piece/Box	31
Piece/Container(40'HQ)	682
Piece/Container(with additional small package)	/

*Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

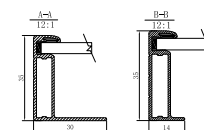
DIMENSIONS(MM)



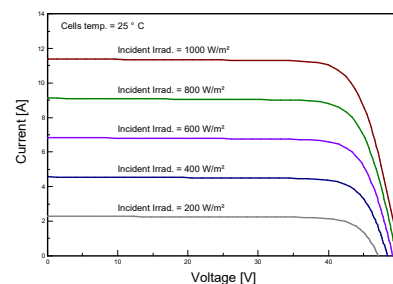
Front View



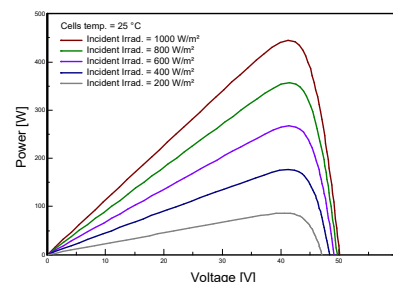
Back View



I-V CURVES OF PV MODULE(445W)



P-V CURVES OF PV MODULE(445W)



NEW FROM SOLAX

X1-HYBRID G4



X1-Hybrid G4

3.0kW/3.7kW/5.0kW
6.0kW/7.5kW

Features

High-efficient

- 150% PV oversized and 110% overload output
- Maximum 120% overload output
- Higher efficiency on charging and discharging, up to 97.0%
- Built-in shadow tracking function

Economic

- Maximum 16A DC input current, support for high power solar panel
- Store the surplus energy from PV to battery
- Low start output voltage makes inverter longer working time
- Less energy loss on battery to inverter

Intelligent

- Switchover time <10ms
- Quick configuration with U-disk
- Lithium & Lead-acid battery compatible
- CT compatible, loads respond within 0.3s
- Intelligent loads management(e.g., Heat pump)
- On & Off-grid parallel function, up to 15kW
- 5 work modes, 2 charging periods available
- VPP ready, ancillary service in power market

Safe

- IP65 protection level
- Integrated SPD

For More Informations Contact Us

www.solaxpower.com
AU: +61 1300 476529
DE: +49 6142 4091664

Global: +86 571-56260008
UK: +44 2476 586998
NL: +31 (0) 852 737932

info@solaxpower.com
service@solaxpower.com



X1-HYBRID G4 (SINGLE-PHASE)

X1-HYBRID-3.0-D
X1-HYBRID-3.0-M
X1-HYBRID-3.7-D
X1-HYBRID-3.7-M
X1-HYBRID-5.0-D
X1-HYBRID-5.0-M
X1-HYBRID-6.0-D
X1-HYBRID-6.0-M
X1-HYBRID-7.5-D
X1-HYBRID-7.5-M

DC INPUT	X1-HYBRID-3.0-D X1-HYBRID-3.0-M	X1-HYBRID-3.7-D X1-HYBRID-3.7-M	X1-HYBRID-5.0-D X1-HYBRID-5.0-M	X1-HYBRID-6.0-D X1-HYBRID-6.0-M	X1-HYBRID-7.5-D X1-HYBRID-7.5-M
Max. PV array input power [Wp]	4500	5500	7500	9000	10000
Max. PV input voltage [V]	600	600	600	600	600
Start output voltage [V]	90	90	90	90	90
Nominal input voltage [V]	360	360	360	360	360
MPP voltage range [V]	70~550	70~550	70~550	70~550	70~550
No. of MPP trackers/Strings per MPP tracker	2(1/1)	2(1/1)	2(1/1)	2(1/1)	2(1/1)
Max. input current(input A/input B) [A]	16/16	16/16	16/16	16/16	16/16
Max. short circuit current(input A/input B) [A]	18/18	18/18	18/18	18/18	18/18
AC INPUT & OUTPUT					
Nominal AC output power [W]	3000	3680	5000	6000	7500
Max. AC output apparent power [VA]	3300	3680	5500	6600	7500
Max. AC output current [A]	14.4	16	23.9	28.6	32.6
Max. AC input apparent power [VA]	6300	7360	9200	9200	9200
Max. AC input current [A]	27.4	32	40	40	40
Nominal AC voltage [V]	230/240				
Nominal grid frequency [Hz]	50/60				
Displacement power factor	0.8 leading~0.8 lagging				
THDi (rated power) [%]	<2				
BATTERY DATA					
Battery type	Li-ion battery/Lead-Acid Battery(Under development)				
Battery voltage range [V]	80-480				
Max. continuous charge/discharge current [A]	30				
EPS(OFF-GRID OR BACK-UP) OUTPUT (WITH BATTERY)					
Nominal output power [W]	3000	3680	5000	6000	7500
Peak apparent power [VA]	3600, 1h	3680	6000, 1h	7200, 10min	7500
Max. continuous current [A]	13	16	21.7	26.1	32.6
Nominal voltage[V]; Frequency [Hz]	230; 50/60				
Switch time [ms]	<10				
Parallel operation	YES				
SYSTEM DATA					
Max. efficiency [%]	97.6				
Euro. efficiency [%]	97.0				
Battery charge/discharge efficiency [%]*1	97.0/97.0				
Standby consumption [W] @Night	<3				
Degree of protection	IP65				
Operating temperature range [°C]	-35~+60 (Derating above 45°C)				
Max. operation altitude [m]	<3000				
Relative humidity [%]	0~100				
Typical noise emission [dB]	<30	<30	<30	<30	<45
Storage temperature [°C]	-40~+65				
Dimensions(WxHxD) [mm]	482x417x181				
Net weight [kg]	24	24	24	24	25
Cooling concept	Nature cooling	Nature cooling	Nature cooling	Nature cooling	Smart cooling
Communication interfaces	CT/ Meter(optional)/ External control Rs485/ Pocket WiFi(Optional: Pocket Lan/4G)/ DRM/ USB Upgrade/ NTC				
STANDARD					
Safety	EN/IEC62109-1/-2				
EMC	EN61000-6-1/2/3/4;EN61000-3-2/3/11/12				
Certification	VDE4105 /G99 /G98 / AS4777 / EN50549/ CEI 0-21 /IEC61727/RD1699/NRS 097-2-1/PEA/MEA/VFR2019				

*1: PV to BAT Max. efficiency 97.0%, BAT to AC Max. efficiency 97.0%

V2.0. Information may be subject to modify without notice. 650.00009.00



T-BAT SYS-HV

- Batería de LiFePO4 más segura
- 90% DOD
- Ciclo de vida > 6000 veces
- Nivel de protección IP55
- Montaje en suelo o pared
- Menor autoconsumo
- Fácil instalación, conecta y reproduce
- Sin metales pesados tóxicos ni materiales cáusticos



T-BAT H 5.8



HV11550

T-BAT H 5.8

Voltaje nominal	115.2
Voltaje de funcionamiento[V]	100-131
Tipo de batería	Iones de litio (LFP)
Capacidad nominal [kWh]	5.8
Capacidad disponible [kWh]	5.2
Eficiencia de carga de Faradic [%]	99
Eficiencia de la batería en el viaje de ida y vuelta [%]	95
Potencia estándar [kW]	2.9
Max. Potencia [kW]	4.0
Corriente recomendado de carga / descarga [A]	25
Max. Corriente de carga / descarga [A]	35
Ciclo de vida [90% DOD]	>6000 ciclos
Garantía [año]	10
Rango de temperatura de funcionamiento disponible [°C]	0-55
Rango de temperatura de funcionamiento de carga completa [°C]	5-48
Humedad [%]	5-95 (sin condensación)
Altitud [m]	Menos de 2000
Proteccion	IP55
System to inverter	CAN2.0
Battery to battery/BMS	RS485
Data collection port /FW UPDATE	CAN2.0
Master control working mode indicator	1 LED
Master control capacity indicator	4LED (25%, 50%, 75%, 100%)
Battery module LED	2 LED
Reset	Botón
Switch ON/OFF	Botón*1 + Disyuntor*1
Seguridad	CE/TUV(IEC62619)/UL1973/FCC/UN38.3
Número de UN	UN3840
Clasificación de materiales peligrosos	Clase 9
Requisito de prueba de transporte	UN38.3
Dimensiones (LxWxH) (mm)	474*193*708 (T-BAT H 5.8) / 474*193*647 (HV11550)
Peso (kg)	72.2 (T-BAT H 5.8) / 68.5 (HV11550)

* La batería de potencia triple puede ser escalable hasta 4 módulos, para un total de 23,0kWh.

* T-BAT---Paquete de baterías maestro / HV11550---Paquete de baterías esclavo