

Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica

ESTUDI ENERGÈTIC D'UNA INSTAL·LACIÓ FOTOVOLTAICA FLOTANT

MEMÒRIA

Martí Carballo Pou

PONENT: Joan Triadó Aymerich

HIVERN 2022

Agraïments

Agraeixo a totes les persones que han estat involucrades en aquest projecte d'alguna manera o una altre. Sobretot a l'empresa SolarTradex, que m'ha prestat les eines necessàries per facilitar molts procediments.

Resum

Aquest projecte explora una instal·lació solar fotovoltaica flotant com a alternativa a les instal·lacions solars terrestres. Investiga la viabilitat tècnica, les consideracions de disseny, l'impacte ambiental i la viabilitat econòmica dels sistemes fotovoltaics flotants. La investigació abasta el disseny del sistema, càlculs energètics i les implicacions ambientals, posant èmfasi en la conservació de l'aigua i la biodiversitat. El projecte inclou una anàlisi de costos i explora el cost de l'energia (LCOE) per avaluar la viabilitat econòmica. L'estudi del projecte contribueix a promoure pràctiques energètiques sostenibles mitjançant la implementació de la fotovoltaica flotant i investigant nous mètodes per aprofitar l'energia solar.

Resumen

Este proyecto explora una instalación solar fotovoltaica flotante como alternativa a las instalaciones solares terrestres. Investiga la viabilidad técnica, consideraciones de diseño, impacto ambiental y viabilidad económica de los sistemas fotovoltaicos flotantes. La investigación abarca el diseño del sistema, cálculos energéticos y las implicaciones ambientales, poniendo énfasis en la conservación del agua y la biodiversidad. El proyecto incluye un análisis de costes y explora el coste de la energía (LCOE) para evaluar la viabilidad económica. El estudio del proyecto contribuye a promover prácticas energéticas sostenibles mediante la implementación de la fotovoltaica flotante e investigando nuevos métodos para aprovechar la energía solar.

Abstract

This project explores a floating solar photovoltaic installation as an alternative to terrestrial solar installations. Investigate the technical feasibility, design considerations, environmental impact and economic viability of floating photovoltaic systems. The research covers system design, energy calculations and environmental implications, with an emphasis on water conservation and biodiversity. The project includes a cost analysis and explores the cost of energy (LCOE) to assess economic viability. The project study contributes to promoting sustainable energy practices by implementing floating photovoltaics and researching new methods to harness solar energy.

Índex

1. Objecte del projecte.....	1
1.1. Propòsit.....	1
1.2. Finalitat.....	1
1.3. Objecte.....	2
1.4. Abast.....	2
1.5. Context en les línies de recerca i transferència de coneixement del Tecnocampus ...	2
2. Perspectiva de gènere	3
3. Marc conceptual	5
3.1. Energies renovables.....	5
3.1.1. Energia solar fotovoltaica	5
3.2. Radiació Solar.....	6
3.3. Relació Terra-Sol.....	7
3.3.1. Inclinació de la Terra	7
3.3.2. Altura solar.....	9
3.4. Autoconsum.....	10
3.5. Elements de la instal·lació	13
3.5.1. Mòdul solar fotovoltaic.....	13
3.5.2. Inversor solar	20
3.5.3. Estructura	24

II

3.5.4. Elements extres de la instal·lació.....	27
3.5.5. Petit material	30
3.6. Marc regulador	30
4. Abast del projecte.....	31
5. Dades generals de l’habitatge.....	33
6. Objectius i especificacions tècniques.....	35
7. Anàlisi de viabilitat	37
7.1. Anàlisi de viabilitat tècnica	37
7.2. Anàlisi de viabilitat econòmica	45
7.3. Anàlisi de viabilitat ambiental.....	46
8. Desenvolupament de la solució.....	49
8.1. Emplaçament	49
8.2. Consums de l’habitatge	52
8.3. Energia autoconsumida.....	53
8.4. Descripció de la instal·lació	55
8.5. Característiques dels components.....	61
8.5.1. Mòdul solar fotovoltaic.....	61
8.5.2. Inversor solar	62
8.5.3. Estructura	64
8.5.4. Sistema de monitoratge.....	67
8.5.5. Bateria	68

III

8.5.6. Xarxa de distribució	69
8.5.7. Proteccions de CC (Corrent Continu)	70
8.5.8. Proteccions de CA (Corrent Altern)	70
8.5.9. Presa a terra	71
8.5.10. Proteccions per a la intempèrie	71
8.6. Càlculs energètics	72
8.7. Balanç econòmic	76
8.8. Càlculs elèctrics	76
8.8.1. Cablejat CC	77
8.8.2. Cablejat CA	78
8.8.3. Proteccions	79
8.9. Càlculs de càrregues de vent i contrapès	79
8.9.1. Càrregues permanents	80
8.9.2. Càrregues variables	81
8.9.3. Càrregues mecàniques totals	83
8.10. Implantació final	87
8.11. Comparacions	89
8.11.1. Mòduls: Monofacials - bifacials	89
8.11.2. Estructura: Flotant - coplanar	90
9. Pla de seguretat i salut	91
9.1. Condicions de l'entorn	91

IV

9.2. Avaluació de riscos.....	93
9.2.1. Execució de la instal·lació.....	95
9.2.2. Maquinària.....	100
9.2.3. Equips de protecció individual	101
10. Planificació del projecte de detall	103
11. Pressupost.....	107
11.1. Pressupost parcial	107
11.2. Pressupost global	108
12. Referències	109

Índex de figures

Fig. 3.1 Declinació de la Terra respecte el Sol (Font: pròpia).	8
Fig. 3.2 Moviment del Sol respecte la Terra (Font: pròpia).....	8
Fig. 3.3 Gràfica de radiació solar en les diferents estacions (Font: pròpia).....	9
Fig. 3.4 Inserció de la radiació solar a l'Atmosfera en diferents angles (Font: pròpia).....	10
Fig. 3.5 Diagrama autoconsum amb excedents (Font: pròpia)	12
Fig. 3.6 Esquema autoconsum bàsic amb excedents (Font: pròpia)	12
Fig. 3.7 Composició de la cel·la fotovoltaica (Font: Google Images).	13
Fig. 3.8 Disposició de fingers i busbars dins la cel·la fotovoltaica.....	14
Fig. 3.9 Parts descompostes del mòdul fotovoltaic (Font: Google Images).	14
Fig. 3.10 Ombrejat d'strings de cel·les dels mòduls solars.....	16
Fig. 3.11 Corbes Intensitat-Voltatge i Voltatge-Potència segons radiació del mòdul (Font: Google Images).	18
Fig. 3.12 Corbes Intensitat-Voltatge segons temperatura del mòdul (Font: Google Images)..	18
Fig. 3.13 Separació de fingers de diferents cel·les (Font: Google Images).	19
Fig. 3.14 A l'esquerra mòdul normal i a la dreta mòdul amb tecnologia Half-Cell (Font: Google Images).....	20
Fig. 3.15 Esquema elèctric de l'inversor (Font: Google Images).	21
Fig. 3.16 Estats del pont H de l'inversor (Font: Google Images).	21
Fig. 3.17 Eficiència d'un inversor trifàsic de 60 kWn de la marca Huawei (Font: Huawei)...	23
Fig. 3.18 Càrregues de succió i compressió del vent sobre l'edifici (Font: Pròpia).	24
Fig. 3.19 Estructura solarbloc Est-Oest (Font: pròpia).	26
Fig. 7.1 Mòdul JAM72D09 385/BP de la marca JA Solar (Font: JA Solar).....	39
Fig. 7.2 Inversor SUN2000-6KTL-L1 de la marca Huawei (Font: Huawei).....	41
Fig. 7.3 Estructura flotant (Font: Pròpia).	42
Fig. 7.4 Estructura flotant de manteniment (Font: Pròpia).	43
Fig. 7.5 Smart meter de la marca Huawei (Font: Huawei).	44

Fig. 8.1 Imatges reals de la bassa objecte de la instal·lació	50
Fig. 8.2 Situació sobre el mapa (Font: ICGC).....	51
Fig. 8.3 Ubicació de la instal·lació (Font: Google Maps).....	51
Fig. 8.4 Repartiment dels períodes P1, P2 i P3. (Font: Som Energia).	54
Fig. 8.5 Diferència de distància d'ombrejat entre el mòdul en vertical o en horitzontal (Font: pròpia)	58
Fig. 8.6 Diferència de potència pic per orientació dels mòduls (Font: pròpia).....	59
Fig. 8.8 Propietats del material HDPE	64
Fig. 8.8 Vistes de l'estructura flotant (Font: Pròpia).....	65
Fig. 8.9 Vistes de l'estructura flotant de manteniment (Font: Pròpia).	66
Fig. 8.10 Muntatge real d'instal·lació fotovoltaica flotant (Font: Google Imatges).	66
Fig. 8.11 Connexionat del sistema de monitoratge.	68
Fig. 8.12 Irradiació global (W/m^2). (Font: PV*Sol).	72
Fig. 8.13 Balanç energètic mensual en kWh.	74
Fig. 8.14 Balanç d'autoconsum mensual en kWh.	74
Fig. 8.15 Resum del balanç energètic de la instal·lació fotovoltaica (Font: PV*Sol).	75
Fig. 8.16 Mapa d'Espanya de les diferents zones de pressió dinàmica del vent.....	81
Fig. 8.17 Sistema de forces de SolidWorks.	85
Fig. 8.18 Cable galvanitzat IPH7 (Font: IPH Global).....	86
Fig. 8.19 Plànol d'implantació (Font: pròpia).....	87
Fig. 8.20 Renders de la instal·lació fotovoltaica final (Font: Pròpia).	89
Fig. 9.1 Trajecte de l'obra al centre mèdic més proper (Font: pròpia).	92
Fig. 9.2 Trajecte de l'obra al centre de bombers més proper (Font: pròpia).....	92
Fig. 10.1 Diagrama de Gantt (Font: pròpia).....	105

Índex de taules

Taula 3.1 Tipus de cel·les fotovoltaïques.....	15
Taula 5.1 Dades de l'habitatge	33
Taula 5.2 Coordenades de l'habitatge	33
Taula 7.1 Llistat d'empreses de panells solars.....	37
Taula 7.2 Llistat d'empreses d'inversors solars.....	39
Taula 8.1 Taula de consums anuals de l'habitatge (Font: Pròpia).....	52
Taula 8.2 Preus períodes i compensació d'excedents (Font: Som Energia).....	55
Taula 8.3 Dades de la instal·lació (Font: pròpia).....	55
Taula 8.4 Taula de rendiments respecta inclinació a 0° (Font: pròpia).....	56
Taula 8.5 Característiques tècniques del mòdul solar fotovoltaic (Font: JA Solar).....	62
Taula 8.6 Característiques tècniques de l'inversor (Font: Huawei).....	63
Taula 8.7 Valors de tensió corrent dels diferents strings.....	64
Taula 8.8 Característiques de l'interruptor magnetotèrmic.....	70
Taula 8.9 Característiques de l'interruptor diferencial.....	71
Taula 8.10 Producció anual estimada per mesos.....	73
Taula 8.11 Amortització de la instal·lació fotovoltaica.....	76
Taula 8.12 Valors de caiguda de tensió de cada string de CC.....	77
Taula 8.13 Càlcul de relació d'intensitat de CC.....	78
Taula 8.14 Valors de caiguda de tensió de CA.....	79
Taula 8.15 Càlcul de relació d'intensitat de CA.....	79
Taula 8.16 Resum de càrregues permanents.....	81
Taula 8.17 Valor de pressió dinàmica i velocitat del vent per zones.....	82
Taula 8.18 Valors de coeficient d'exposició segons característiques de a ubicació.....	82
Taula 8.19 Valors de coeficient de compressió i succió depenent de la inclinació del mòdul.....	83
Taula 8.20 Resum de càrregues variables de compressió.....	83

VIII

Taula 8.21 Resum de càrregues variables de succió.....	83
Taula 8.22 Càrregues de compressió del sistema.....	84
Taula 8.23 Càrregues de succió del sistema.....	84
Taula 8.24 Càrrega mínima de ruptura segons diàmetre del cable d'acer inoxidable (Font: IPH Global).....	86
Taula 9.1 Taula de valoració de riscos (Font: pròpia).....	94
Taula 9.2 Taula de probabilitat de riscos (Font: pròpia).....	94
Taula 9.3 Taula de conseqüències de riscos (Font: pròpia).....	95
Taula 9.4 Taula de puntuació de riscos (Font: pròpia).....	95
Taula 9.5 Taula de puntuació de riscos de descàrrega de material (Font: pròpia).....	96
Taula 9.6 Taula de puntuació de riscos de treballs a la bassa (Font: pròpia).....	97
Taula 9.7 Taula de puntuació de riscos de muntatges elèctrics (Font: pròpia).....	98
Taula 9.8 Taula de puntuació de riscos de treballs a la bassa (Font: pròpia).....	99
Taula 9.9 Taula de puntuació de riscos d'eines elèctriques lleugeres (Font: pròpia).....	100
Taula 9.10 Taula de puntuació de riscos d'eines manuals (Font: pròpia).....	101
Taula 11.1 Taula de costos capítol I (Font: pròpia).....	107
Taula 11.2 Taula de costos capítol II (Font: pròpia).....	107
Taula 11.3 Pressupost global (Font: pròpia).....	108

Glossari de termes

Isc	Corrent de curtcircuit
I	Corrent elèctric
Excedents	Energia generada, no consumida i enviada a la xarxa.
E	Energia
Radiació solar	Ones electromagnètiques emeses pel Sol
Cobertura solar	Percentatge de demanda de l'habitatge coberta per la instal·lació fotovoltaica.
P	Potència elèctrica
Autoconsum	Relació entre l'energia instantània consumida i l'energia total produïda.
Voc	Voltatge en circuit obert
V	Voltatge o diferència de potencial

1. Objecte del projecte

L'objecte d'aquest projecte és fer un estudi energètic i de rendiment d'una instal·lació solar fotovoltaica sobre l'aigua en l'àmbit domèstic. Es buscarà els factors més rellevants que afecten a la generació d'energia solar fotovoltaica, fent un estudi d'inclinacions i orientacions, així com materials utilitzats i altres factors ambientals per obtenir els punts més importants a tenir en compte a l'hora de dissenyar una instal·lació solar fotovoltaica.

Es dissenyarà una instal·lació fotovoltaica de principi a fi, seguint tots els passos necessaris per simular-ne una de real. S'analitzarà la superfície disponible a una bassa d'un habitatge real i es calcularà una potència pic específica per cobrir un cost energètic de l'habitatge fictici plantejat per obtenir la màxima rendibilitat.

La instal·lació es farà en un habitatge rural unifamiliar amb una bassa de regadiu apte per afegir el camp fotovoltaic amb estructures flotants. Es compararà posteriorment amb una instal·lació solar fotovoltaica a una superfície de terra per veure la diferència de rendiment dels sistemes.

Per tal de complir amb el propòsit, es du a terme una recerca d'antecedents amb un posterior disseny i càlculs necessaris per simular una instal·lació solar fotovoltaica real. Els càlculs inclouran un estudi energètic i econòmic per demostrar la rendibilitat de la instal·lació sobre la superfície de l'aigua.

1.1. Propòsit

El propòsit és investigar la viabilitat tècnica, ambiental i econòmica dels sistemes solars fotovoltaics flotants com una alternativa més sostenible i eficient a les instal·lacions solars fotovoltaics terrestres a nivell domèstic.

1.2. Finalitat

L'objectiu final del projecte és investigar i generar coneixement de l'ús d'energies renovables per aprofitar al màxim les superfícies d'aigua disponibles. Pretén fomentar l'adopció de pràctiques energètiques sostenibles i promoure la utilització de sistemes fotovoltaics flotants com una solució rendible.

1.3. Objecte

Realitzar una investigació exhaustiva sobre els sistemes solars fotovoltaics flotants. Aspectes tècnics, ambientals i econòmics s'investigaràn per analitzar diferents tecnologies, impactes ambientals i un anàlisi de costos. Es buscarà el màxim rendiment de la instal·lació i aspectes tècnics per obtenir la millor rendibilitat.

1.4. Abast

L'abast del projecte inclourà un marc teòric amb investigació exhaustiva de les instal·lacions solars fotovoltaïques flotants. A nivell tècnic, s'avaluarà diferents materials i disposició del camp solar per obtenir el màxim rendiment de generació d'energia elèctrica. Es farà un anàlisi mediambiental per veure els beneficis d'una instal·lació flotant i comparar-ho amb una instal·lació fotovoltaica terrestre. Finalment, un anàlisi econòmic que inclou els costos de la instal·lació i obtenir la màxima rendibilitat del projecte.

Cal deixar constància que l'abast no inclou l'enginyeria d'execució, ja que no es farà la instal·lació real sobre la bassa objecte del projecte.

1.5. Context en les línies de recerca i transferència de coneixement del Tecnocampus

La preocupació per la sostenibilitat del medi ambient està causant canvis en els nostres hàbits. Degut a les altes temperatures i la degradació de la capa d'ozó, la radiació que impacte a l'atmosfera terrestre augmenta amb els anys, per tant, la generació d'electricitat a través d'instal·lacions fotovoltaïques és un dels principals creixements del sector d'energies renovables. Es busca investigar un camp pel qual es pot obtenir energia elèctrica de manera sostenible i generar-la a nivell domèstic.

Aquest projecte és en línia amb l'àrea de recerca del Grup de Recerca de Fabricació Intel·ligent i Innovació Industrial del Tecnocampus.

S'inclou en aquest projecte transferències de coneixement de materials, electricitat i sistemes mecànics pel sector més tècnic, la part de sostenibilitat a nivell mediambiental i gestió de projectes, així com organització de la producció per la generació i construcció del projecte.

2. Perspectiva de gènere

Aquest projecte contempla la instal·lació d'un sistema fotovoltaic flotant. Durant aquest procés, no es dissenya cap producte, servei tecnològic ni procés de producció i no es considera la perspectiva de gènere durant cap fase del procediment. L'únic punt en el que es necessita utilitzar la força física és en el moment de situar les estructures i mòduls fotovoltaics sobre la bassa. Qualsevol persona capacitada per carregar el pes dels materials és apta per desenvolupar aquest treball.

3. Marc conceptual

Abans de començar amb qualsevol estudi, cal saber què és i com funciona una instal·lació fotovoltaica per convertir l'energia solar en energia elèctrica.

En aquest apartat s'explicarà el que és l'autoconsum i es detallarà cada component que forma part de la instal·lació fotovoltaica.

3.1. Energies renovables

Les energies renovables són fonts netes i inesgotables d'energia, les quals no contaminen ni produeixen gasos d'efecte hivernacle.

Aquest tipus d'energia creix exponencialment al voltant del planeta, ja que cada cop hi ha més conscienciació del punt crític en el que estem en aquests moments i s'intenta substituir l'energia fòssil per producció d'energia menys contaminant pel planeta.

L'únic problema que hi ha és al moment d'emmagatzemar aquesta energia. Quan es necessita energia elèctrica en un moment específic, es pot crear instantàniament a través d'energies artificials, com l'energia fòssil, a qualsevol hora del dia. Les energies renovables necessiten unes característiques específiques perquè sigui funcional. El cas més evident i el qual veurem en aquest projecte, és el de l'energia solar fotovoltaica, que necessita la llum del Sol, és a dir, unes hores concretes del dia, per poder generar energia elèctrica.

Hi ha molt tipus d'energies renovables, entre elles, l'energia solar fotovoltaica, la qual juga un paper clau dins d'aquest sector.

3.1.1. Energia solar fotovoltaica

L'energia provinent del Sol es pot aprofitar de diverses maneres. Entre elles està l'energia solar fotovoltaica, la qual és una font d'energia renovable, inesgotable i gratuïta.

La instal·lació solar fotovoltaica és una instal·lació elèctrica capaç de produir energia elèctrica aprofitant la radiació solar. Permet als consumidors generar la seva pròpia electricitat a un cost inferior al que es compra l'electricitat a les comercialitzadores i evitant tot tipus d'emissió de CO₂ que es produiria amb la generació elèctrica tradicional.

És una de les energies renovables més utilitzades a tot Europa degut al fàcil aprofitament de l'Energia solar. Tot i que té una gran dependència de les condicions atmosfèriques i només produeix durant el dia, és una energia amb un gran potencial i creixement constant.

3.2. Radiació Solar

L'estrella del nostre Sistema Solar és una constant font d'energia que arriba al nostre planeta amb un flux radiant de $3,8 \times 10^{26}$ W. Això equival a una densitat d'energia de $62,5 \text{ MW/m}^2$.

De tota aquesta energia, només una petita part arriba a la Terra, encara que ja seria suficient per cobrir tot el consum tecnològic mundial. La quantitat d'irradiància que arriba a la nostra atmosfera és d'aproximadament $1,4 \text{ kW/m}^2$ i després de travessar-la, es redueix encara més fins a 1 kW/m^2 d'Energia que arriba a la superfície terrestre.

La radiació solar està feta d'ones electromagnètiques de freqüències molt variades. Algunes d'elles són inapreciables, però d'altres es poden captar per transformar-les en energia elèctrica. Aquesta radiació no és constant, ja que varia aleatòriament a causa de l'Atmosfera. Això fa impossible determinar de manera exacte la quantitat de radiació que arriba a cada punt del planeta. Els núvols absorbeixen la majoria d'energia que arriba a l'Atmosfera, la qual es reflexa a la part superior d'aquests i torna a l'espai.

La radiació que s'ha de calcular no és simplement la que arriba directament des del Sol o radiació directa, sinó que també existeix la radiació difosa. Aquesta és tota radiació procedent de l'Atmosfera que no incideix directament, sinó que està causada per la dispersió dels components d'aquesta com per exemple els núvols. També s'afegeix el càlcul de la radiació albedo, tota radiació reflectida de la superfície terrestre, la qual varia depenent del material reflectit.

$G = I + D + R$			(3-1)
G	W/m ²	Radiació total.	
I	W/m ²	Radiació directa.	
D	W/m ²	Radiació difosa.	
R	W/m ²	Radiació albedo.	

A part de l'aleatorietat causada per la nuvolositat, existeixen altres factors que afecten considerablement a la pèrdua de radiació, com ara la velocitat del vent, la temperatura de l'aire o la contaminació. Essent aquesta última la única que podríem arribar a controlar. Hi ha gran quantitat de pèrdues degut a la contaminació i qualitat de l'aire. Les partícules de pol·lució que es troben a l'aire absorbeixen i dispersen la llum solar que arriba a la superfície. Com més petita sigui aquesta partícula, més costosos són els impactes. No només redueixen la llum incident, sinó que aquestes partícules en suspensió també es depositen sobre els mòduls fotovoltaics els quals reduiran el rendiment i exigiran un rentat cada cert temps.

Hi ha molts estudis relacionats amb els càlculs de radiació incident a la superfície terrestre. Degut a la seva aleatorietat, és complicat que els resultats de tots els estudis siguin iguals i amb una precisió exacte. Per tant, el càlcul d'irradiància dependrà directament del model que s'utilitzi en l'estudi. És una de les raons principals per les quals poden sortir resultats diferents per a instal·lacions amb les mateixes característiques, depenent del model o el programa que s'utilitza.

3.3. Relació Terra-Sol

A dia d'avui, ja podem saber que és la Terra la que gira al voltant del Sol. Per fer els càlculs molt més senzills però, es segueix considerant que la Terra està fixe i es el Sol el que gira al voltant d'aquesta. Tot i això, les equacions utilitzades en aquests estudis són de gran complexitat.

3.3.1. Inclinació de la Terra

Es considerarà que la Terra està fixe en l'espai amb una inclinació respecte el Sol que anomenarem angle de declinació solar (δ) que pot variar en petita escala, però es pot considerar una constant de $23'5^\circ$.

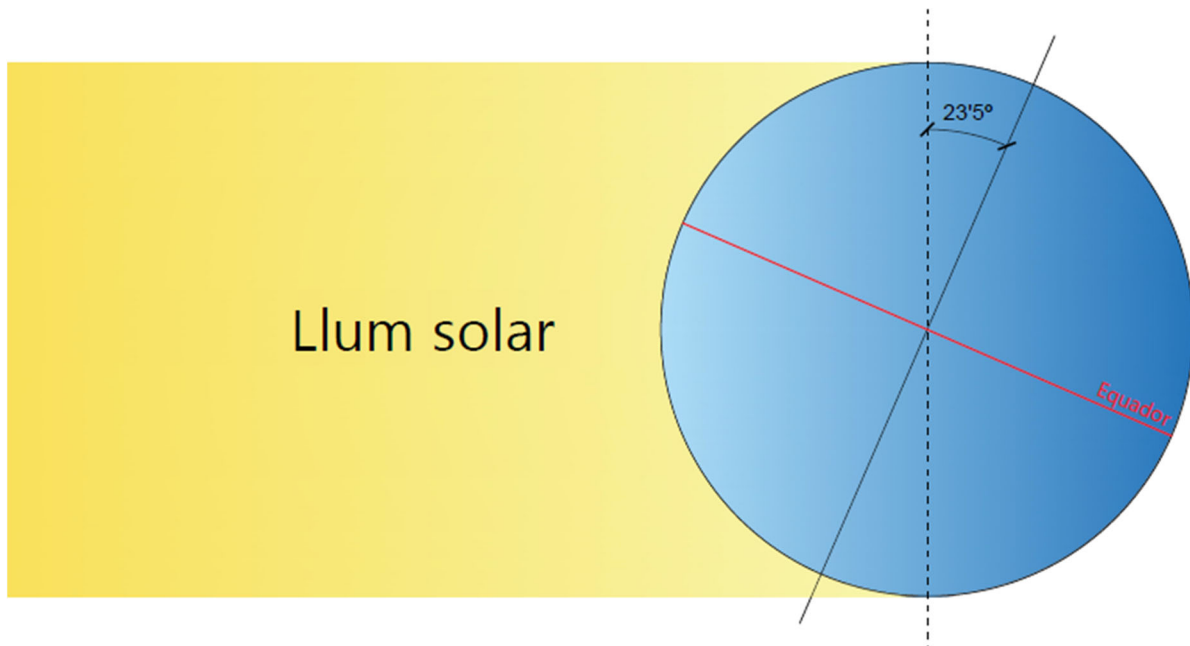


Fig. 3.1 Declinació de la Terra respecte el Sol (Font: pròpia).

A causa d'aquesta inclinació de la Terra, la incidència de la llum varia al llarg de la translació del Sol respecte d'aquesta variant entre angles de $-\delta$ a $+\delta$. Els dies en que aquest angle són màxims i mínims s'anomena solsticis d'estiu i d'hivern respectivament. Aquests dies hi ha més radiació directe en un dels hemisferis. Quan aquest angle és de 0° , s'anomena equinocci, la radiació del qual és màxima a l'equador i és bastant semblant als dos hemisferis. Aquest moviment del Sol es pot veure a la Fig. 3.2.

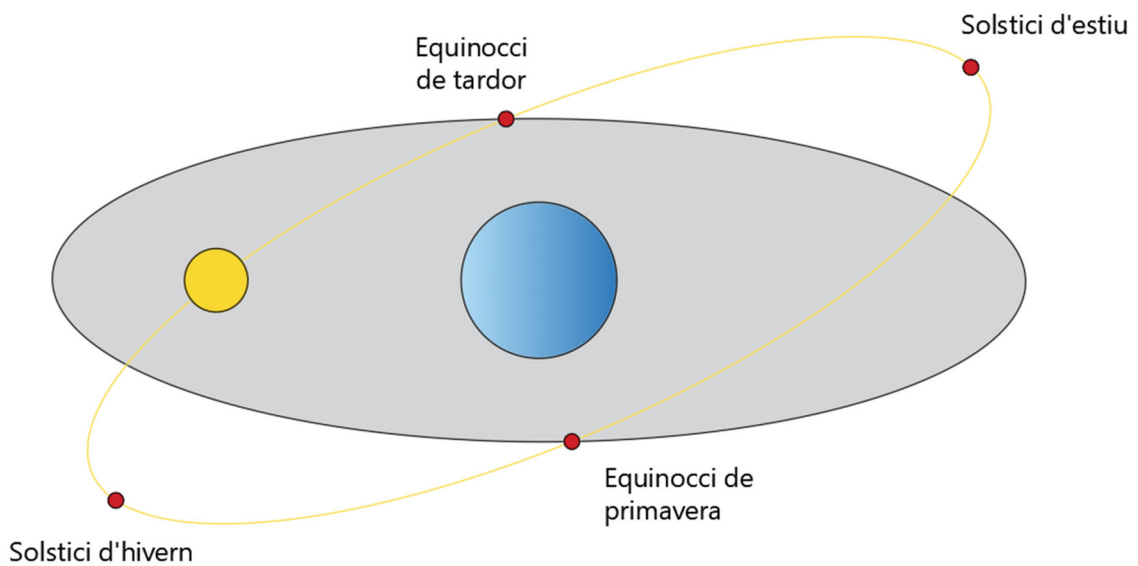


Fig. 3.2 Moviment del Sol respecte la Terra (Font: pròpia).

En el cas de Catalunya, a l'estiu hi ha una incidència més directe que a l'hivern, per tant l'angle d'incidència serà més perpendicular a la superfície terrestre. A part, també hi ha més hores de Sol, és a dir a l'estiu, els dies són més llargs i les nits més curtes. Es pot veure que el dia més llarg de l'any és de 15 hores al Juny, mentre que el mes curt és tant sols de 9 hores al Desembre.

El període d'estiu de Catalunya no serà el mateix que el d'un altre país com Argentina. La latitud de la zona on ens trobem afecta directament a la inclinació en que els rajos de Sol impacten sobre la part de la Terra.

3.3.2. Altura solar

L'altura del Sol no és la mateixa a primera hora del dia que al migdia. Com s'ha dit anteriorment, per fer els càlculs, el Sol farà una trajectòria diària al voltant de la Terra. Per tant, l'angle d'incidència dels rajos farà un semicercle de 0° a 180° passant pel zenit, punt en que el Sol està totalment perpendicular (90°). Com més perpendicular sigui aquest angle, la radiació directa incidirà amb més intensitat.

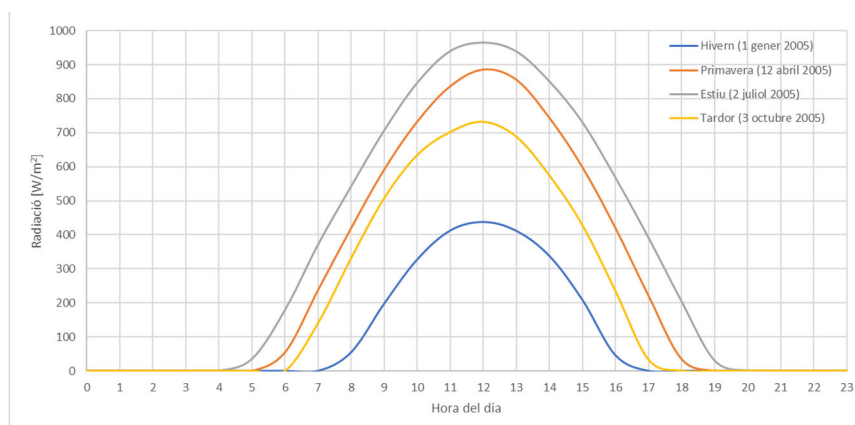


Fig. 3.3 Gràfica de radiació solar en les diferents estacions (Font: pròpia).

Tal com es pot veure en la Fig. 3.3, la radiació solar augmenta a mesura que s'aproxima el zenit diari i torna a disminuir quan s'aproxima la nit. A part, també es pot veure com als dies d'Estiu es produeix bastant més que a l'Hivern.

No només és per la inclinació, sinó per l'Atmosfera. Els gasos d'aquesta reflecteixen més fàcil les longituds d'ona curtes (blaves i violetes) que les llargues (taronja i vermella). A la sortida del Sol i al capvespre, la distància que ha de recórrer la llum a través de l'Atmosfera és més gran que a les hores del migdia. A les hores on l'Atmosfera és més àmplia, dona temps a reflectir les ones curtes i travessen les llargues, per això es pot veure aquesta gamma de colors càlids. A

la Fig. 3.4 es pot veure les distàncies d'Atmosfera que ha de recórrer la llum solar al llarg del dia.

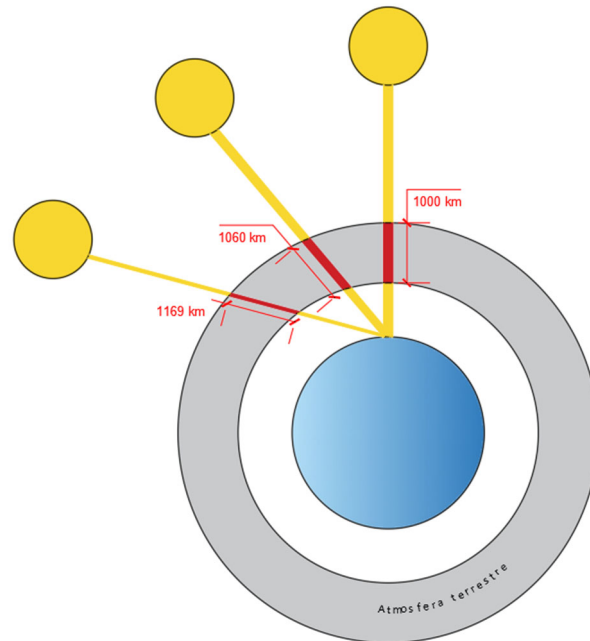


Fig. 3.4 Inserció de la radiació solar a l'atmosfera en diferents angles (Font: pròpia).

3.4. Autoconsum

L'autoconsum fotovoltaic és una manera de fer servir l'energia solar que es produeix en un sistema fotovoltaic per consumir electricitat al mateix lloc on es produeix. Aquest mètode permet estalviar a la factura de la llum pel fet d'extreure menys energia de la xarxa, si no és nul·la.

Per altra banda, permet saber el que es pagarà de llum durant els següents 30 o 40 anys, el que duri la instal·lació solar fotovoltaica. Amb això el que es vol dir és que el preu de l'energia va fluctuant i no se sap quin pot ser el preu d'aquí uns anys, però la inversió que es fa de la instal·lació és fixe i es comptabilitzarà aquest preu durant els anys que duri la instal·lació fotovoltaica. Aquest valor és el cost d'electricitat solar (*LCOE*), el qual es calcula en [€/kWh] i s'utilitza la següent fórmula:

$LCOE = \frac{\text{Inversió} + \sum \text{Manteniment} - \sum E. \text{compensada} - \sum \text{Potència} - \sum \text{Ajuts}}{\sum E. \text{Autoconsumida}}$	(3-2)
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------

És important també pel fet de disminuir el CO₂ emès a l'atmosfera i aconseguir energia verda a partir d'una font inesgotable, enlloc de generar energia de combustibles fòssils o altres mètodes no renovables.

Hi ha una major independència energètica i es pot tenir un major control sobre l'energia consumida i produïda. També s'evita la pèrdua de cablejat durant el transport de l'energia a través de la xarxa elèctrica, per tant, en general hi ha una major eficiència energètica.

Prèviament hi havia moltes traves a l'hora de fer una instal·lació fotovoltaica, inclús molts pensaven que era una il·legalitat el fet de poder generar energia pròpia. Tot va canviar quan va sortir el *Reial Decret 244/2019*. En aquest decret estan escrits tots els factors relacionats amb l'autoconsum.

Hi ha diferents modalitats d'autoconsum:

- Autoconsum amb excedents: Els excedents generats s'aboquen a la xarxa i es compensen fins a un màxim del que es paga en termes d'energia a la factura de la llum (sense peatges).
- Autoconsum sense excedents o injecció 0: El qual es pot connectar o no a la xarxa, però els excedent no s'aboquen.
- Autoconsum col·lectiu: S'utilitza en blocs de pisos amb 2 o més habitatges de la comunitats de veïns.

En els casos on es vol abocar els excedents a la xarxa, cal sol·licitar un punt de connexió. Aquest és un tràmit que sol·licita a la xarxa elèctrica poder connectar-se. El *Reial Decret 1183/2020* és un recull de les normes per demanar aquests punts de connexió. Els projectes majors de 100 kW, s'hauran de connectar a mitja tensió (25 kV). La resta es connectarà a baixa tensió (15 kV).

En termes de potència, és important saber que es pot fer una instal·lació amb una potència major a la contractada, però mai es podrà passar de la potència adscrita, la qual ve determinada per la instal·lació elèctrica de l'habitatge.

L'autoconsum més típic és l'autoconsum amb excedents i es pot resumir amb la Fig. 3.5.



Fig. 3.5 Diagrama autoconsum amb excedents (Font: pròpia)

El que generen els panells solars, s'utilitzaran primerament per cobrir el consum de l'habitatge. En aquest punt pot haver-hi dues opcions; que la producció sigui inferior al consum o que aquesta sigui major al que es consumeix a l'habitatge. En el primer cas, tota la generació s'utilitza per cobrir el consum i, com que es necessita més energia, s'importa de la xarxa. En el segon cas, com que la generació és major, s'utilitza la necessària per cobrir el consum i la resta és exportada a la xarxa com a excedents. Aquests excedents es poden compensar fins a un màxim dependent del terme d'energia pagat.

En el cas que es disposi d'una bateria, els excedents aniran primerament a la bateria i s'utilitza aquesta energia quan la generació no arriba a cobrir el consum. Si s'omple la bateria, els excedents s'exporten a la xarxa com en el cas de sense bateria.

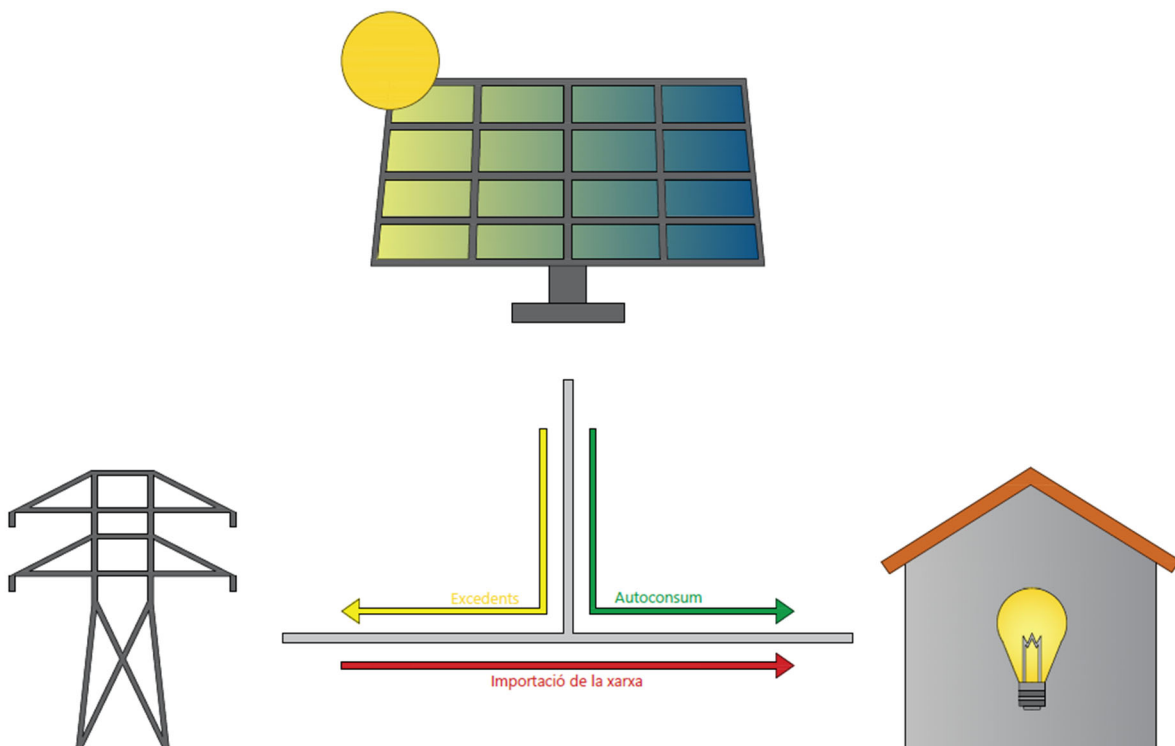


Fig. 3.6 Esquema autoconsum bàsic amb excedents (Font: pròpia)

3.5. Elements de la instal·lació

A continuació es descriuen els diferents elements d'una instal·lació solar fotovoltaica. Primerament els imprescindibles, els quals són els mòduls, l'inversor i l'estructura i després altres elements que es poden incloure a la instal·lació per millorar l'autoconsum o facilitar l'obtinguda de resultats obtinguts.

3.5.1. Mòdul solar fotovoltaic

Els panells solars o mòduls fotovoltaics, són els components principals de la instal·lació fotovoltaica. Aquests aparells estan composts per diferents cel·les connectades conjuntament, que utilitzen la llum solar com a font d'energia per generar energia elèctrica.

Aquestes cel·les estan compostes normalment per silici i dopades amb altres components com el fòsfor o el bor. Es componen de dues làmines, la capa superior carregada positivament (P) i la capa inferior, la qual està dopada amb més electrons convertint-se en càrrega negativa (N).

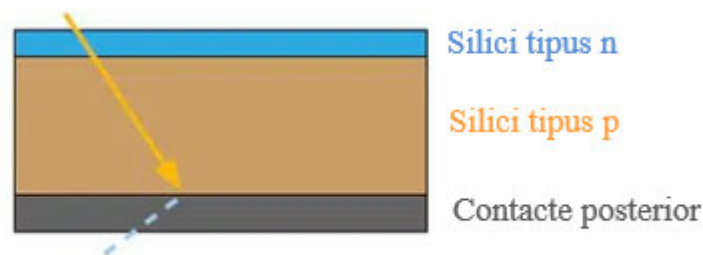


Fig. 3.7 Composició de la cel·la fotovoltaica (Font: Google Images).

Quan els fotons que emet la llum solar impacten contra els materials semiconductors, aquests són absorbits. Per poder alliberar un electró de la cèl·lula, es necessita una energia específica. Si els fotons incideixen al semiconductor amb menys energia de la mínima, aquests el travessen com si fos transparent. Si aquesta energia és igual a la necessària, tota l'energia del fotó s'utilitza per extreure aquest electró. Si el fotó interacciona amb més energia de la necessària, la resta que no necessita l'electró es transforma en energia calorífica. Per tant, el millor cas és que tinguin energies similars, ja que no és convenient una alta temperatura del mòdul.

Aquests fotons impacten contra la capa positiva dels semiconductors, alliberant electrons, que van fins la càrrega negativa, creant així una diferència de potencial. Aquest procés és l'anomenat efecte fotoelèctric. El flux d'electrons generat per la diferència de potencial és el que es denomina corrent elèctric (CC).

Per poder conduir aquest corrent continu, s'imprimeix a la superfície de la cel·la unes fines línies metàl·liques anomenades *fingers*. Aquestes van connectats directament als *busbars*, unes línies més gruixudes, també impreses, que van perpendiculars a la xarxa de *fingers* i transporten tot el corrent recol·lectat pels més fins.

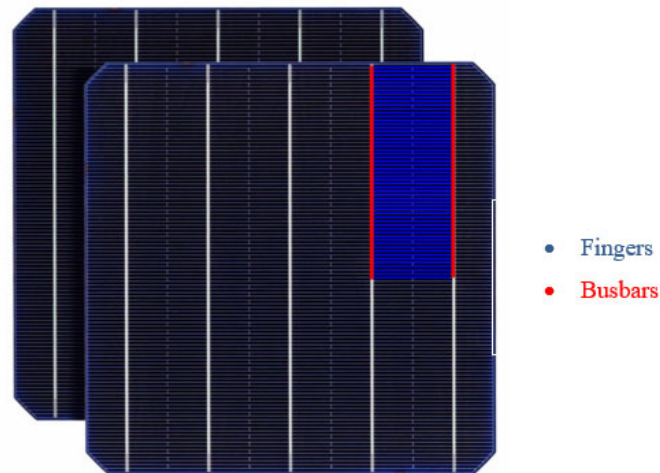


Fig. 3.8 Disposició de fingers i busbars dins la cel·la fotovoltaica.

Cada cel·la genera una petita caiguda de tensió. Per poder generar una tensió útil, es connecten varies cel·les en sèrie, generant així, el mòdul solar fotovoltaic.

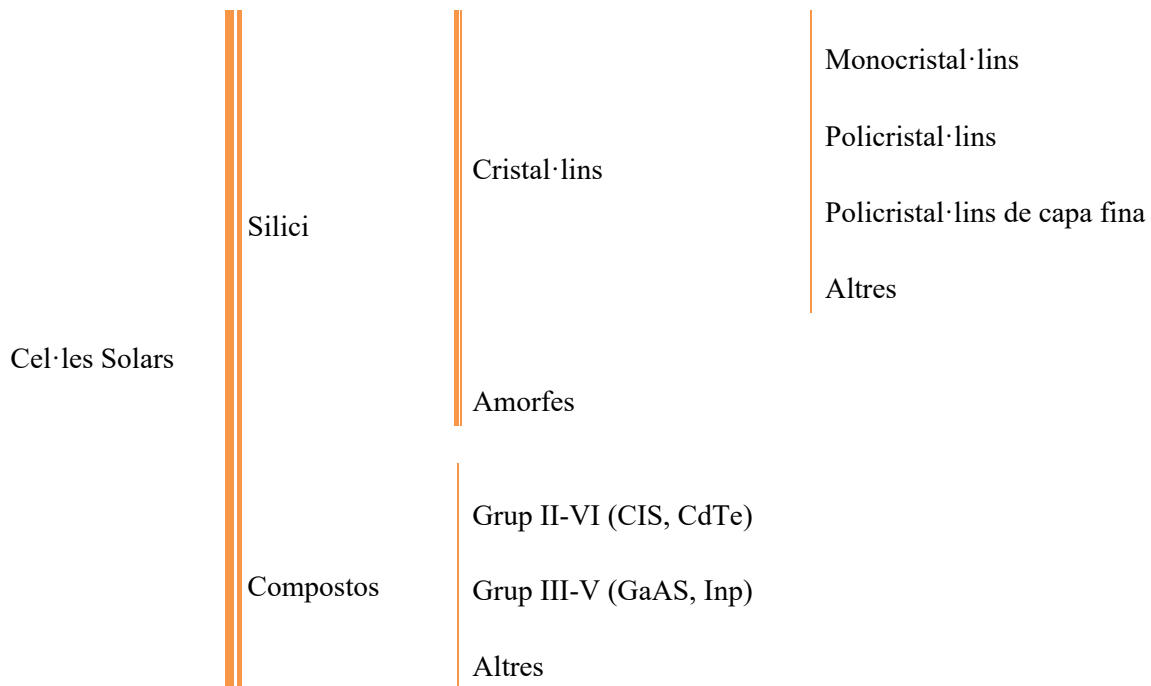


Fig. 3.9 Parts descompostes del mòdul fotovoltaic (Font: Google Images).

A la Fig. 3.9, es pot observar les diferents parts del mòdul fotovoltaic, compostat per l'estructura, juntament amb un cristall a la part frontal i un recobriment de polímer termoplàstic per protegir

les cel·les de les adversitats atmosfèriques. Entremig hi ha un encapsulat que cobreix les cel·les per ambdues bandes.

Les cel·les fotovoltaïques es classifiquen de la següent manera:



Taula 3.1 Tipus de cel·les fotovoltaïques.

La Taula 3.1 mostra una classificació extensa dels tipus de cel·la que existeixen. A l'actualitat, les que s'utilitzen normalment són les cel·les de silici, tot i que s'estan investigant nous materials. Es pot dir que les cel·les fotovoltaïques es divideixen en tres grans grups; monocristal·lins, policristal·lins i amorfes.

- **Monocrystal·lins:** Formats per un únic cristall amb una estructura uniforme.
- **Policristal·lins:** Formades per varis cristalls.
- **Amorfes:** Silici no cristal·litzat.

Els panells monocristal·lins, al tenir una superfície uniforme, quan impacte la llum perpendicular, tenen una molt bona eficiència. Els policristal·lins, no tenen tant bona eficiència al incidir la llum perpendicularment, ja que la seva superfície no està orientada uniformement, però el rendiment augmenta la resta del dia, quan el Sol està en angles més aguts.

Connexió de les cel·les

Les cel·les es connecten entre sí en sèrie per poder produir el corrent continu. Això significa que si una cel·la deixa de funcionar, ja sigui per algun problema tècnic o ombrejat sobre aquesta, la resta de cel·les tampoc produeixen. Per reduir aquest efecte, les cel·les es connecten en diferents *strings*, afegint un díode “*Bypass*” a cada *string* per fer de pont del corrent si aquest falla.

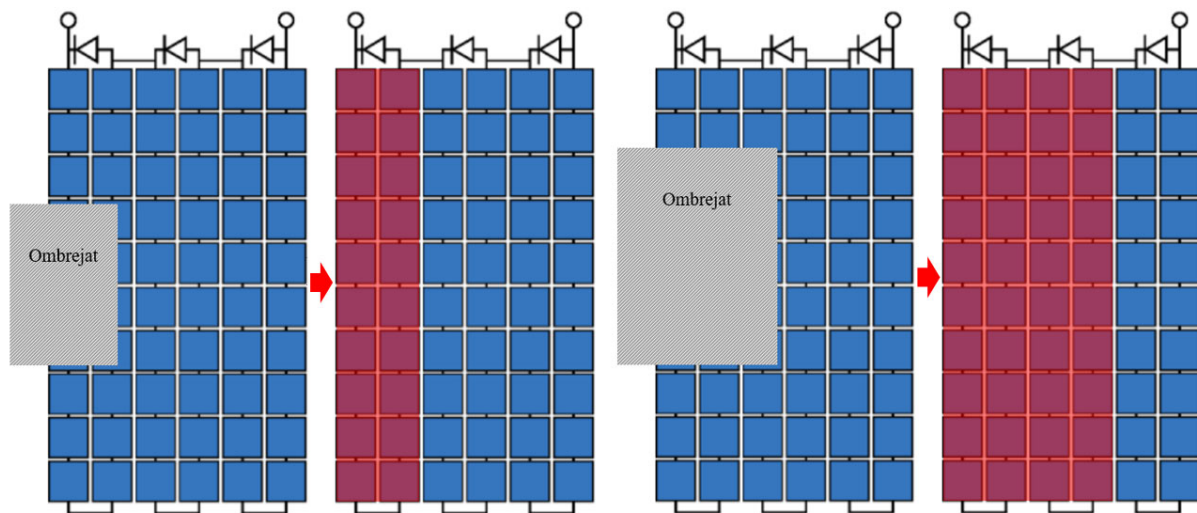


Fig. 3.10 Ombrejat d'strings de cel·les dels mòduls solars.

Com s'observa a la Fig. 3.10, si hi ha ombra a una part de l'string de cel·les, aquest deixa de funcionar i el corrent passa pel díode.

Característiques elèctriques

Els paràmetres elèctric es calculen segons les condicions estàndards NOCT (Temperatura nominal del funcionament de la cel·la fotovoltaica), que comporta una irradiació de 800 W/m^2 , temperatura ambiental de $20 \text{ }^\circ\text{C}$ i velocitat del vent de 1 m/s . També segons les condicions STC (Condicions estàndards de prova), que suposa una irradiació de 1000 W/m^2 , temperatura del mòdul de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ i una massa d'aire de $1,5 \text{ AM}$.

Les característiques més rellevants són:

- **Potència nominal (P_{mpp} o P_{max}) [W]:** Potència màxima que pot assolir el mòdul.
- **Voltatge en circuit obert (V_{oc}) [V]:** Voltatge del panell solar en circuit obert, és a dir, físicament el circuit està connectat, però no hi circula corrent.

- **Intensitat en circuit tancat (I_{sc}) [A]:** Intensitat del mòdul en cas de produir-se un curtcircuit.
- **Voltatge a Pmax (V_{mpp}) [V]:** Voltatge del mòdul quan el sistema es troba en el punt de potència màxima.
- **Intensitat a Pmax (I_{mpp}) [A]:** Intensitat del mòdul quan el sistema es troba en el punt de potència màxima.
- **Eficiència del mòdul [%]:** Relació de conversió d'energia que té el mòdul, de radiació solar a energia elèctrica.
- **Voltatge màxim sistema [V]:** Voltatge màxim que permet la connexió en sèrie dels mòduls solars.
- **Coefficient potència, voltatge i intensitat segons temperatura [%/°C]:** És el percentatge d'augment o reducció de potència, voltatge o intensitat que pateix el mòdul quan aquest augmenta 1 °C. La fórmula és la següent:

$\left((T_m - 25^\circ C) \cdot \frac{\text{Coefficient}}{100} + 1 \right) \cdot X$			(3-3)
X	W, V, I	Potència, Voltatge o Intensitat que es vol calcular.	
Tm	°C	Temperatura del mòdul.	
Coefficient	%/°C	Coefficient segons temperatura.	

On la X és la potència, el voltatge o la intensitat dels mòduls, segons el que es vulgui calcular i Tm és la temperatura del mòdul. A continuació hi ha la fórmula per calcular-ho.

$T_m = T_a + Rd \cdot \left(\frac{T_{nom} - 20}{800} \right)$			(3-4)
Tm	°C	Temperatura del mòdul.	
Ta	°C	Temperatura ambient.	
Rd	W/m ²	Radiació solar.	
Tnom	°C	Temperatura nominal.	

Per entendre el funcionament de totes aquestes característiques, es pot observar les corbes més importants dels mòduls. En primer lloc hi ha les corbes intensitat-voltatge i voltatge-potència per a diferents valors de radiació solar.

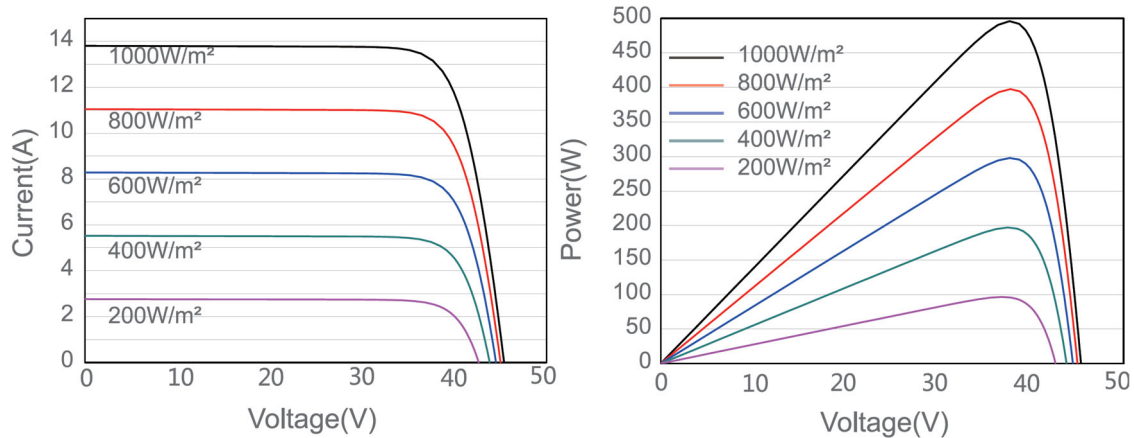


Fig. 3.11 Corbes Intensitat-Voltatge i Voltatge-Potència segons radiació del mòdul (Font: Google Images).

La temperatura del mòdul és diferent de la temperatura ambient, acostuma a ser un valor més elevat. A la Fig. 3.12 es pot veure l'afectació de la temperatura del mòdul al seu funcionament. Es pot observar les corbes de voltatge-corrent respecte la temperatura i es veu com la intensitat disminueix a mesura que la temperatura augmenta a partir d'aproximadament els 25 °C. Si disminueix la intensitat, també ho fa la potència, per tant, els dies d'estiu, tot i que la radiació és superior per la incidència més perpendicular de la llum solar, el rendiment pot baixar degut a les altes temperatures.

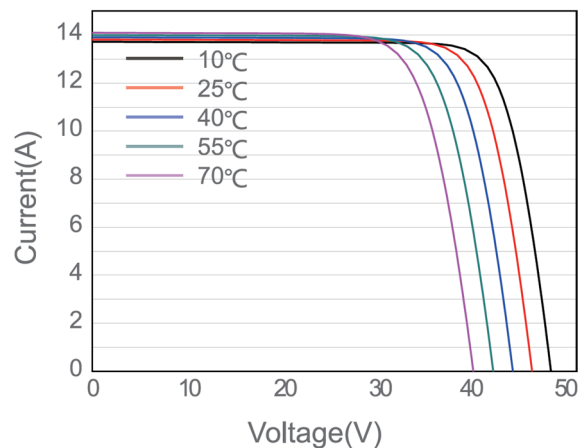


Fig. 3.12 Corbes Intensitat-Voltatge segons temperatura del mòdul (Font: Google Images).

Característiques tècniques

Des de la creació de la cel·la solar fotovoltaica, els diferents fabricants han treballat per maximitzar el rendiment del mòdul a partir de noves tecnologies o millores de les existents. Algunes de les que han funcionat millor i avui dia les podem trobar al mercat són la distància entre *Fingers*, la tecnologia *PERC*, la tecnologia *Half-Cell* o els mòduls bifacials.

La distància les barres metàl·liques col·lectores, és important a l'hora del rendiment de la cel·la i ha d'haver-hi un equilibri per diferents factors. Com més *fingers* hi hagi en una cel·la, més corrent continu s'extreurà d'aquesta. Tot i això, aquestes tires treuen espai per poder generar aquest corrent, ja que recobreixen la cel·la i no permeten la captació de llum solar. A més a més, poden produir punts calents. Els punts calents es poden produir per microrotures o pols acumulada, entre d'altres, i actuen com a receptors enlloc d'emissors. Això fa que es calentin i poden arribar a cremar el mòdul.

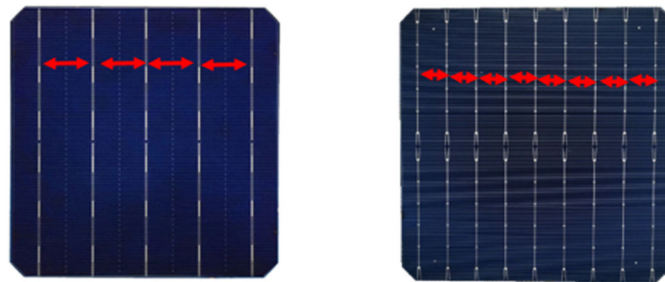


Fig. 3.13 Separació de *fingers* de diferents cel·les (Font: Google Images).

A la Fig. 3.13, es pot veure la separació dels *fingers* de les diferents cel·les. Hi ha empreses que han aconseguit fabricar cel·les sense aquestes barres metàl·liques.

La tecnologia *PERC* (*Passivated Emitter Rear Cell*) consisteix en introduir una capa reflectant entre la capa P i el semiconductor del mòdul, perquè la llum que travessi el mòdul xoqui contra aquesta i torni rebotada a la cel·la. Aquesta tecnologia augmenta de manera considerable el rendiment del mòdul.

La tecnologia *Half-Cell* consisteix en dividir la connexió interna de les cel·les del mòdul en dues parts. El panells solars convencionals uneixen totes les cel·les en sèrie. En aquest cas es separa per la meitat i es connecten les cel·les de la part inferior per una banda i les de la part superior per una altre, tal com es pot observar a la Fig. 3.14.

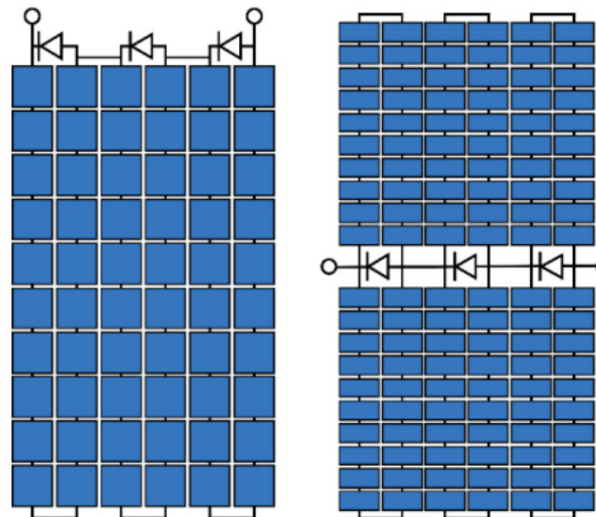


Fig. 3.14 A l'esquerra mòdul normal i a la dreta mòdul amb tecnologia Half-Cell (Font: Google Images).

Aquesta tecnologia, al tenir dos circuits independents, redueix la intensitat que circula a la meitat, per tant, les pèrdues per resistència del cablejat es redueixen considerablement. Un factor molt interessant és si hi ha una ombra existent sobre el mòdul. En el mòdul Half-Cell, si hi ha ombra a la part inferior, no afecta al rendiment de la part superior del mòdul, per tant, a efectes pràctiques, millora el rendiment per ombrejat.

Els mòduls bifacials són panells solars que produeixen energia per la part posterior. S'exposen les cel·les tant per la part davantera com la posterior, per tenir un rendiment superior als panells monofacials. Així doncs, quan aquests s'instal·len sobre una superfície amb gran capacitat de reflexió, el mòdul pot absorbir la radiació albedo. Aquests mòduls estan començant a sortir al mercat, per això tenen un preu més elevat. Tot i això, és una tecnologia que està guanyant terreny ràpidament perquè proporciona una millora de rendiment molt elevada.

3.5.2. Inversor solar

Un cop els mòduls han convertit l'energia provinent de la llum solar en energia elèctrica, aquesta surt a través del cablejat com a corrent continu. Aquesta ha de servir que per cobrir el consum d'elements connectats a la xarxa elèctrica de 230 V de l'habitatge i, en molts casos, connectar-ho també a la xarxa elèctrica convencional. Per condicionar les característiques del generador a les del receptor, es necessita un aparell que faci la conversió. Aquest és el convertidor o inversor solar.

En aquest projecte es treballarà amb els inversors, els quals converteixen el corrent continu (CC) en corrent altern (CA). Es pot veure l'esquema elèctric de l'inversor a la Fig. 3.15.

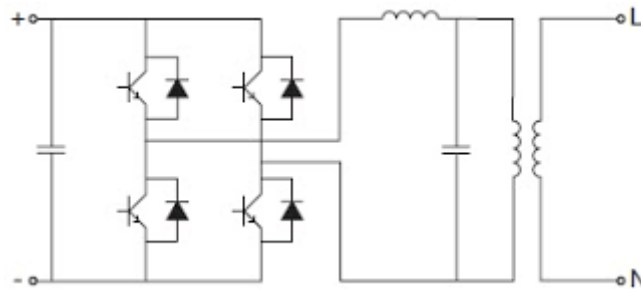


Fig. 3.15 Esquema elèctric de l'inversor (Font: Google Images).

Primer de tot tenim un condensador que s'encarrega de mantenir el voltatge estable. La base del funcionament de l'inversor és un pont H de dues branques. Cada branca té dos transistors, els quals funcionen com interruptors i van commutant a la freqüència de la xarxa elèctrica a la que es connecta (a Europa és a 50 Hz), proporcionant una ona de sortida quadrada. El funcionament de commutació es mostra a la Fig. 3.16.

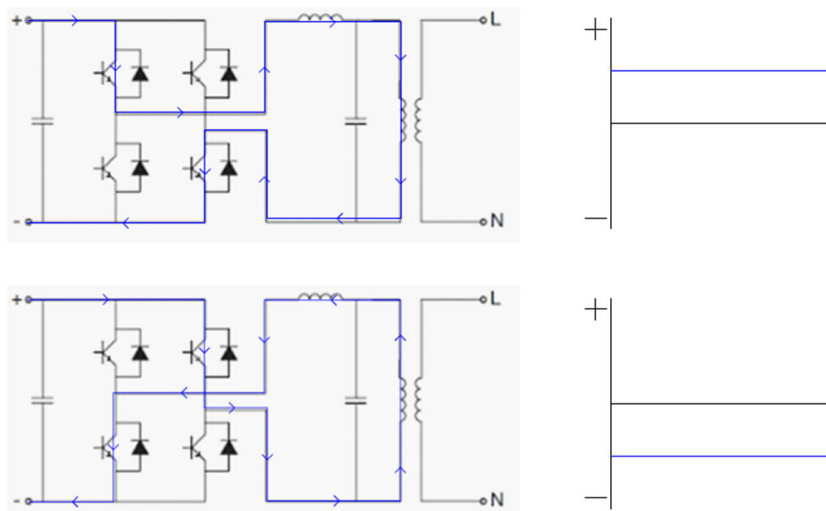


Fig. 3.16 Estats del pont H de l'inversor (Font: Google Images).

Es controla la qualitat del corrent mitjançant un filtre L-C muntat a continuació del pont H. Per aconseguir una ona el més sinusoidal possible, s'utilitza la tècnica PWM (Pulse With Modulation), la qual permet regular la freqüència i el valor eficaç (rms) de l'ona de sortida.

Finalment, es necessita un transformador que corregeixi la tensió dels mòduls a la de la xarxa elèctrica perquè es pugui acoblar. Segons el tipus de xarxa, existeixen inversors monofàsics,

per xarxes monofàsiques (220 V – 240 V) i inversors trifàsic, per xarxes trifàsiques (380 V – 400 V).

Els inversors poden tenir una o més entrades anomenades *MPPTs* (Maxim Power Point Track). Cada un d'aquests *MPPTs* té un *string* de mòduls connectats en sèrie. En un mateix *MPPT* es poden connectar varis *strings* en paral·lel. Al estar aquests en paral·lel, els *strings* d'una mateixa entrada han de tenir les mateixes característiques per un bon funcionament (mateix número de mòduls de la mateixa potència). Cada entrada o *MPPT* necessita un voltatge mínim i un voltatge màxim, resultants de la suma de tensions dels mòduls en sèrie. Quan el voltatge està dins del rang de l'entrada de l'inversor, aquest buscarà un punt de tensió i corrent únics, que s'aniran actualitzant constantment per extreure la màxima potència possible.

Els *microinversors* són un tipus d'inversor que es connecta un a cada panell de la instal·lació solar fotovoltaica, enlloc de tenir un inversor central per a tot el sistema. Per tant, no s'ha d'ajuntar els mòduls en *strings*. La potència nominal del mòdul (P_{nom}) vindrà determinada per la potència pic individual del mòdul al que es connecta.

Una altra funcionalitat de l'inversor és el de distribuir l'energia produïda. Primerament s'intentarà cobrir tot el consum instantani. Si es genera més del que es consumeix i hi ha algun tipus d'acumulador, els excedents aniran a parar allà. Si no hi ha acumulador o aquest està ple, els excedents restants aniran directament a la xarxa. Generalment, els inversors no són compatibles amb les bateries i es necessita un aparell extra per poder funcionar amb aquesta. Tot i això, avui dia existeixen moltes marques d'inversor híbrids, els quals permeten implementar una bateria sense necessitat d'instal·lar aparells extres.

Característiques elèctriques

En quant a l'entrada de l'inversor (CC):

- **Potència màxima entrada (P_{max}):** És la potència màxima del generador fotovoltaic que permet l'inversor a l'entrada.
- **Tensió màxima (V_{max}):** Tensió màxima per entrada. Tenint en compte V_{oc} dels mòduls a -10° .
- **Rang tensió MPPT (V_{mpp}):** Tensió mínima i màxima per estar dins del l'*MPPT*.
- **Tensió mínima (V_{min}):** Tensió mínima perquè l'inversor pugui treballar.

- **Tensió d'inici (V_{start}):** Tensió mínima de les cadenes que necessita l'inversor per començar a funcionar.
- **Corrent màxim (I_{max}):** Corrent admissible màxima dels mòduls.
- **Corrent de curtcircuit màxim (I_{CCmax}):** Corrent màxim admissible en circuit tancat.
- **MPPTs:** Número d'entrades disponibles. Cada entrada pot tenir un o més *strings* en paral·lel.
- **Strings:** Número de seguidors disponibles.

En quant a la sortida de l'inversor (CA):

- **Potència nominal (P_{nom}):** Potència nominal que l'inversor pot injectar a la xarxa.
- **Tensió sortida (V_{AC}):** Tensió de sortida.
- **Freqüència (Freq):** Freqüència de l'ona de sortida de l'inversor. A Europa és 50 Hz.
- **Intensitat màxima (I_{max}):** Intensitat màxima que pot treure l'inversor.

Un dels factors més importants en el que es pot comprovar la qualitat de l'inversor és la seva eficiència o rendiment (η). Aquest valor es calcula simplement amb la diferència entre la potència instantània d'entrada ($P_{entrada}$) i la potència instantània de sortida ($P_{sortida}$) de l'aparell. Aquest càlcul mostra el funcionament de l'inversor en potències diferents a la nominal (P_{nom}). És important aquesta eficiència sobretot a baixes potències, ja que l'inversor necessita una potència mínima per començar a funcionar.

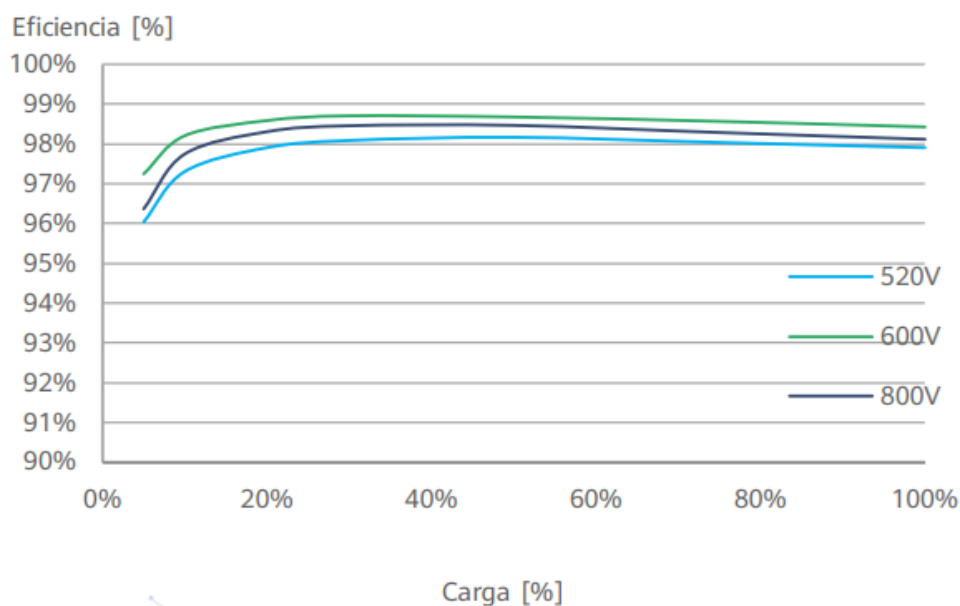


Fig. 3.17 Eficiència d'un inversor trifàsic de 60 kWn de la marca Huawei (Font: Huawei).

La Fig. 3.17, mostra la corba típica de l'eficiència de l'inversor en funció de la potència generada per la instal·lació i es pot veure la potència mínima a la que comença a funcionar, juntament amb el que tarda en arribar a la potència màxima que pot extreure.

3.5.3. Estructura

Per la instal·lació dels mòduls a la ubicació, es necessitarà una estructura o una altre dependent de la naturalesa de la superfície a instal·lar. Sempre que es pugui, s'ha de dotar als mòduls d'una inclinació, com a mínim superior a 5°. Aquest motiu es deu a varies raons.

Primer de tot, dependent de les coordenades de latitud, el rendiment dels mòduls es veurà afectat. Com més gran sigui la latitud, més inclinació es necessitarà per una òptima generació dels mòduls. A mesura que la latitud s'acosta a l'Equador, menys pendent necessiten els panells solars.

Per altra banda, a l'inclinar els mòduls, aquests reben neteja natural de les pluges que hi pugui haver. Per tant, no serà precisa una neteja tant estricta com si estiguessin totalment plans.

Una part important pels mòduls i l'estructura són les càrregues de vent. Com que són àrees gran en comparació amb el gruix, poden tenir grans càrregues tant de compressió com de succió. Aquestes dependran de la ubicació, la forma i dimensions de la implantació, així com la direcció i intensitat de vent. A la Fig. 3.18 es pot veure les càrregues de succió (c_s) i de compressió (c_p) que genera el vent sobre un edifici.

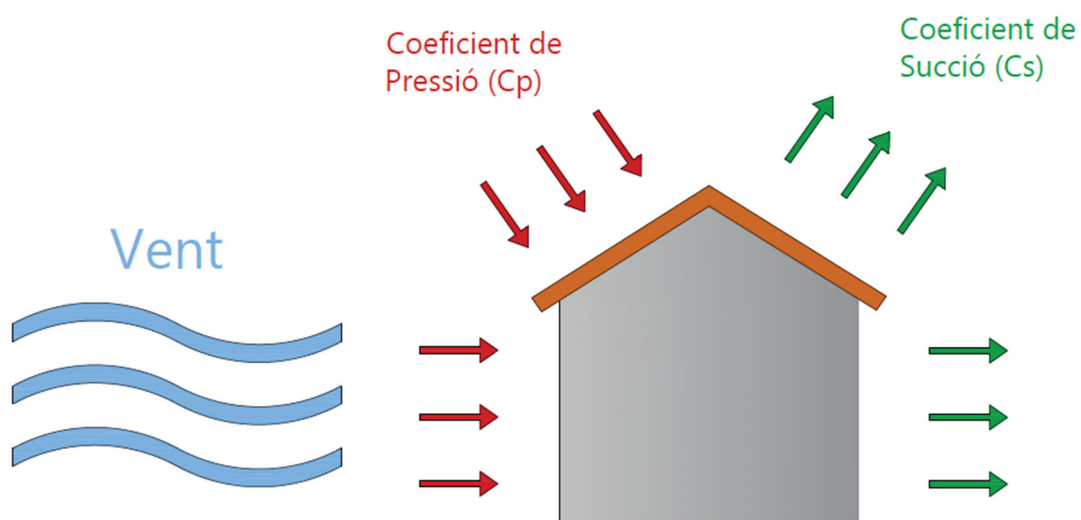


Fig. 3.18 Càrregues de succió i compressió del vent sobre l'edifici (Font: Pròpia).

Existeixen diferents tipus d'estructures depenent de la ubicació del camp fotovoltaic i del material de la superfície on es col·locaran.

Coplanar

Aquesta estructura d'alumini anoditzat s'utilitza sobre cobertes inclinades de teula, generalment per habitatges domèstics. Són fàcils d'instal·lar i tenen un marge de possibilitats bastant alt, ja que els panells solars es poden posar tant vertical com horitzontalment. Al estar paral·lels a la coberta, no es crea efecte vela, és a dir que no hi ha càrregues variables succió, o aquestes són mínimes. És una instal·lació bastant compacta i conserva l'estanqueïtat de la coberta.

Per a la instal·lació, primer de tot es farà forats a les teules necessàries pels suports. Aquests forats es faran a la part alta de la teula, evitant fer-los per les zones on passa l'aigua de pluja. Per a la fixació, es posarà unes varetes als forats realitzats, juntament amb taco químic perquè quedi ben fixat i no hi hagi filtracions. Sobre les varetes es posarà uns suports per on es passaran les barres d'alumini. Sobre aquestes barres es col·locarà els mòduls a través d'unes grapes i connectats en sèrie entre ells.

Coplanar ECO

L'estructura coplanar ECO és molt semblant a la coplanar bàsica, però dedicada a cobertes inclinades de xapa metàl·lica, generalment cobertes industrials.

Pretén reduir costos, ja que enlloc de tenir una barra d'alumini al llarg de la coberta, es posarà petites barres de 12 cm de llarg a les greques on aniran els mòduls col·locats. Aquest sistema però, limita la configuració (horitzontal o vertical) dels mòduls depenent de la separació entre greques de la coberta.

Triangular

La subjecció és molt similar a l'estructura coplanar, però l'estructura ja té una inclinació incorporada. Es pot posar sobre superfícies planes i inclús parets. La fixació a la coberta es realitza a través de fixació, com les coplanars o amb contrapesos, sense perforació, que resisteixin la força del vent.

És una estructura molt versàtil i, depenent de la orientació de la coberta, pot aportar un major rendiment per l'augment d'inclinació dels mòduls. Tot i això, s'ha de tenir en compte que, al

estar els mòduls més inclinats, es produeix una gran tensió de les càrregues de vent degut a l'efecte vela.

Al contrari de les coplanars, aquestes estructures s'han de separar en files de mòduls i hi ha d'haver una separació entre elles per evitar ombres. Aquests espais que no s'aprofiten, pot fer que es redueixi considerablement la potència pic de la instal·lació.

Graella o pèrgola

Igual que l'estructura triangular, la graella o pèrgola funciona com a estructura per inclinar els panells solar en superfícies planes. Aquestes però, no estan a l'altura del terra, sinó que són estructures elevades.

També tenen gran varietat de possibilitats i s'utilitza majoritàriament en terrasses on els murets són bastant alts i en superfícies de terra.

Blocs de formigó (*Solarbloc*)

És una estructura pensada per a cobertes planes. Al contrari que la resta d'estructures fins ara, estan fetes de blocs de formigó. Són fàcils d'instal·lar i no requereix perforar la coberta, per tant, no es produirà cap tipus de filtració.

Aquesta estructura també inclina els mòduls, per tant s'ha de pensar en la distància de separació entre les diferents files.

Per aprofitar al màxim la superfície de la coberta, s'han dissenyat els *solarblocs* Est-Oest. És una sola estructura que permet posar dos mòduls en sentits i inclinacions invertits, com es pot veure a la Fig. 3.19.



Fig. 3.19 Estructura solarbloc Est-Oest (Font: pròpia).

La longitud del mòdul de darrera, permet que la següent fila de mòduls estigui enganxat a la de davant. Tot i que pot reduir el rendiment de la instal·lació per les diferents orientacions, s'obté

una potència pic total bastant superior i en molts casos és necessari per cobrir el consum que es demana.

Autoportant

És una estructura similar a la graella. S'utilitza en grans superfícies, generalment empreses, amb cobertes planes. Té el mateix funcionament que l'estructura *solarbloc* Est-Oest, aprofitant al màxim l'espai de la superfície.

L'estructura tampoc va fixada a la coberta, sinó que es reparteixen uns pesos per sobre d'aquesta, amb el pes necessari per evitar que la força del vent pugui aixecar-la. Per reduir aquesta força de compressió o succió, és favorable ajuntar els mòduls en blocs el més quadrats possible per reduir la quantitat de pesos necessaris.

En molts casos, les cobertes on s'utilitza l'estructura són lleugeres i no permet afegir grans quantitats de pes.

Flotants

Estructures per instal·lacions fotovoltaïques sobre l'aigua. Cada mòdul es collarà a una estructura de HDPE (*High Density Polyethylene*) el qual és resistent a l'aigua i amb una gran flotabilitat per evitar que els mòduls s'enfonsin. Les estructures es connectaran entre elles, generant matrius de mòduls que es portaran, amb l'ajuda d'unes cordes, a la zona d'aigua a ocupar.

Els mòduls es dotaran d'una inclinació que es podrà regular manualment, per incrementar l'eficiència i obtenir una neteja natural de l'aigua de la pluja.

En aquest tipus d'estructura, tant la instal·lació com el manteniment són molt fàcils. Tot i això, pel moviment dels mòduls amb l'aigua, pot tenir problemes de rendiment en temporals i ràfegues de vent intensos.

3.5.4. Elements extres de la instal·lació

Els elements essencials d'una instal·lació fotovoltaïca són els anomenats anteriorment; Mòduls, inversors i estructures. Tot i això, hi ha altres elements que poden aportar millores i altres necessitats aprofitables en casos específics.

Optimitzador

Quan un mòdul d'un *string* rep ombra, la seva producció es redueix, ja que baixa la radiació incident. Ens aquests casos, el mòdul baixa la seva intensitat. Com que els mòduls estan en sèrie, la resta de mòduls de l'*string*, també baixaran la intensitat, és a dir, la producció. Per evitar aquesta baixada de producció, es poden instal·lar els optimitzadors.

Cada aparell d'aquests va connectat a un sol panell solar i funciona com a convertidor DC/DC amb l'objectiu de modificar la tensió i la intensitat del mòdul i adaptar-la a la intensitat de l'*string*.

Mesurador d'energia intel·ligent (*Smart Meter*)

Un *smart meter* o mesurador d'energia intel·ligent és un dispositiu que s'utilitza per mesurar i monitoritzar el consum d'energia elèctrica en una instal·lació fotovoltaica. Aquests mesuradors tenen la capacitat de comunicar-se bidireccionalment i proporcionar informació en temps real sobre el consum d'energia als usuaris i a la companyia elèctrica.

Pot ser útil per a una instal·lació fotovoltaica, ja que permet als usuaris conèixer el consum d'energia en temps real i ajustar l'ús d'energia en conseqüència.

Altres avantatges inclouen la possibilitat de detectar problemes amb els panells solars o el sistema d'emmagatzematge d'energia. A més, poden ser una eina valuosa per als productors d'energia solar amb connexió d'excedents a la xarxa, ja que proporcionen informació precisa sobre la quantitat d'energia que es produeix i que es ven.

Bateria

Les bateries són components que permeten emmagatzemar l'energia solar produïda durant el dia per poder-la utilitzar quan no hi ha llum solar disponible, com per exemple a la nit o durant períodes de nuvolositat. Es poden utilitzar per millorar l'eficiència energètica d'una instal·lació fotovoltaica i reduir la dependència de la xarxa elèctrica. Per exemple, si una instal·lació produeix més energia de la que consumeix l'habitatge en un moment determinat, l'energia sobrant no s'importa a la xarxa, sinó que pot ser utilitzada per fer canvis en la demanda energètica de la instal·lació, com ara llums, electrodomèstics o càrrega de vehicles elèctrics.

Hi ha diferents tipus de bateries, com bateries de plom-àcid, bateries d'ions de liti i bateries de níquel-cobalt-manganès. Les més utilitzades avui dia són les de ió liti (*Li-Ion*) i una de les seves variacions; polímer liti (*Li-Po*), les quals permeten una major densitat d'energia. Permeten emmagatzemar una gran capacitat d'energia, que es pot utilitzar quan sigui necessària.

És important tenir en compte que les bateries tenen un cicle de vida limitat i s'aniran deteriorant amb el temps. Per tant, cal considerar el cost de reemplaçament de les bateries en el càlcul del cost total de propietat d'una instal·lació solar fotovoltaica. Per controlar el flux d'energia no utilitzada que s'emmagatzema a la bateria i la que s'exporta a la xarxa, es necessita un mesurador d'energia intel·ligent o *Smart Meter*.

Inversor per bateria

Les bateries funcionen en contínua per poder fer el seu funcionament d'emmagatzematge, però la xarxa elèctrica està en alterna. Per tant, és necessari un inversor per aquesta bateria.

Els inversors híbrids, són inversors que permeten connectar la bateria directament i es fa aquest canvi de contínua a alterna directament. Per altra banda, també existeixen bateries que porten un inversor incorporat, pel que no es necessita ni un inversor per bateria, ni un inversor híbrid.

Bateria virtual

Les bateries virtuals són un tipus de tecnologia que permeten emmagatzemar energia elèctrica sense necessitat d'utilitzar bateries físiques. En lloc d'emmagatzemar l'energia en una bateria, l'energia s'envia a la xarxa i es comptabilitza per fer una compensació posteriorment. Aquests excedents es podran utilitzar quan el consum de l'habitatge sigui major a l'energia generada i es pot guardar pel següent més. Fins i tot, es pot compartir excedents amb una segona residència si és necessari. S'ha de tenir en compte que es comença a emmagatzemar a la bateria virtual a partir que es comença a tenir excedents no compensats.

És important saber que les bateries virtuals no són una solució d'emmagatzematge d'energia en sí mateixes, sinó que es basen en l'ús eficient de l'energia i en la coordinació de la generació i el consum d'energia. En el cas de la bateria virtual, igual que en la física, cal comptar amb un *Smart Meter* per controlar el flux d'energia importada i exportada a la xarxa.

És una solució a la bateria física menys perjudicial pel medi ambient, ja que s'estalvia en termes de producció i transport de material. En termes econòmics, s'hauria de comparar el preu mensual de a bateria virtual, amb el preu únic de la física i els anys de vida útil d'aquesta última.

3.5.5. Petit material

Perquè tota la instal·lació tingui sentit, es necessita tot el petit material que engloba el cablejat, tant de continua (CC) com d'alterna (CA), les safates per on passen els cables si són necessàries i les proteccions elèctriques entre d'altres.

3.6. Marc regulador

Per a una instal·lació fotovoltaica, existeixen un conjunt de lleis, normatives i principis que estableixen les bases de funcionament i regulació d'aquesta activitat. Aquest marc regulador és fonamental per garantir el compliment de les obligacions i els drets dels treballadors, així com per assegurar la sostenibilitat i el bon funcionament de l'empresa instal·ladora. A continuació, s'esmenten les lleis i normatives principals d'una instal·lació fotovoltaica en l'àmbit domèstic:

- *Llei 24/2013* del sector elèctric
- *Reial decret 842/2004*, Reglament Electrotècnic de Baixa Tensió (REBT)
- *Real Decreto 1110/2007*, Reglament unificat de punts de mesura del sistema elèctric.
- *Reial decret 1699/2011*, Regulació de la connexió a xarxa d'instal·lacions de producció d'energia elèctrica de petita potència.
- *Reial decret 1955/2000*, Regulació de les activitats de transport, distribució, comercialització, subministrament i procediments d'autorització d'instal·lacions d'energia elèctrica.
- *Reial decret 244/2019*, Regulació de les condicions administratives, tècniques i econòmiques de l'autoconsum d'energia elèctrica.
- *Reial decret 1183/2020*, decés i connexió a les xarxes de transport i distribució d'energia elèctrica.

4. Abast del projecte

L'objectiu principal del projecte consisteix en una proposta de *floating PV* en l'àmbit domèstic, el qual consisteix en una instal·lació solar fotovoltaica sobre l'aigua per un habitatge convencional i autoconsum individual.

S'espera que el sistema de *floating PV* dissenyat tingui una alta eficiència i sigui capaç de generar energia elèctrica de manera rendible i sostenible.

Amb aquest projecte s'investiga la tecnologia necessària per fer funcionar una instal·lació fotovoltaica sobre la superfície de l'aigua, així com un estudi de la seva optimització comparant-ho amb instal·lacions solars fotovoltaïques en altres superfícies i condicions. Es durà a terme un anàlisi detallat de les tecnologies i les solucions existents al mercat, així com una revisió bibliogràfica del tema. A continuació, se seguirà un procés de disseny i simulació per determinar la millor configuració del sistema fotovoltaic i seleccionar els components més adequats. Això inclou tot el material necessari per a la instal·lació, així com elements extres com bateria o mesurador d'energia intel·ligent, entre d'altres.

Aquesta investigació estarà recolzada per un estudi energètic simulat en un programa específic amb el que s'obtindrà els resultats de producció i eficiència de la instal·lació. Amb aquestes dades es podrà saber l'estalvi que suposarà a l'habitatge en termes energètics i econòmics.

Es dissenyaran tots els plànols necessaris per a la memòria real d'una instal·lació fotovoltaica, el qual inclouen l'emplaçament amb la ubicació de la instal·lació, la planta general, la secció i el diagrama unifilar.

Finalment, hi haurà un estudi econòmic amb un pressupost desglossat de tot el material necessari a la instal·lació, juntament amb descomptes de bonificacions i subvencions referents al municipi on es trobi.

Aquest projecte és només una investigació, per tant, tot i que es faci estudi econòmic i tota la documentació, no inclou muntatge real.

5. Dades generals de l'habitatge

S'agilitzarà el projecte seleccionant un habitatge amb les condicions necessàries per a la instal·lació i uns consums hipotètics que s'adaptin a la producció desitjada. L'habitatge escollit disposarà d'una bassa d'aigua suficientment gran com per poder fer la instal·lació sobre l'aigua. En aquest cas s'ha escollit un habitatge unifamiliar a Mataró amb una bassa de reg i connexió monofàsica.

Dades de l'habitatge	
Situació de la instal·lació	C/ Veïnat de Mata, 7 Parcel·la 11
Municipi, Comarca	08304 Mataró, Barcelona
Tarifa elèctrica	2.0 TD
Tipus de subministra	Monofàsic
Ref. cadastral	08120A004000110000ZJ
Consum	10.754 kWh/any

Taula 5.1 Dades de l'habitatge

Coordenades	
UTM	Geogràfiques
X UTM: 454.509 Y UTM: 4.601.424 HUSO: 31 T	Latitud: 41,5632° Longitud: 2,4544°

Taula 5.2 Coordenades de l'habitatge

És una habitatge amb sistema de reg, per tant considerem un consum major durant el dia per ajustar el consum a les hores de Sol.

Suposarem que la bassa està en perfecte estat i no necessita de cap reforma per fer la instal·lació. També es suposarà, per tal d'agilitzar els càlculs, que la bassa té una profunditat de més de 3 metres i que el nivell de l'aigua no variarà en tot l'any.

6. Objectius i especificacions tècniques

Aquest projecte té com a finalitat observar si és una solució viable fer una instal·lació fotovoltaica flotant per a habitatges domèstics rurals o amb una superfície d'aigua suficientment gran. L'objectiu serà el de generar energia elèctrica a partir de l'energia solar utilitzant cossos d'aigua com a superfícies. S'avaluarà la viabilitat tècnica i econòmica de la instal·lació en una bassa específica, comparant-ho amb un sistema de generació tradicional. Finalment, s'estudiarà els efectes ambientals i econòmics que pugui haver-hi.

Per assolir aquests objectius, es necessita un llistat d'especificacions tècniques.

- Elecció de material:
 - D'alta qualitat i adequat per a una instal·lació flotant.
 - Resistent a la intempèrie i a la corrosió perquè eviti mal funcionaments i contaminació.
- Disseny de la instal·lació:
 - Dimensionar la potència pic per cobrir el consum de l'habitatge.
 - Dimensionar l'inversor per adequar-ho a la potència pic.
 - Compatibilitat de sistemes.
 - Disseny de la implantació més adequada per les dimensions de la superfície.
 - Cablejat de CC i CA, juntament amb proteccions adequades.
- Documentació i tramitació:
 - Redacció de la memòria.
 - Compliment de normatives i ordenances municipals.
 - Tramitació de subvencions i ajuts.
- Instal·lació:
 - Fixació de mòduls a l'estructura.
 - Fixació de l'estructura per generar un camp fotovoltaic compacte.
 - Fixació de l'ancoratge per mantenir el camp fotovoltaic en posició.
 - Connexió CC del camp fotovoltaic a l'inversor.
 - Connexió CA de la instal·lació.
 - Muntatge de proteccions i pressa a terra.

7. Anàlisi de viabilitat

A continuació es farà un anàlisi de viabilitat tant tècnic, econòmic i ambiental, per tal de posar en una balança els factors bons i dolents de cada part i justificar la viabilitat del projecte.

7.1. Anàlisi de viabilitat tècnica

Es farà un anàlisi de viabilitat tècnica dels diferents elements de a instal·lació.

Mòdul solar fotovoltaic

Els panells solars es poden qualificar segons la tecnologia que utilitza, el material utilitzat, el preu de venda o l'eficiència d'aquests, entre d'altres. Per facilitar als clients de panells solars, existeix una llista on apareixen les millors empreses de mòduls solars fotovoltaics. Aquesta llista és *BloombergNEF PV Module Tier 1 List* i està publicada per la revista *Bloomberg* que es va actualitzant per trimestres. Com s'ha comentat, aquesta llista no valora els panells, sinó a les empreses i les ventes associades a cada una d'elles. Per tant, pot haver-hi empreses que no apareguin en aquesta llista, però tinguin una tecnologia de primera qualitat. Tot i això, aquesta llista indica que és una empresa fiable i que els panells que s'utilitzaran són de gama alta o *Tier-1*. A continuació hi ha un llistat de les que considero les millors empreses del moment, basant-me en aquesta llista i en noves tecnologies que estan sortint al mercat.

Gamma	País	Empresa	Preu (€/Wp)	Garantia (anys)
Top	E.E.U.U	Sunpower	0,641	40
Premium	Corea	Hyundai	0,365	25
		Q-Cells	0,332	25
	Noruega	REC Solar	0,308	20
Alta	Xina	Jinko	0,339	25
		Longi	0,269	12
		JA Solar	0,300	25
		Trina solar	0,307	25
		Risen	0,311	25
	Canadà	Canadian Solar	0,309	12

Taula 7.1 Llistat d'empreses de panells solars.

A la Taula 7.1 es pot veure la llista de les empreses separades per qualitat segons les seves característiques. Cada empresa intenta innovar en un sector i hi ha gran diferència entre elles. Per exemple, *Sunpower* presenta una gran resistència i robustesa dels materials, així com una tecnologia sense tires soldades a les cel·les que evita punts calents. Els panells de *Hyundai*, enlloc d'estar dissenyat per cel·les, està fet per tires al llarg del mòdul i tecnologia PERC. L'empresa REC es valora per l'absència de plom als seus mòduls.

Una tecnologia important són els panells solars bifacials, ja que és interessant veure el seu rendiment amb la radiació difosa que reflexa la superfície de l'aigua, així com la rendibilitat econòmica comparant-ho amb mòduls sense aquesta tecnologia.

Un factor important a tenir en compte és la garantia aplicada per l'empresa. Els panells solars al llarg dels anys van perdent eficiència degut a la degradació i exposició a fenòmens meteorològics. La garantia marca els anys de durabilitat dels panells mantenint un percentatge d'eficiència concret.

Aquests panells, si es vol una bona rendibilitat, no només s'han de valorar per la seva qualitat o la garantia, sinó que s'ha de fer un balanç junt amb el cost econòmic.

Amb tota aquesta informació, es pot determinar que alhora de seleccionar el mòdul s'observaran varies qualitats:

- **Potència pic del mòdul:** Hi ha panells amb una potència pic fins a més de 500 Wp. La tendència els últims anys és anar a l'alça, ja que com més grans són els panells, menys s'han de posar i hi ha menor possibilitat que fallin. Tot i això, com més gran sigui el mòdul, més fràgil és aquest.
- **Relació qualitat-preu:** És important que sigui un panell de bona qualitat, però s'ha de mirar si compensa el preu que es paga per l'energia generada.
- **Tecnologia:** S'ha de mirar quines tecnologies són les més adequades per la instal·lació. Per exemple la tecnologia PERC o panells bifacials.

El mòdul escollit és el JAM72D09-385/BP de 385 Wp de la marca *JA Solar*. Aquest és d'una potència estàndard per evitar els factors comentats en el primer punt.



Fig. 7.1 Mòdul JAM72D09 385/BP de la marca JA Solar (Font: JA Solar).

Són panells Tier-1, és a dir que l'empresa té una gran fiabilitat dins el mercat i la relació qualitat-preu és de les millors que es poden trobar dins de les grans empreses. Aquest panell conta amb la tecnologia PERC i Half-Cell. A part de ser mòduls bifacials, que podran absorbir la reflexió albedo reflectida per l'aigua de la bassa.

Inversor solar

Amb els inversors, a diferència dels mòduls, no hi ha una llista oficial que mostri les millors empreses en el sector. Per tant, intentant seguir la taula del llistat de panells solars, he fet una llista basant-me en factors de qualitat, preus, garanties i altres característiques.

Gamma	País	Empresa	Ventes totals (%)	híbrid
Top	E.E.U.U	Enphase	6	No
Premium	Alemanya	SMA	4	No
	Àustria	Fronius	5	Si
Alta	Xina	Huawei	23	Si
		Sungrow	17	Si
		Goodwe	6	Si
		Growatt	6	Si
		Solis	6	Si
Mitja	País Basc	Solaredge	<1	No
	València	Steca	<1	Si

Taula 7.2 Llistat d'empreses d'inversors solars.

Com que els inversors hauran d'anar cobertes, no necessiten presentar una gran robustesa. Per tant, els factors més importants a l'hora d'escollir inversor són la tecnologia i, evidentment, el preu.

Un exemple de tecnologia que s'està instaurant al mercat i utilitzen marques com *Huawei*, són els inversors híbrids. Alguns inversors *Fronius*, tenen un endoll incorporat que es pot utilitzar quan se'n va la llum de l'habitatge, ja que si ha saltat l'interruptor principal, el que genera la instal·lació en aquell moment no s'aprofita. Una tecnologia molt distintiva és la que utilitza l'empresa d'inversors *Enphase*, que enlloc d'un únic inversor, la instal·lació funciona amb microinversors.

Per escollir l'inversor, es seguirà la dinàmica del panell solar. Els principals factors alhora d'escollir un inversor són els següents:

- **Estructura física:** Aquest no necessita una estructura molt robusta ni resistent, ja que aquests acostumen anar a l'interior d'habitatges o, com a mínim, protegits.
- **Relació qualitat-preu:** El factor principal que es mirarà és una bona relació qualitat-preu, ja que un inversor necessita un bon funcionament, però no varien molt les pèrdues de conversió entre inversors.
- **Tecnologia:** Hi ha molts inversors avui dia que són híbrids, és a dir, que permeten connectar bateria sense inversor específic per bateria.
- **Comunicació entre dispositius:** És important que en una mateixa instal·lació els dispositius es connectin entre ells per una monitorització de l'energia i comoditat.

Està clar que el país puntal en inversors és Xina, on es concentra més del 50% de les vendes d'inversors de tot el món. En concret, l'empresa que amb més vendes és *Huawei* amb un 23% de les vendes mundials. Això es deu a una gran qualitat dels materials, bona relació qualitat-preu, tecnologia innovadora i, sobretot, una gran estructura organitzativa.

Hi ha gran gama d'inversors, tant monofàsics com trifàsics, tots ells són inversors híbrids, per tant, si es vol afegir una bateria tant en la mateixa instal·lació, com en un futur, és viable. A part de l'inversor, han obert el mercat dissenyant elements extres de la instal·lació per formar una xarxa de material Huawei que es comunica amb gran facilitat. Això inclou mesuradors d'energia intel·ligents i bateries, entre d'altres. Tots aquests elements es poden visualitzar tant per l'usuari, com per l'empresa instal·ladora a través d'una plataforma anomenada *Fusion Solar* per on es pot veure el funcionament de l'inversor.

L'inversor escollit és el SUN2000-6KTL-L1. Inversor monofàsic de 6 kWn de la marca *Huawei*.



Fig. 7.2 Inversor SUN2000-6KTL-L1 de la marca *Huawei* (Font: *Huawei*).

Estructura

Hi ha molt poques empreses al món dedicades a la fabricació d'estructures per instal·lacions fotovoltaïques flotants. Algunes d'elles són *isifloating*, *Zimmermann* o *SolarFirst*. Totes tenen dissenys únics de flotadors, a part de diferents mètodes de plataformes de manteniment i d'ancoratges.

Encara que l'estructura sigui diferent, el principal objectiu d'aquesta és mantenir a la superfície els panells. *Isifloating*, per exemple, es decanta per l'ús d'una superfície compacta a on aniran els mòduls col·locats a sobre. *Zimmermann*, en canvi, utilitza flotadors més petits units per estructures metàl·liques.

Una de les necessitats bàsiques de les estructures flotants és que s'utilitzi un material anticorrosiu i resistent als raigs UV provinents del Sol. Per aquest motiu la majoria d'ells porten un material protector per evitar que es desprenguin microplàstics a l'aigua.

En algun disseny de gamma més alta, el suport permet regular la inclinació del mòdul per escollir la més convenient. També hi ha empreses que tenen opcions d'estructures Est-Oest o inclús seguidors solars.

Els ancoratges són molt variats depenent del tipus de bassa i característiques específiques d'aquesta. Es pot fer ancoratge a la part inferior de la bassa de maneres diferents o es pot fer a la superfície de terra al costat de la bassa.

No hi ha moltes característiques alhora de decidir una estructura flotant, degut a que hi ha poques opcions al mercat i totes compleixen amb els requisits bàsics cercats. La més important serà el cost de l'estructura i un disseny que s'adapti a les necessitats de la instal·lació.

L'empresa constructora escollida en aquest cas és *isifloating*. Aquesta empresa utilitza estructures flotants compactes de plàstic dur multicapa (HDPE) amb una durabilitat de com a mínim 25 anys. Disposen de flotadors d'alta qualitat amb protecció UV afegida per evitar degradació del material exposat a radiació UV i reduir l'emissió de microplàstics.

Comporten una comprovació de resistència a l'impacte, que descriu la resistència del material a impactes, a partir del mètode *Charpy (ISO 179-1A)*. A part, ha passat la prova d'inflamabilitat realitzada (*DIN 75200*).

El muntatge d'aquesta estructura es du a terme a fora de l'aigua. Es va muntant fila per fila i es va integrant a la bassa empenyent l'estructura ja compacte. El cablejat va integrat a l'estructura per una bona fixació i protecció d'aquests envers l'aigua.

Les dimensions de l'estructura flotant que subjecta el mòdul són de 2078 mm de llargada, 1040 mm d'amplada i 400 mm d'alçada, amb una inclinació de 15° pel mòdul. Per altra banda, l'estructura de passarel·la pel manteniment és una mica més estret i té una inclinació de 0° per poder-hi passar.

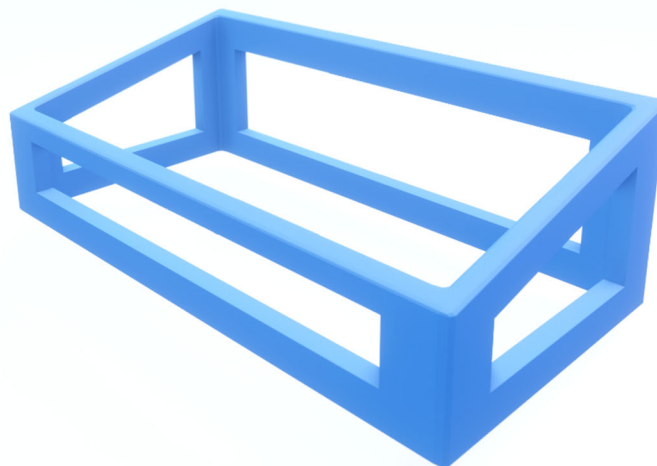


Fig. 7.3 Estructura flotant (Font: Pròpia).

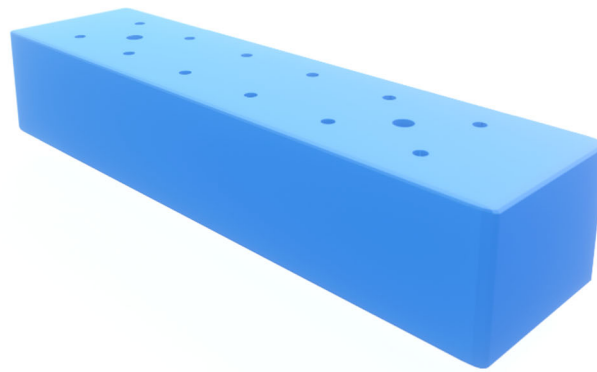


Fig. 7.4 Estructura flotant de manteniment (Font: Pròpia).

Aquesta estructura comporta la instal·lació d'un ancoratge per fixar i estabilitzar els panells sobre l'aigua. La fixació s'ha decidit fer a la superfície del terra a l'exterior pel simple motiu de no danyar l'estructura de la bassa. Consisteix en quatre fixacions al terra del voltant de la bassa, juntament amb cables que s'enganxen al camp fotovoltaic.

L'ancoratge és de més baix cost i més útil per a instal·lacions de petites dimensions. Els problemes amb els ancoratges poden venir en instal·lacions a llacs de gran dimensions o instal·lacions oceàniques, però no en superfícies d'aigua tant petites com basses de reg. En aquest àmbit els problemes són molt menors i s'ha demostrat una gran fiabilitat davant de condicions adverses.

Mesurador d'energia intel·ligent

Amb el mesurador d'energia intel·ligent no hi ha molta dificultat, ja que s'escollirà un aparell de la mateixa marca que l'inversor per poder obtenir una correcta comunicació. L'inversor escollit és de la marca Huawei, també pensant en la comunicació entre elements de la instal·lació i la facilitat de gestió.

El mesurador d'energia intel·ligent utilitzat és l'*Smart Meter* monofàsic de la marca *Huawei*.



Fig. 7.5 Smart meter de la marca Huawei (Font: Huawei).

Bateria

En el cas d'aquesta instal·lació s'ha escollit no afegir bateria. Les bateries d'Ió-liti, utilitzades en instal·lacions fotovoltaïques, són aparells que contaminen molt, tant en l'elaboració, com en la generació de residus.

A part, estan en constant desenvolupament, per tant és possible que surtin noves tecnologies en pocs anys, a part que els anys de vida del producte tampoc són molt elevats. Aquestes també són molt cares i augmenten massa el cost de la instal·lació per aconseguir una energia que es pot intentar aprofitar amb una bona gestió dels consums al llarg del dia.

A més a més, en els darrers mesos hi ha un auge de bateries virtuals. Aquestes es poden activar en qualsevol moment amb la comercialitzadora contractada i amb la que es poden emmagatzemar els excedent no compensats de la instal·lació.

Cablejat

La xarxa de distribució compren el cablejat de corrent continu (CC), distància entre el camp fotovoltaic fins a l'inversor i el cablejat de corrent altern (CA), distància entre l'inversor i el Quadra General de Baixa Tensió. Serà cablejat d'alta seguretat per protegir-se de les condicions atmosfèriques, amb baixa emissió dels gasos corrosius i no propagació de la flama.

En aquesta instal·lació s'utilitzarà, per corrent continu el cablejat ZZ-F (AS) 0,6/1kVca – 1,8kVcc i per corrent altern un de tipus RZ1-K(AS).

Aquest cablejat necessita unes característiques mínimes específiques. Resistència a temperatures extremes (-40°C a 120°C) segons IEC60811-1-4 i IEC60216-1. Tensió nominal

0,6 kV/1kV CA i 1,8 kV CC. Resistència als rajos ultraviolats segons *UL1581*. Resistència a l'ozó segons IEC60811-2-1.

El recorregut serà el menor possible per evitar sobretensions. El cablejat estarà protegit per un tub o canal aïllant al llarg de tot el seu recorregut.

Conclusions

Des d'un punt de vista tècnic, les instal·lacions fotovoltaïques flotants són rendibles i viables en l'àmbit energètic. No obstant això, encara hi ha algunes dificultats a superar per fer-les més competitives en comparació amb les instal·lacions convencionals.

Una d'elles és la optimització dels sistemes d'ancoratge per evitar qualsevol desplaçament o danys causats per forts vents i onades. Un altre repte és el fet de dissenyar materials resistents a la intempèrie i a la corrosió, que no hi hagi degradació d'aquests que contaminin i permetin mantenir a la superfície les plataformes flotants i els mòduls fotovoltaïcs.

Tot i les dificultats, s'ha demostrat que els mòduls fotovoltaïcs tenen un major rendiment sobre l'aigua per varies raons. Una d'elles és que millora l'eficiència tèrmica dels panells en condicions d'altres temperatures. També augmenta considerablement la radiació albedo reflectida per l'aigua en hores de Sol baixes.

7.2. Anàlisi de viabilitat econòmica

En aquest apartat es realitzarà un estudi de la viabilitat econòmica del projecte a nivell de recursos i muntatge, per determinar si aquest és factible i amortitzable.

Partint de la base que les instal·lacions fotovoltaïques són, si no hi ha un dificultats o problemes tècnics, totalment viables a nivell econòmic, les instal·lacions flotants no es queden enrere. Una instal·lació fotovoltaïca domèstica, té una amortització mitjana d'entre 8 a 13 anys. A les instal·lacions d'empreses o de grans dimensions, aquesta amortització es redueix fins a uns 3 o 4 anys. Les instal·lacions flotants s'acostumen a fer de potències pics elevades a embassaments o llacs de grans dimensions perquè surt més a compte, tot i això, si s'aplica a un habitatge domèstic, també es poden obtenir bons resultats.

La instal·lació té una durada mínima de 25 anys, tant pels materials, com pels mòduls i inversor. Però la gran majoria d'instal·lacions duren fins a més de 40 anys.

El pressupost final de la instal·lació té un cost de 12.504,37 €. Amb el consum de l'habitatge, el preu de l'energia, tant comprada com compensada, i sabent l'autoconsum, s'ha obtingut que l'estalvi anual a la factura és d'uns 984,72 €. Si dividim la inversió inicial per l'estalvi a la factura, s'obté una amortització d'un 5 o 6 anys. Això es deu a que és una instal·lació amb unes dimensions considerables, tot i ser d'àmbit domèstic amb excedents compensats.

Sabent que la instal·lació tindrà una vida útil de bastant més de 25 anys, queda clar que el projecte és perfectament viable econòmicament parlant.

7.3. Anàlisi de viabilitat ambiental

Primer de tot, cal destacar que la instal·lació no es durà a la pràctica, per tant, aquest projecte en cap cas serà perjudicial pel medi ambient.

En termes d'impacte ambiental, les instal·lacions flotants tenen més avantatges que desavantatges respecte les instal·lacions tradicionals.

En el global, les instal·lacions fotovoltaïques tenen un impacte positiu major, degut a la generació d'energia neta sense dependre de combustibles fòssils ni emissions de gasos d'efecte hivernacle. La instal·lació dissenyada té un total proporcional d'emissions de CO₂ evitades de 4.933 kg cada any.

Si es compara amb una instal·lació fotovoltaïca sobre terra, l'impacte ambiental és menor, principalment perquè no s'ha de compactar el sòl. No es necessiten vehicles de construcció contaminants com grues o braços elevadors, ja que el muntatge es fa a la riba de la bassa. Amb això, juntament amb que no s'ha de tallar metalls de l'estructura, també s'evita contaminació acústica.

En el cas de les instal·lacions flotants, permeten aprofitar zones d'aigua inutilitzades, a la vegada que es reserven terrenys per altres usos o aprofitar una zona d'aigua enlloc d'ocupar terrenys protegits o en els quals no es pot fer una instal·lació fotovoltaïca per les condicions del sòl. A més a més, es redueix l'evaporació d'aigua, que pot ajudar en èpoques de sequera i evita la formació de proliferacions, un tipus d'organisme anomenat fitoplàncton que són perjudicials per l'ecosistema aquàtic. Per altra banda, no s'aboca cap tipus de residu a cap fase del projecte.

El fet de fer una instal·lació sobre una bassa, encara més si es natural, és que hi ha un gran impacte en la fauna aquàtica i dels voltants. Pot afectar als corrents d'aigua que utilitzen alguns

animals per transportar-se. Un dels impactes més notoris pot ser l'impacte del paisatge a nivell visual, sobretot en àrees envoltades de naturalesa i zones turístiques. En aquest projecte, tots aquests impactes no es produeixen, degut a que és una bassa artificial domèstica en un entorn rural, però envoltat d'edificacions i terreny agrari.

Per molt minúscul que sigui, el material del que està feta l'estructura desprèn petites partícules, anomenades microplàstics, al llarg dels anys degut a la seva degradació. L'estructura és d'alta qualitat, a part de tenir un material protector resistent als raigs UV per minimitzar els microplàstics. Per altra banda, el major impacte que hi ha és el que no es veu a simple vista i són els components, els quals poden contaminar molt en la fase de disseny i fabricació.

En resum, les instal·lacions flotants tenen gran aportació al medi ambient per la generació d'energies renovables, però si que, sobretot si es fa en zones envoltades de naturalesa, pot ser perjudicial per la fauna aquàtica i voltants. Però les instal·lacions fotovoltaïques flotants permeten fer instal·lacions en zones que no es pot utilitzar el terreny i, ambientalment, s'ha demostrat que és totalment viable.

8. Desenvolupament de la solució

En aquets apartat es dissenyarà la instal·lació amb les dades de l'habitatge obtingudes. La instal·lació serà monofàsica i d'autoconsum individual connectada a xarxa. Aquesta modalitat es defineix a la Llei 24/2013 i explica que la instal·lació de producció es pot utilitzar tant per l'autoconsum, com per injectar energia a la xarxa de transport i distribució en forma d'excedents. Aquests excedents estaran acollits a compensació d'acord amb el pactat entre el client i la comercialitzadora.

El projecte analitza la possibilitat que ofereix la instal·lació fotovoltaica de generar energia per autoconsum instantani. Autoconsum es refereix a consumir el màxim possible de la producció individual en un habitatge domèstic. Per tant, es dimensionarà la potència pic de la instal·lació per cobrir al màxim els consums de l'habitatge, però sense obtenir excedents no compensats.

8.1. Emplaçament

La instal·lació fotovoltaica serà flotant, és a dir que els mòduls solars fotovoltaics es mantindran sobre la superfície de l'aigua. La ubicació escollida és una bassa de recollida d'aigües residuals per a ús de regadiu. Aquest forma part d'un habitatge domèstic rural. Les dades de l'habitatge situat al carrer Veïnat de Mata, 7, Parcel·la 11, 08304 Mataró, Barcelona, es poden veure a la Taula 5.1. Aquesta bassa està feta de geomembrana, un geotèxtil de polièster de protecció, juntament amb una làmina de PVC. La bassa real es pot veure a les següents imatges.





Fig. 8.1 Imatges reals de la bassa objecte de la instal·lació

La Fig. 8.2 i Fig. 8.3 mostren la situació sobre el mapa i ubicació exacte de la bassa on es realitzarà el projecte de instal·lació flotant fotovoltaica.

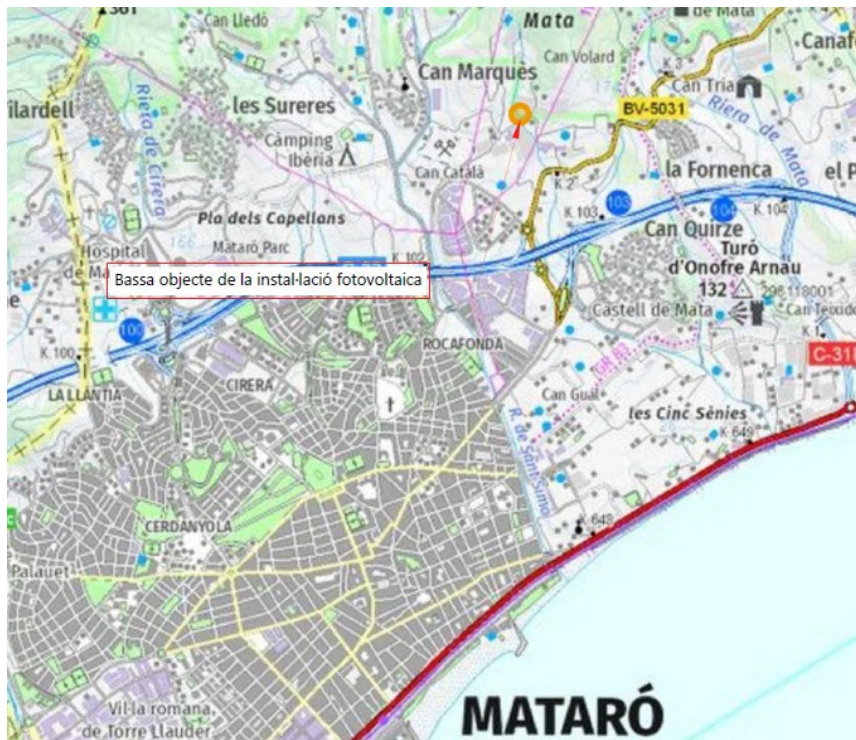


Fig. 8.2 Situació sobre el mapa (Font: ICGC)



Fig. 8.3 Ubicació de la instal·lació (Font: Google Maps)

8.2. Consums de l'habitatge

Aquest habitatge és monofàsic, és a dir que el subministrament es fa amb una sola fase i un sol corrent altern. El valor de la tensió d'un habitatge monofàsic a Espanya és de 230 V.

Per obtenir els consums de l'habitatge es pot fer de diverses maneres. El client pot donar un consum anual de l'energia utilitzada. En aquest cas seria de més ajuda explicar el tipus de consum, segons si és diürn o més nocturn o si es té un consum més de caps de setmana. Com més informació, millor per poder dimensionar la instal·lació i adequar-ho a les corbes de consum. El client també pot donar els consums mensuals com apareixen a les factures elèctriques de les comercialitzadores. En aquest cas també seria d'ajuda compartir l'ús del consum al llarg del dia. Finalment, hi ha comercialitzadores amb les que es pot obtenir una corba de càrrega horària. Aquesta corba mostra els Watts utilitzats a cada hora del dia durant tot l'any. Amb les dades, ja es pot saber el consum exacte que té el client al llarg del dia i es pot fer la instal·lació per adaptar al màxima l'autoconsum.

Per aquest projecte es calcularà uns consums ficticis d'acord amb les característiques de l'habitatge plantejat. Aquest habitatge té unes dimensions reals de 205 m² i, a causa dels seu sistema de reg amb les bombes d'aigua, tindrà un consum majoritàriament diürn. A continuació es mostra una taula amb els consums aproximats dels diferents elements de l'habitatge al llarg de l'any.

Element	Potència	Hores/dia	Dies/any	CONSUM ANUAL
Vitroceràmica	3.245 W	0,9 h	275 dies	803 kWh/any
Aire condicionat	2.994 W	2 h	93 dies	557 kWh/any
Rentavaixelles	2.600 W	1 h	216 dies	309 kWh/any
Forn	404 W	2 h	85 dies	69 kWh/any
Nevera	358 W	24 h	365 dies	3.132 kWh/any
Congelador	330 W	24 h	365 dies	2.891 kWh/any
ventiladors	1.780 W	2 h	62 dies	221 kWh/any
llums	161 W	14 h	355 dies	800 kWh/any
Microones	2.476 W	0,3 h	335 dies	249 kWh/any
Assecador	955 W	0,5 h	257 dies	123 kWh/any
Rentadora	1.071 W	2 h	128 dies	273 kWh/any
Ordinadors	272 W	7 h	335 dies	638 kWh/any
Televisors	489 W	4 h	353 dies	691 kWh/any
Bombes d'aigua	1.425 W	3 h	365 dies	1.560 kWh/any
TOTAL				10.754 kWh/any

Taula 8.1 Taula de consums anuals de l'habitatge (Font: Pròpia).

A la Taula 8.1 es pot veure els elements principals de l'habitatge que més consumeixen. S'ha obtinguts valors aproximats de les potències de cada element, juntament amb una mitjana d'hores diàries al llarg de l'any, així com una estimació dels dies a l'any de la utilització de cada element de consum. Amb això, s'ha obtingut un consum anual en kWh/any i s'ha fet el càlcul del consum anual de l'habitatge. Aquest consum és de **10.754 kWh/any**.

8.3. Energia autoconsumida

L'autoconsum amb compensació d'excedents funciona de manera que el camp fotovoltaic genera energia, la qual l'habitatge pot consumir. Si es consumeix més del que es genera, l'energia extra que es necessita per l'habitatge s'agafa de la xarxa com en els habitatges sense autoconsum. Si és al revés, l'energia que es produeixi de més amb la instal·lació, s'envia directament a la xarxa en forma d'excedents. Per aquests excedents, les comercialitzadores donen una compensació que variarà depenent de l'escollida.

Les comercialitzadores elèctriques són empreses dedicades a la venda d'energia elèctrica a consumidors finals. Aquestes obtenen energia a través de diferents mètodes i la venen a habitatges domèstics i empreses entre d'altres.

No s'ha de confondre comercialitzadores amb distribuïdores elèctriques. Aquestes últimes són empreses regulades pel govern que no són escollides pels consumidors, sinó que estan assignades a una determinada zona geogràfica. A Catalunya, per exemple, és Endesa.

Les comercialitzadores poden ser de dos tipus; mercat regulat i mercat lliure.

Els preus del mercat regulat estan establerts pel govern a través de la tarifa PVPC (Preu Voluntari pel Petit Consumidor) que s'actualitza hora a hora en funció del preu de l'electricitat a nivell nacional. No hi ha cap tipus de regulació i el preu de l'energia pot fluctuar en una diferència de valors molt elevada al llarg del dia, per tant, s'ha d'estar atent a les hores a les quals s'està consumint energia a la propietat privada.

En el mercat lliure, les empreses privades tenen la opció de jugar amb els preus segons la oferta i la demanda. Les tarifes en el mercat lliure s'adapten a les necessitats dels consumidors. Aquests contractes tenen una durada determinada, així com diferents tarifes a lliure acord entre comercialitzadora i consumidor. Al ser empreses privades, els consumidors estan protegits per una sèrie de mesures que prohibeixen moviments dràstics en el preu de la factura de la llum.

En el cas del projecte s'utilitzarà la comercialitzadora *Som Energia*. Una cooperativa sense ànim de lucre que utilitza el 100% d'energies renovables.

La factura elèctrica utilitzada a Espanya per mesurar el consum en la majoria d'habitatges domèstics monofàsics és una tarifa 2.0 TD. Aquesta tarifa permet una potència màxima contractada de 10 kW. La tarifa 2.0TD per un habitatge de baixa tensió es divideix en tres períodes. Període de punta (P1), període de pla (P2) i període de vall (P3). El preu de l'energia elèctrica varia segons les hores del dia en les que es consumeix. Al llarg del dia va canviant el tipus de període segons la demanda típica dels usuaris. A *Som Energia*, els períodes es reparteixen com es veu a la Fig. 8.4:

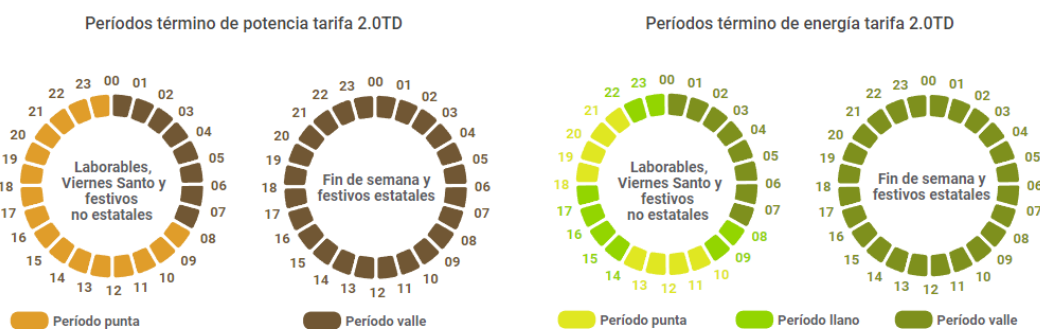


Fig. 8.4 Repartiment dels períodes P1, P2 i P3. (Font: *Som Energia*).

En terme d'energia, els dies de cada dia es divideixen els períodes segons l'hora del dia en que s'està consumint electricitat. De 00:00h fins les 07:00h hi ha període de vall, que és quan l'energia elèctrica té menys demanda i s'utilitza menys. De 10:00h a 14:00 i de 18:00h a 22:00h hi ha període de punta que, al contrari que les hores de vall, aquestes hores són les més concorregudes i, generalment, les hores que els habitatges consumeixen més. La resta d'hores hi ha període de pla, ja que són hores amb una demanda elèctrica mitjana. En el cas d'aquesta factura, els caps de setmana i festius es troben en tot moment en període de vall.

Fora de la fotovoltaica, s'ha de tenir en compte aquestes hores i els preus de l'energia a cada hora per adaptar els consums i poder reduir el cost de la factura de la llum.

El preus de cada període, juntament amb el preu de compensació que donen pels excedents es mostren a la Taula 8.2:

Preus Som Energia (Tarifa 2.0 TD)	
Terme energia	
Període punta	0,342 €/kWh
Període pla	0,281 €/kWh
Període vall	0,234 €/kWh
Compensació d'excedents	
0,176 €/kWh	

Taula 8.2 Preus períodes i compensació d'excedents (Font: Som Energia).

8.4. Descripció de la instal·lació

A continuació es mostren les dades de la instal·lació del projecte fotovoltaic flotant:

Dades de la instal·lació	
Potència nominal del mòdul	385 Wp
Potència pic del camp FV	6,93 kWp
Àrea del camp fotovoltaic	36,1 m ²
Inclinació del camp FV	15°
Orientació del camp FV	14° Sud-Est
Potència nominal de l'inversor	6 kWn

Taula 8.3 Dades de la instal·lació (Font: pròpia).

La instal·lació estarà formada per **mòduls fotovoltaics bifacials de 385 Wp** de potència unitària de la marca JA Solar, **totalitzant 6,93 kWp** del camp fotovoltaic. Aquests mòduls estaran connectats a un **inversor híbrid de 6 kWn** de potència nominal per convertir el corrent continu en altern per l'habitatge.

La disposició dels mòduls sobre la bassa es realitzarà de forma que el conjunt de mòduls tingui una formació rectangular de cara a la càrrega de vents, però amb bona integració sobre aquesta i que evitin qualsevol tipus d'ombres d'obstacles al voltant.

Un cop es té la factura, s'ha de dimensionar el camp fotovoltaic per quadrar-ho amb els consums de l'habitatge.

S'ha de tenir en compte que es dimensiona la instal·lació segons el consum mensual o anual que marca la factura de la llum, però una instal·lació fotovoltaica només genera energia elèctrica durant les hores de Sol. Per tant, el client final ha d'adaptar els seus consums a les hores de llum, en la mesura del possible, per obtenir el màxim d'autoconsum possible, és a dir que l'energia elèctrica que generen els mòduls es consumeixi instantàniament i tenir el mínim

possible d'exportació a la xarxa. En aquest cas, s'ha tingut en compte un consum majoritàriament diürn, on els electrodomèstics i aparells elèctrics que es puguin programar, funcionin en hores en que el camp fotovoltaic està generant.

Per a fer el dimensionat de la instal·lació, es necessita saber la quantitat d'energia elèctrica que generen els mòduls. Els principals paràmetres que afecten al rendiment dels mòduls fotovoltaics són els següents:

- Orientació i inclinació.
- Càrregues de vent.
- Ombrejat.
- Superfície disponible.
- Temperatura

Orientació i inclinació

Per veure les inclinacions i orientacions òptimes, s'ha dissenyat la Taula 8.4, on es pot veure els percentatges de rendiment de les inclinacions i orientacions dels mòduls respecte la inclinació de 0°, la qual generarà el mateix en totes les orientacions.

Cal dir que els mòduls necessiten un mínim d'inclinació d'uns 5° o 10° perquè l'aigua de la pluja els netegi automàticament i no es necessiti d'un alt manteniment de la instal·lació. Una instal·lació sense inclinació dels mòduls necessitaria un manteniment mensual que amb l'auto neteja dels mòduls amb una certa inclinació passaria a ser anual o cada sis mesos, per tant, aquesta opció queda descartada.

Orientació		Inclinació								
		0	5	10	15	20	25	30	35	40
-150	NO	0%	-4%	-9%	-14%	-20%	-25%	-31%	-36%	-41%
-120	NO	0%	-3%	-6%	-10%	-14%	-18%	-23%	-27%	-31%
-90	O	0%	-1%	-2%	-4%	-6%	-8%	-11%	-14%	-17%
-60	SO	0%	2%	3%	3%	3%	2%	1%	0%	-2%
-30	SO	0%	3%	6%	8%	10%	11%	11%	11%	10%
0	S	0%	4%	8%	11%	13%	15%	16%	16%	16%
30	SE	0%	4%	7%	10%	12%	14%	14%	15%	14%
60	SE	0%	3%	5%	6%	7%	7%	7%	6%	5%
90	E	0%	0%	0%	0%	-1%	-3%	-4%	-6%	-9%
120	NE	0%	-2%	-4%	-7%	-10%	-13%	-17%	-21%	-24%
150	NE	0%	-4%	-8%	-12%	-17%	-22%	-28%	-32%	-37%
180	N	0%	-4%	-9%	-15%	-21%	-27%	-33%	-38%	-43%

Taula 8.4 Taula de rendiments respecte inclinació a 0° (Font: pròpia).

Com es pot veure a la taula, quan el mòdul està a 0° , és a dir, en posició horitzontal, genera el mateix en qualsevol orientació, ja que l'angle d'impacte dels rajos solars és la mateixa en totes direccions. Amb la orientació completament a Sud, com més perpendicular impactin els rajos solar sobre el mòdul, major serà el rendiment. Aquesta inclinació pot ser perjudicial a mesura que es va orientant els mòduls cap a Nord.

Càrregues de vent

La combinació amb major rendiment, és amb els mòduls fotovoltaics orientats completament a Sud i amb una inclinació de 37° . Tot i això, es juga amb un altre factor molt important alhora d'inclinar els mòduls sobre una superfície plana i són les càrregues de vent. Entre els 15° i els 37° , no hi ha tanta diferència de percentatge de rendiment, però sí que n'hi ha en les càrregues de vent. Com més inclinat està el mòdul, major és la força del vent, tant de pressió com de succió i més perill de inestabilitat o possibilitat de sortir volant l'estructura fotovoltaica.

També s'ha de tenir en compte si els mòduls es col·loquen en posició vertical o horitzontal. El mòdul en vertical té una altura superior al mòdul que està en posició horitzontal. Aquesta distància del mòdul que no està en contacte amb l'estructura, genera una força del vent, tant succió com compressió, molt major a la del mòdul en horitzontal. Per tant, en molts casos on el camp fotovoltaic està molt exposat i les forces del vent són molt elevades, és aconsellable posar els mòduls en posició horitzontal.

En el cas de l'estructura flotant escollida, la instal·lació funciona com un conjunt, unint les estructures entre elles per crear una disposició més robusta. Per tant, s'ha de tenir en compte el fet de col·locar els mòduls en quadrats, abans que fileres individuals de mòduls o rectangles allargats.

Ombrejat

Un altre factor problemàtic que pot portar el fet d'inclinar els mòduls més del necessari és la distància entre files. En una superfície plana, els mòduls necessiten d'una estructura que els aporti una inclinació i aquests s'han de repartir en diferents fileres. No es poden posar els mòduls un darrera de l'altre perquè els mòduls tindrien ombra de la filera del davant. S'ha de deixar una separació mínima perquè el dia de l'any on el Sol està més baix, no hi hagi efecte d'ombres entre fileres.

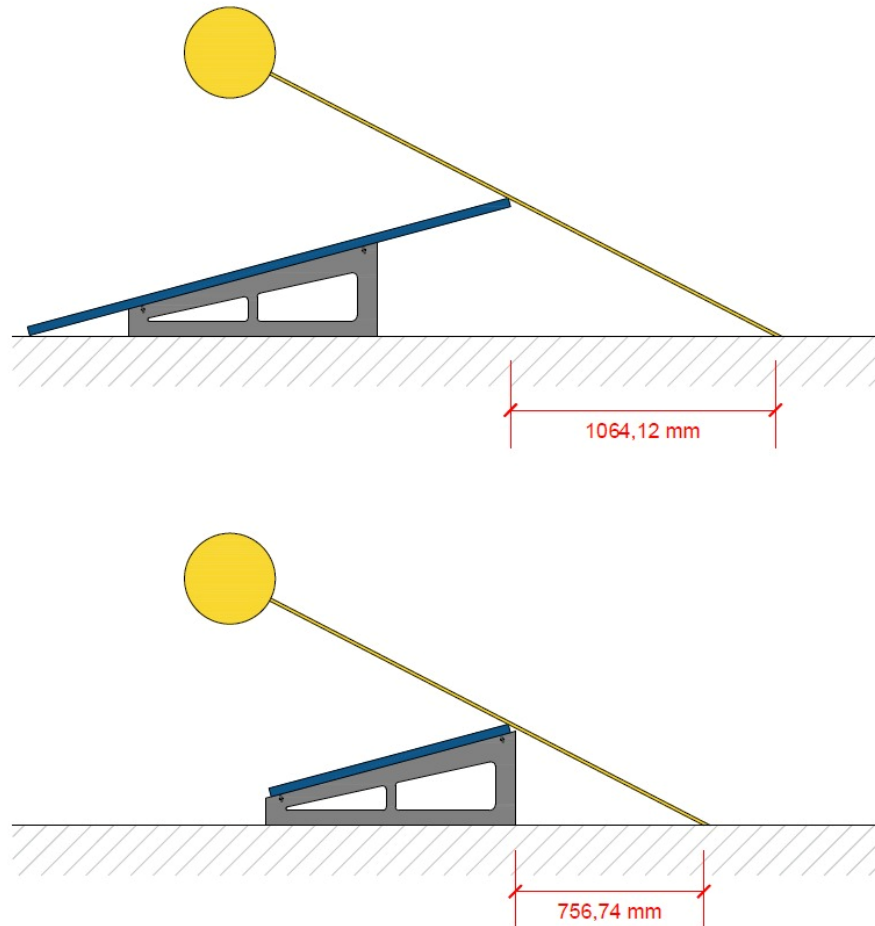


Fig. 8.5 Diferència de distància d'ombreat entre el mòdul en vertical o en horitzontal (Font: pròpia)

A la Fig. 8.5, es pot veure la direcció dels rajos solars al solstici d'hivern, dia en el que el Sol fa una trajectòria amb l'altura més baixa de tot l'any. Acostuma a ser cap a finals de Desembre. Si el mòdul està en posició vertical, l'altura d'aquest és major i l'ombra que es generarà serà més llarga. El fet de posar els mòduls en posició vertical o horitzontal, afectarà a la distància entre fileres de mòduls.

Qualsevol tipus d'ombra provinent d'objectes externs a la instal·lació pot ser problemàtic pel rendiment d'aquesta.

Superfície disponible

Quan es té una superfície plana per a fer la instal·lació, els mòduls poden anar en qualsevol direcció. El més evident és posar-ho totalment a Sud, però no sempre és la millor opció. La Fig. 8.6 mostra dues instal·lacions amb els mòduls en diferents orientacions amb les mateixes dimensions de coberta.

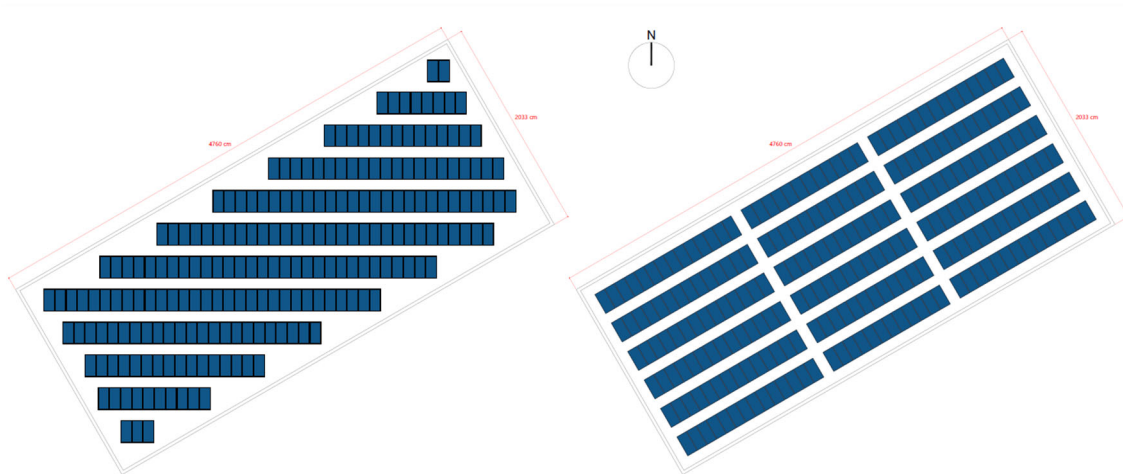


Fig. 8.6 Diferència de potència pic per orientació dels mòduls (Font: pròpia)

A la part esquerra, els mòduls estan completament a Sud, mentre que a la imatge de la dreta, els mòduls estan paral·lels a una cantonada de la coberta i orientats al Sud-Est. A la primera imatge hi ha 214 mòduls, que totalitzen una potència pic de 98,44 kWp. A la imatge de la dreta, hi caben 240 mòduls, totalitzant 110,40 kWp. En moltes ocasions, es necessita fer una instal·lació a màxims, és a dir, intentar omplir l'espai de la instal·lació el màxim possible perquè es necessita cobrir un major consum i, per això, surt més a compte posar els mòduls amb una orientació diferent encara que el rendiment sigui una mica menor que orientats completament a Sud. El fet de posar els mòduls en paral·lel a la coberta, en alguns casos, és simplement per un motiu més estètic que per aconseguir una major potència.

Temperatura

Una de les principals característiques pel bon rendiment dels mòduls fotovoltaics és la temperatura d'aquests. En dies molt solejats, els mòduls solars poden arribar a temperatures molt elevades. Això fa que els semiconductors es sobreescalfin i els electrons es mouen amb menor facilitat.

Hi ha molts factors que poden determinar el percentatge de pèrdues dels mòduls per temperatura, com el propi disseny del mòdul o les condicions climàtiques. Tot i així, s'estima que les pèrdues per temperatura dels mòduls fotovoltaics són d'uns 0,5% per cada grau centígrad augmentat a partir dels 25°C de la temperatura ambient. S'ha de tenir en compte per això, que les pèrdues són exponencials i com major és la temperatura, major seran les pèrdues relacionades.

En aquest projecte, la instal·lació es farà sobre una superfície d'aigua. Això ajudarà a que els mòduls mantinguin una temperatura més estable en hores de temperatures màximes i millorar el rendiments de la instal·lació.

Dimensionat del camp fotovoltaic

Amb totes les dades concretades, s'ha decidit fer una disposició rectangular del camp fotovoltaic per aguantar bé les càrregues de vent i amb una orientació paral·lela a la bassa a 14° al Sud-Est per dues raons. Una és simplement estètica i comoditat i l'altre és per centrar el camp solar a la bassa i que amb els moviments de l'aigua els mòduls no colpegin els laterals d'aquesta. Els mòduls estaran en posició horitzontal per reduir càrregues de vent, tant de compressió com de succió.

Per dimensionar el camp fotovoltaic, es mirarà el rendiment dels panells solars en aquesta disposició. Aquest càlcul de rendiment es farà mitjançant el programa PV*Sol. El programa permet simular instal·lacions fotovoltaiques tant en 2D com en 3D, per obtenir la generació energètica i el rendiment de la instal·lació, entre d'altres.

Amb aquest programa, s'ha obtingut que el rendiment dels panells en aquestes condicions és de **1.514 kWh/kWp**. Amb aquest rendiment es pot calcular el número de panells necessaris per cobrir el consum de 10.754 kWh anuals.

$$\frac{10.754 \text{ [kWh]}}{1.514 \left[\frac{\text{kWh}}{\text{kWp}} \right]} = 7,103 \text{ kWp} \rightarrow \frac{7,103 \text{ kWp}}{385\text{W}} = 18'4 \text{ mòduls de } 385 \text{ Wp} \quad (8-1)$$

Aproximadament es necessitarà 18 panells JAM72D09-385/BP de 385 Wp de la marca JA Solar, totalitzant una potència pic de 6'93 kWp.

L'inversor s'ha de dimensionar segons la potència pic instal·lada. Aquests tenen major rendiment quan funcionen al seu màxim de capacitat total, inclús per sobre. Normalment, es dimensiona un inversor entre factors de 0,9 i 1'25. Hi ha mides estàndards d'inversors, per tant es seleccionarà l'inversor just per sota de la potència pic escollida. Aquest és de 6 kWn.

$$\frac{6'93 \text{ kWp}}{6 \text{ kWn}} = 1'155 \quad (8-2)$$

El factor de dimensionament de l'inversor serà de 1'155. Com que aquest inversor té dos *strings*, es repartiran en 9 i 9 per fer un total de 18 panells. Així, si falla un dels *strings*, l'altre seguirà funcionant.

8.5. Característiques dels components

Tots els components que s'utilitzen en aquest projecte són de bona qualitat, amb empreses fiables i líders al mercat per garantir un bon funcionament de la instal·lació durant els màxims anys possibles.

8.5.1. Mòdul solar fotovoltaic

El camp fotovoltaic constarà de 18 mòduls solar fotovoltaics de 385 Wp de la marca JA Solar, empresa qualificada com a **TIER 1 segons la revista Bloomberg**. L'estructura dotarà als mòduls amb una inclinació de 15° i una orientació de 14° al Sud-Est. Amb la totalitat dels mòduls del model **JAM72D09-385/BP de 385 Wp**, s'aconseguirà una potència pic total de 6,93 kWp.

Seràn tots de la mateixa potència pic per un màxim rendiment del camp fotovoltaic. Quan un dels mòduls està cobert per ombres i baixa el seu rendiment, la resta de mòduls del mateix string obtenen el rendiment del mòdul ombrejat. Una cosa semblant passa quan en un string de mòduls d'una potència concreta, s'afegeix un mòdul de menor potència. La resta de mòduls de l'string redueixen la generació a la que té el mòdul de menor potència, ja que estan tots connectats en sèrie.

Els mòduls proposats tenen connectors *QC 4.10-35*, que eviten pèrdues i accidents en al connexió, així com una caixa de connexió *IP68* amb els díodes de derivació. A més a més, compleixen tota la normativa actual vigent.

Les especificacions tècniques dels mòduls per a una radiació estàndard de 1000 W/m² i una temperatura de la cel·la de 25°C són les següents:

JAM72D09-385/BP	
Potència pic (Pmax)	385 W
Tipus de cèl·lula	Si Mono
Nombre de díodes bypass	3 díodes
Tensió circuit obert (Voc)	49,11 V
Intensitat curtcircuit (Isc)	10,09 A
Tensió punt de màxima potència (Vmppt)	40,33 V
Intensitat punt de màxima potència (Imppt)	9,55 A
Eficiència	19,4%
Coefficient de temperatura de Pmax	-0,37 %/°C
Coefficient de temperatura de Voc	-0,30 %/°C
Coefficient de temperatura de Isc	+0,06 %/°C
Tensió màxima del sistema	1500 V
Altura	1998 mm
Amplada	994 mm
Gruix	25 mm
Pes	28,5 kg
Longitud dels connectors	0,4 m

Taula 8.5 Característiques tècniques del mòdul solar fotovoltaic (Font: JA Solar).

8.5.2. Inversor solar

Del camp fotovoltaic, l'energia elèctrica es transporta a través del cablejat amb corrent continu (CC). Els mòduls solars fotovoltaics requereixen d'una tensió i corrent concrets, per tant és necessari aquest corrent continu. Per altra banda, per poder extreure aquesta energia elèctrica, es necessita connectar-ho al quadre elèctric general de l'habitatge, el qual funciona en corrent altern (CA) a 230V a la xarxa monofàsica. Per poder fer aquesta conversió, es necessita l'inversor.

La creació d'armònics estarà compresa dins dels límits fixats a la guia sobre qualitat d'ona de les xarxes *UNESA* i segons la norma *CEI 1000-3-2*. Haurà de complir tota la normativa aplicable descrita al *RD1699/2011*, i en particular *l'article 14*, amb tots els certificats necessaris per a complir la normativa actual.

L'inversor haurà de disposar d'un seccionador i d'una protecció contra sobretensions transitòries per la part de CC i contra sobretensions transitòries i permanents per la part de CA.

La instal·lació disposarà d'un inversor monofàsic híbrid *SUN2000-6KTL-L1* de 6000 Wn de la marca *Huawei*. Les característiques d'aquest inversor són les següents:

SUN2000-6KTL-L1	
Valors entrada (DC)	
Tensió MPPT màx	560 V
Tensió MPPT mín	90 V
Tensió màxima	600 V
Tensió d'inici	100 V
Nº strings per MPPT	1
Nº MPPT	2
Corrent màx entrada	12,5 A
Corrent curtcircuit màx entrada	18 A
Valors sortida (AC)	
Potència nominal	6000 W
Corrent nominal	27,3 A
Corrent màx	27,3 A
Tensió nominal	230 V
Freqüència nominal	50 Hz
Eficiència màxima	98,4%

Taula 8.6 Característiques tècniques de l'inversor (Font: Huawei).

L'inversor escollit té dues entrades o MPPTs, les quals permeten un string de mòduls cadascuna. L'string permetrà connectar els mòduls en sèrie amb una quantitat mínima i màxima a connectar per string, depenent de les tensions dels elements.

Per saber el nombre mínim de mòduls, s'ha de mirar dos factors de tensió. Primer comparar la tensió en circuit obert (V_{oc}) del mòdul amb les tensió mínima i màxima de l'inversor i després comparar la tensió del punt màxim de potència (V_{mppt}) amb les tensions mínima i màxima de MPPT de l'inversor. Aquests valors de tensió es poden veure a la Taula 8.5 per la part del mòdul i a la Taula 8.6 per la part de l'inversor. A continuació es fan els càlculs dels dos casos.

$\frac{T_{min}}{V_{oc}} = \frac{100}{49,11} = 2,03 \rightarrow 3 \text{ mòduls} \quad \quad \frac{T_{max}}{V_{oc}} = \frac{600}{49,11} = 12,21 \rightarrow 12 \text{ mòduls} \quad (8-3)$
$\frac{T_{MPPTmin}}{V_{mppt}} = \frac{90}{40,33} = 2,23 \rightarrow 3 \text{ mòd} \quad \quad \frac{T_{MPPTmax}}{V_{mppt}} = \frac{560}{40,33} = 13,88 \rightarrow 13 \text{ mòd} \quad (8-4)$

Per saber número de mòduls mínim i màxim, escollirem els valors de més restricció dels càlculs anteriors. Per la fórmula (8-3), es pot veure que el nombre mínim de mòduls és de 3 en sèrie i

12 el màxim. A la fórmula (8-4) les restriccions són 3 de mínima i 13 de màxima. Els valors més restrictius són 3 mòduls en sèrie com a mínim i 12 mòduls en sèrie com a màxim.

Al tenir 18 mòduls, es repartiran 9 mòduls en un string i 9 mòduls a l'altre per tenir un bon repartiment. A la Taula 8.7 es pot veure els valors de tensió i corrent dels MPPTs.

Inversor	MPPT	Sèrie	Paral·lel	Vmppt	Imppt	Voc	Isc
1	1	9	1	363 V	9,6 A	442 V	10,91 A
1	2	9	1	363 V	9,6 A	442 V	10,1 A

Taula 8.7 Valors de tensió corrent dels diferents strings.

8.5.3. Estructura

Per mantenir els mòduls solars en flotabilitat sobre la bassa, s'instal·laran sobre estructures flotants, les quals inclinaran els mòduls 15° sobre la horitzontal. Es tracta de l'estructura de fixació de mòduls sobre l'aigua de la marca *Isifloating*. Aquestes estructures estan dissenyades amb plàstic dur multicapa HDPE (*High Density Polyethylene*), els quals tenen una vida útil de estimada de 50 anys. El material d'alta qualitat utilitzat disposa d'una protecció afegida contra els rajos UV per evitar degradacions i emissions de microplàstics a l'entorn natural. També disposen de resistència als impactes i resistència d'inflamabilitat.

Aquest material té grans avantatges que beneficien les instal·lacions flotants. El polietilè d'alta densitat es crea mitjançant soldadura per termofusió i té una paret exterior corrugada, per tant no s'utilitzen juntes. És resistent a càrregues verticals i a impactes, juntament a agents químics externs. L'HDPE també té gran lleugeresa i flexibilitat, perfecte per el transport i manipulació de es unitats.

Les característiques tècniques d'aquest material són les següents:

HDPE (<i>High Density Polyethylene</i>)	
Densitat [g/cm ³]	0,95
Estrès de ruptura [N/mm ²]	20 - 30
Elongació de ruptura [%]	12
Coefficient d'expansió lineal [K ⁻¹]	2x10 ⁻⁴
Mòdul elàstic [N/mm ²]	1000
Temperatura màxima admissible [°C]	100

Fig. 8.7 Propietats del material HDPE

Les dimensions de l'estructura flotant que subjecta el mòdul són de 2078 mm de llargada, 1039 mm d'amplada i 400 mm d'alçada, amb una inclinació de 15° per la part on es col·loca el mòdul. Per altra banda, l'estructura de passarel·la pel manteniment és una mica més estreta, amb unes dimensions de 2078 mm de llargada, 530 mm d'amplada i 400 mm d'alçada i té una inclinació de 0° per poder-hi accedir.

Per permetre que la radiació albedo impacti a la part posterior dels mòduls, s'ha dissenyat l'estructura de manera que hi hagi obertures als laterals i pugui incidir la llum reflectida a la superfície de l'aigua. Permeten una gran flotabilitat i mínim moviment possible.

El pes mitjà per estructura és de 5'15 kg, sumant l'estructura flotant de passarel·la, el camp fotovoltaic té un pes total de 72 kg.

A continuació, es mostren les vistes d'alçat, planta i perfil de les estructures flotants. Es pot veure amb més detall al plànol 4, Secció Estructures, de l'Annex II, Plànols.

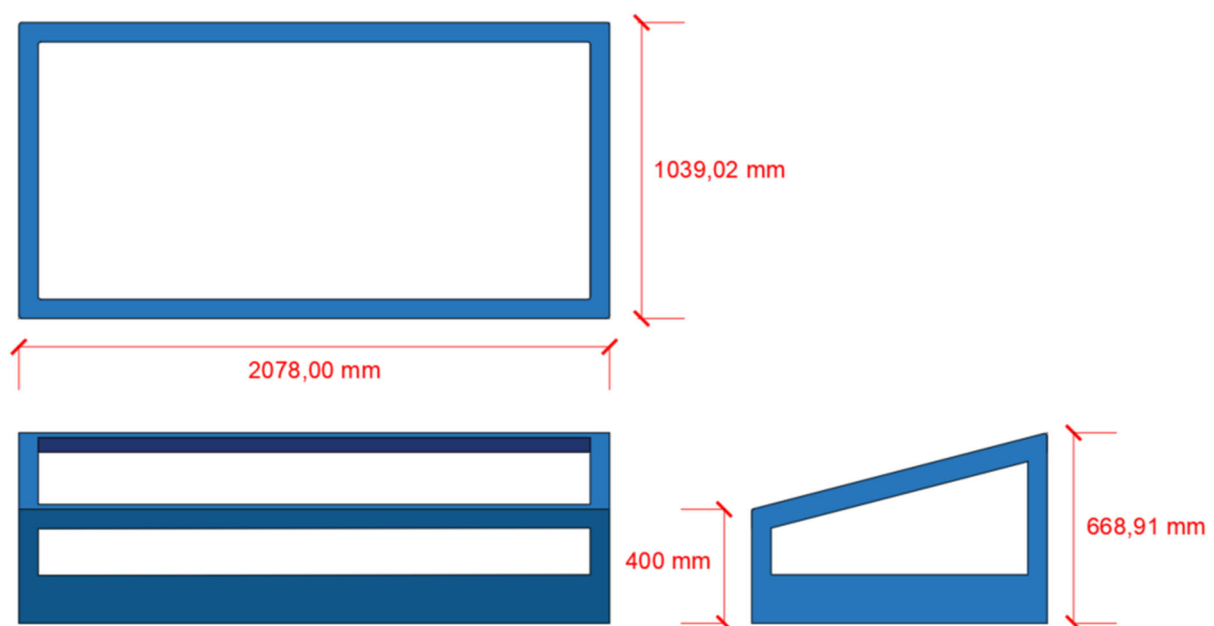


Fig. 8.8 Vistes de l'estructura flotant (Font: Pròpia).

També es mostren les vistes de les plataformes flotants de passarel·la.

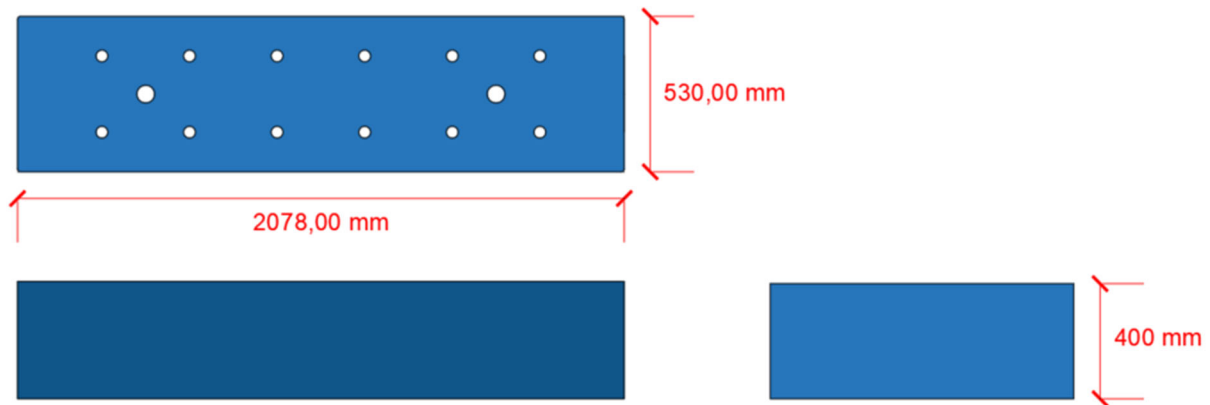


Fig. 8.9 Vistes de l'estructura flotant de manteniment (Font: Pròpia).

Les estructures es connectaran entre elles, generant matrius de mòduls que permeten fer estructures més compactes i robustes per resistir a les càrregues de vent, tant de succió com de compressió. El muntatge d'aquesta estructura es du a terme a fora de l'aigua. Es va muntant fila per fila i es va integrant a la bassa empenyent l'estructura, ja compacte i, amb l'ajuda de cordes, a la zona d'aigua a ocupar. El cablejat va integrat a l'estructura per una bona fixació i protecció d'aquest envers l'aigua. A la Fig. 8.10 es pot veure un muntatge d'una instal·lació fotovoltaica flotant real on fan el muntatge d'estructures fila per fila a l'exterior de la superfície de l'aigua i l'empenyen un cop fixats els mòduls.



Fig. 8.10 Muntatge real d'instal·lació fotovoltaica flotant (Font: Google Imatges).

L'estructura comporta la instal·lació d'ancoratges per fixar i estabilitzar els panells sobre l'aigua. La fixació s'ha decidit fer a la superfície del terra de l'exterior de la bassa, pel simple motiu de no danyar l'estructura d'aquesta. Consisteix en quatre fixacions al terra del voltant de la bassa, juntament amb cables que s'enganxen al camp fotovoltaic i el mantenen estabilitzat.

Aquestes cordes van fixades a les estructures flotants a una banda i ancorades a pernys amb blocs de formigó a l'altra banda. Les línies d'amarratge no estan tensades al màxim, sinó que permeten un lleuger moviment per les vibracions que pot produir l'aigua sobre el camp fotovoltaic. Aquest ancoratge permet que els mòduls es mantinguin al centre de la bassa i aporten una força contrària a la força de succió del vent per minimitzar les càrregues de succió.

8.5.4. Sistema de monitoratge

La circulació d'energia es gestionarà a través del sistema de monitoratge. Aquesta eina permet fer un seguiment de l'energia elèctrica generada pel camp fotovoltaic en temps real, així com el consum de l'habitatge i la connexió de l'habitatge amb la xarxa de distribució.

S'utilitzarà un sistema de monitoratge monofàsic *Smart Power Sensor* de la mateixa empresa Huawei perquè sigui compatible amb l'inversor escollit. Aquest disposa d'un software de gestió que emmagatzema tots els resultats de la instal·lació a una base de dades. Permet veure la producció solar instantània, això com l'energia consumida i l'exportada o importada a la xarxa elèctrica a temps real.

Aquest aparell pot ser útil pel propietari, ja que mostra el perfil de consum diari i pot adaptar el consum a la producció per obtenir un major autoconsum.

Com que les dades de producció solar s'emmagatzemen durant tot el dia, pot ser útil també per veure automàticament qualsevol errada o problema en el sistema, pel que permet prendre mesures i corregir-ho el més aviat possible.

El dispositiu monitoritzarà el pas de l'energia en el punt de connexió de la instal·lació del QPG (Quadre de Proteccions Generals) i en el punt de connexió a la xarxa de distribució, que es troba aigües avall del comptador.

A la Fig. 8.11 es mostra un esquema del connexionat del sistema de monitoratge.

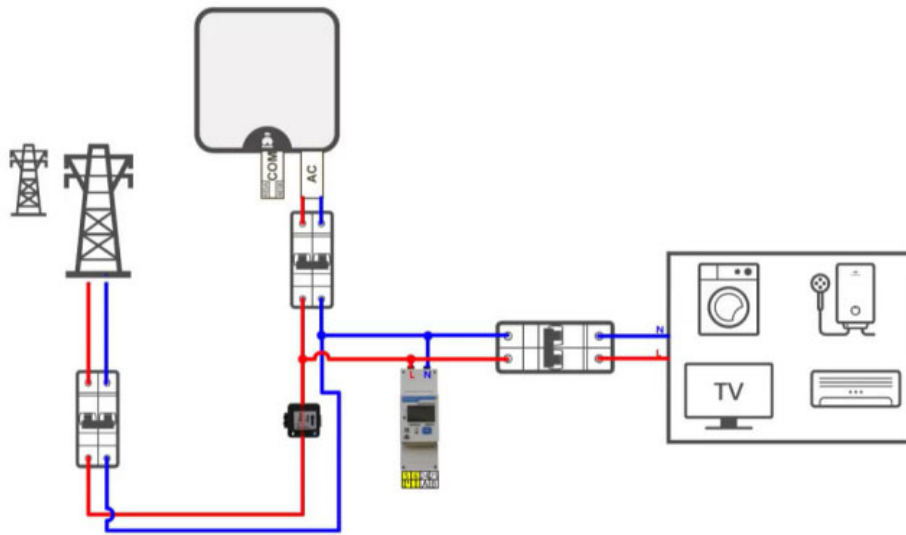


Fig. 8.11 Connexionat del sistema de monitoratge.

8.5.5. Bateria

Aquest projecte no contempla la instal·lació de bateries ni cap sistema d'emmagatzematge d'energia elèctrica.

Les bateries són una eina útil per emmagatzemar energia elèctrica en moments de gran generació fotovoltaica i poc consum. Tot i això, tenen grans desavantatges que s'ha de tenir en compte abans de decantar-se per la seva compra.

Les bateries utilitzades en instal·lacions solars fotovoltaïques estan, majoritàriament, fetes d'ió-liti. Aquest material és molt perjudicialment pel medi ambient. En la primera fase d'extracció del material, es fan grans excavacions per extreure'l de les mines i s'utilitza grans quantitats d'aigua per aconseguir-ho. Per exemple, el desert d'Atacama, a Xile, un dels majors dipòsits del món de liti, es necessiten uns dos milions de litres d'aigua per produir una sola tona de liti. Per altra banda, al final de vida del material, és un element molt contaminant. Per contacte amb l'aigua, el liti forma gasos d'hidrogen i fums d'hidròxid de liti altament inflamables i corrosius.

A més a més, la vida del producte no és gaire alta comparada amb la de la resta de la instal·lació, tenint una durada d'uns deu anys en la majoria de casos. Si es suma el preu de la bateria a la inversió inicial, és més complicat obtenir una bona amortització.

S'ha investigat també les bateries virtuals, però aquestes depenen de la comercialitzadora i funcionen amb excedents no compensats. En el cas d'aquest projecte no existeixen excedents

no compensats, ja que hi ha un autoconsum elevat. Per tant, aquesta opció no és viable. Les bateries virtuals servirien en instal·lacions molt sobredimensionades del consum de l'habitatge.

8.5.6. Xarxa de distribució

La xarxa de distribució comprèn tot el cablejat des del camp fotovoltaic fins al Quadre General de Baixa Tensió. Es divideix en cablejat de corrent continu, comprès entre els mòduls i l'inversor i el cablejat de corrent altern, de l'inversor al Quadre General de Baixa Tensió.

S'haurà d'escollir una secció adequada en ambdós casos determinada per la potència instal·lada, la longitud del cablejat i el corrent que circularà a través d'aquest.

El cablejat serà d'alta seguretat, lliure d'halògens, no propagador de la flama i amb baixa emissió de gasos corrosius. Aquest serà flexible, de coure estanyat. Per la part de contínua serà resistent a temperatures extremes de -40 °C a 120 °C segons les normes de seguretat elèctrica IEC60811-1-4 i IEC60216-1, materials aïllants elèctrics i tensió nominal de 1,8 kV. Per altra banda, el cablejat de corrent altern, el qual s'instal·larà a l'interior de l'habitatge, serà resistent a temperatures de -20 °C a 90 °C i tensió nominal de 0,6 kV a 1 kV.

El cablejat d'una instal·lació fotovoltaica ha de complir amb les següents normatives i lleis a Espanya:

- Resistència als rajos ultraviolats segons les proves d'inflamació per a cablejat elèctric *UL1581*.
- Resistència a l'ozó segons les proves de materials d'aïllament i revestiment elèctric *IEC60811-2-1*.
- Llei de Prevenció i Control Ambiental d'Activitats o Llei IPPC (*Integrated Pollution Prevention*).

En aquesta instal·lació s'utilitzarà, per corrent continu, el cablejat ZZ-F (AS) de 1,8 kV i per a corrent altern del tipus RZ1-K(AS) d'entre 0,6 kV i 1 kV. Tots els conductors estaran protegits per tubs o canals aïllants.

El cablejat de CC tindrà un recorregut de 30 metres des del camp fotovoltaic fins a l'inversor, ubicat dins l'habitatge. Com que no hi ha espai al costat del Quadre de Proteccions General, l'inversor s'ubicarà a una habitació contigua a aquest i el recorregut del cablejat de CA serà de 8 metres.

8.5.7. Proteccions de CC (Corrent Continu)

La instal·lació disposarà d'elements de protecció per a corrent continu. El propi inversor Huawei porta incorporat protecció contra sobrecàrregues i curtcircuits segons *IEC 60364-4-41* i protecció contra sobretensions segons *IEC 62305*. Aquest incorporarà una separació galvànica entre els circuits de corrent continu i altern per garantir les proteccions al contacte humà i eviti injecció de corrent continu a la xarxa.

8.5.8. Proteccions de CA (Corrent Altern)

Les proteccions de corrent altern, permetran evitar situacions perilloses del contacte humà amb la xarxa de distribució, així com garantir un correcte funcionament de la instal·lació.

L'inversor disposarà de proteccions contra sobretensions transitòries, les quals poden causar danys als equips de la instal·lació. Ha d'haver-hi aquest aparell per protegir contra fluctuacions de la xarxa elèctrica.

Les sobretensions permanents, increment del voltatge durant un temps indeterminat a causa d'una descompensació de fases, també ha d'estar protegit segons la norma *UNE EN 50550*.

El QPG (Quadre de Proteccions General), disposarà d'un interruptor magnetotèrmic, així com un diferencial. El primer permet protegir el circuit de la instal·lació fotovoltaica contra sobrecàrregues i curtcircuits. Les seves característiques es poden veure a la Taula 8.8.

Interruptor magnetotèrmic	
Tensió nominal (Vn)	230 V (AC)
Intensitat nominal (In)	20 A
Poder de tall (PdeC)	6 kA
Temps de vida	>20 000 actuacions

Taula 8.8 Característiques de l'interruptor magnetotèrmic

L'interruptor diferencial protegirà contra defectes de terra i contactes directes. Les característiques es poden veure a la Taula 8.9.

Interruptor magnetotèrmic	
Intensitat nominal (I_n)	40 A
Classe	F(SI)
Poder de tall	6 kA
Sensibilitat	30 mA
Temps de vida	>20 000 actuacions

Taula 8.9 Característiques de l'interruptor diferencial

8.5.9. Presa a terra

La presa a terra en una instal·lació fotovoltaica és un sistema de protecció elèctrica que s'utilitza per limitar tensions que puguin presentar en algun moment masses metàl·liques i protegir a les persones i equips per alguna falla o avaria en la instal·lació. A més també ajuda a protegir contra sobretensions transitòries i descàrregues atmosfèriques.

Aquesta és la unió directe del circuit elèctric amb un conductor elèctric, a través d'una vareta metàl·lica enterrada a una altura inferior a 0,5 metres que funciona com a elèctrode. El valor de resistència de la presa a terra serà suficient perquè cap massa pugui donar lloc a tensions de contacte superiors a 24 V. Aquest ha de complir el Reglament de Baixa Tensió *ITC-BT-18*.

Els mòduls es connectaran entre ells a través d'un cable de terra per garantir una protecció contra contactes directes i el terra tindrà una línia d'enllaç amb el QPG. Els conductors han de complir amb les característiques de resistència de classe 2 dictades a la normativa *UNE 21.022*.

8.5.10. Proteccions per a la intempèrie

Com que la instal·lació plantejada es disposa sobre la superfície e l'aigua i estaran constant contacte amb l'aigua, es requereix d'una protecció d'aïllament contra esquitxades i protecció per a la intempèrie.

D'acord amb la *ITC-BT-30*, els elements i equips com els mòduls solars i els quadres locals que es troben a la intempèrie hauran de complir els següents requeriments:

- Les canalitzacions seran estanques i totes les connexions es realitzaran mitjançant premsa estopes o sistemes equivalents que presentin un grau d'estanqueïtat mínim IP54.
- Totes les caixes de connexió i quadres exteriors presentaran el mateix grau d'estanqueïtat IP54.

- Segons s'indica a la ITC-BT-22 tots els circuits disposaran dels adequats elements de protecció.

8.6. Càlculs energètics

Els càlculs energètics es fan a través del programa PV*Sol. Aquest programa disposa d'una base de dades climàtiques d'arreu del món. Inclús es pot importar bases de dades pròpies. Per fer el càlcul energètic, però, existeixen varis models d'estudi. Depenent de l'escollit, els resultats seran uns o uns altres, sempre dins d'un marge. Una de es dades més importants a l'hora de calcular la producció d'una instal·lació fotovoltaica és la irradiació global sobre la horitzontal, suma d'irradiació directe i difosa, que depèn del punt del planeta on es trobi la instal·lació i es pot veure a la Fig. 8.12.

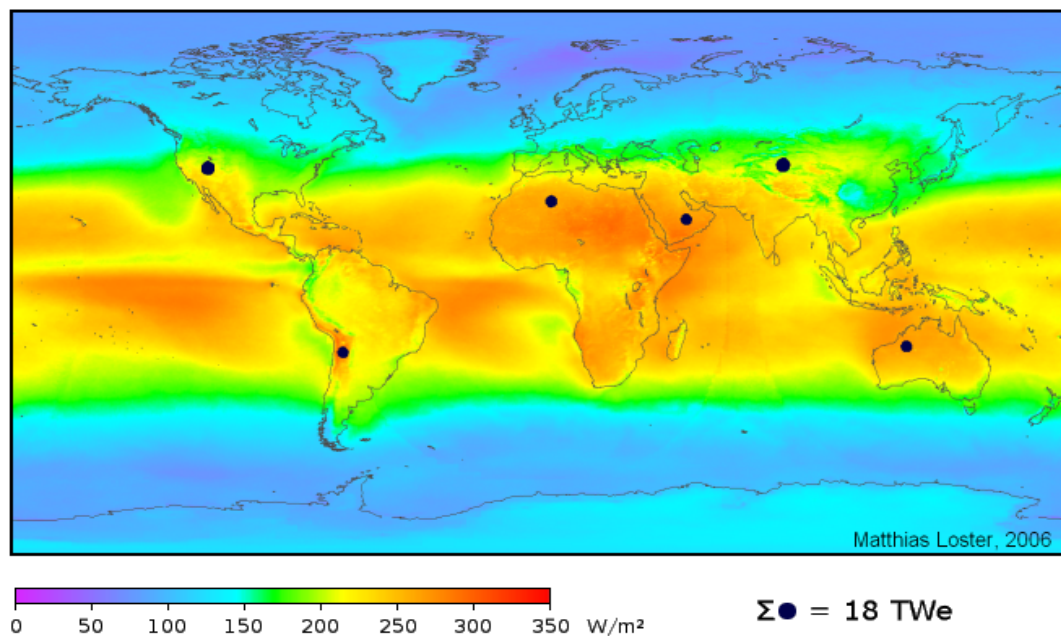


Fig. 8.12 Irradiació global (W/m²). (Font: PV*Sol).

Com més a l'equador es trobi el punt de la instal·lació, major serà la proporció de Watts per metre quadrat d'energia solar.

També altres dades com la latitud, la longitud, l'altitud, la zona horària i el reflex de la superfície o albedo afecten de manera directe a la irradiació d'energia solar sobre la superfície terrestre.

Aquest albedo pot tenir una aportació a la generació d'energia pels mòduls, però sobretot hi ha una notòria diferència per la generació de la part posterior en els mòduls bifacials. Aquest

albedo es pot expressar en percentatges i depèn de la superfície reflectida. En el cas de l'aigua de poca profunditat, l'albedo varia del 50% al 80%, depenent de l'altura del Sol.

En el mateix PV*Sol es pot seleccionar el model, tant de mòduls com d'inversors. Pels mòduls, es podrà posar la superfície i estructura desitjada, la inclinació i azimuth d'aquests i determinar les ombres generals. També té una opció en 3D per determinar amb exactitud les ombres del voltant i inclús importar dades de les ombres de l'horitzó, és a dir, de les muntanyes i terreny elevat. Per la part d'inversors, es pot escollir la potència nominal, juntament amb la marca i seleccionar la configuració d'*strings*.

Els principals valors de producció estimats es poden veure a la Taula 8.10.

	T Amb °C	Irr H kWh/m ²	Irr Mod kWh/m ²	E gen kWh
Ene	7,6	66,3	86,7	517
Feb	8,7	82,0	100,4	598
Mar	12,0	131,5	149,9	881
Abr	14,2	167,4	179,9	1.049
Mayo	18,2	201,9	207,9	1.192
Jun	22,2	204,2	206,3	1.164
Jul	24,5	225,0	229,1	1.281
Ago	24,6	187,6	197,9	1.106
Sep	20,8	145,1	160,5	910
Oct	17,5	106,9	126,2	724
Nov	11,8	71,2	90,6	532
Dic	8,1	57,9	78,0	463
Anual	15,9	1.647	1.813	10.416

Taula 8.10 Producció anual estimada per mesos.

Com es pot veure, l'energia generada en una any serà d'aproximadament 10.416 kWh. Això voldrà dir que la producció específica de la instal·lació serà de 1.503,02 kWh/kWp en aquest any. El coeficient de rendiment de la instal·lació (PR) serà del 81,54%.

A la Fig. 8.13 es pot veure el balanç energètic de la instal·lació en kWh, repartida en mesos. Com és d'esperar, els mesos d'estiu la generació serà major, principalment per la diferència d'hores de Sol.

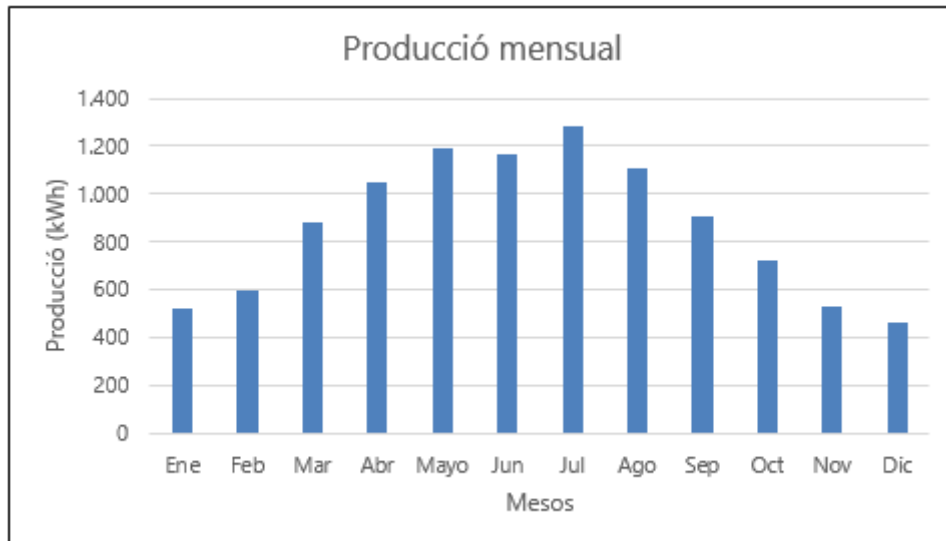


Fig. 8.13 Balanç energètic mensual en kWh.

Amb les dades de consum de l'habitatge al llarg de l'any, juntament amb la generació del camp fotovoltaic, es pot fer un càlcul del balanç d'autoconsum i saber també l'estalvi mensual que proporciona la instal·lació.

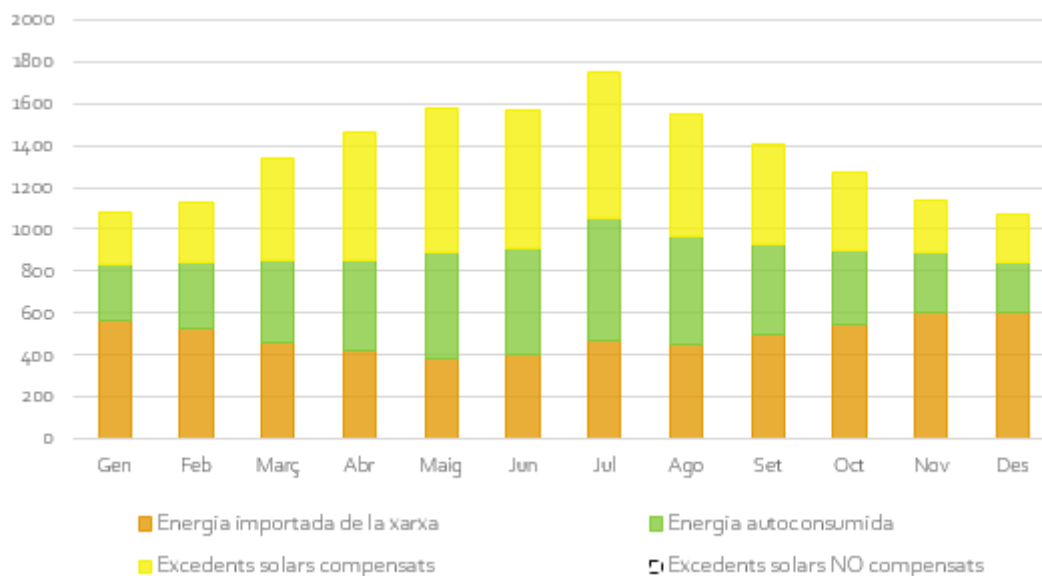


Fig. 8.14 Balanç d'autoconsum mensual en kWh.

La Fig. 8.14 mostra el balanç energètic mensual en kWh de la instal·lació en relació al consum de l'habitatge. L'àrea verda és l'energia que s'autoconsumeix del camp fotovoltaic, mentre que la taronja és l'energia importada de la xarxa. L'àrea groga mostra els excedents, és a dir, l'energia generada per la instal·lació fotovoltaica que no s'ha consumit i s'exporta a la xarxa.

Un cop feta la simulació amb el programa de càlcul energètic PV*Sol, aquest et proporciona un informe resum del balanç energètic de la instal·lació fotovoltaica. A la Fig. 8.15 es pot veure aquest informe per analitzar les pèrdues generades en cada fase del procés de transformació de l'energia.

Balance energético de instalación fotovoltaica		
Radiación global horizontal	1.646,91 kWh/m²	
Desviación del espectro estandar	-16,47 kWh/m ²	-1,00 %
Reflexión del suelo (albedo)	5,56 kWh/m ²	0,34 %
Orientación y inclinación de la superficie de módulos	180,76 kWh/m ²	11,05 %
Sombreado	-2,86 kWh/m ²	-0,16 %
Reflexión en la superficie del módulo	-29,30 kWh/m ²	-1,62 %
Irradiancia en el lado posterior del módulo	28,61 kWh/m ²	1,60 %
Irradiación global sobre módulo	1.813,21 kWh/m²	
	1.813,21 kWh/m ²	
	x 36,072 m ²	
	= 65.405,95 kWh	
Irradiación global fotovoltaica	65.405,95 kWh	
Bifacialidad (70 % de irradiancia posterior)	-309,60 kWh	-0,47 %
Ensuciamiento	-1.301,88 kWh	-2,00 %
Conversión STC (eficiencia nominal de módulo 19,22 %)	-51.533,72 kWh	-80,78 %
Energía fotovoltaica nominal	12.260,74 kWh	
Rendimiento con luz débil	-41,33 kWh	-0,34 %
Desviación de la temperatura nominal del módulo	-333,72 kWh	-2,73 %
Diodos	-59,43 kWh	-0,50 %
Inadecuación (datos del fabricante)	-236,53 kWh	-2,00 %
Inadecuación (Conexión/sombreado)	0,00 kWh	0,00 %
Energía fotovoltaica (CC) sin limitación de corriente por inversor	11.589,75 kWh	
Potencia de arranque DC no alcanzada	-3,93 kWh	-0,03 %
Regulación por rango de tensión MPP	0,00 kWh	0,00 %
Regulación por corriente CC máx.	0,00 kWh	0,00 %
Regulación por potencia CC máx.	0,00 kWh	0,00 %
Regulación por potencia CA máx. / cos phi	-0,27 kWh	0,00 %
Adaptación MPP	-544,65 kWh	-4,70 %
Energía FV (DC)	11.040,90 kWh	
Energía en la entrada del inversor	11.040,90 kWh	
Desviación de la tensión de entrada de la tensión nominal	-19,23 kWh	-0,17 %
Conversión DC/AC	-500,55 kWh	-4,54 %
Consumo Standby (Inversor)	-8,16 kWh	-0,08 %
Pérdida total de cables	-105,21 kWh	-1,00 %
Energía fotovoltaica (CA) menos consumo en modo de espera	10.407,74 kWh	
Energía de generador FV (Red CA)	10.415,90 kWh	

Fig. 8.15 Resum del balanç energètic de la instal·lació fotovoltaica (Font: PV*Sol).

Com es pot veure, la radiació que arriba al mòdul després de travessar l'atmosfera és molt superior a la que finalment s'acaba convertint en energia elèctrica. Els mòduls fotovoltaics perden al voltant del 80% de l'energia en forma de radiació que arriba a la superfície d'aquests. El mòdul utilitzat té una eficiència del 19,22%. També es poden veure les pèrdues per

temperatura del mòdul, com major és la temperatura, més baix és el rendiment, a partir dels 25°C de la temperatura ambient. Per altra banda, també es poden veure les pèrdues dels inversors en la conversió de DC/AC i pèrdues considerables pel cablejat de la xarxa de distribució.

8.7. Balanç econòmic

Un cop obtingudes totes les dades de consum i generació, es pot fer un balanç econòmic amb els preus dels diferents períodes de la comercialitzadora Som Energia que es poden veure a la Taula 8.2.

Per això, es farà una taula que calcularà els anys d'amortització de la instal·lació fotovoltaica.

Any	Estalvi anual	Inversió inicial i factures	Energia Pagada		
			Amb FV	Sense FV	Diferencia
0	0,00 €	12.504,37 €	12.504,37 €	0,00 €	12.504,37 €
1	-984,72 €	1.667,17 €	13.186,82 €	3.021,87 €	10.164,95 €
2	-984,72 €	1.667,17 €	13.869,28 €	6.043,75 €	7.825,53 €
3	-984,72 €	1.667,17 €	14.551,73 €	9.065,62 €	5.486,11 €
4	-984,72 €	1.667,17 €	15.234,18 €	12.087,50 €	3.146,69 €
5	-984,72 €	1.667,17 €	15.916,64 €	15.109,37 €	807,27 €
6	-984,72 €	1.667,17 €	16.599,09 €	18.131,24 €	-1.532,16 €
7	-984,72 €	1.667,17 €	17.281,54 €	21.153,12 €	-3.871,58 €
8	-984,72 €	1.667,17 €	17.963,99 €	24.174,99 €	-6.211,00 €

Taula 8.11 Amortització de la instal·lació fotovoltaica.

Com es pot veure a l'anterior Taula 8.11, l'estalvi econòmic anual a la factura de la llum és de 984,72 €. Amb la inversió inicial del projecte i el cost de les factures anuals, es pot veure el cost que es pagaria al llarg dels anys amb una instal·lació fotovoltaica. Després es fa la diferència amb el que es pagaria a la comercialitzadora d'energia si no s'hagués fet aquesta instal·lació.

Tot i que sigui un valor fictici, ja que els preus de la factura van fluctuant amb els preus de l'electricitat, l'amortització de la instal·lació seria aproximadament d'entre 5 i 6 anys.

8.8. Càlculs elèctrics

En aquest apartat s'explicarà les dimensions de cablejat necessaris per a la instal·lació. Els càlculs en detall es troben a l'Annex I, Càlculs elèctrics.

8.8.1. Cablejat CC

El càlcul de cablejat elèctric s'ha calculat tenint en compte el REBT (Reglament Elèctric de Baixa Tensió) i segons la ITC-BT (Instal·lacions Generadores de Baixa Tensió) dins d'aquest reglament. Segons aquests reglaments, la caiguda de tensió en corrent continu no pot excedir 1,5% per a la intensitat nominal, a part d'un dimensionament del cablejat per una intensitat major al 125% de la intensitat màxima del sistema.

El càlcul de caiguda de tensió es pot veure a l'equació (8-5).

$CdT = \frac{l \cdot I}{\sigma \cdot S}$			(8-5)
<i>CdT</i>	V	Caiguda de tensió.	
<i>l</i>	m	Longitud del conductor (anada i tornada)	
<i>I</i>	A	Intensitat d'operació del conductor.	
σ	m/ Ω .mm ²	Conductivitat del conductor.	
<i>S</i>	mm ²	Secció del conductor.	

Com s'ha especificat, la instal·lació disposarà de 2 *strings* amb 9 mòduls de 385 Wp cada un. La longitud de contínua, que compren la distància del camp fotovoltaic a l'inversor, serà de 30 metres, el qual es multiplicarà per la quantitat de fils de contínua (línia i neutre).

Es considerarà una temperatura mitjana del conductor de 70°C i una màxima de 120°C. Amb aquests valors i els valors d'intensitat, es pot saber la temperatura d'operació i obtenir la conductivitat, capacitat del cablejat de deixar passar el corrent.

Inversor	String	Sèrie	Imppt	Vmppt	Potència	γ (m/ Ω .mm ²)	Long. Cable	S cable	CdT Cable	% CdT
1	1	9	9,55 A	363 V	3465 W	46,89	60 m	4 mm ²	3,06 V	0,84%
1	1	9	9,55 A	363 V	3465 W	46,89	60 m	4 mm ²	3,06 V	0,84%
1	2	18			6930 W		120 m		6,1 V	0,84%

Taula 8.12 Valors de caiguda de tensió de cada string de CC.

Com es pot observar a la Taula 8.12, la caiguda de tensió als dos *strings* és menor al 1,5%.

Tram	Material	Io	S. cable	T.Max Servei	T.Max Ambient	Factor K1	Factor K2	I _{max adm}	I _{sc}	Relació (%)
FV-Inversor	Coure	38 A	4 mm ²	120 °C	70 °C	0,8	0,9	27,0 A	10 A	268%

Taula 8.13 Càlcul de relació d'intensitat de CC.

La intensitat màxima admissible a temperatura ambient (40°), es pot calcular a partir d'unes taules segons ITC-BT-07. La intensitat màxima admissible de cada conductor es calcula a la Taula 8.13, on es pot veure que la relació d'intensitats és superior al 125% reglamentari.

Com que tots els valors concorden amb els estipulats a la reglamentació, es pot concloure que la secció del cablejat de contínua pot ser de 4 mm² o superior. S'escollirà 4 mm², ja que és la solució més econòmica.

8.8.2. Cablejat CA

Els càlculs de cablejat de corrent altern seran molt semblant als de continu, però amb petites variacions de càlculs per adaptar-ho a la xarxa trifàsica.

En aquest cas, el cablejat CA compren la distància de l'inversor al Quadre General de Baixa Tensió. Igual que el cablejat de contínua, la caiguda de tensió no pot superar 1,5% i la relació d'intensitats ha de ser major al 125%.

A la fórmula (8-6) es pot veure el càlcul de caiguda de tensió del cablejat de CA.

$CdT = \frac{\sqrt{3} \cdot l \cdot I}{\sigma \cdot S}$			(8-6)
<i>CdT</i>	V	Caiguda de tensió.	
<i>l</i>	m	Longitud del conductor (anada i tornada)	
<i>I</i>	A	Intensitat d'operació del conductor.	
σ	m/Ω.mm ²	Conductivitat del conductor.	
<i>S</i>	mm ²	Secció del conductor.	

Per una distància total de cablejat d'alterna de 8 metres, obtenim els següents valors a les taules.

Tram	Línia	Pot	Tensió	Intensitat	Long	γ (m/ Ω .mm ²)	S cable	% CdT	CdT
Inversor a QPG	Mono	5 kW	230 V	27,3 A	2 m	47,5	6 mm ²	0,29%	0,68 V
QPG a QG-BT	Mono	5 kW	230 V	27,3 A	6 m	47,5	6 mm ²	0,88%	2,03 V
TOTAL					8 m			1,18%	2,71 V

Taula 8.14 Valors de caiguda de tensió de CA.

En aquest cas, com que el cablejat estarà situat a l'interior de l'habitatge, la temperatura ambient serà de 50° C i la temperatura màxima del cablejat de 90°C.

Tram	Material	Io	S cable	T.Max. Serv.	T.Max. Ambient	Factor K1	Factor K2	I _{max adm}	I _{nom}	Relació (%)
Inversor a QPG	Coure	39 A	6 mm ²	90 °C	50 °C	0,9	1	34,9 A	27,3 A	128%
QPG a QG-BT	Coure	39 A	6 mm ²	90 °C	50 °C	0,9	1	34,9 A	27,3 A	128%

Taula 8.15 Càlcul de relació d'intensitat de CA.

En els dos casos, la secció de 6 mm² està dins del reglament, per tant, aquesta serà la secció escollida en el cablejat d'alterna.

8.8.3. Proteccions

Per a protegir la instal·lació de possibles sobrecàrregues o curtcircuits, es col·locarà, al Quadre General de Proteccions, un interruptor magnetotèrmic amb una intensitat nominal (I_n) de 32 A.

Per altra banda, es disposarà també d'un interruptor diferencial per evitar qualsevol defecte de terres i protegir contra contacte directe. Aquest interruptor serà de classe F i tindrà una intensitat nominal (I_n) de 40 A.

Els càlculs en detall es troben a l'Annex I, Càlculs elèctrics.

Finalment, per evitar diferències de potencial perilloses, es disposarà d'una presa a terra. Aquesta consisteix en un elèctrode enterrat a terra connectat directament a la unió elèctrica.

8.9. Càlculs de càrregues de vent i contrapès

Un cop feta la instal·lació, s'ha de tenir en compte que els mòduls solars estaran exposats constantment a condicions atmosfèriques. Si aquestes són adverses, el més perillós són les

càrregues de vent d'alta velocitat. Per això s'ha de fer un càlcul del que poden resistir els panells, tant en compressió, com de succió.

Hi ha una falta de normativa referent al càlcul del vent sobre instal·lacions fotovoltaïques, degut a la seva aleatorietat. Per fer una aproximació es pot utilitzar el document bàsic de Seguretat Estructural (*CTE SE-AE*).

8.9.1. Càrregues permanents

L'estructura flotant ha de suportar el pes dels mòduls fotovoltaïcs, així com el seu propi pes, però també s'ha d'assegurar que el camp fotovoltaïc no es mogui de lloc per les forces de succió del vent. Primer es calcularà el propi pes del camp fotovoltaïc per saber les càrregues permanents tal com es veu a l'equació (8-7).

$Q = \frac{Massa_{mòd} \cdot n^{\circ}_{mòd}}{\Àrea_{inst}} + \frac{Massa_{est} \cdot m_{est}}{\Àrea_{inst}} + \frac{Massa_{contr} \cdot n^{\circ}_{contr}}{\Àrea_{inst}} \quad (8-7)$	
$\Àrea_{inst}$	Àrea que ocupa la instal·lació.
$Massa_{mòd}$	Massa d'un mòdul FV.
$n^{\circ}_{mòd}$	Quantitat de mòduls.
$Massa_{est}$	Massa d'un metre lineal d'estructura.
m_{est}	Quantitat lineal d'estructura de suport.
$Massa_{contr}$	Massa del contrapès.
n°_{contr}	Número de contrapesos.

Els 18 mòduls fotovoltaïcs estaran en posició horitzontal sobre l'estructura flotant inclinant-los 15° sobre la horitzontal.

L'estructura té un pes mitjà, entre les estructures que suporten els mòduls i les estructures de passarel·la de manteniment, de 5'15 kg. En total, el pes de l'estructura és de 72 kg. Per la part dels mòduls, tenen un pes de 28'5 kg tal i com es poden veure a les característiques de la Taula 8.5.

Amb les dades obtingudes i les equacions de l'Annex II, Càlculs de vent i contrapès, es pot obtenir els resultats de la següent Taula 8.16.

Q mòduls	Q estructura	Q permanents total
14,2 kg/m ²	2,0 kg/m ²	16,2 kg/m ²

Taula 8.16 Resum de càrregues permanents.

Les càrregues permanents tenen un total de 16,2 kg/m².

8.9.2. Càrregues variables

La pressió estàtica (q_e) del vent és una força perpendicular a cada punt de la superfície i es pot expressar com:

$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p$		(8-8)
q_b	N/m ²	Pressió dinàmica del vent. Càlcul segons Taula 8.17
c_e		Coefficient d'exposició. Càlcul segons Taula 8.18
c_p		Coefficient de pressió. Pot ser substituït per coeficient de succió (c_s).

Per saber la pressió dinàmica del vent, tenim el mapa de la Fig. 8.16, el qual descriu les zones d'Espanya amb les pressions equivalents.



Fig. 8.16 Mapa d'Espanya de les diferents zones de pressió dinàmica del vent.

La part verda pertany a la zona A, la groga a la zona B i la part més ataronjada equival a la zona C. A la *Taula 8.17* es pot veure els valors de pressió dinàmica de cada zona.

Zona	Velocitat del vent (m/s)	Pressió dinàmica (N/m ²)
A	26	420
B	27	450
C	29	525

Taula 8.17 Valor de pressió dinàmica i velocitat del vent per zones.

En el cas del projecte, situat a Mataró, es troba en Zona C. Per tant, la velocitat del vent mitjana serà de 29 m/s i la pressió dinàmica de 525 N/m².

El coeficient d'exposició dependrà de la ubicació i l'entorn de la instal·lació, així com l'altura a la que es trobi la instal·lació. Es poden veure els valors a la *Taula 8.18*.

Grado de aspereza del entorno	Altura del punto considerado (m)							
	3	6	9	12	15	18	24	30
I Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	2,4	2,7	3,0	3,1	3,3	3,4	3,5	3,7
II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	2,1	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,3	3,5
III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	1,6	2,0	2,3	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1
IV Zona urbana en general, industrial o forestal	1,3	1,4	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,6
V Centro de negocio de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	1,6	1,9	2,0

Taula 8.18 Valors de coeficient d'exposició segons característiques de a ubicació.

Aquests càlculs ens serviran per saber la força que fa el vent sobre e mòdul i adaptar l'estructura a aquesta. Aquesta instal·lació es serà de grau III, ja que és una zona rural accidentada amb alguns obstacles aïllats i a una altura de 3 metres o menys. El valor escollit pel coeficient d'exposició en aquest cas és de 1,6.

Per saber el coeficient de pressió i succió, es pot determinar per uns valors estàndards depenent de la inclinació de l'estructura segons la *Taula 8.19*.

Inclinació	Compressió	Succió
0	0,2	-0,5
5	0,4	-0,7
10	0,5	-0,9
15	0,7	-1,1
20	0,8	-1,3
25	1	-1,6
30	1,2	-1,8

Taula 8.19 Valors de coeficient de compressió i succió depenent de la inclinació del mòdul.

La pressió dinàmica del vent, anirà determinada per la Fig. 8.16, que mostra les diferents zones de pressió dinàmica a Espanya. A la zona de Catalunya hi haurà la zona C que, com mostra la Taula 8.17, és del valor de 520 N/m². El coeficient d'exposició es pot treure de la Taula 8.18. La zona es determinarà com a zona rural accidentada o plana amb alguns obstacles. La bassa està a un punt d'aproximadament 3 metres d'altura, per tant el coeficient d'exposició serà de 1,6. Els coeficients de compressió i succió per una inclinació del mòdul de 15° són de 0,7 i -1,1 respectivament, segons la Taula 8.19.

Amb aquests valors i la fórmula (8-8), es pot treure el valor de les càrregues variables de compressió sobre els mòduls.

qb	Ce	Cp compr	qe compr. (kg/m ²)	Inclinació	Àrea mòduls	Àrea estructura	Qe compr. (kg/m ²)
525 N/m ²	1,6	0,70	59,9 kg/m ²	15	35,7 m ²	36,1 m ²	57,4 kg/m ²

Taula 8.20 Resum de càrregues variables de compressió.

Així mateix, podem extreure els valors de càrregues variables de succió sobre l'estructura.

qb	Ce	Cp succió	qe compr. (kg/m ²)	Inclinació	Àrea mòduls	Àrea estructura	Qe compr. (kg/m ²)
525 N/m ²	1,6	-1,10	-94,2 kg/m ²	15	35,7 m ²	36,1 m ²	-90,2 kg/m ²

Taula 8.21 Resum de càrregues variables de succió.

8.9.3. Càrregues mecàniques totals

Per a calcular les càrregues totals, es comprovaran les situacions de més restricció, tant de compressió màxima, com de succió màxima.

Per la part de compressió màxima, es comptarà les càrregues permanents que comporta el pes del camp fotovoltaic, sumant les càrregues de compressió del vent. Aquesta força haurà d'estar contrarestada per la flotabilitat de l'estructura.

A la Taula 8.22 es pot veure les càrregues de compressió del sistema sobre les estructures.

Q permanents	Q variables	Q compressió total
16,2 kg/m ²	57,4 kg/m ²	73,6 kg/m ²

Taula 8.22 Càrregues de compressió del sistema.

Les càrregues de compressió totals (Q_e) sobre l'estructura flotant, és a dir, suma de càrregues permanents i càrregues variables de compressió, són de 73,6 kg/m². Això significa que el pes dels mòduls fotovoltaics, juntament amb l'estructura i la força del vent de compressió màxima, poden arribar a una força d'aquestes magnituds i el conjunt del camp fotovoltaic ha de poder resistir aquesta força amb facilitat per mantenir la flotabilitat en tot moment.

L'estructura flotant dissenyada té una flotabilitat de 157 kg/m² segons el fabricant. Per tant, segons els càlculs, la instal·lació mantindrà una flotabilitat constant sense problemes.

Per la part de càrregues de succió, seran contrarestades pel sistema d'ancoratge que, a part de mantenir el camp fotovoltaic al centre de la bassa, ajuda a combatre aquestes càrregues del sistema.

Les càrregues totals de succió comporten les càrregues permanents que és la suma dels pesos de mòduls i estructures, juntament amb la força de succió del vent, la qual és negativa. Aquesta força ha d'estar contrarestada pels ancoratges.

Q permanents	Q variables	Q succió total
16,2 kg/m ²	-90,2 kg/m ²	-74,0 kg/m ²

Taula 8.23 Càrregues de succió del sistema.

Per saber si els ancoratges suporten la tensió generada per aquesta càrrega, s'ha dissenyat un model simplificat amb el software de disseny mecànic, SolidWorks. En aquest cas, el càlcul de càrregues de vent és molt variable. Juntament amb el contacte amb l'aigua i la complexitat del disseny d'estructures i mòduls, fa que el càlcul mecànic es compliqui, per tant, s'ha facilitat el càlcul amb una estructura rectangular compacte i un punt de subjecció a cada cantonada.

Es dissenyarà així, una estructura amb les mateixes dimensions que la bassa projecte de instal·lació i amb el mateix pes, que inclourà la suma de les estructures i els mòduls. A aquesta figura geomètrica es fixaran els punts de les cantonades i s'aplicarà una força de succió de 74 kg/m^2 a la superfície superior.

El sistema de forces afectades sobre l'estructura es pot veure a la Fig. 8.17. Amb aquestes dades es farà una simulació i veure la força de tensió requerida a cada cantonada del camp fotovoltaic i escollir un ancoratge adient.

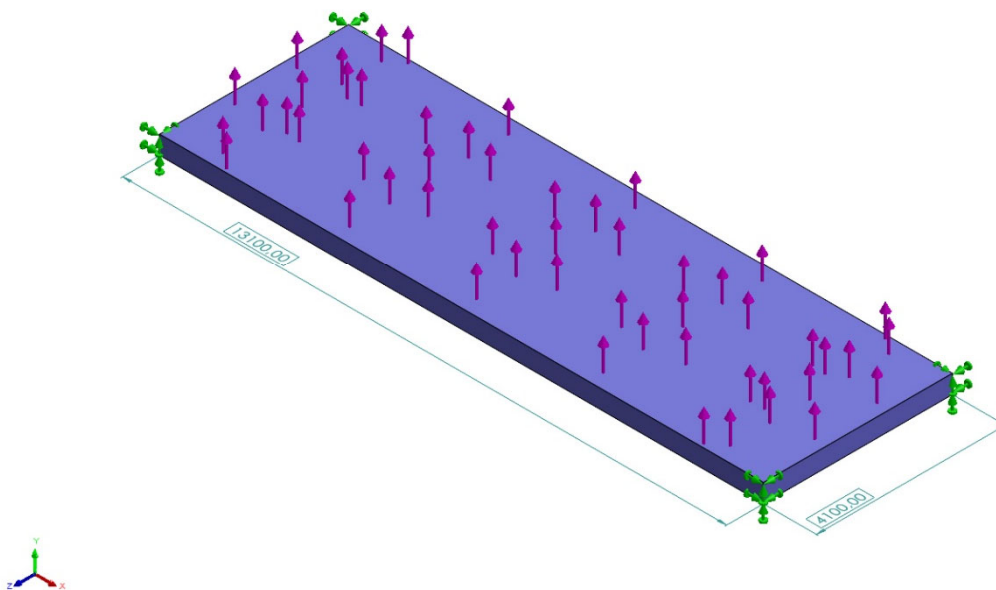


Fig. 8.17 Sistema de forces de SolidWorks.

Els resultats obtinguts, mostren una força resultant màxima de 3882 N a cada cantonada de l'estructura. Això significa que el cable de l'ancoratge ha de ser capaç de suportar una força de tensió de 395,85 kg.

El material utilitzat en l'ancoratge és acer inoxidable. Aquest material, recobert amb una capa de zinc, és resistent a la corrosió i evita que s'oxidi, obtenint una gran resistència al deteriorament provocat per variacions de temperatura, radiació UV i humitat. S'ha escollit també perquè és un bon material en quant a relació qualitat preu respecte altres materials. A part, té una gran resistència a forces de tensió que permetran mantenir el camp solar fotovoltaic a la posició en tot moment.

El cable serà de cordó comú de capa simple (IPH7), tal com mostra el patró de la Fig. 8.18. El més típic, amb un filferro central i sis més al voltant.



Fig. 8.18 Cable galvanitzat IPH7 (Font: IPH Global).

Les unitats de mesura i característiques responen a al norma IRAM722 en galvanitzats pesats i les normes ISO 2408 i EN 12385-10 per a cables estructurals.

A la Taula 8.24 es pot veure les forces en tones i en kN que poden suportar els cables d'acer inoxidable segons el diàmetre d'aquest. S'escollirà el més adient per la força que ha de suportar cada punt d'ancoratge.

Diàmetro	Masa aprox.	Grado 120 daN/mm ²		Grado 140 daN/mm ²		Grado 1770 N/mm ²	
		[kN]	[t]	[kN]	[t]	[kN]	[t]
[mm]	[Kg/m]						
1,20	0,007	-	-	-	-	1,50	0,15
1,50	0,011	-	-	-	-	2,17	0,22
3,00	0,050	6,4	0,65	7,9	0,81	-	-
3,50	0,070	9,5	0,97	11,0	1,12	-	-
4,80	0,110	16,4	1,67	19,0	1,94	-	-
6,00	0,18	25,6	2,61	29,6	3,02	-	-
7,50	0,28	40,0	4,08	46,4	4,73	-	-
8,10	0,32	46,6	4,76	54,0	5,51	-	-
9,00	0,40	57,5	5,87	66,7	6,81	-	-
10,00	0,50	71,0	7,24	-	-	-	-
10,50	0,54	73,3	7,48	-	-	-	-
12,70	0,78	114	11,6	-	-	-	-

Taula 8.24 Càrrega mínima de ruptura segons diàmetre del cable d'acer inoxidable (Font: IPH Global).

Amb una cable de tres mil·límetres de diàmetre serà més que suficient per suportar les forces de succió màximes generades pel vent sobre l'estructura.

8.10. Implantació final

La implantació de la bassa objecte d'instal·lació amb les estructures flotants i els mòduls fotovoltaics es pot veure a la Fig. 8.19.

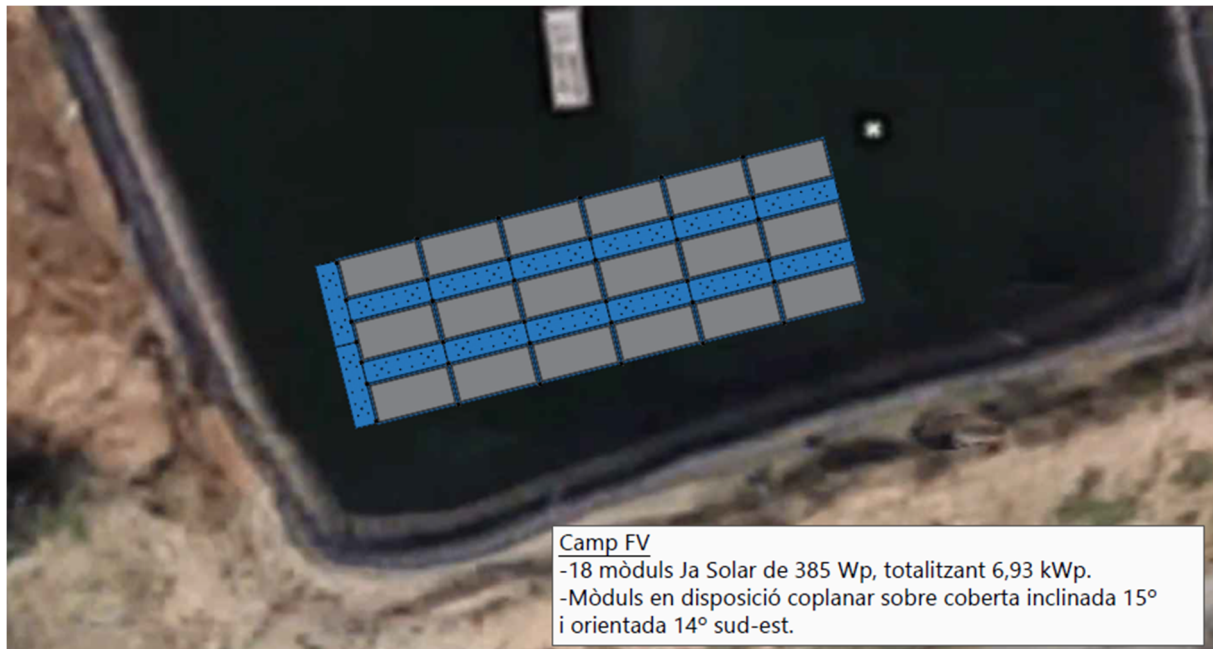
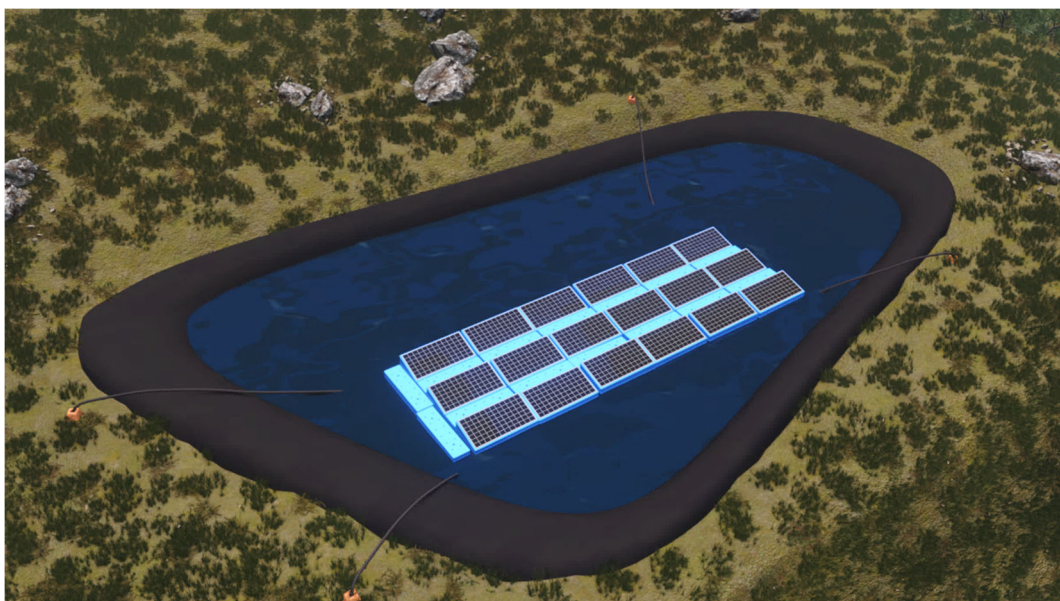
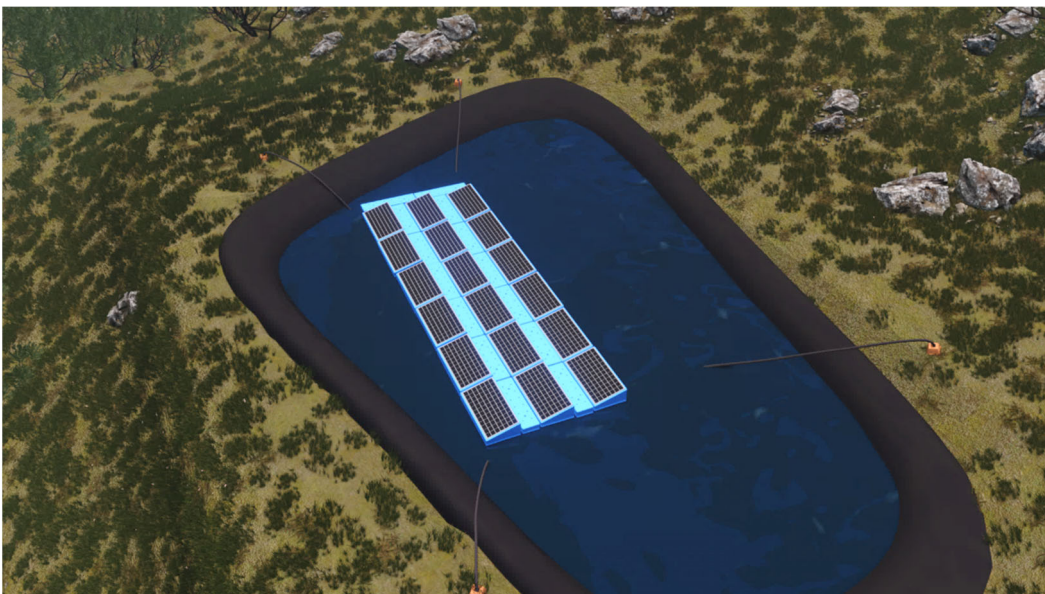
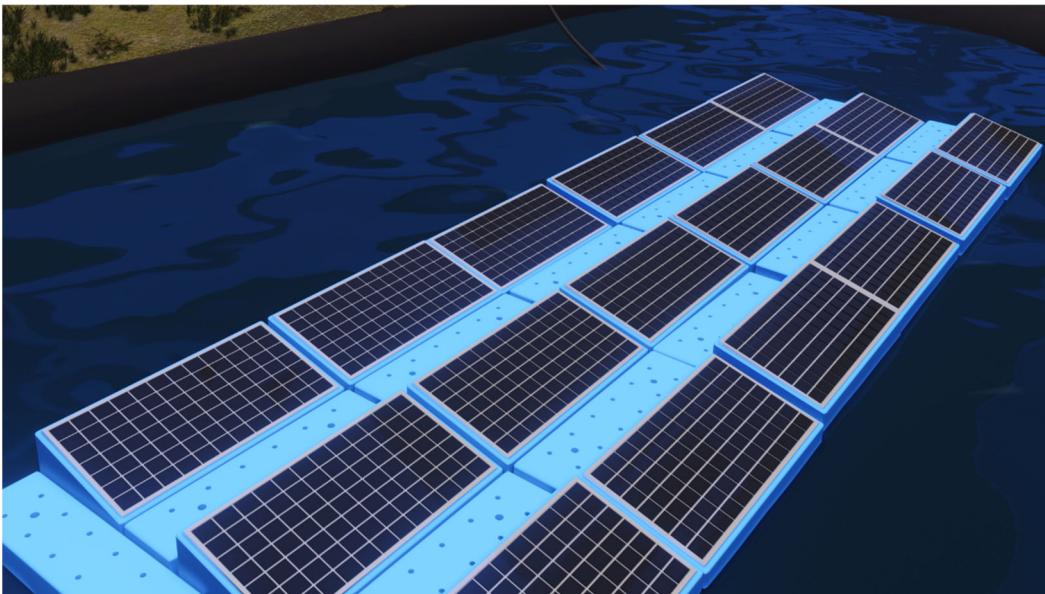


Fig. 8.19 Plànol d'implantació (Font: pròpia).

A continuació hi ha imatges renderitzades de la instal·lació resultat del projecte dissenyat amb el programa de disseny 3D *Blender*.





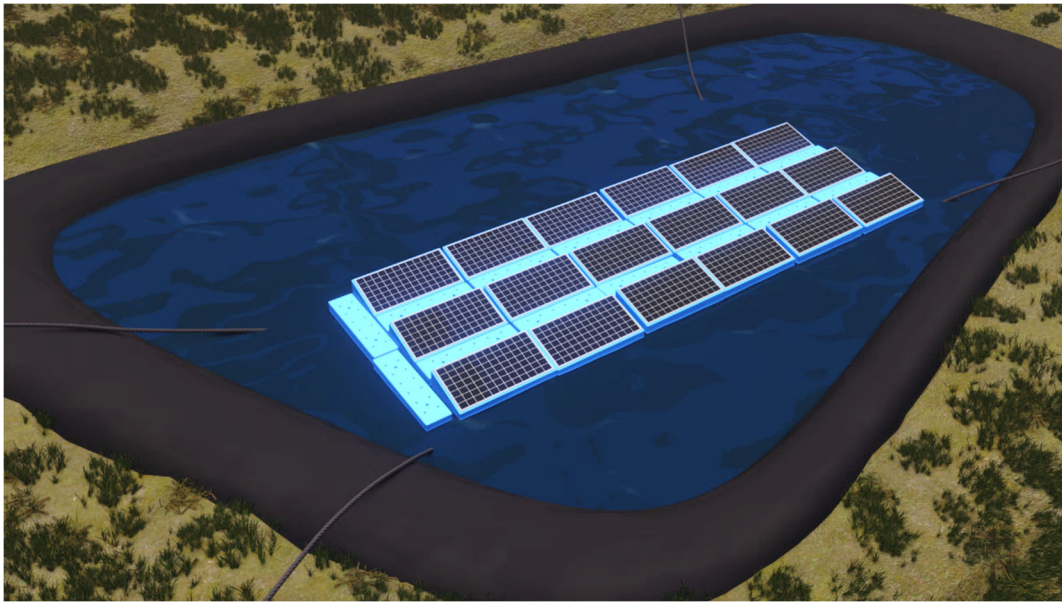


Fig. 8.20 Renders de la instal·lació fotovoltaica final (Font: Pròpia).

8.11. Comparacions

Després dels resultats obtinguts de generació i càlculs energètics, en aquest apartat es farà comparacions d'elements utilitzats en aquest projecte amb material utilitzat en instal·lacions fotovoltaïques normalitzades.

8.11.1. Mòduls: Monofacials - bifacials

Els mòduls escollits han suposat un augment considerable per la generació d'energia. Partim de dues instal·lacions completament iguals, però una amb mòduls monofacials i l'altre amb mòduls bifacials. Els primers tenen una generació anual de 10.332 kWh, el qual suposa un rendiment anual específic de 1.489 kWh/kWp. Amb els panells bifacials, s'ha aconseguit generar energia amb la radiació captada per la part posterior del mòdul. Aquesta radiació difosa s'aconsegueix gràcies a l'albedo de l'aigua. Amb els mòduls bifacials, s'aconsegueix una generació de 10.415 kWh amb un rendiment anual específic de 1.503 kWh/kWp. Això suposa un augment de 83 kWh cada any.

Els mòduls bifacials tenen un cost de 4 € més que els monofacials, per tant el preu total extra a pagar per aquests panells són 72 €. Si calculem l'energia anual extra generada pels mòduls bifacials, es multiplica pels anys de vida de la instal·lació i per un cost aproximat del kWh, suposa un guany d'uns 900 €.

Per tant, els mòduls bifacials aporten un benefici considerable comparat amb la inversió inicial.

8.11.2. Estructura: Flotant - coplanar

En quant a la instal·lació, com s'ha dit anteriorment, l'actual genera una energia de 10.415 kWh cada any. Una instal·lació amb el mateix material i mateixa inclinació de mòduls i azimut, però amb estructura coplanar, té una generació de 9.723 kWh anuals. El rendiment anual específic d'aquesta és de 1.401 kWh/kWp. Aquesta diferència d'energia proporciona al final de vida útil de la instal·lació, un augment de més de 5500 €.

Hi ha varies diferències entre una instal·lació flotant i una coplanar. Una d'elles és el transport, ja que les estructures flotants són molt més voluminoses i depenent de la grandària de la instal·lació pot ser que no hi càpiga tot en un mateix vehicle. Encara que aquest no és el nostre cas, també hi ha temps extra en carregar i transportar totes aquestes estructures. Per altra banda, la instal·lació flotant és més senzilla i ràpida de realitzar que la coplanar, és a dir que en aquest sentit s'estalvien varies hores de muntatge. La gran diferència que hi ha és el cost tant de les estructures. Mentre que les coplanars són barres de ferro que es col·loquen al llarg de la coberta, en les instal·lacions flotants es necessita una estructura per cada mòdul, a part dels flotadors de manteniment per poder accedir-hi i els ancoratges per estabilitzar el camp fotovoltaic.

Per justificar-ho, s'ha calculat el cost de la instal·lació flotant amb IVA inclòs, que equival a 12.504,37 € i el que costaria una instal·lació coplanar amb les mateixes condicions, que serien 12.004,63 €. Aquesta diferència de quasi 500 € és menor als 5500 € obtinguts a partir de l'augment de rendiment de la instal·lació flotant respecte de la coplanar. Per tant, tot i que la inversió inicial sigui major, surt una millor amortització a llarg termini.

9. Pla de seguretat i salut

Segons estableix el Reial Decret 1627/1997, de 24 d'octubre, pel qual s'estableixen disposicions mínimes de seguretat i salut a les obres de construcció, cada contractista elaborarà un pla de seguretat i salut específics per l'execució d'obra de la instal·lació.

En compliment de la Llei 31/1995 de Prevenció de Riscos Laborals i del Reial Decret 39/1997 que aprova el Reglament dels Serveis de Prevenció i ordena a l'empresa contractista a integrar, en el sistema de gestió de l'empresa, una prevenció de riscos laborals abans de començar el mateix procés i posant enfoc a les activitats amb major probabilitat de risc. Així mateix, hi haurà una o varies persones designades a l'obra com a recurs preventiu. Aquest treballador o treballadors han de garantir la seva presència en els següents casos:

- a) Quan els riscos es puguin veure modificats durant l'activitat, per la concurrència d'operacions que es desenvolupen successivament o simultàniament.
- b) Quan es realitzin processos perillosos o amb riscos especials.

En aquest apartat, per tant, es presenta el pla de seguretat i salut al projecte d'instal·lació fotovoltaica flotant de 6 kWn per autoconsum amb compensació d'excedents que s'executarà a la parcel·la 11 del Carrer Veïnat de Mata, número 7, 08304, Mataró, Barcelona.

En el plànol de mesures de seguretat de l'Annex II, Plànols, es podrà veure la ubicació del braç elevador en la descàrrega de material, així com el punt de descàrrega, l'accés de les estructures i personal a la bassa i la línia de vida per la seguretat dels instal·ladors.

9.1. Condicions de l'entorn

Serveis més propers

En cas d'incident en obra que requerís de trasllat a centre sanitari, es destaca la instal·lació més pròxima a l'obra:

- CSM Hospital de Mataró Urgències
 - Hospital de Mataró, Carrer de Cirera, 230, 08304 Mataró, Barcelona
 - Telèfon: 937417700

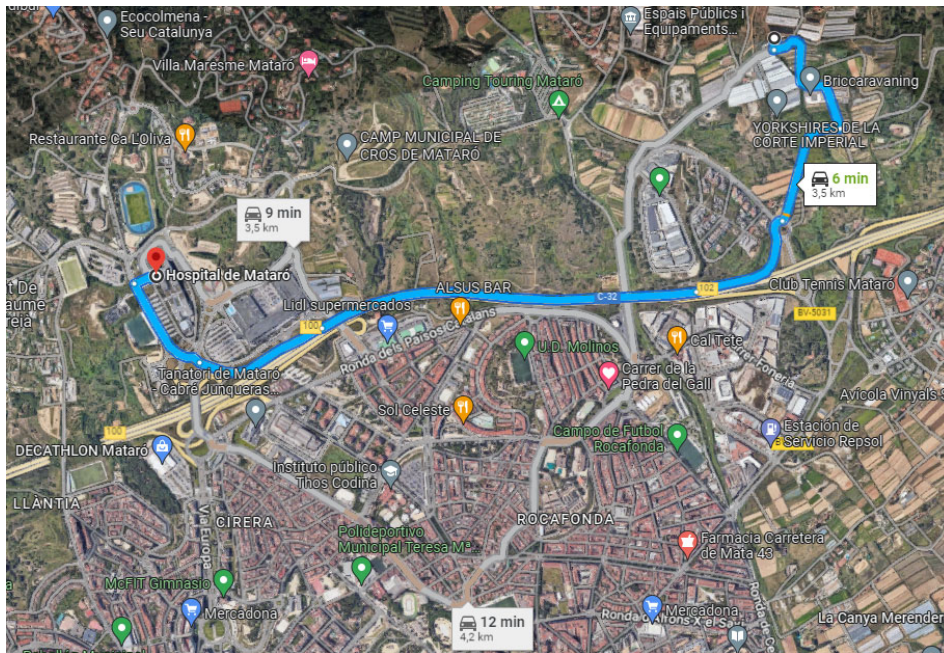


Fig. 9.1 Trajecte de l'obra al centre mèdic més proper (Font: pròpia).

Per altra banda, en cas d'incendi que requereixi servei de bombers, a continuació es mostra les instal·lacions més pròximes de bombers:

- Parc de bombers de Mataró
 - Parc de Bombers de Mataró, Via Sèrgia, 95, 08302 Mataró, Barcelona
 - Telèfon: 937578686

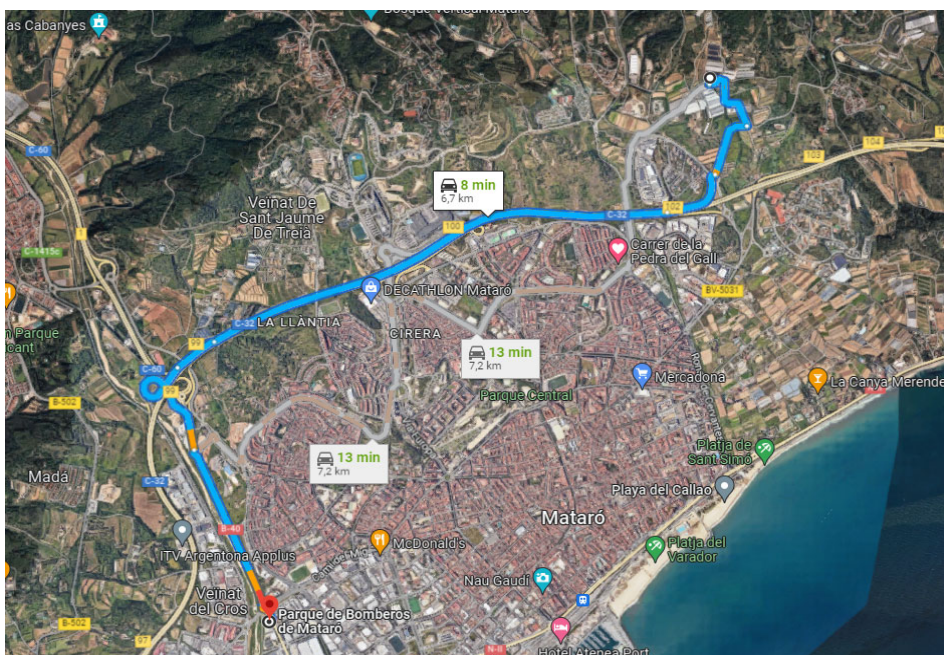


Fig. 9.2 Trajecte de l'obra al centre de bombers més proper (Font: pròpia).

Climatologia

Cal ser considerat el factor climatològic com a factor de risc. En les següents condicions cal prendre mesures de seguretat o, en casos extrems, parada temporal de l'obra:

- Per efecte mecànic del vent, amb velocitats superiors a 50 km/h.
- Per tempestes amb aparell elèctric.
- Per efecte del gel, la boira, la neu, la pluja o la calor.
- Increment del risc d'atropellament per reducció de la visibilitat a l'entorn de treball.

9.2. Avaluació de riscos

L'avaluació de riscos laborals és el procés pel qual s'estima la magnitud dels riscos que no s'hagin pogut evitar i que l'empresa estigui en condicions de prendre una decisió apropiada sobre el tipus de mesura que s'haurà de prendre.

S'intentarà fer una previsió de tots els riscos als que es poden exposar els treballadors durant les diferents fases del projecte i es desenvoluparà un sistema de control de riscos.

El mètode preventiu es diferenciarà en quatre parts:

a) Identificació del risc

Es farà un estudi de les condicions de treball en cada fase del projecte i l'organització d'aquest, així com matèries primeres i equips utilitzats que puguin generar situacions de risc o afectar a la salut dels treballadors.

b) Valoració del risc

S'haurà de valorar la graduació dels riscos segons la menor o major influència negativa per a la salut del treballador en cada un dels factors de risc de 1 a 5 segons la següent graduació:

Nivell	Risc	Observacions
1	Baix	S'ha detectat el risc, encara que la influència negativa sobre la salut del treballador és nul·la, mínima o improbable.
2	Tolerable	La situació no és òptima, pot ser millorada.
3	Moderat	El risc ha de controlar-se, però la situació no és d'emergència.
4	Important	El risc és important, requereix una ràpida intervenció per a ser controlat.
5	Molt important	El risc és molt important, ja sigui per la gravetat de les conseqüències o per l'alta probabilitat que ocorri. Requereix una urgent intervenció. En cas de perill greu o imminent (valor major o igual a 100) la situació és intolerable i s'ha de procedir a paralitzar els treballs fins a controlar la situació.

Taula 9.1 Taula de valoració de riscos (Font: pròpia).

c) Probabilitat de risc

La probabilitat inclou tant la possibilitat que es donin les circumstàncies que converteixin el risc en dany, com l'exposició al risc.

S'assignen valors en una escala de 0,1 a 10 depenent de la menor o major probabilitat que succeeixin els esdeveniments.

Valor	Probabilitat
0,1	Molt difícil que concorrin les circumstàncies de l'accident
0,5	Difícil que concorrin les circumstàncies de l'accident
1	Possible que concorrin les circumstàncies de l'accident
5	Probable que concorrin les circumstàncies de l'accident
10	Molt probable que concorrin les circumstàncies de l'accident

Taula 9.2 Taula de probabilitat de riscos (Font: pròpia).

El valor que s'assignen a la probabilitat serà un valor teòric, ja que és molt complicat determinar les probabilitats exactes que ocorri una cosa o una altre.

d) Conseqüències

S'ha de determinar les conseqüències de l'accident que produiria el risc que s'està estudiant, tenint sempre en consideració la conseqüència més greu que es pot produir.

S'han assignat uns valors entre 1 i 100 a les conseqüències dependent del seu menor o major grau de gravetat.

Valor	Conseqüència
1	Pèrdues materials mínimes. Sense lesions
2	Primera cura (atenció mèdica sense baixa)
5	Lesió lleu (fins a 7 dies)
10	Lesió greu (entre 8 i 30 dies)
50	Lesió molt greu (més de 30 dies) o que afecti a dos o més persones
100	Mort o varies morts

Taula 9.3 Taula de conseqüències de riscos (Font: pròpia).

Un cop s'hagi assignat un valor a la probabilitat que el risc es converteixi en accident (de 0,1 a 10) i un altre valor a les conseqüències de l'accident (de 1 a 100), s'efectuarà el producte d'ambdós, el valor resultant serà el següent:

Nivell	Valor
1	0,1 - 0,9
2	1 - 4,99
3	5 - 9,99
4	10 - 99,99
5	≥ 100

Taula 9.4 Taula de puntuació de riscos (Font: pròpia).

9.2.1. Execució de la instal·lació

Descàrrega de material amb camió ploma

Es descriuen els riscos associats a la descàrrega dels materials utilitzats a la instal·lació que es transportaran en camió ploma. Aquest permet descarregar els panells mecànicament, per tant, es reduiran els riscos associats a aquesta activitat. Abans de començar la feina, s'haurà de fer un perímetre de seguretat de 5 metres al voltant del camió ploma per evitar obstacles o persones.

A continuació es mostra la taula de riscos associats a la descàrrega de material del camió ploma.

Risc		Prob.	Conseq.	Valor	Nivell de Risc
1	Bolcada de camió.	1	10	10	Important
2	Caigudes al pujar i baixar de la zona de comandaments.	1	10	10	Important
3	Caiguda d'objectes/cops per la càrrega del vehicle.	0,1	50	5	Moderat
4	Atropellament de persones.	1	10	10	Important
5	Contactes elèctrics amb línia aèria elèctrica amb el braç del camió ploma	0,1	50	5	Moderat

Taula 9.5 Taula de puntuació de riscos de descàrrega de material (Font: pròpia).

Les mesures preventives que es poden aplicar en aquests casos poden ser les següents:

- Es prohibeix la permanència sota les càrregues en suspensió.
- Haurà de disposar-se a l'interior de la cabina d'una farmaciola de primers auxilis.
- La cabina haurà de disposar d'un extintor de CO2 timbrat i amb les revisions al dia.
- Per a treballs en proximitat de línies elèctriques aèries s'hauran de tenir en compte les degudes mesures de seguretat.
- El conductor i els passatgers faran ús obligatori del cinturó de seguretat, el qual es mantindrà en bon estat de manteniment.

Al pujar o baixar del camió:

- Utilitzar els esglaons i agafadors, no pujar utilitzant les llandes, rodes o sortints.
- No saltar mai directament del camió al terra.
- Prohibit pujar o baixar del vehicle en marxa.
- Netejar-se les sabates de fang o grava per a evitar que rellisquin en els pedals.

Durant l'execució de la feina:

- Abans d'iniciar les maniobres de càrrega es bloquejaran les quatre rodes i els gats estabilitzadors.
- Es prohibeix sobrepassar la càrrega màxima admissible fixada pel fabricant del camió en funció de l'extensió del braç.
- Es prohibeix la permanència de persones entorn del camió grua/ploma a distàncies inferiors a 5 metres.

- S'evitarà passar el braç del camió ploma, amb càrrega o sense ella, per sobre del personal.
- Abans de començar el treball es comprovarà que tots els elements funcionin correctament.
- Si es presenta qualsevol avaria, haurà de parar-se el treball immediatament i no reiniciar-lo fins que el camió estigui reparat.
- Es prohibirà abandonar el camió ploma amb el motor en marxa i/o amb càrregues suspeses.
- Si no hi ha suficient il·luminació natural, s'haurà de preveure il·luminació artificial de la zona de treball.
- Abans d'iniciar un desplaçament, s'immobilitzarà el braç de la grua/ploma i es posarà en la posició de viatge.
- Aixecar les càrregues de una en una.

Treballs a la bassa

El treball consistirà en muntar les estructures, ajuntant-les en un únic camp fotovoltaic i afegint el mòdul a cada una d'elles. Les estructures, juntament amb els mòduls, es muntaran fora de l'aigua i es deixaran a la vora de la bassa per empènyer-los un cop ben col·locat.

Aquesta bassa no té peto perimetral, per tant s'haurà d'instal·lar una línia de vida al voltant de la bassa.

Es descriuran els riscos de seguretat i salut dels treballadors a l'hora de realitzar aquesta tasca, així com solucions tècniques i mesures preventives per evitar o reduir aquests riscos.

La taula de riscos es pot veure a la Taula 9.6.

Risc		Prob.	Conseq.	Valor	Nivell de Risc
1	Caiguda dels operaris a la bassa.	1	10	10	Important
2	Condicions atmosfèriques adverses.	0,1	100	10	Important

Taula 9.6 Taula de puntuació de riscos de treballs a la bassa (Font: pròpia).

- Es realitzarà una inspecció de l'àrea on s'instal·laran els sistemes per a comprovar-ne les condicions de treball, en particular l'espai que hi ha per a treballar.
- En tot moment es mantindran netes i ordenades les superfícies de treball, així com aquelles comunicacions internes de l'obra. Els materials s'apilaran en lloc que no

destorbin per al desenvolupament de l'obra. Si fos necessari se senyalitzarà la seva situació.

- Les zones de treball tindran una il·luminació mínima de 100 lux mesurats a una altura sobre el sòl, entorn dels 2 m.
- S'utilitzaran botes de seguretat amb capdavantera metàl·lica.
- Qualsevol treball que es realitzi amb el risc de caiguda a la bassa durant l'ús de mitjans auxiliars es realitzarà utilitzant proteccions col·lectives adequades. Quan existeixi risc de caiguda i no sigui possible fer el treball amb les proteccions col·lectives instal·lades, els treballadors usaran sistema de seguretat anticaigudes ancorat a punt fix segur o línia de vida.
- Es prohibirà el pas de treballadors sota càrregues en suspensió.
- S'utilitzarà casc de seguretat amb barballera.
- En el cas de produir-se tempestes pròximes al lloc on es fan els treballs, o quan les condicions atmosfèriques són dolentes, amb forts vents, el responsable dels Treballs suspendrà els mateixos.

Muntatges elèctrics

Es descriu els riscos de seguretat i salut a l'hora de fer el muntatge de la part elèctrica de la instal·lació.

	Risc	Prob.	Conseq.	Valor	Nivell de Risc
1	Contactes elèctrics.	0,5	50	25	Important
2	Cremades per xoc elèctric, o por arco elèctric.	1	5	5	Moderat
3	Lesions a la mà, els ulls, etc., per un incorrecte us de les eines de treball.	1	5	5	Moderat

Taula 9.7 Taula de puntuació de riscos de muntatges elèctrics (Font: pròpia).

- Els treballs de muntatge i manteniment seran efectuats amb la instal·lació elèctrica parada.
- Les parts d'un equip de treball que aconseguixin temperatures elevades o molt baixes hauran d'estar protegides quan correspongui contra els riscos de contacte o la proximitat dels treballadors.
- Els materials a transportar seran preparats degudament i es preveurà el seu transport fins al lloc de treball.

- Es prepararan i es revisaran tots els equips de protecció individual que es puguin necessitar en els diferents treballs.
- Sempre que sigui necessari, s'utilitzaran eines auxiliars (ganxos, cordes, etc.).
- Usar les eines apropiades: cada tipus d'operació necessita d'una eina concreta i no d'unes altres. La utilització d'eines inadequades implicarà un evident risc d'accident.
- Quan existeixi un contacte prolongat amb substàncies agressives s'utilitzaran guants (goma) adequats a la protecció per contacte amb aquestes substàncies.
- Es comprovarà abans de connectar, la inexistència de diferència de potencial entre passant i derivat, començant pel conductor més favorable; una vegada verificat, es procedirà a connectar.
- Una vegada efectuada la connexió es protegirà o aïllarà amb tela vinílica.

Riscos en la manipulació de càrregues manuals

S'exposaran els riscos en els casos en que es manipulen càrregues de manera manual, així com una descripció de les mesures preventives per evitar qualsevol tipus de lesió o infortuni.

	Risc	Prob.	Conseq.	Valor	Nivell de Risc
1	Ferides en mans durant la manipulació.	1	5	5	Moderat
2	Caiguda de cargues en manipulació.	1	5	5	Moderat
3	Atrapaments.	0,5	50	25	Important
4	Sobreesforços.	1	10	10	Important

Taula 9.8 Taula de puntuació de riscos de treballs a la bassa (Font: pròpia).

- En el cas d'haver de manipular càrregues de més de 25 Kg haurà d'ajudar-se de mitjans mecànics, aixecar la càrrega entre dues persones o reduir els pesos de les càrregues manipulades en combinació amb la reducció de la freqüència.
- La postura correcta en manipular una càrrega és amb l'esquena dreta. S'evitarà manipular càrregues en llocs on l'espai vertical sigui insuficient.
- Les tasques de manipulació manual de càrregues es realitzaran preferentment damunt de superfícies estables, de manera que no sigui fàcil perdre l'equilibri.
- Com a norma general, és preferible manipular les càrregues prop del cos.

9.2.2. Maquinària

Han de disposar de «marcatge CE» i manual d'instruccions. Aquella maquinària que per la seva data de comercialització o de posada en servei per primera vegada no els sigui aplicable el marcatge CE, s'han de sotmetre a la posada en conformitat d'acord amb el que estableix el Reial Decret 1215/1997.

Eines elèctriques lleugeres

	Risc	Prob.	Conseq.	Valor	Nivell de Risc
1	Caiguda d'objectes al mateix nivell	1	1	1	Tolerable
2	Cops o talls per objectes	1	10	10	Important
3	Atrapament per o entre objectes	1	2	2	Tolerable
4	Projecció de fragments o partícules	5	2	10	Important
5	Soroll	1	2	2	Tolerable
6	Contactes elèctrics directes o indirectes	0,5	2	1	Tolerable
7	Contactes tèrmics	1	1	1	Tolerable

Taula 9.9 Taula de puntuació de riscos d'eines elèctriques lleugeres (Font: pròpia).

- La zona d'actuació haurà de romandre ordenada, lliure d'obstacles i neta de residus.
- L'ús de les eines estarà restringit només a persones autoritzades.
- Es faran servir eines adequades per a cada treball.
- Prohibit deixar-les abandonades per terra.
- A les eines de tall es protegirà el disc amb una carcassa anti projecció.
- Les eines es mantindran en bones condicions
- Les clavilles i els cables elèctrics estaran en perfecte estat i seran adequats.
- Les eines elèctriques no es podran fer servir amb mans o peus mullats.
- Les eines estaran apagades mentre no s'estiguin utilitzant.
- Les eines elèctriques disposaran de doble aïllament o estaran connectades a terra.
- Han de disposar de connexió a terra, excepte les eines portàtils amb doble aïllament.

En els casos en se superin els valors d'exposició al soroll indicats en l'article 5.1 del Reial Decret 286/2006 de protecció dels treballadors enfront del soroll, s'establiran les accions correctives oportunes com l'ocupació de protectors auditius.

Eines manuals

Risc		Prob.	Conseq.	Valor	Nivell de Risc
1	Cops i/o talls amb les eines degut a una incorrecta utilització o deficient estat de conservació.	1	2	2	Tolerable
2	Caiguda de les eines degut a un incorrecte transport i manipulació de les mateixes.	1	2	2	Tolerable

Taula 9.10 Taula de puntuació de riscos d'eines manuals (Font: pròpia).

- Abans d'iniciar els treballs es comprovarà que l'estat de les eines sigui l'òptim, rebutjant-se aquelles que presentis trencaments, folgances o esquerdes.
- Cada operació o treball requereix d'una eina diferent; haurà de triar-se l'adequada per a cada treball.
- Mantenir les eines en bon estat.
- Els mànecs de fusta de les eines han de mantenir-se sense estelles ni fissures i estar fermament adherits a les eines.
- Es realitzarà una comprovació visual periòdica de les eines, verificant que el seu estat no disminueix la seguretat en el seu ús.
- Mantenir neta i ordenada l'àrea de treball.

9.2.3. Equips de protecció individual

A continuació es mostren els equips de protecció individual necessaris en la fase de la instal·lació fotovoltaica. S'aniran combinant depenent de la tasca que s'estigui efectuant i les necessitats.

- Sistema de seguretat anticaigudes per evitar caure a l'aigua.
- Ulleres o pantalla facial adequades a l'arc elèctric.
- Roba ignífuga.
- Roba conductora per al treball a potencial.
- Guants mecànics aïllants o conductors (segons el mètode de treball) si cal maniguets aïllants.
- Guants homologats per a treballar amb tensió (en alta tensió no utilitzar directament sobre parts en tensió).
- Casc de seguretat aïllant o conductor amb barballera (segons el mètode de treball) homologat per a les tensions corresponents.

- Calçat de Seguretat

10. Planificació del projecte de detall

En aquest capítol es definiran les fases del projecte, així com una planificació de cada capítol, contant les hores de feina de i el període de duració de cada fase.

El projecte començarà el 17 d'Octubre del 2022 i finalitzarà el 15 de Juny del 2023, conclouent amb 400 hores realitzades per l'estudiant al llarg d'aquest període.

La planificació es dividirà en 3 fases segons les entregues que es faran al llarg del projecte. La fase de l'Avantprojecte, la fase de memòria intermèdia i la fase de memòria final.

- **Avantprojecte:** 17/10/2022 – 06/02/2023. Duració de 80 dies.

L'avantprojecte consisteix en generar un document que funcioni de base del projecte. S'ha de fer tota la part de recerca i redacció de marc teòric, així com definir completament els punts a tocar en el projecte. S'ha de tenir molt clar el que es farà i el que no.

- **Recerca en la matèria:** Aquesta primera fase és d'investigació sobre la temàtica escollida. Buscar informació sobre tot el que té a veure amb el que es vol fer i cercar idees per aconseguir una bona primera aproximació.
- **Redacció del marc teòric:** Per fer una bona memòria, hi ha d'haver una bona base. La redacció del marc teòric, que també forma part de la investigació del projecte, serà la segona fase del procés. Es redactarà tot el coneixement obtingut al llarg d'aquest període de recerca.
- **Redacció d'introducció i resum:** Es redactarà una introducció, així com un resum, objectius i abast. En aquesta fase ja s'ha de tenir clar el que es vol fer i, sobretot, el que no es vol fer o no entra dins del projecte.
- **Definició de les característiques de la instal·lació:** Aquesta fase consisteix en cercar cada component individualment per adequar-ho a les característiques de la instal·lació. Això inclou el camp fotovoltaic, juntament amb tot el cablejat i proteccions, tant de contínua com d'alterna.
- **Anàlisi de viabilitats:** Amb les dades de la instal·lació, es fa un breu anàlisi tècnic i econòmic, així com un extens anàlisi mediambiental. Amb això es pot veure els punts forts i febles del projecte i valorar una possibilitat de millora d'aquests últims.

- **Preparació de l'avantprojecte:** L'última fase de l'avantprojecte, consisteix a preparar la documentació per la seva entrega el dia 6 de Febrer.
- **Memòria intermèdia:** 07/02/2023 – 21/04/2023. Duració de 52 dies.

A partir d'aquest punt, amb totes les idees clares i la documentació feta, s'ha de començar a fer tots els càlculs necessaris pel projecte i obtenir resultats. Si es té un bon avantprojecte, aquesta període és en el que més progressos s'aconsegueix i en el que es té les idees més clares.

- **Càlculs elèctrics:** Càlculs de dimensionat de la instal·lació segons el consum de l'habitatge, així com de secció de cablejat i proteccions necessàries, tant contínua com alterna.
 - **Càlculs de càrregues:** Es fa un càlcul de les càrregues de vent, tant de pressió com de succió, que afecten al camp fotovoltaic. Aquesta fase serveix per obtenir una aproximació de les forces que afectaran al camp fotovoltaic i actuar segons aquestes.
 - **Disseny 3D de la bassa:** A la memòria intermèdia es dedica un temps a fer un disseny en 3D amb el programa *Blender* per obtenir renders de la bassa, juntament amb el camp fotovoltaic. També s'aprofita per visitar la bassa real i obtenir imatges d'aquesta. L'apartat de disseny 3D és més per estètica, però serveix per plasmar i visualitzar el projecte que, fins aleshores, és intangible. Per altra banda, serà de gran ajuda per a la presentació.
 - **Elaboració del pressupost:** Amb totes les dades de la instal·lació i tots els components senyalitzats, cal fer un pressupost del conjunt de la instal·lació. En aquest entra tot el relacionat amb la fotovoltaica, des de material, fins a mà d'obra, enginyeria i tràmits.
 - **Simulació de la instal·lació:** En aquesta última fase de la memòria intermèdia, es fa una simulació, amb el programa *PV*Sol*, de la instal·lació sobre la bassa per obtenir els resultats finals de generació a partir de totes les dades obtingudes en el procés. Amb això s'obtindrà gràfiques d'autoconsum i valors amortització de la instal·lació.
- **Memòria final:** 24/04/2023 – 15/06/2023. Duració de 38 dies.

La fase de memòria final, consisteix en acabar de redactar el document, fer càlculs específics o apartats que no es va poder fer o amb els quals va haver-hi problemes i deixar l'informe de memòria llest per a l'entrega final.

- **Elaboració i redacció del document:** Es dedica una bona estona a redactar tots els càlculs obtinguts a la memòria intermèdia, així com començar estilitzar el document.
- **Càlcul de càrregues mecàniques:** Aquest apartat consisteix en fer uns càlculs mecànics amb el programa *SolidWorks* per obtenir valors de tensions de l'ancoratge i determinar la força que han de suportar aquests amb forces de succió màximes.
- **Pla de seguretat i salut:** Com tot projecte de fotovoltaica, hi ha d'haver un pla de seguretat i salut perquè, a l'hora de fer la instal·lació, no hi hagi danys a material ni persones.
- **Preparació de memòria final:** Aquesta última fase del projecte, es dedicarà a acabar de redactar i arreglar el document per a l'entrega final.

La Fig. 10.1 mostra el *Diagrama de Gantt* i els *timings* de cada fase del projecte.

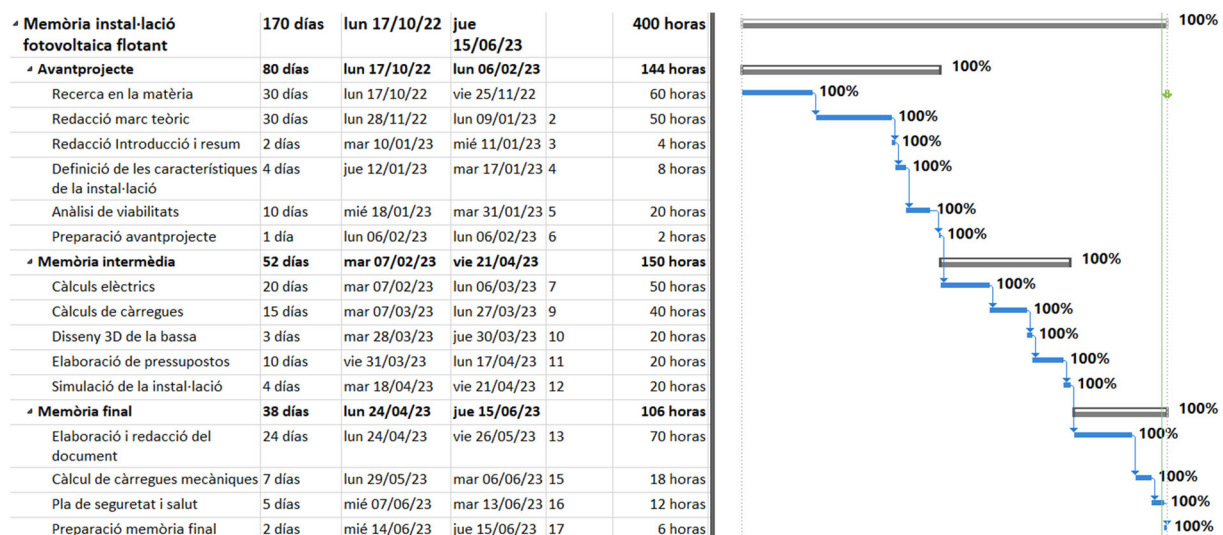


Fig. 10.1 Diagrama de Gantt (Font: pròpia).

11. Pressupost

En aquest capítol es presenten els costos emprats en el disseny i muntatge de la instal·lació solar fotovoltaica, juntament amb els materials utilitzats.

11.1. Pressupost parcial

CAPÍTOL I			
Descripció	Preu unitari	Treballadors	€
Instal·lació i posada en servei de la instal·lació solar Inclou muntatge mecànic, connexionat elèctric, mesures de seguretat, mitjans auxiliars i posada en servei	756,00 €	4	3.024,00 €
Enginyeria Redacció memòria tècnica / projecte, direcció d'obra i coordinació seguretat. No inclou visat.	600,00 €	1	600,00 €
Tràmits administratius Permisos, legalització i gestió de bonificacions i subvencions disponibles. No inclou taxes ni impostos aplicables.	208,00 €	1	208,00 €
MARGE (25%)			958,00 €
PRESSUPOST FINAL MARGE INCLÒS			4.790,00 €

Taula 11.1 Taula de costos capítol I (Font: pròpia).

CAPÍTOL II			
Descripció	Preu unitari	Quantitat	€
Mòduls solars monocristal·lins d'alta eficiència JA Solar JAM72D09-385/BP 385W	119,50 €	18	2.151,00 €
Estructures flotants Estructura de plàstic dur multicapa (HDPE) amb un inclinació afegida de 15° pel mòdul.	35,00 €	18	630,00 €
Estructures flotants de manteniment Estructura de plàstic dur multicapa (HDPE) pel manteniment.	20,00 €	14	280,00 €
Ancoratge Sistema d'ancoratge per estabilitat	70,00 €	1	70,00 €
Inversor solar Huawei SUN2000-6KTL-L1	845,77 €	1	845,77 €
Equip de monitoratge amb aplicació mòbil per controlar els principals paràmetres de la instal·lació solar. Huawei Powersensor Monofàsic: Inclou mesura de la generació solar, el consum i l'energia importada/exportada. Anàlisi de dades en finestres instantània, diària, mensual i anual. Inclou mesura de CO2 estalviat.	85,86 €	1	85,86 €
Material elèctric Quadre general de protecció (magnetotèrmics, sobretensions i diferencial) + cable solar DC + cable AC+ petit material	372,72 €	1	372,72 €
MARGE (25%)			1.108,84 €
PRESSUPOST FINAL MARGE INCLÒS			5.544,19 €

Taula 11.2 Taula de costos capítol II (Font: pròpia).

Capítol III

El pagament d'aquest projecte es farà sense cap ajut financer, per tant no hi haurà amortitzacions. El total del pressupost d'aquest capítol és de 0€.

11.2. Pressupost global

PRESSUPOST GLOBAL	
TOTAL CAPÍTOL I	4.790,00 €
TOTAL CAPÍTOL II	5.544,19 €
TOTAL CAPÍTOL III	0 €
TOTAL	10.334,19 €
IVA (21%)	2.170,18 €
TOTAL PRESSUPOST	12.504,37 €

Taula 11.3 Pressupost global (Font: pròpia).

12. Referències

CENSOLAR (Centre d'Estudis de l'Energia Solar). 2005. *La Energia Solar. Aplicaciones Pràctiques.* Sevilla : PROGNSA (Promotora General de Estudios), 2005.

AENOR. 2007. *Energía Solar Fotovoltaica. Normas UNE.* Madrid : s.n., 2007.

ASIF (Asociació de la Indústria Fotovoltaica). 2008. *Sistemas de Energía Fotovoltaica. Manual del Instalador.* Madrid : PROGNSA (Promotora General d'Estudis), 2008.

CENSOLAR (Centre d'Estudis de l'Energia Solar). 2009. *Curso de experto profesional en energía fotovoltaica.* Sevilla : PROGNSA (Promotora General d'Estudis), 2009.

Lamingueiro, Oscar Perpiñan. 2020. Energía Solar Fotovoltaica. [En línia] Noviembre / 2020. <https://github.com/oscarperpinan/esf>.

Santos, M. Castro Gil i A. Colmenar. 2008. *Energía Solar Térmica de Baja Temperatura.* s.l. : PROGNSA (Promotora General de Estudios), 2008.

Valentin Software. 2023. PV*Sol. *The design and simulation software for photovoltaic systems.* [En línia] 2023. <https://valentin-software.com/produkte/pvsol-premium/>.