



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

TREBALL FI DE GRAU

**Grau en Enginyeria de Materials**

**ESTUDI I CàLCUL D'ENERGIA REQUERIDA I PETJADA DE  
CARBONI REQUERIDA PER UNA INSTAL·LACIÓ SOLAR  
FOTOVOLTAICA RESIDENCIAL EN RÈGIM D'AUTOCONSUM I  
POSTERIOR COMPARACIÓ AMB ELS PRINCIPALS MÈTODES  
D'OBTENCIÓ D'ENERGIA DEL MIX NACIONAL**



**Memòria i Annexos**

**Autor:** Adrià Carbonell Margenat  
**Director:** Barbara Sureda Carbonell  
**Convocatòria:** Juny 2022



## Resum

L'efecte fotovoltaic, on la radiació solar en un metall permet el moviment d'electrons generant electricitat, es descobreix al 1839 a París. Amb aquest pretext al 1883 s'obté la primera cèl·lula solar amb una eficiència del 1-2%, eficiència que va arribar al seu rècord mitjançant la tècnica PERL al 1985 arribant a una eficiència del 25%.

En els darrers anys les instal·lacions solars fotovoltaïques en règim d'autoconsum han crescut de manera exponencial. L'objectiu d'aquest treball és calcular mitjançant l'eina Eco Audit del *software* Granta EduPack quin impacte tenen en relació a l'energia requerida i la petjada de carboni que generen. S'ha tingut en compte tots els materials requerits en una instal·lació real, la seva extracció, fabricació, transport, ús i eliminació per comparar el cas d'una instal·lació nova envers una reciclada i reutilitzada.

Mitjançant aquests càlculs i dades bibliogràfiques es pretén comparar els valors d'energia emprada i petjada de carboni amb els principals mètodes d'obtenció d'energia del mix nacional. Aquests càlculs mostren que una instal·lació solar nova en autoconsum sense bateria genera una petjada de carboni superior que altres energies renovables tot i ser molt menor que les tecnologies no renovables. També mostren que requereix una energia inferior a la hidràulica mentre que la eòlica és la que té menor petjada de carboni i energia emprada.

L'ús de la bateria tot i ser habitual, no és la millor opció si el que es pretén es reduir els impactes ambientals. El més adient parlant de la solar fotovoltaica seria instal·lar camps solars residencials sense bateries o camps solars a gran escala que aboquin l'energia generada directament a la xarxa de distribució nacional.

## Resumen

El efecto fotovoltaico en el que la radiación solar en un metal permite el movimiento de electrones generando electricidad se descubre en 1839 en París. Con este pretexto en el 1883 se obtiene la primera eficiencia del 1-2%, eficiencia que alcanzó su récord mediante la técnica PERL en 1985 llegando a una eficiencia del 25%.

En los últimos años las instalaciones solares fotovoltaicas en régimen de autoconsumo han crecido de forma exponencial. El objetivo de este trabajo es calcular mediante la herramienta Eco Audit del *software* Granta EduPack qué impacto tienen en relación con la energía requerida y la huella de carbono que generan. Se ha tenido en cuenta todos los materiales requeridos en una instalación real, su extracción, fabricación, transporte, uso y eliminación para comparar el caso de una nueva instalación frente una reciclada y reutilizada.

Mediante estos cálculos y datos bibliográficos se pretende comparar los valores de energía empleada y pisada de carbono con los principales métodos de obtención de energía del mix nacional. Estos cálculos muestran que una nueva instalación solar en autoconsumo sin batería genera una huella de carbono superior a otras energías renovables a pesar de ser mucho menor que las tecnologías no renovables. También muestran que requiere una energía inferior a la hidráulica mientras que la eólica es la que tiene menor huella de carbono y energía empleada.

El uso de la batería, aunque habitual, no es la mejor opción si lo que se pretende es reducir los impactos ambientales. Lo más adecuado hablando de la solar fotovoltaica sería instalar campos solares residenciales sin baterías o campos solares a gran escala que viertan la energía generada directamente a la red de distribución nacional.



## Abstract

The photovoltaic effect in which solar radiation on a metal allows the movement of electrons generating electricity is discovered in 1839 in Paris. With this pretext, in 1883, the first efficiency of 1-2% was obtained, an efficiency that reached its record using the PERL technique in 1985, reaching an efficiency of 25%.

In recent years, photovoltaic solar installations for self-consumption have grown exponentially. The objective of this work is to calculate, using the Eco Audit tool of the Granta EduPack *software*, what impact they have in relation to the energy required and the carbon footprint they generate. All the materials required in a real installation, their extraction, manufacture, transport, use and disposal have been considered to compare in the case of a new installation against a recycled and reused one.

Through these calculations and bibliographic data, it is intended to compare the values of energy used and carbon footprint with the main methods of obtaining energy from the national mix. These calculations show that a new solar installation for self-consumption without a battery generates a higher carbon footprint than other renewable energies despite being much lower than non-renewable technologies. They also show that it requires less energy than hydraulic power, while wind power is the one with the lowest carbon footprint and energy used.

The use of the battery, although common, is not the best option if the aim is to reduce environmental impacts. The most appropriate talking about photovoltaic solar would be to produce residential installations without batteries or solar fields that pour the generated energy directly into the national distribution network.

## Agraïments

M'agradaria agrair per una banda a la Universitat Politècnica de Catalunya per abastir-me de coneixements, aptituds i la infraestructura necessària per formar-me com a enginyer de materials.

Per altra banda m'agradaria agrair a l'empresa Bancells Ecotècnics i, concretament al Roger Bancells, per permetre'm realitzar les pràctiques a la seva empresa gairebé sense pensar-s'ho en els difícils temps actuals.

Voldria també agrair a la meva família per ajudar-me a realitzar els meus estudis ja sigui amb suport emocional i financer. I per últim també agrair-li a la meva parella, Cristina, doncs sense el seu suport total i desinteressat no hauria trobat les ganes de seguir endavant amb els meus estudis.

## Glossari

<b>E:</b> Energia d'un fotó	<b>H<sub>2</sub>O:</b> Molècula d'aigua	<b>S<sub>p</sub>:</b> Secció del conductor de protecció
<b>H:</b> Constant de Planck	<b>IEA:</b> International Energy Agency	<b>CPR:</b> Reglament dels Productes de Construcció
<b>v:</b> Freqüència	<b>OCDE:</b> Organització per la Cooperació i el Desenvolupament Econòmic	<b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:</b> Àcid sulfúric
<b>v<sub>o</sub>:</b> Freqüència Umbral	<b>SDS:</b> Sustainable Development Scenario	<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:</b> Peròxid d'hidrogen
<b>PERL:</b> Passivat Emitter Rear Locally diffused cell	<b>PVF:</b> Fluorur de polivinil	<b>ACV:</b> Anàlisi de Cicle de Vida
<b>U<sub>92</sub><sup>235</sup>:</b> Urani 235	<b>EVA:</b> Etil-Vinil-Acetilè	<b>PVGIS:</b> Photovoltaic Geographical System
<b>Ba<sub>56</sub><sup>139</sup>:</b> Bari 139	<b>MC4+:</b> Conector mòdul solar pol positiu	<b>CO<sub>2eq</sub>:</b> Equivalent de diòxid de carboni
<b>Kr<sub>36</sub><sup>96</sup>:</b> Kriptó 86	<b>MC4-:</b> Conector mòdul solar pol negatiu	<b>H<sub>collect</sub>:</b> Energia recuperada
<b>n:</b> Neutrons	<b>AGM:</b> Absortion Glass Material	<b>H<sub>c</sub>:</b> Energia incorporada recol·lecció
<b>H<sub>1</sub><sup>2</sup>:</b> Nucli hidrogen 1	<b>REBT:</b> Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión	<b>H<sub>ps</sub>:</b> Energia incorporada de classificació primària
<b>H<sub>1</sub><sup>3</sup>:</b> Nucli hidrogen 3	<b>ITC-BT:</b> Instrucciones Técnicas Complementarias del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión	<b>H<sub>ss</sub>:</b> Energia incorporada de classificació secundària
<b>He<sub>2</sub><sup>4</sup>:</b> Heli 4	<b>DC:</b> Corrent continu	<b>H<sub>reciclat</sub>:</b> Estalvi energètic del reciclat
<b>ATC:</b> Almacén Temporal Centralizado nuclear gastado y residuos radiactivos de alta actividad	<b>AC:</b> Corrent altern	<b>H<sub>credit</sub>:</b> Energia associada a l'estalvi ambiental futur
<b>ATI:</b> Almacén Temporal Individualizado	<b>cdt:</b> Caiguda de tensió	<b>H<sub>rc</sub>:</b> Energia associada fabricació
<b>C<sub>p</sub>:</b> Índex d'habilitat	<b>L:</b> Longitud del cable positiu més el negatiu	<b>H<sub>grau</sub>:</b> Estalvi energètic segons procés de final de cicle de vida



$V_1$ : Velocitat d'entrada	$S$ : Secció del conductor	$H_{\text{refabricat}}$ : Estalvi energètic procés de refabricació
$\rho$ : Densitat	$I_{\text{mppt}}$ : Intensitat en el punt de màxima potència	$H_{\text{reparat}}$ : Estalvi energètic procés de reparació
$\pi$ : Número pi	$V_{\text{mppt}}$ : Tensió en el punt de màxima potència	$H_{\text{reutilitzat}}$ : Estalvi energètic procés de reutilització
$D$ : Diàmetre àleps	$\rho$ : Conduccivitat del conductor	$CO_{2\text{collect}}$ : Petjada de carboni recuperada
$NO_2$ : Diòxid de nitrogen	$T$ : Temperatura d'operació del conductor	$CO_{2\text{credit}}$ : Petjada de carboni associada a l'estalvi futur
$SO_2$ : Diòxid de sofre	$T_{\text{amb}}$ : Temperatura ambient (70°C)	$CO_{2\text{refabricat}}$ : Estalvi de petjada de carboni procés refabricació
$CO_2$ : Diòxid de carboni	$T_{\text{max}}$ : Temperatura màxima del conductor (120°C)	$CO_{2\text{reparat}}$ : Estalvi de petjada de carboni procés de reparació
$CH_4$ : Metà	$I$ : Intensitat prevista del conductor	$CO_{2\text{grau}}$ : Estalvi de petjada de carboni segons procés de final de cicle de vida.
$O$ : Oxigen	$I_{\text{max}}$ : Intensitat màxima del conductor en funció del tipus d'instal·lació	

# Índex

<b>RESUM</b>	<b>I</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>II</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>III</b>
<b>AGRAÏMENTS</b>	<b>IV</b>
<b>GLOSSARI</b>	<b>V</b>
<b>1. PREFACI</b>	<b>1</b>
<b>2. INTRODUCCIÓ</b>	<b>3</b>
2.1. Objectius del treball .....	3
2.2. Abast del treball .....	3
<b>3. HISTÒRIA</b>	<b>5</b>
3.1. Efecte fotovoltaic .....	5
3.2. Cronologia cèl·lula solar .....	8
3.3. Estat actual .....	11
3.4. Mètodes d'obtenció d'energia .....	14
3.4.1. Nuclear .....	14
3.4.2. Eòlica .....	15
3.4.3. Cicle combinat .....	18
3.4.4. Hidràulica .....	20
3.4.5. Cogeneració .....	23
<b>4. AGÈNCIA INTERNACIONAL DE L'ENERGIA</b>	<b>25</b>
4.1. Demanda dels sistemes energètics .....	25
4.2. Possibles escenaris .....	26
4.3. Conseqüències a curt termini .....	27
4.4. Seguretat .....	28
4.5. Camí cap a una transició ràpida i ordenada .....	28
4.6. Impactes socials i ambientals .....	29
4.7. Actualitat .....	29
<b>5. ENERGIA FOTOVOLTAICA</b>	<b>30</b>
5.1. Definició .....	30

5.2.	Situació actual.....	30
5.3.	Autoconsum.....	32
5.4.	Excedents.....	33
5.5.	Funcionament.....	33
5.5.1.	Elements habituals i reciclatge .....	34
5.5.2.	Reciclatge de la instal·lació fotovoltaica.....	44
<b>6.</b>	<b>CAS D'ESTUDI</b> .....	<b>48</b>
6.1.	Construcció de la instal·lació fotovoltaica d'estudi.....	49
6.2.	Antecedents Granta EduPack.....	54
6.2.1.	Panells solars.....	54
6.2.2.	Inversor .....	58
6.2.3.	Estructura.....	63
6.2.4.	Cablejat .....	67
6.2.5.	Auxiliars.....	73
6.2.6.	Bateria .....	78
6.3.	Anàlisi de resultats.....	82
6.3.1.	Comparació amb els mètodes d'obtenció d'energia no renovables més usats..	90
6.3.2.	Comparació amb els mètodes d'obtenció d'energia renovables més usats .....	92
<b>7.</b>	<b>ANÀLISI DE L'IMPACTE AMBIENTAL</b> .....	<b>97</b>
	<b>CONCLUSIONS</b> .....	<b>98</b>
	<b>PRESSUPOST I/O ANÀLISI ECONÒMICA</b> .....	<b>101</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>103</b>
	<b>ANNEX A</b> .....	<b>111</b>
A1.	Càlculs justificatius.....	111
A2.	Plànols instal·lació.....	113
A3.	Fitxes tècniques .....	114

# 1. Prefaci

L'origen del treball neix durant les meves pràctiques externes a l'empresa Bancells Ecotècnics. És una empresa que es dedica a les instal·lacions solars fotovoltaïques a nivell residencial i industrial. Durant els mesos de conveni he anat vivint de manera propera com funciona aquest tipus de tecnologia. M'he abastit d'informació i coneixements que m'han permès entendre com aquesta tecnologia ajuda al medi ambient i, durant els últims anys i degut a l'exponencial increment del preu de la llum, com ajuda també a reduir les factures dels usuaris.

La coneixença de la tecnologia fotovoltaïca m'ha portat a preguntar-me diverses coses. La curiositat em va portar a informar-me d'altres tecnologies que abastien d'electricitat al nostre país. Degut a que l'energia solar fotovoltaïca és de caire renovable, les primeres que em van cridar l'atenció van ser la hidràulica i eòlica que són les que més força tenen dins de les renovables. Això em va portar a preguntar-me perquè eren considerades energies renovables i perquè les altres no ho eren; entenent com les altres la nuclear, la de cogeneració i la de cicle combinat d'entre altres. Avaluat les diferències entre aquestes és el que em va motivar a estudiar en profunditat l'impacte ambiental que té l'energia solar fotovoltaïca.

Els requeriments necessaris els he adquirit durant el meu grau d'enginyeria de materials. Tant els coneixements d'electricitat com les aptituds de recerca, estudi i investigació m'han sigut necessaris per la realització del meu treball.





## 2. Introducció

### 2.1. Objectius del treball

L'objectiu principal d'aquest treball és estudiar en profunditat i avaluar mitjançant el *software* Granta EduPack una instal·lació solar fotovoltaica en règim d'autoconsum residencial real. D'aquesta manera utilitzant l'eina Eco Audit s'avaluarà la petjada de carboni i l'energia necessària durant tot el cicle de vida útil de la instal·lació amb materials nous o reciclats i reutilitzats.

De manera bibliogràfica es compararan aquests valors de MJ i g CO<sub>2</sub> per kWh produït per veure l'impacte que té l'energia solar fotovoltaica en el medi ambient i com és aquest respecte l'impacte que produeixen els mètodes d'obtenció d'energia més importants del mix nacional.

De manera addicional s'estudiarà el funcionament de les 5 tecnologies d'obtenció d'energia amb més pes dins del mix nacional per dur a terme el treball amb fonaments.

### 2.2. Abast del treball

S'ha agafat una instal·lació fotovoltaica real i mitjançant l'eina Eco Audit s'han tingut en compte tots els elements emprats per calcular l'energia requerida i la petjada de carboni generada en les fases de extracció de materials, fabricació, ús, transport i eliminació. Amb aquests valors s'ha comparat de manera bibliogràfica els valors amb els altres mètodes d'obtenció d'energia.

Per ser concís s'hauria de repetir el mateix procediment de càlculs a través del Eco Audit per cada mètode d'obtenció d'energia i també per un camp solar a gran escala. Ja que l'autoconsum residencial no seria del tot comparable amb una central nuclear, per exemple.

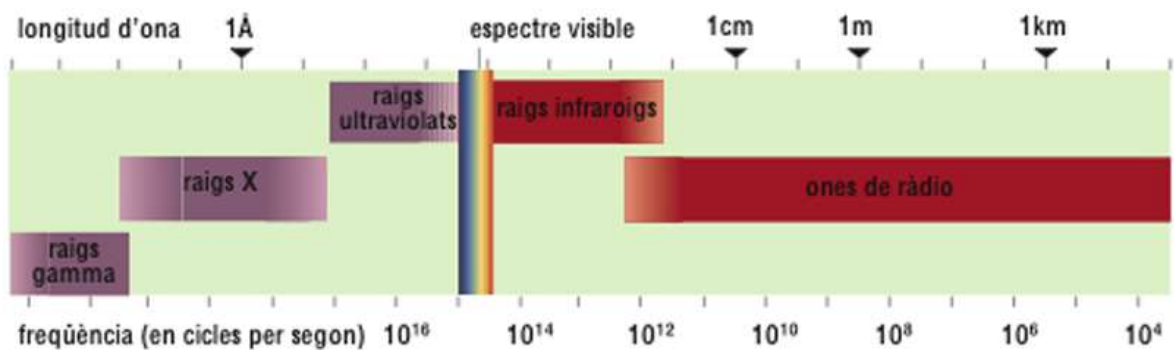


## 3. Història

### 3.1. Efecte fotovoltaic

La llum es defineix com un conjunt de partícules fonamentals desprovistes de massa anomenades fotons a part de ser la secció de radiació electromagnètica que pot ser percebuda per l'ull humà dins l'espectre electromagnètic que trobem a la il·lustració 1.

El fotó és el responsable de les manifestacions quàntiques del fenomen electromagnètic. És la partícula que porta totes les formes de radiació electromagnètica incloent els raigs gamma, raigs X, llum ultraviolada, espectre visible, infraroja, microones i ones de ràdio. [3] [4]

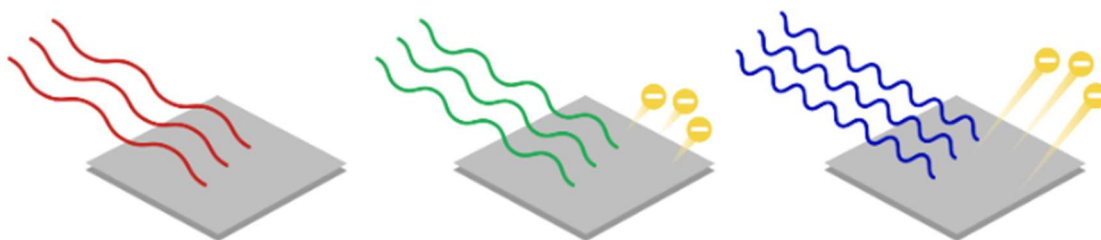


Il·lustració 1. Espectre electromagnètic (Font: Enciclopèdia catalana)

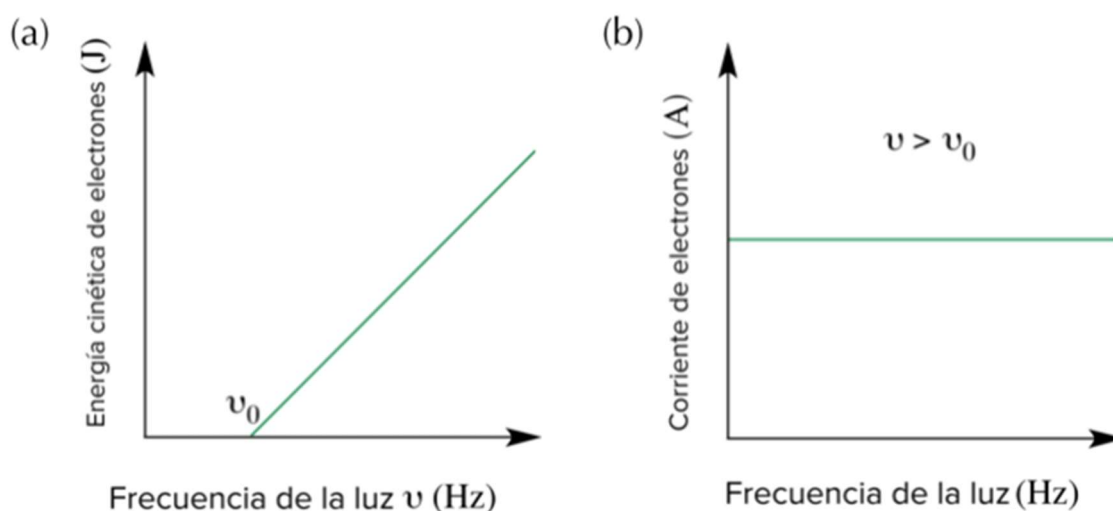
Partim doncs, de la llum com a fes de fotons amb una energia que ve determinada per la freqüència de la llum que és regeix per l'equació 3.1.

$$E = h\nu \quad (\text{Eq. 3.1})$$

On  $E$  és la energia de fotó en Joules,  $h$  és la constant de Planck i  $\nu$  és la freqüència de la llum. En aquest context, s'ha d'explicar que en els metalls hi ha electrons que es mouen lliurement a través de la xarxa cristal·lina. Aquests electrons romanen en l'estructura del metall a temperatura normal degut a una manca d'energia. Al moment on un fotó incideix en la superfície del metall, l'energia d'aquest fotó és absorbida per un electró de la xarxa del metall dins de certes condicions. Si la llum té una freqüència inferior a la que és coneix com a freqüència umbral ( $\nu_0$ ), l'electró roman a l'estructura del metall. Aquesta freqüència depèn del metall i si la llum té una freqüència major que la freqüència umbral, els electrons salten amb una energia cinètica proporcional a la freqüència de la llum tal com es veu a la il·lustració 3. [1]



**Il·lustració 2.** Freqüència de llum vermella ( $<\nu_0$ ), freqüència llum verda ( $>\nu_0$ ) i freqüència llum blava ( $>\nu_0$ ) però amb més energia. (Font: Khan academy)



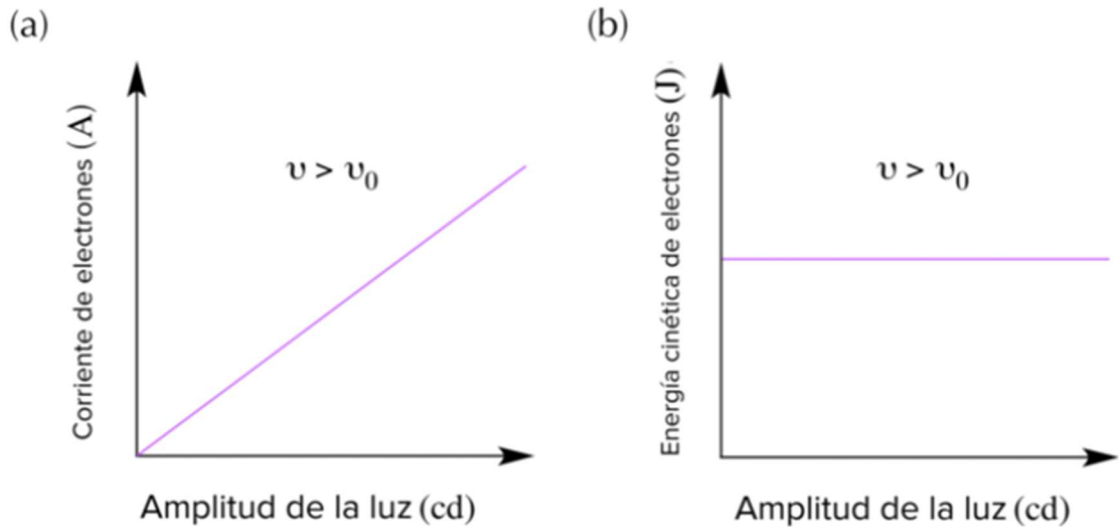
**Il·lustració 3.** (a) Gràfic d'energia cinètica dels electrons vers la freqüència de la llum incident. (b) Gràfic de corrent d'electrons vers la freqüència de la llum incident. (Font: Khan academy)

Malgrat el que es podria pensar veient l'equació 1, un augment de la freqüència no es tradueix en un augment de fotons incidents. Si l'amplitud es manté constant tot i augmentar la freqüència de la llum incident, el número de fotons absorbits és constant i per tant també ho és la corrent d'electrons.

Quan s'augmenta l'amplitud de la llum, això sí es tradueix en un augment en la quantitat d'electrons incidents a la superfície del metall. Sempre i quan la freqüència de la llum sigui superior a la umbral, l'augment d'amplitud es tradueix en un increment proporcional en el increment de la corrent d'electrons tal com es veu a la figura 4. [1]

Si l'electró adquireix una energia superior a la força d'atracció que li exerceix el nucli (denominada energia de valència), aquest surt de l'òrbita i queda lliure de l'àtom podent viatjar a través del material. En els casos més habituals avui en dia diríem que el silici fa de conductor (banda de conducció) i, per fer-ho, cal que la força d'impacte d'un fotó sigui, com a mínim, d'1,2 eV. [2]

Cada material semiconductor té una energia mínima que permet alliberar els electrons dels seus àtoms. Aquesta energia correspondrà a fotons d'una determinada banda de freqüències (gap) que anirà des dels associats a la ultraviolada fins als colors visibles. [1] [2]



Il·lustració 4. (a) Gràfic de la corrent d'electrons vers l'amplitud de la llum incident. (b) Gràfic de l'energia cinètica dels electrons vers l'amplitud de la llum incident. (Font: Khan academy)

Així doncs el pretext per l'efecte fotovoltaic és que la freqüència de la llum és més gran que la freqüència umbral del metall. En aquestes condicions s'absorbeixen fotons incidents expulsant electrons com s'ha descrit anteriorment. Quan un d'aquests electrons és expulsat, l'electró veí es mou deixant enrere un forat que anomenem vacant. Aquesta vacant disposa de càrrega positiva de la mateixa magnitud que l'electró que ha ocasionat el moviment però de signe oposat.

Aquests moviments, tant d'electrons com de vacants en la direcció oposada, són les que anomenem càrregues elèctriques. Aquestes càrregues formen un corrent elèctric que en certes condicions pot sortir del material i ser utilitzat i controlat. La condició mencionada és que es requereix d'un camp elèctric de polaritat constant que polaritzi les partícules i impulsi tant els electrons com les vacants en sentits oposats. Aquest camp s'aconsegueix mitjançant les unions P-N on una zona de la unió té excés d'electrons i l'altre de vacants o el que és el mateix, excedent de càrrega negativa i positiva respectivament.

No tots els fotons arriben a separar electrons. Això és perquè travessar el material implica sempre una certa pèrdua energètica. Aquesta pèrdua energètica implica que en el moment de la col·lisió alguns fotons ja han perdut la massa energia per desplaçar un electró. Aquestes pèrdues per no absorció només depenen de les propietats del material i són inevitables.

Així mateix, hi ha un percentatge de fotons que arriben a travessar la làmina de semiconductor sense topar-se amb cap electró i d'altres que il·luminen la superfície del material i són reflectits (pèrdues per reflexió). Aquestes pèrdues es poden reduir a través de tractaments d'antireflexos de la superfície de la cèl·lula fotovoltaica. Només s'aconsegueix la generació d'un parell electró-forat per cada fotó amb energia cinètica superior a la mínima energia (gap) que aconseguixi penetrar en el material i topar amb un electró de valència. [1]

## 3.2. Cronologia cèl·lula solar

L'efecte fotovoltaic s'origina a París al 1839 on el investigador del camp de la luminescència i fosforescència Alexandre-Edmond Becquerel, va descobrir aquest fenomen durant un estudi dels efectes elèctrics que es produïen entre dos elèctrodes submergits en electròlits.



*Il·lustració 5. Alexandre-Edmond Becquerel. (Font: Premium Energía)*

Uns anys més tard, al 1873, l'enginyer anglès Willoughby Smith va descobrir el potencial del seleni com a fotoconductor quan va veure que aquest es tornava elèctricament conductor quan absorbia llum. Aquest fet va servir de precedent de la demostració que l'energia solar era de fàcil accés i amb un cost molt menor en infraestructura envers a les potències energètiques de la època com eren les plantes de carbó.



*Il·lustració 6. Willoughby Smith. (Font: History of information)*

Uns 44 anys després del descobriment de Becquerel, al 1883, l'inventor neoyorquí Charles Fritts va crear les primeres cèl·lules solars. Ho va fer cobrint seleni amb una fina capa d'or. Aquesta proto cèl·lula arribava a una eficiència d'entre 1-2% en vers al 20% actual.



*Il·lustració 7. Charles Fritts. (Font: Sacyr)*

Durant el 1887, el físic alemany Heinrich Hertz, va canviar la percepció envers el que es creia respecta l'energia produïda i la llum incident. Hertz va observar que al incidir la llum en una superfície sòlida, generalment un metall, s'alliberaven electrons i es produïa energia. El que diferia de Becquerel és que aquest procés produïa més energia quan estava exposat a llum ultraviolada i no pas a llum visible més intensa. En els anys següents es va descobrir que l'efecte fotovoltaic tenia el mateix origen que l'efecte fotoelèctric: la naturalesa quàntica de la llum, introduïda principalment per Albert Einstein el 1905.

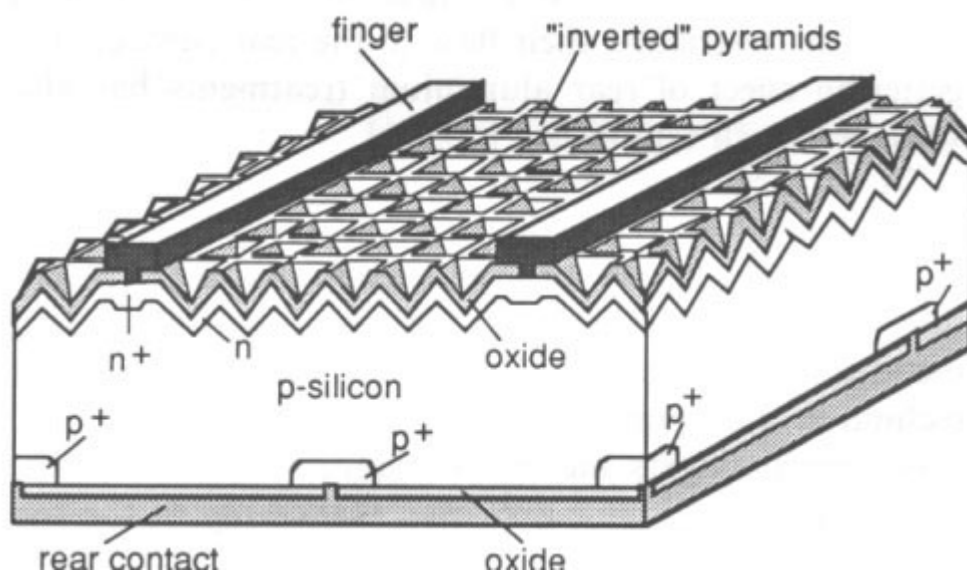


*Il·lustració 8. Heinrich Rudolf Hertz. (Font: Museo Virtual)*

Amb aquest pretext a les esquenes, entre el 1953 i el 1956, els físics Daryl Chapin, Calvin Fuller i Gerald Pearson dels laboratoris Bell, van descobrir que el silici era més eficient que el seleni, creant així la primera cèl·lula solar pràctica amb un 6% d'eficiència en vers al 1-2% inicial de Fritts. Aleshores, Hoffman electronics va prendre la tecnologia per arribar fins a eficiències del 14% durant el 1959 i ho van aconseguir introduint reixes metàl·liques en contacte que va arribar a una eficiència del 15,2% al 1961 en aplicacions comercials.

Aquest augment tant ràpid es va veure frenat per més de deu anys. Pel que fa el context històric de la època ens trobàvem en una disputa per la conquesta espacial i la guerra freda. Aquests fets van estancar el procés de transició. Sputnik llençat per l'URSS el 1957 fallava per manca d'energia emmagatzemada i l'energia solar podia ser la solució. Degut a això, els Estats Units d'Amèrica van llançar el primer satèl·lit impulsat per energia fotovoltaica, Vanguard. Obrint així l'energia fotovoltaica en el camp espacial.

Aquest estancament va provocar la falsa sensació de que ja s'havia assolit el màxim potencial d'aquest tipus d'energia. Cosa que es va desmentir al 1974 gràcies a la texturació de la superfície del silici per gravat, fent saltar l'eficiència fins al 17,2%. Això va obrir un camí estudiant noves arquitectures amb noves estratègia de dopatge i formacions de contacte tal com es veu a la il·lustració 9, amb un nou rècord d'eficiència del 25% assolit al 1985 amb la tecnologia PERL (passivat emitter, rear locally diffused Cell). Aquestes grans millores van ser liderades, a partir de 1991, per Martin Green i el seu grup a Austràlia, agafant el relleu dels equips nord-americans. [5]



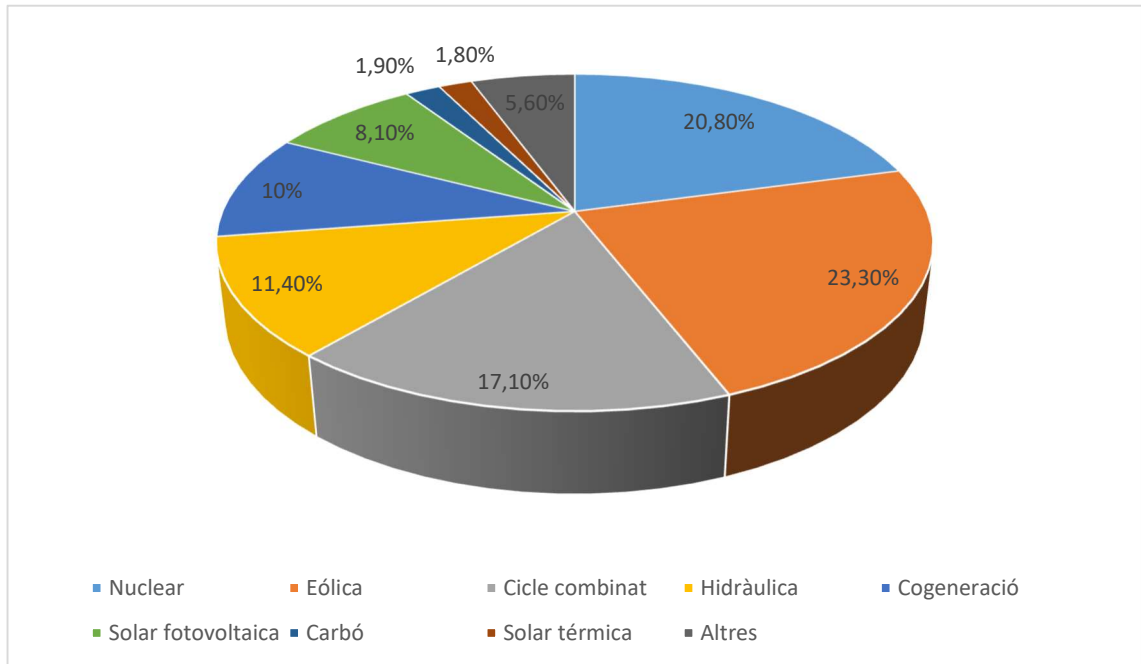
**Il·lustració 9.** Esquema tecnologia PERL (Passivated emitter, rear locally-diffused cell). (Font: *The new paradigm of photovoltaics: From powering satellites to powering humanity*)



### 3.3. Estat actual

Per poder entendre bé la comparativa de producció energètica, potència instal·lada i gestió de residus, és important entendre d'on prové l'energia que abasteix el nostre país.

Durant el 2021 a Espanya, la distribució percentual de la generació elèctrica segueix l'ordre que veiem al gràfic 1. [6]



Gràfic 1. Gràfic circular de la generació elèctrica a Espanya durant el 2021. (Font: Statista)

Trobem 5 mètodes pel que fa la generació elèctrica que passen per davant de la solar fotovoltaica que està en ple creixement. Són per ordre de magnitud: Eòlica, nuclear, cicle combinat, hidràulica i de cogeneració.

El 20,8 % correspon a la nuclear que degut al descens respecte l'any anterior ja no es situa com a principal força de producció elèctrica. L'energia eòlica ocupa ara el primer lloc amb casi un quart de la producció total d'energia elèctrica en el nostre país. Després de l'eòlica i la nuclear doncs trobem el cicle combinat, hidràulica i de cogeneració amb 17,1%, 11,4%, i 10% respectivament.

L'increment en aquest últim any de l'energia renovable ha sigut del 9,6% arribant al 48,4% del mix pel que fa la generació. En aquestes s'inclouen la eòlica, fotovoltaica, hidràulica, de biocarburants, biomassa, geotèrmica de alta i baixa entalpia, mareomotriu i solar tèrmica.

Durant el 2021 Espanya ha produït 259.850 GWh d'energia elèctrica distribuït tal com es veu al mapa 1, el que significa un 2,5% més respecte al 2020 segons l'informe anual del sistema elèctric a Espanya. Això també és degut a un increment en la demanda. [6] [7]



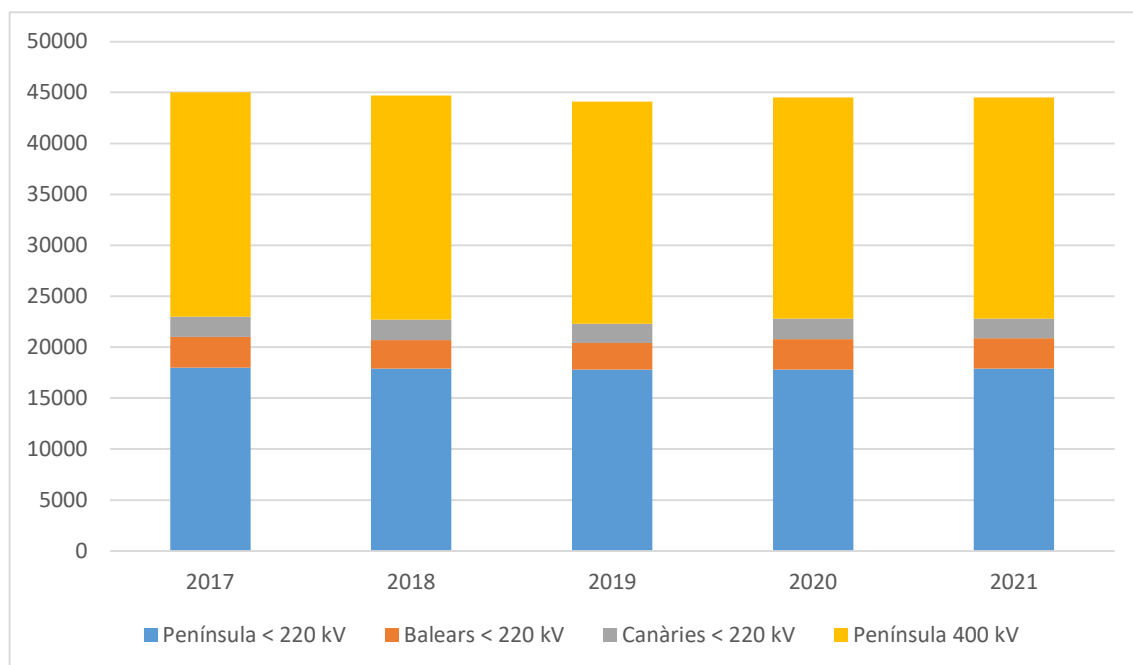
Mapa 1. Esquema de la producció energètica en GWh i % dividit per comunitats autònomes a Espanya durant el 2021. (Font: Red Eléctrica Española)

Pel que fa la potència instal·lada a Espanya, cada cop és més renovable. Al 2021 la potència instal·lada es situava en 112.846 MW, com s'observa en el mapa 2 dels quals el 56,6% són d'origen renovable.



Mapa 2. Esquema de la potència instal·lada en MW dividit per comunitats autònomes a Espanya durant el 2021. (Font: Red Eléctrica Española)

Per poder abastar aquest augment de demanda, la xarxa de transport d'energia elèctrica a Espanya durant el 2021 ha augmentat en 206 km el circuit i 850 MVA nous de capacitat de transformació, com s'observa al gràfic 2 i a la taula 1 desglossada en diferents medis com són l'aeri, submarí, subterrani i el total de transformació. [6] [7]



Gràfic 2. Taula comparativa del circuit elèctric desde el 2017 fins al 2021 a Espanya. (Font: Red Eléctrica Española)

	400 kV	<220 kV			Total
	Península	Península	Balears	Canàries	
<b>Total línies (km)</b>	21.769	19.493	1.929	1.578	44.796
<b>Aèries (km)</b>	21.651	18.702	1.141	1.237	42.731
<b>Submarines (km)</b>	29	236	582	30	877
<b>Subterrani (km)</b>	88	556	206	311	1.161
<b>Transformació (MVA)</b>	84.790	1.363	3.838	3.880	93.871

Taula 1. Taula comparativa de circuit elèctric aeri, submarí i subterrani a Espanya durant el 2021 (Font: Red Eléctrica Española)

### 3.4. Mètodes d'obtenció d'energia

Per conèixer en detall el procés ens dirigim directament a l'últim registre del llibre de l'energia a Espanya que correspon al 2019. Pel que fa la producció i generació general si que tenim dades del 2021 tal com hem vist, però pel que respecte a detalls de cada mètode ens hem de dirigir al llibre de l'energia d'Espanya on, com hem dit, l'últim registre és del 2019.

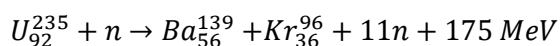
#### 3.4.1. Nuclear

A finals de l'exercici del 2019 al nostre país, teníem 7 reactors nuclears operatius amb una potència instal·lada de 7117 MW que generaven al voltant de 55.825 GWh. Això en front a la generació del 2019, 26.796 GWh, suposava el 21,2% de la producció elèctrica. Si comparem aquest valor envers la producció d'energia elèctrica nuclear del 2021 veiem que té una tendència a disminuir ja que actualment comptem amb el 20,8% (uns 54.048,8 GWh). La producció d'energia nuclear segueix per sota de la generada durant el 2019. Al 2020 la producció va ser menor que al 2019 degut a la pandèmia i ara, tot hi haver pujar, seguim per sota. [8]

L'energia nuclear s'obté, a grans trets, desintegrant àtoms d'urani en centrals nuclears. Els àtoms són les partícules més petites en les que es pot dividir els elements químics que coneixem.

Quan parlem de processos d'obtenció d'energia nuclear podem trobar dos casos: la fissió i la fusió d'àtoms. La primera utilitza àtoms d'un pes atòmic relativament elevat per descompondre's en altres de més lleugers produint energia i emetent a la vegada partícules radioactives. I és que el gran problema d'aquest procés és el transport i emmagatzematge dels residus radioactius, tot i que són reaccions molt exoenergètiques. [9]

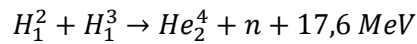
Un exemple clàssic de reacció de fissió nuclear és la ruptura del nucli d'urani 235 per bombardeig amb neutrons lents, per produir nuclis de bari 139 i kripton 94, a més de neutrons i una energia de sortida de 175 MeV. L'equació d'aquesta reacció és el següent:



*Reacció 1. Reacció de fissió nuclear del nucli d'urani 235. (Font: Hiru)*

La fusió, envers a la fissió, és la reacció que uneix dos àtoms. S'agafen dos àtoms més lleugers per fer-ne un de més pesat dins de les estrelles de les centrals nuclears. L'avantatge d'aquest procés és que no genera residus radioactius perillosos però per altra banda, la producció energètica es tant gran que es fa complicat controlar les grans quantitats d'energia produïda. El rendiment energètic de les reaccions de fusió és molt superior al de les de fissió. En termes d'energia per nucli, a la fissió es produeixen 0,74 MeV, mentre que a les reaccions de fusió aquesta xifra s'eleva fins a 3,52 MeV. [9]

La forma més típica de reacció de fusió nuclear és la conversió de dos nuclis d'hidrogen en un heli, amb emissió d'un neutró i una quantitat d'energia molt elevada. L'equació d'aquesta reacció és el següent:



*Reacció 2. Reacció de fusió nuclear de dos nuclis d'hidrogen. (Font: Hiru)*

Amb el residu nuclear, no s'hi pot fer res de moment que no sigui emmagatzemar-lo. O bé en un magatzem temporal centralitzat de combustible nuclear gastat i residus radioactius d'alta activitat, ATC (*Almacén Temporal Centralizado de combustible nuclear gastado y residuos radioactivos de alta actividad*).

El combustible gastat ha de ser emmagatzemat temporalment per dos motius: els productes de la fissió són altament radioactius i generen grans quantitats de calor, que amb el temps va disminuint. Transcorreguts uns anys (menys de deu), la calor generada pel combustible gastat cau per sota d'1 kW/tona, i no es requereix ventilació forçada. L'emmagatzematge temporal ha de ser capaç de proporcionar protecció radiològica adequada i tenir un sistema de ventilació que eviti l'escalfament del combustible. [8] [9]

Inicialment, el combustible irradiat s'emmagatzema en humit, de manera temporal, en piscines dissenyades dins l'edifici del reactor de la central nuclear. Totes les centrals nuclears tenen aquestes piscines. Si es completa la capacitat d'emmagatzematge d'aquestes piscines, es procedeix a emmagatzemar el combustible irradiat en un Magatzem Temporal Individualitzat (ATI) a la pròpia instal·lació de la central, en contenidors en sec.

Durant 2019, en algunes de les centrals nuclears, Enresa va dur a terme actuacions encaminades a proporcionar un augment de la capacitat d'emmagatzematge del combustible gastat, a fi de possibilitar la continuïtat de la seva operació o, si escau, el seu desmantellament. [9]

### 3.4.2. Eòlica

El darrer any, l'energia eòlica es convertia en la principal font de generació elèctrica a Espanya amb casi un 23,3% del total de la producció del nostre país, o el que és el mateix, quasi bé un quart. La energia que produeix la eòlica ascendeix fins a 60600 GWh amb un augment de 10,5% respecte l'any anterior. Un gran augment que només es veu superat per la fotovoltaica que conta amb un augment de 37,7% respecte l'exercici anterior.

En el nostre país tenim 1265 parcs eòlics repartits en més de 1000 municipis, sobretot a llocs costers, zones muntanyoses o grans extensions a la Meseta. La comunitat autònoma que més produeix és la de Castella i Lleó amb 6.299,81 MW que suposa més del 23% de la producció nacional.

A aquesta la segueixen Aragó, Castella-La Manxa, Galícia i Andalusia amb 4.159,25 MW, 3.886,14 MW, 3.829,19 MW i 3.478,45 MW, respectivament. [8] [13]

Els molins eòlics aprofiten la diferència de velocitat en forma d'energia cinètica entre l'entrada i sortida mitjançant una turbina d'aire per produir energia per unitat de temps, tal com s'expressa en l'equació 3.2.

$$Potència = \frac{Energia}{Temps} = C_p \left( \frac{V_1^2}{2} \right) \left( \frac{\rho V_1 \pi D^2}{4} \right) = C_p \frac{V_1^3 \pi D^2}{8} \quad (\text{Eq. 3.2})$$

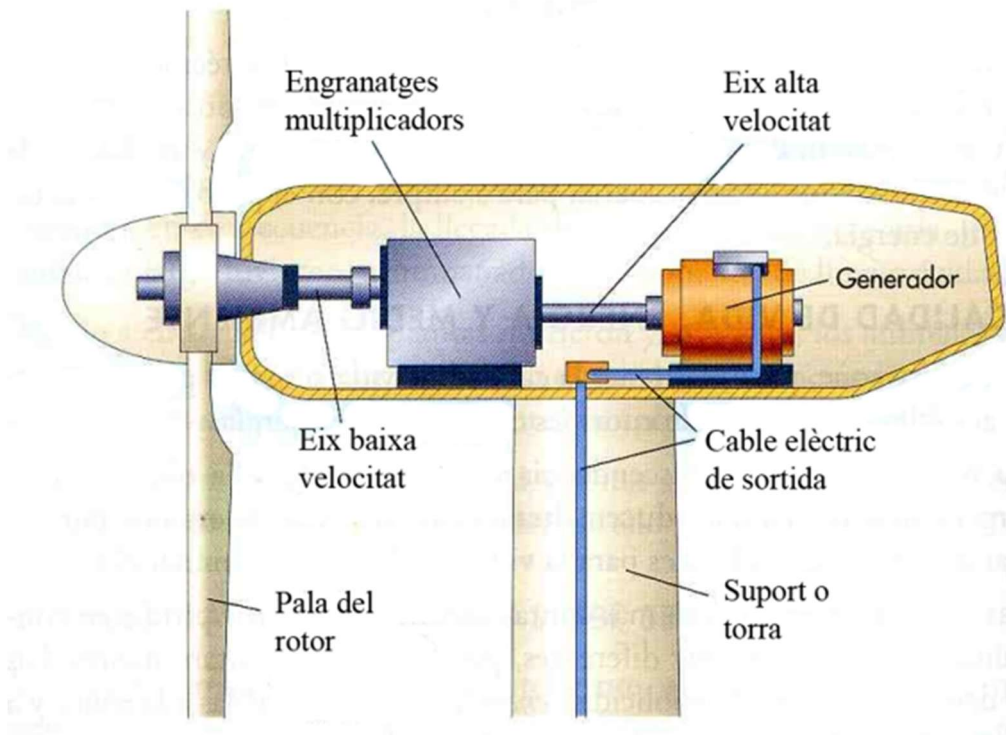
El punt a l'hora d'instal·lar una turbina d'aire es busca maximitzar l'energia obtinguda i minimitzar les càrregues turbulentes que suporta la maquinària i que li redueixen substancialment la vida útil. Els aerogeneradors poden ser tant d'eix vertical com d'eix horitzontal tal com veiem a la il·lustració 10, no obstant, ens centrem en els d'eix horitzontal que són més àmpliament utilitzats. [12]



*Il·lustració 10. Aerogenerador d'eix vertical (esquerra) i d'eix horitzontal (dreta) (Font: Renovables verdes)*

Els components d'una turbina d'aire d'eix horitzontal són les pales, que bàsicament capten l'energia del vent mitjançant la diferència de velocitat que fan girar un eix que es troba a la gòndola on també trobem el generador elèctric, la caixa de canvis i els mecanismes de control. La gòndola reposa en una placa la qual gira per trobar l'angle on el gir de l'eix sigui paral·lel al vent. El generador elèctric pot ser asíncron o síncron. El primer és més econòmic però consumeix energia de manera reactiva. El síncron no requereix de caixa de canvis, el que augmentaria el nombre de pols i, per tant, de pes.

A gairebé tots els aerogeneradors la gòndola i les pales giren, de manera que s'orientin alineades amb la direcció del vent. El control de l'orientació és actiu. Quan el motor mou la gòndola mitjançant una reductora, s'aconsegueix que la velocitat de gir sigui molt reduïda. I per últim trobaríem la torre que suporta l'estructura sencera. La seva altura varia, però és aproximadament el diàmetre del rotor. [11]



Il·lustració 11. Estructura d'un aerogenerador d'eix horitzontal (Font: ¿Cómo funciona?)

Quan les pales fan girar el rotor que està connectat a l'eix, envia l'energia de rotació al generador elèctric. Aquest generador, mitjançant imants produeix un voltatge elèctric. Els parcs eòlics evacuen l'electricitat des del centre de transformació mitjançant una línia elèctrica fins a una subestació de distribució que rep l'energia produïda i la fa arribar a l'usuari final.

La gestió de residus pel que respecte l'energia eòlica és bàsicament la seva estructura i materials. La seva estructura, al estar formada de formigó, acer i components electrònics es recicla amb normalitat a excepció de les pales. Aquestes estan construïdes amb fibra de vidre i carbó dificultant el seu reciclatge. Són materials compostos, com podrien ser els que s'utilitzen per vaixells o avions.

Un cop es retiri una pala per algun tipus de problema es donen dues situacions: si les pales es poden reparar, es tornen a utilitzar. En cas de no poder ser possible, es gestiona mitjançant empreses de gestió de residus amb llicència i es traslladen a un abocador de residus no peril·losos. A Espanya la denominació de les pales és de residu no perillós. Un cop es fabriquen es consideren residus inerts degut a que no hi ha un procés químic que perjudiqui a l'entorn.

S'ha de tenir en compte però, que actualment al nostre país es retiren entre 50 i 100 pales al any. Així doncs es podria dir que és un número relativament baix.



Pel que fa a la normativa actual, existeix una normativa de residus normalitzada per tota Europa. Des de la perspectiva de la normativa vigent estatal comunitària (Llei 22/2011, de 28 de juliol de residus i sòl contaminat, i la llista europea de residus aprovada per la decisió 2000/532/CE) només es consideren residus les pales eòliques que es retirin o es tingui la intenció de retirar, mai les que es puguin reparar. [11]

### 3.4.3. Cicle combinat

La generació elèctrica corresponent a la cogeneració durant l'episodi del 2019 va arribar al 33.662 GWh. El principal combustible que es va emprar pel cicle combinat va ser gas natural representant el 86%, seguit del fueloil i gasoil.

A partir de la dècada del 2000 i amb el creixement desmesurat de la demanda del consum al nostre país es van construir moltes centrals de cicle combinat. Concretament, del 2002 al 2011 es van construir 67 centrals tèrmiques per abastir 25.353 MW de potencia instal·lada. [8]

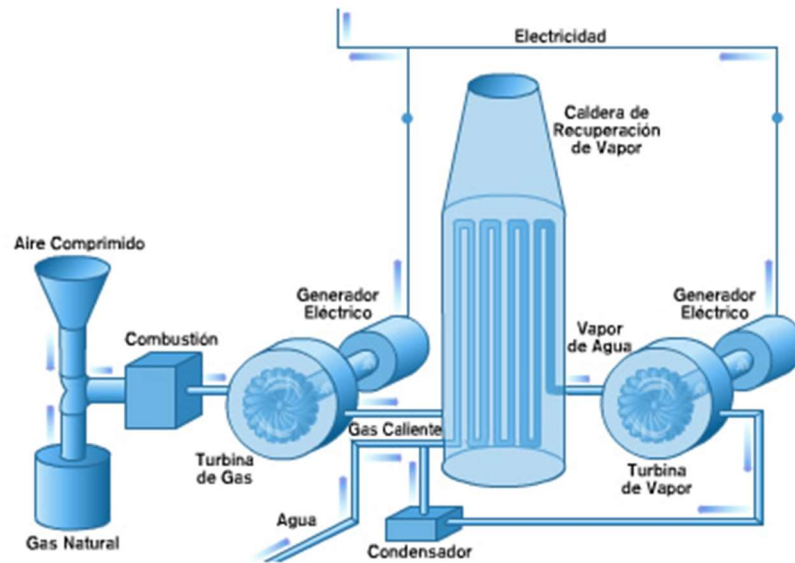
Les centrals tèrmiques de cicle combinat introdueixen el gas natural com a combustible per la generació d'electricitat envers als combustibles fòssils que s'utilitzaven com pot ser el carbó o el fueloil. El cicle combinat té un cost ecològic menor reduint emissions de NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub>, tal com veiem a la taula 2. [14]

CO <sub>2</sub>	940	820	345
SO <sub>2</sub>	17,2	4,6	0
NO <sub>x</sub>	2,5	1,6	0,27
	<b>Carbó</b>	<b>Fueloil</b>	<b>Cicle combinat gas natural</b>

*Taula 2. Comparativa de emissions de NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub> entre producció amb carbó, fueloil o cicle combinat de gas natural. (Font: EVE)*

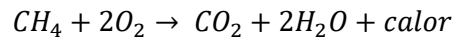
Dins d'aquestes centrals tèrmiques, el cicle combinat produeix electricitat mitjançant dos processos diferents. Per una banda la combustió del gas natural fa girar una turbina que està connectada a un generador elèctric de manera que la rotació produeix electricitat. Per altra banda, la combustió del gas produeix uns gasos que surten a 600°C i s'aprofiten per escalfar aigua en una caldera anomenada caldera de recuperació per produir vapor. I aquest vapor fa el mateix que el gas, és a dir, fa girar una turbina, en aquest cas la turbina de vapor, per generar electricitat en un generador, com s'observa a la il·lustració 12. L'energia que s'obté a partir del gas natural prové dels enllaços C-H existents en els hidrocarburs que componen el gas, com pot ser metà o età. [14] [15]





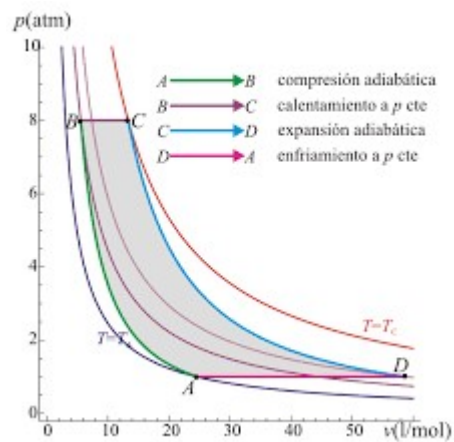
Il·lustració 12. Esquema de funcionament de cicle combinat. (Font: EVE)

La combustió és la reacció exotèrmica d'oxidació, en aquest cas del gas natural en contacte amb un agent oxidant, en aquest cas l'oxigen. Això ha d'estar per sota la temperatura d'ignició i es mou per la reacció que veiem a continuació:



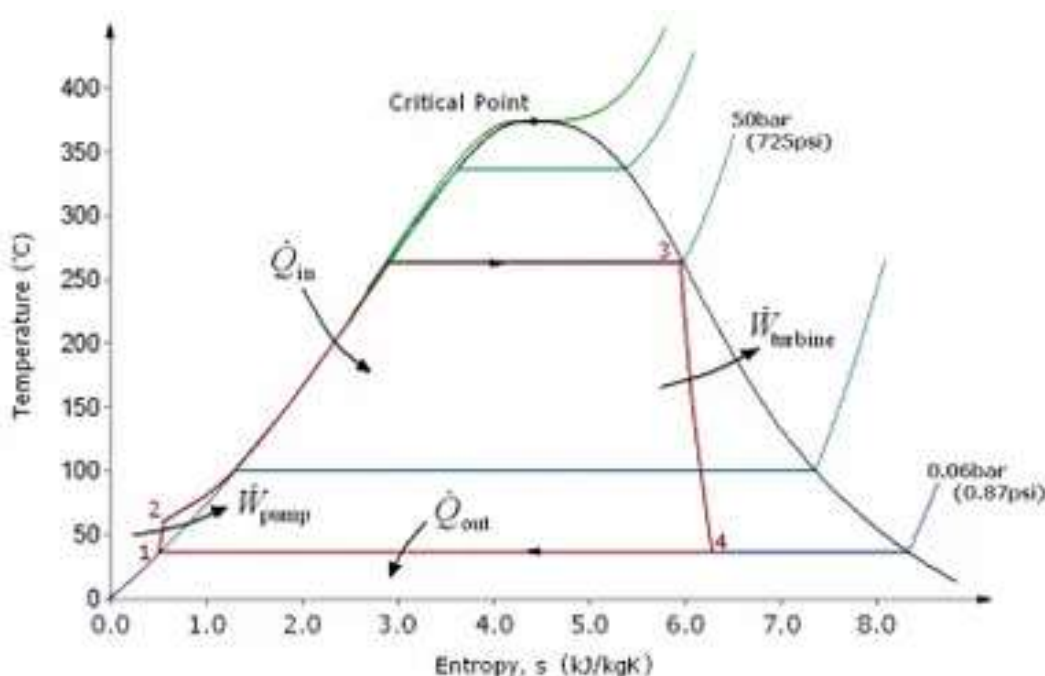
Reacció 3. Reacció de combustió del metà. (Font: EVE)

Aquest primer procés de combustió es coneix també com a cicle de Brayton. El cicle Brayton és un cicle termodinàmic format per una etapa de compressió adiabàtica, una etapa d'escalfament isobàric i una expansió adiabàtica d'un fluid termodinàmic compressible. [19]



Gràfic 3. Cicle de Brayton. (Font: EVE)

La segona part és un cicle de Rankine. El cicle de Rankine és un cicle termodinàmic compost per dues transformacions isentròpiques i dues isòbares. El seu propòsit és transformar la calor a la feina utilitzant un intercanviador de calor. És la base del disseny de màquines de vapor de qualsevol tipus. [18]



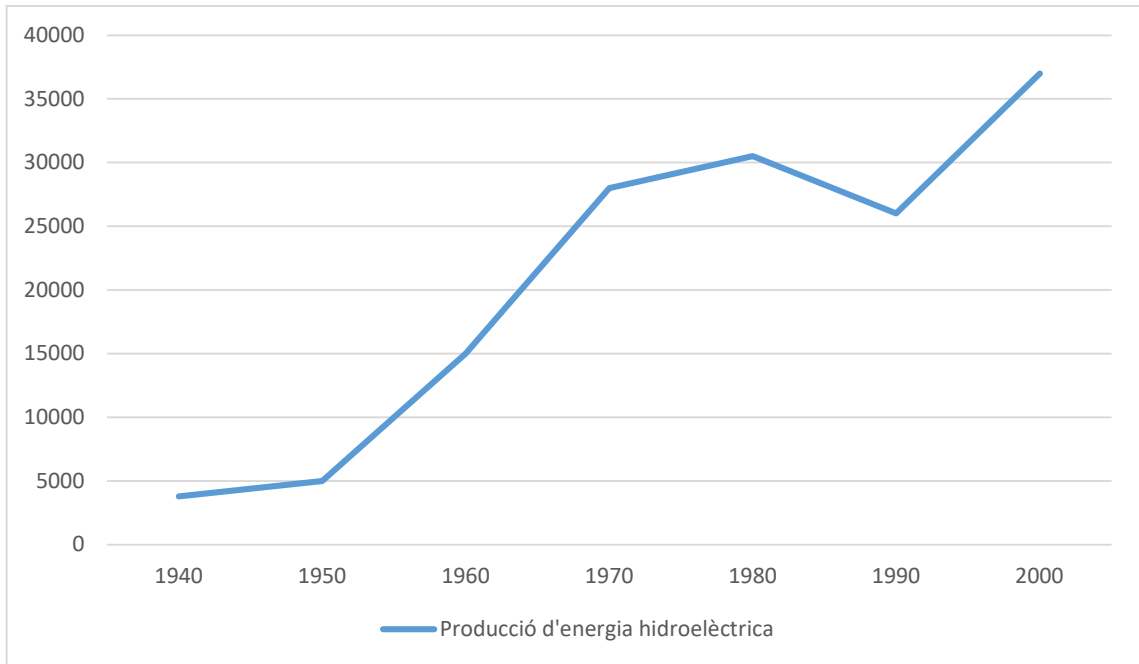
Gràfic 4. Cicle de Rankine. (Font: EVE)

L'ús de gas natural genera un impacte ambiental a través de la combustió, explotació dels jaciments i la contaminació de les aigües i els sòls. També genera impacte en els ecosistemes pels quals passen els gasoductes.

#### 3.4.4. Hidràulica

L'energia hidràulica s'obté aprofitant l'energia de l'aigua en moviment i alçada que presenten els cursos fluvials i embassaments. Aquesta passa per una turbina generant electricitat d'una manera similar a les turbines de cicle combinat.

L'evolució de l'energia hidroelèctrica a Espanya en les darreres dècades ha estat sempre creixent, encara que la participació d'aquesta en el total d'energia elèctrica produïda ha anat disminuint. Així, el 1940, el 92% dels 3.617 GWh eren d'origen hidràulic, i la participació per energia tèrmica el 8% restant, mentre que l'any 2001 cau a un 18% dels 242.000 GWh produïts; això és perquè en els darrers 50 anys s'han implantat grans centrals tèrmiques i, en addició, a partir dels anys 70 també es va començar a produir energia d'origen nuclear. Podem veure l'evolució al llarg d'aquests darrers 60 anys al gràfic següent: [8]



Gràfic 5. Augment de producció d'energia hidroelèctrica a Espanya des del 1940 a l 2000 (Font: UNESA)

A Espanya hi ha centrals de producció hidràulica a la majoria de les comunitats autònomes; la que té més potència instal·lada és la d'Aldeadàvila al Riu Duero (Província de Salamanca) amb 1140 MW, seguit per l'embassament José María d'Oriol al Tajo (Càceres) amb un 915 MW. Altres embassaments de capacitat per sobre dels 500 MW són el de Cortés-La Muela al Xúquer (València), Villarino al Tormes (Salamanca) o Saucelle al Duero (Salamanca). [21] [22]

Una central hidroelèctrica funciona bàsicament gràcies a una turbina que gira quan és impulsada per un corrent o un salt d'aigua. La manera més eficient de produir energia elèctrica en una central hidroelèctrica és construir-la a la base d'una presa per poder controlar el flux d'aigua sobre la turbina de manera estable. Els passos per aconseguir l'energia són:

- Acumulació d'aigua: les preses acumulen gran quantitat d'aigua dins de l'embassament. En aquest moment l'energia de l'aigua s'està emmagatzemant en forma d'energia potencial, un tipus d'energia que depèn de l'alçada.
- Obertura de la resclosa: en el moment que es deixa córrer l'aigua i, per acció de la gravetat, es transforma l'energia potencial d'aigua en energia cinètica.
- Moviment de la turbina: el flux d'aigua transfereix aquesta energia cinètica, deguda al moviment, a la turbina de la central hidroelèctrica fent que giri.
- Acció del generador: el moviment de la turbina activa el generador capaç de transformar l'energia mecànica en energia elèctrica per acció d'un camp magnètic.

- Canvi de voltatge al transformador: després de la producció de l'energia elèctrica (generalment energia alterna) aquesta es condueix a un transformador per augmentar el seu voltatge. Així, es pot transportar l'energia des de la central fins a diferents punts de subministrament.
- Connexió a la xarxa elèctrica: una vegada l'energia elèctrica surt de la central hidroelèctrica es connecta a la xarxa elèctrica per ser transportada i distribuïda als diferents consumidors finals.

Aquest procés permet obtenir electricitat a partir de l'energia hidràulica de manera eficaç, neta i sostenible. Aquesta energia després és part de la que farem servir per a tota mena de tasques, tant particulars, com professionals. [22]

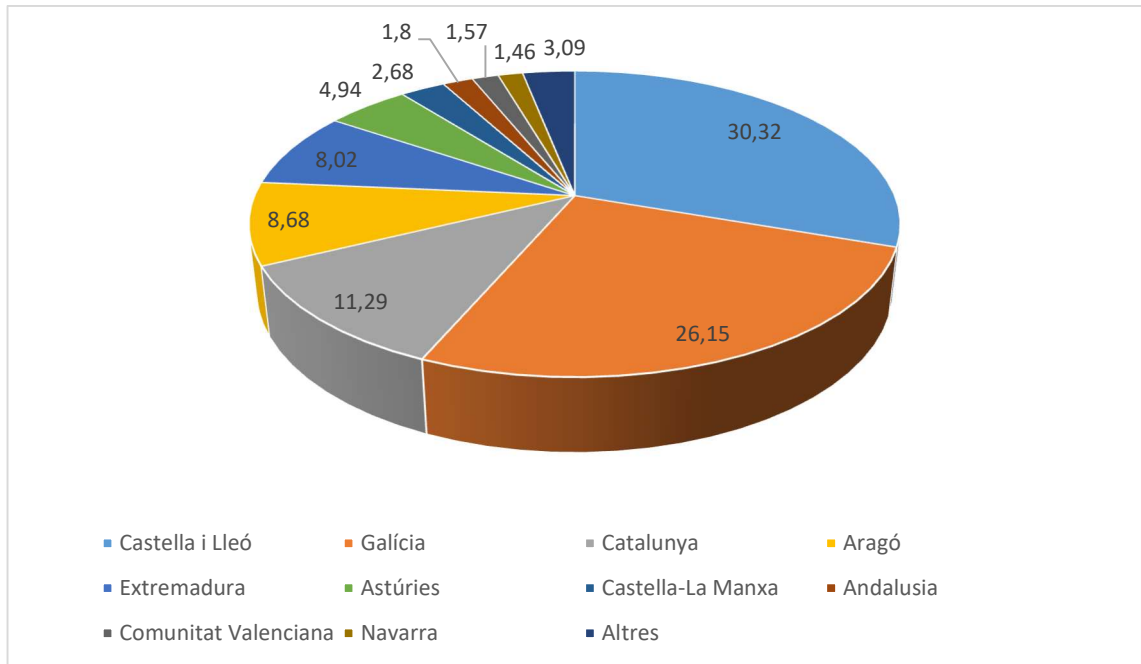
Es classifiquen en tres tipus de centrals segons la potència que tenen i la quantitat d'energia hidroelèctrica que són capaços d'acumular:

- Microcentrals hidroelèctriques: són les més petites i arriben a màxims d'1 MW.
- Minicentrals hidroelèctriques: aquelles amb una potència d'entre 1MW i 10MW.
- Centrals de gran potència: totes aquelles centrals amb capacitats més grans de 10MW.

En aquest cas, la classificació de les centrals hidràuliques per ubicació està relacionada amb el tipus de font d'aigua que empren per produir electricitat. Principalment podem destacar dos tipus de centrals:

- Centrals tall d'aigua o d'aigua fluent: se situen a la vora d'un riu per aprofitar el flux i generar energia. Funcionen de manera continuada ja que no poden emmagatzemar l'aigua com ho fan les centrals d'embassament.
- Centrals d'embassament: són les que se situen a la part baixa d'un embassament. Utilitzen l'aigua emmagatzemada i el cabal controlat que passa per la turbina per generar l'electricitat. Són el tipus de centrals més freqüents perquè poden produir energia de manera constant durant tot l'any.

Quant a comunitats autònomes, Extremadura compta amb el nombre més gran d'instal·lacions, un 30% del sector, seguida de Castella i Lleó i Andalusia, tal com es mostra al gràfic 6.



**Gràfic 6.** Gràfic circular d'energia hidroelèctrica a Espanya durant el 2021 dividit per comunitats autònomes. (Font: Red Eléctrica Española)

El procés de transformació d'energia hidràulica en energia elèctrica és net, ja que no produeix residus, com passa amb l'energia derivada de combustibles fòssils o amb l'energia nuclear. En aquest cas, i en general en totes les energies renovables, com pot ser la fotovoltaica i eòlica, és que els residus que generen són 0. Són 0 si pensem en la transformació d'energia. L'únic tipus de residu que es podria contemplar és el d'infraestructura. En el cas de la hidràulica són estructures molt cares pel que fa la construcció, però amb una llarga vida útil. [21]

### 3.4.5. Cogeneració

És un sistema que produeix calor i electricitat de forma simultània en una sola planta, alimentada per una sola font d'energia primària. En generar electricitat amb un motor generador o una turbina, l'aprofitament de l'energia primària del combustible és del 25% al 35%, la resta es perd. Al cogenerar es pot arribar a aprofitar del 70% al 85% de l'energia que lliura el combustible. La millora de l'eficiència tèrmica de la cogeneració es basa en l'aprofitament de la calor residual dels sistemes de refrigeració dels motors de combustió interna per generar electricitat. [8]

Una planta de cogeneració sol estar constituïda per motors alternatius, turbines de gas o de vapor, que transformen l'energia continguda al combustible en energia mecànica i calor residual o d'escapament. L'energia mecànica sol transformar-se en energia elèctrica a través d'un alternador (aquest és el cas més usual), i la calor residual es pot recuperar en forma de vapor d'aigua, aigua calenta, olis tèrmics i gasos calents, com ara fluids termoportadors aplicacions tèrmiques.

A més dels equips descrits, les plantes de cogeneració poden disposar d'equips auxiliars que també poden fer servir combustible sense l'objectiu de produir energia mecànica o elèctrica, sinó únicament energia tèrmica o calor per a suport o substitució del lliurat pels sistemes de cogeneració. Els equips més usuals d'aquest tipus són els següents:

- Generadors o calderes convencionals per ajustar la producció de calor a la demanda a cada instant; o per a la seva utilització de reserva en cas de fallada dels equips principals.
  - Sistema de postcombustió, que tenen el mateix objectiu descrit, o sistemes d'aire fresc que permetin incrementar o assegurar el subministrament en cas de fallada del motor principal.
- [23] [24]

Els mètodes de reciclatge per aquestes plantes es tracten principalment del desmantellament. Es separen les parts i es reciclen els materials de manera separada tot i que en el nostra país actualment es troben plantes de cogeneració en desús en peu.

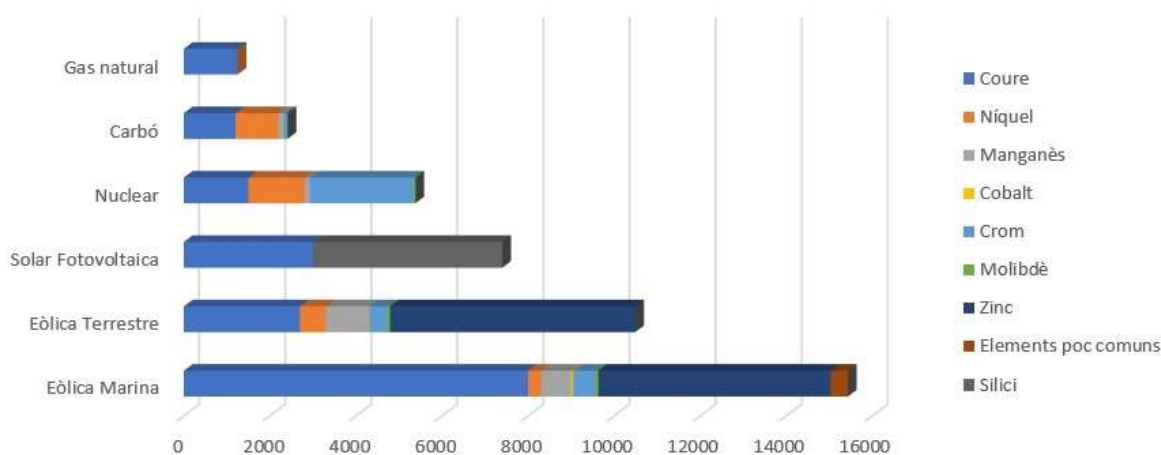
## 4. Agència Internacional de l'Energia

La IEA és l'agència internacional de l'energia. Es tracta d'una organització internacional creada per la OCDE, la organització per la cooperació i el desenvolupament econòmic després de la crisi del petroli de 1973. El que busca és coordinar les polítiques energètiques dels seus estats membres per tal d'assegurar una energia fiable, adquirible i neta. Avui en dia, també s'ocupa de la seguretat energètica i protecció del medi ambient. D'aquí neix l'article *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*, el que es considera l'estudi més complet referents al estudi energètic mundial, les matèries primer crítiques i el context tant actual com a 30 anys vista. [79]

### 4.1. Demanda dels sistemes energètics

Un sistema energètic varia molt si està alimentat amb energia neta o amb recursos amb base d'hidrocarburs com els convencionals, com veiem al gràfic 7. Si es té en compte els minerals com a matèria prima, les plantes solars, parcs eòlics i vehicles elèctrics, per exemple, requereixen més minerals que els seus homòlegs basats en combustibles fòssils. Un cotxe elèctric típic requereix al voltant de sis vegades més de recursos minerals que un cotxe convencional mentre que un parc eòlic requereix al voltant de nou vegades més del que ho fa una planta de gas. La transició cap a energies verdes és necessària, però això també implica una demanda superior de minerals. Des del 2010, la quantitat mitja de minerals necessaris per a una nova unitat de capacitat de generació d'energia ha augmentat un 50% a mesura que ha augmentat la proporció de les energies renovables en la nova inversió.

Depenent de la tecnologia utilitzada, la demanda de minerals varia, com s'observa a la taula 3. Les bateries requereixen sobretot liti, níquel, cobalt i manganès, les turbines eòliques requeriran elements de terres estranyes i, les plantes fotovoltaïques sobretot necessiten silici. Al ser la majoria sistemes de transformació d'energia elèctrica, hi ha una gran demanda de coure i alumini per la construcció de xarxes elèctriques. El coure, de fet, és l'element més utilitzat de lluny per totes les tecnologies relacionades amb electricitat. [79]



Gràfic 7. Minerals requerits per la creació d'una planta dependent de la tecnologia. (Font: IEA)

	Coure	Cobalt	Níquel	Liti	T. estranyes	Crom	Zinc	Plati	Alumini
Solar fotovoltaica	Verd	Verd	Verd	Verd	Verd	Verd	Verd	Verd	Verd
Eòlica	Verd	Verd	Groc	Verd	Verd	Verd	Verd	Verd	Verd
Hidràulica	Verd	Verd	Verd	Verd	Verd	Verd	Verd	Verd	Verd
Termosolar	Verd	Verd	Groc	Verd	Verd	Verd	Verd	Verd	Verd
Biomassa	Verd	Verd	Verd	Verd	Verd	Verd	Verd	Verd	Verd
Geotèrmica	Verd	Verd	Verd	Verd	Verd	Verd	Verd	Verd	Verd
Nuclear	Verd	Verd	Groc	Verd	Verd	Verd	Verd	Verd	Verd
Xarxa elèctrica	Verd	Verd	Verd	Verd	Verd	Verd	Verd	Verd	Verd
Bateries i VE	Verd	Verd	Verd	Verd	Verd	Verd	Verd	Verd	Verd
Hidrogen	Verd	Verd	Verd	Verd	Verd	Verd	Verd	Verd	Verd

Taula 3. Importància relativa dels minerals dependent de la tecnologia energètica. Verd-baixa, Groc-mitja, Vermell-Alta. (Font: IEA)

## 4.2. Possibles escenaris

Si es pretén un canvi cap a una transició energètica neta, s'ha de valorar l'augment de minerals requerits, cosa que implica que el sector energètic apliqui més pressió en el mercat dels minerals. Si penséssim en un escenari que compleixi els objectius de l'acord de París (Escenari de Desenvolupament Sostenible de la IEA, SDS) la demanda total hauria augmentat durant les dues dècades següents a partir del dia d'avui. Concretament la demanda del coure i terres estranyes hauria augmentat un 40%, la del níquel i cobalt entre un 60% i 70% i la del liti gairebé un 90%.



Amb les polítiques energètiques actuals estem de camí a duplicar els requisits de minerals per les tecnologies d'energia neta. Si es pretén una estabilització climàtica a un augment de menys de 2°C de la temperatura global com concerta l'acord de París, es quadruplicaria els requisits dels minerals per al 2040. Però si els volgués reduir aquest valor a 0, els requisits s'haurien de multiplicar per 6. El liti té el creixement més ràpid, amb una demanda creixent més de 40 vegades, seguit del grafit. L'expansió de les xarxes elèctriques fa que la demanda de coure per a les línies de xarxa es dupliqui més que en el mateix període. Les transicions energètiques netes ofereixen oportunitats i reptes per a les empreses productores de minerals. El carbó és actualment la major font d'ingressos per a les empreses mineres per un ampli marge. Els ingressos actuals de la producció de carbó són deu vegades més grans que els dels minerals de transició energètica. [79]

### 4.3. Conseqüències a curt termini

En el passat, les tensions entre l'equilibri de demanda i oferta de diferents minerals ha provocat inversions addicionals així com mesures per moderar o substituir la demanda però aquestes respostes s'han produït amb retard i han comportat una considerable volatilitat dels preus. Episodis similars en el futur podrien comportar un retard en la transició d'energia neta i augmentar-ne el cost, cosa que no ens podem permetre dins del escenari d'urgència per reduir les emissions on ens trobem.

S'espera que alguns minerals utilitzats per matèria prima com ara el liti o cobalt tinguin un excedent a curt termini, mentre que els productes químics de liti, el níquel per bateries i elements de terres estranyes podrien enfrontar-se a un subministrament ajustat en els propers anys. No obstant, si es mira més endavant en un escenari coherent amb els objectius climàtics, s'estima que el subministrament previst de les mines existents i els projectes de construcció només satisfarà la meitat de les necessitats previstes de liti i cobalt i el 80% de les necessitats de coure l'any 2030. L'extracció de contingut metàl·lic de minerals de menor grau requereix més energia, cosa que exerceix una pressió a l'alça sobre els costos de producció, les emissions de gasos d'efecte hivernacle i els volums de residus.

Si parlem d'estrès hídric, el coure i el liti són especialment vulnerables a aquest donat els seus elevats requisits d'aigua. Més del 50% de la producció actual d'aquests es concentra en zones amb als nivells d'estrès hídric. Diverses regions productores importants com Austràlia, Xina, i Àfrica també estan subjectes a una calor extrema o inundacions, la qual cosa suposa un major repte per garantir un subministrament fiable i sostenible. [79]

## 4.4. Seguretat

Un altre tema a tenir en compte és la seguretat que aquestes tecnologies ens ofereixen. Hi ha diferències significatives entre la seguretat del petroli i la dels minerals, sobretot en els impactes que pot tenir qualsevol tipus d'interrupció. Si ens trobéssim en una crisi de subministrament del petroli, tots els consumidors es veurien afectats per preus més elevats. Per contra, si la crisi fos en el cas dels minerals només afectaria al subministrament de nous vehicles elèctrics o plantes solars. Els consumidors que tenen ja un cotxe elèctric o una instal·lació solar fotovoltaica no es veurien afectats. La combustió del petroli fa que el nou subministrament sigui essencial per el funcionament continu dels actius que utilitzen petroli. Tanmateix, els minerals són un component de la infraestructura amb potencial de ser recuperats i reciclats. [79]

## 4.5. Camí cap a una transició ràpida i ordenada

Si es vol una transició energètica ràpida i ordenada es requereix un fort creixement de la inversió en el subministrament de minerals per mantenir el ràpid ritme de creixement de la demanda. Els responsables polítics poden prendre varies accions per fomentar nous projectes de subministrament: el més important és proporcionar senyals clares i forts sobre les transicions energètiques.

Per alleujar les tensions en el subministrament es podria reduir la intensitat dels minerals i fomentar la innovació tecnològica alhora que ajudarien a reduir els costos. Un clar exemple és el cas de la fotovoltaica. Les reduccions del 40-50% en l'ús de plata i silici a les cèl·lules solars durant l'última dècada han permès un augment exponencial en el desplegament de l'energia solar fotovoltaica.

El reciclatge també alleuja la pressió sobre el subministrament primari. Per als metalls, les pràctiques de reciclatge estan ben establertes però encara falten molts metalls claus cap a la transició energètica com és el cas del liti i elements de terres estranyes. Tot i això, el reciclatge no eliminaria la necessitat de continuar invertint en nous subministraments per assolir els objectius climàtics. És calcula que cap al 2040 les quantitats reciclades de coure, liti, níquel i cobalt de les bateries gastades podrien reduir els requisits de subministrament primari combinat d'aquests minerals al voltant d'un 10%. Els beneficis de seguretat del reciclatge poden ser molt més grans per a les regions amb un desplegament més ampli de tecnologies d'energia neta a causa de majors economies d'escala. [79]

## 4.6. Impactes socials i ambientals

bordar els impactes ambientals i socials dels desenvolupaments minerals serà essencial, incloent les emissions associades a la mineria i processament, els riscos derivats d'una gestió inadequada dels residus i de l'aigua, i els impactes de la seguretat inadequada dels treballadors, abusos dels drets humans i la corrupció.

Garantir que la riquesa mineral introdueixi guanys reals a les comunitats locals és un repte ampli i polifacètic, en concret en els països on les mines artesanals i a petita escala són habituals. La diligència deguda de la cadena de subministrament, amb una aplicació normativa eficaç, pot ser una eina fonamental per identificar, avaluar i mitigar els riscos, augmentant la traçabilitat i la transparència. [79]

Un procés clau és la integració de les preocupacions ambientals durant les primeres etapes de planificació dels projectes pot ajudar a garantir pràctiques sostenibles al llarg del cicle de vida d'un projecte. Aquestes preocupacions es poden agrupar en els següents punts:

1. Garantir una inversió adequada en fonts diversificades de nou subministrament.
2. Promoure la innovació tecnològica en tots els punts de la cadena de valor.
3. Augmentar el reciclatge.
4. Millorar la resiliència de la cadena de subministrament i la transparència del mercat.
5. Incorporar estàndards ambientals, socials i de política energètica més alts.
6. Reforçar la col·laboració internacional entre productors i consumidors.

## 4.7. Actualitat

La pandèmia de la Covid-19 i la crisi econòmica consegüent han tingut un impacte en tots els aspectes del sistema energètic mundial. Tot i que el consum de combustibles fòssils es va veure afectat durament el 2020, les tecnologies d'energia neta, sobretot les renovables i els vehicles elèctrics, es van mantenir relativament forts. Com a resultat les emissions mundials de CO<sub>2</sub> relacionades amb l'energia van caure un 6% el 2020, més que la caiguda del 4% de la demanda energètica.

Tot i això, estem lluny de veure una caiguda decisiva de les emissions: les emissions de CO<sub>2</sub> el desembre de 2020 ja eren superiors al nivell previ a la crisi un any abans. Posar les emissions en una trajectòria coherent amb l'Acord de París, tal com s'analitza a l'Escenari de desenvolupament sostenible (SDS) de World Energy Outlook, requereix una ampliació significativa del desplegament d'energia neta a tots els nivells. [79]

## 5. Energia fotovoltaica

### 5.1. Definició

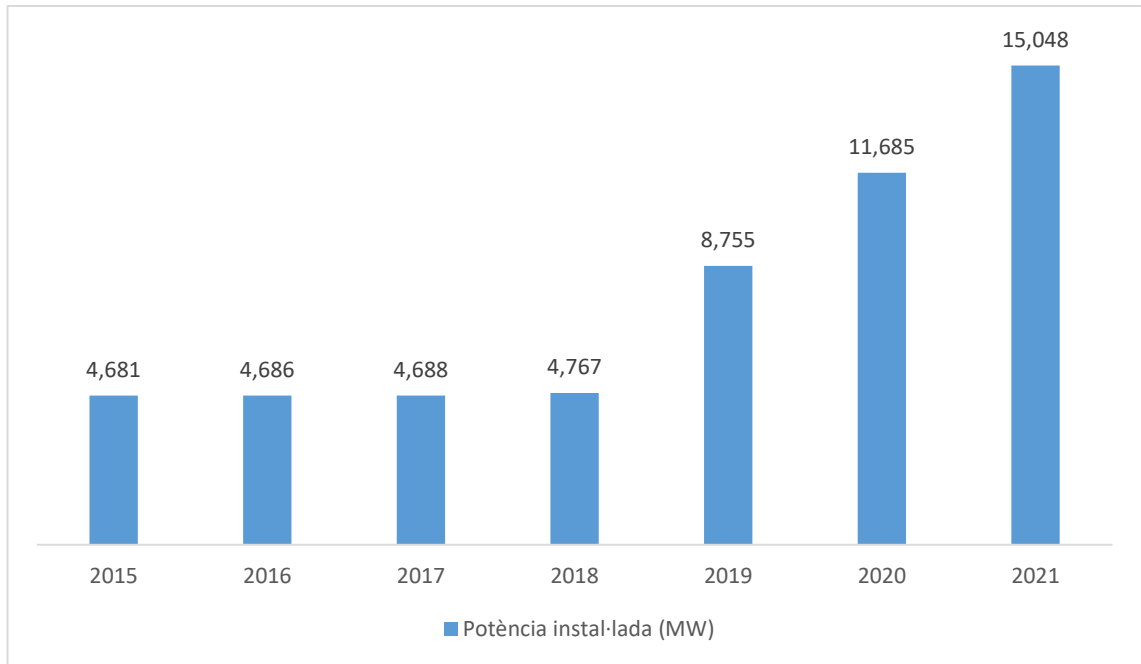
Essencialment, l'energia solar fotovoltaica es aquella que s'obté al transformar la llum solar en electricitat mitjançant el famós efecte fotovoltaic prèviament mencionat. És una energia renovable, inesgotable i no contaminant en autoconsum es pot englobar des de instal·lacions residencials fins a camps solars industrials. També inclou aplicacions externes com pot ser plaques solars en automòbils, satèl·lits o usos més insignificants com les calculadores.

### 5.2. Situació actual

En aquests últims 3 anys, Espanya ha fet passos molt important cap a la transició energètica. Aquesta transició no és més que el conjunt de canvis en el mètodes de producció, consum i distribució de l'energia per fer-ho d'una manera més sostenible. L'objectiu és, en comptes de basar el sistema energètic en combustibles fòssil, fer-ho en energies renovables. [26]

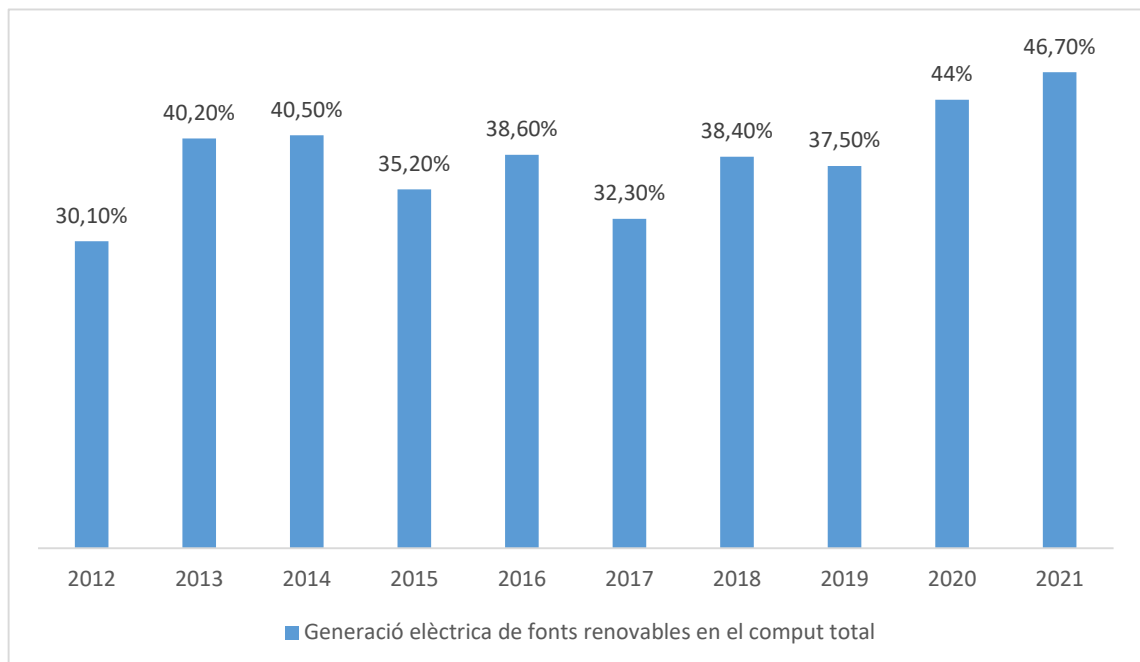
La transició energètica si és cert que es basa en totes les energies renovables però la solar fotovoltaica és la que ha millorat més les seves marques, i això es pot comparar amb varies variables. Això no treu que la eòlica segueixi sent la major força amb 28.175 MW a finals del darrer any.

La primera és la potència instal·lada. La potència instal·lada d'energia solar fotovoltaica respecte el 2020 ha incrementat un 28,8% incorporant al parc de generació nacional més de 3.300 MW arribant així a 15.048 MW, tal com veiem al gràfic 8. Aquest augment ha situat la potència instal·lada de la fotovoltaica en el quart lloc de la potència instal·lada total del nostre país. [27]



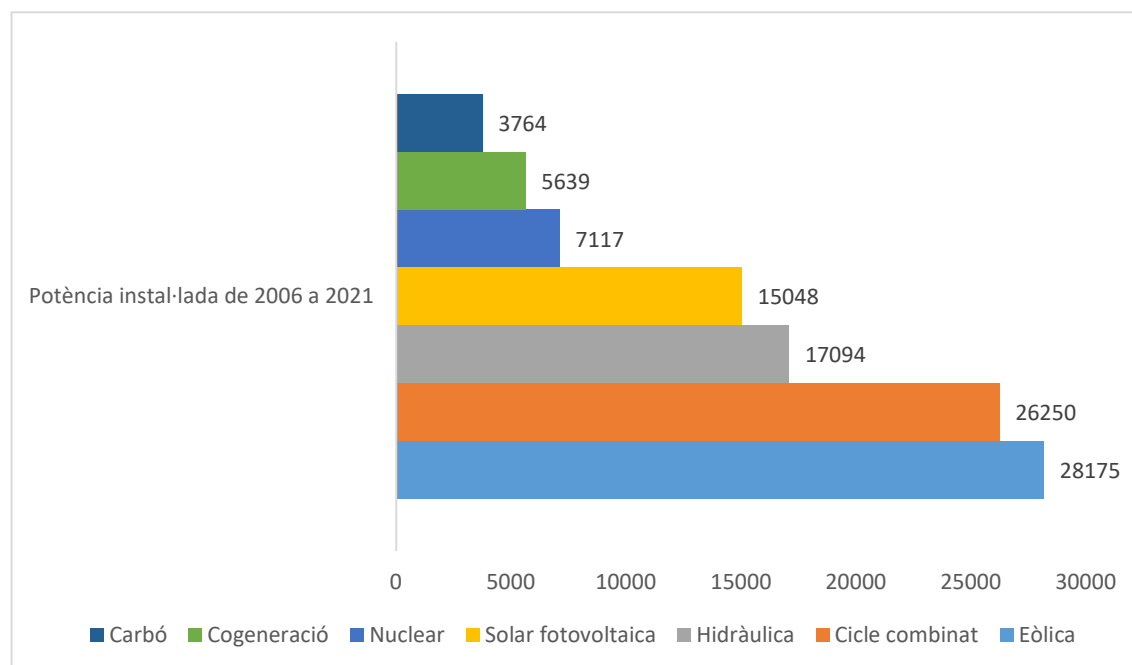
**Gràfic 8.** Gràfic de potència instal·lada de fotovoltaica a Espanya des del 2015 i el 2021. (Font: Red Eléctrica Española)

La segona és la producció elèctrica i és que amb l'augment de potència instal·lada s'ha augmentat la producció elèctrica fins al 36,7%, tal com recull el llibre de l'energia d'Espanya del 2021. En total al 2021, si sumem totes les energies renovables tenint en compte les seves produccions energètiques arribem als 121.305 GWh, un 9,7% més que el 2020 i un 46,7% sobre el total nacional. [27]



**Gràfic 9.** Gràfic de generació elèctrica de fonts renovables front el còmput total de l'estat des del 2012 al 2021. (Font: Red Eléctrica Espanyola)

Aquest factor ha reduït la potència instal·lada del carbó en casi 2.000 MW disminuint un 34,4% respecte el 2020. De fet, tal com mostra la figura 30, el carbó es situa com a setena força pel que respecte a la potència instal·lada del 2021 per darrera de l'eòlica, cicle combinat, hidràulica, solar fotovoltaica, nuclear i cogeneració.



Gràfic 10. Gràfic de l'evolució de la potència instal·lada a Espanya durant el 2021. (Red Eléctrica Española)

Aquest darrer any, la demanda d'energia elèctrica s'ha normalitzat respecte la pandèmia situant el consum en 256.287 GWh, un 2,5% més que l'any anterior. [27]

### 5.3. Autoconsum

L'autoconsum és el que es coneix com la generació de l'energia que més tard consumeixes, en aquest cas, de panells solars. D'aquesta manera produeixes l'energia que consumeixes de manera directa, compenses, o emmagatzemes en bateries.

Un dels punts pel que s'utilitza és l'estalvi. Una instal·lació solar, ja sigui residencial o a nivell industrial, suposa una gran inversió, però degut a la reducció de preu de les factures i els preus de la llum actualment s'amortitza relativament ràpid. A nivell residencial fa qüestió de 8 mesos ens movíem en una amortització d'entre 8 i 11 anys mentre que actualment l'amortització és mou d'entre 5 i 9.

Per altra banda, també es contribueix a la sostenibilitat mitjançant l'ús d'energies renovables i, avui en dia, pots optar a ajudes fiscals en algunes comunitats autònomes com podria ser estalviar-te la meitat del IBI. [28]

## 5.4. Excedents

L'energia generada pels mòduls fotovoltaics transcorre pel cablejat en format de corrent continu fins arribar a l'inversor. Un cop transformada en corrent altern, aquesta energia és injectada a la xarxa elèctrica de l'edifici. A partir d'aquí poden ocórrer dues situacions:

- Si la generació fotovoltaica és superior al consum elèctric de l'edifici, la diferència és abocada a la xarxa de distribució, procedint a la seva compensació econòmica simplificada.
- Si la generació fotovoltaica és inferior al consum elèctric de l'edifici s'importarà de forma automàtica energia elèctrica de la xarxa de distribució.

La compensació simplificada d'excedents en autoproducció és un mecanisme regulat per normativa (Reial Decret 244/2019) al qual es poden acollir els punts de subministrament amb autoconsum que compleixen els requisits següents:

- L'energia generada ha de ser d'origen renovable.
- La potència instal·lada ha de ser igual o inferior a 100 kW.

Poden acollir-se al mecanisme de compensació simplificada les modalitats d'autoproducció següents:

- Autoconsum individual en xarxa interior amb excedents.
- Autoconsum col·lectiu en xarxa interior sense excedents.
- Autoconsum col·lectiu en xarxa interior amb excedents.
- Autoconsum col·lectiu a través de xarxa de baixa tensió, on almenys un dels punts d'ús d'energia associats està connectat en xarxa interior al punt de generació.

## 5.5. Funcionament

La base més petita d'un mòdul solar és l'àtom de silici que es pot disposar de manera monocristal·lina o policristal·lina. Aquest s'ajunta en capes dopades amb fòsfor i bor que al rebre llum solar generen una càrrega elèctrica. Aquestes capes de silici es distribueixen en cèl·lules fotovoltaïques que després es disposen en sèrie per aconseguir un voltatge que es pugui ajustar a un sistema de corrent continu i sigui utilitzable mitjançant cablejat de diferents seccions hàbils pel camp solar fins arribar a l'inversor. [33]

Aquest dispositiu electrònic transforma corrent continu en corrent alterna amb un voltatge i freqüència determinats per poder utilitzar-lo, ja sigui en residencial, industrial o per vendre.

A grans trets, si parlem de fotovoltaica aplicat a residencial i industrial en podem trobar de dos grups amb dos subgrups. Si seguim la jerarquia des de dalt es separen en monofàsics o trifàsics depenent de la tensió de subministrament on es vulgui utilitzar. I després separaríem en aïllats o connectats a la xarxa elèctrica, per exemple, de la ciutat. De manera externa trobaríem els microinversors. Són inversors de potència reduïda que son unitaris per cada mòdul. Acostumen a ser monofàsics, però es poden ajuntar en grups per poder subministrar a xarxes trifàsiques. [31] [32]

### 5.5.1. Elements habituals i reciclatge

#### 5.5.1.1. Mòduls

Són més que estructures formades de cèl·lules solars a la vegada que estan fetes de materials dopats que funcionen per l'efecte fotovoltaic anteriorment descrit. Normalment la disposició de les cèl·lules varia d'entre 30 i 80, mentre que les dimensions dels mòduls pot anar des de superfícies petites, ja sigui per carregar una llum de jardí fins a estructures molt superiors. Els casos més habituals i en els que ens centrem, residencial i industrial, aquesta superfície ronda entre el metre quadrat fins als dos metres quadrats. [33]

Els panells es formen amb la disposició que veiem a la il·lustració 13, que és la següent:

- Marc de suport: ofereix resistència mecànica al conjunt i ofereix la disposició vertical o horitzontal a la vegada que de forma serial o paral·lela. L'alumini anoditzat és el material més superior amb què es poden construir els marcs dels panells solars. S'utilitza una vora cònica i plana en els marcs per reduir l'ombra a la vegada que permet la circulació de l'aigua cap avall i no s'estanca. Si l'aigua s'estanqués, apart de reduir la eficiència podria ocasionar danys si, per exemple, s'arribés a congelar. També s'evita la acumulació de pols o pol·len, que ofereix els mateixos problemes. El marc dels panells solars no ha de tenir vores esmolades i ha de ser cargolat amb cargols especials dissenyats per a aquest treball en particular. Això ens assegura que sigui bon conductor elèctric i també mecànic i que estigui connectat a terra a tot arreu.
- Coberta frontal: protegeixen el mòdul en front a possibles agents atmosfèrics. El material que la conforma és vidre temperat amb baix contingut de ferro ja que aquest té bona resistència als impactes i és un bon transmissor de la radiació solar. S'ha de tenir en compte que, tot i la protecció que aquesta coberta ofereix, depenent de la qualitat del vidre podria fer baixar el rendiment del mòdul.
- Cobertes encapsulades: protegeixen les cèl·lules solars, el cablejat i els conductors. Estan formats d'EVA (etil-vinil-acetilè), un copolímer termoplàstic que actua com a aïllant tèrmic mentre deixa passar els feixos de fotons ja que és transparent. També funciona com a aïllant acústic, aporta cohesió entre les cobertes frontals i posteriors disminuint així les vibracions i impactes que el so pugui produir. Tot i això, presenten dos problemes.



El primer és que a certes temperatures presenten plasticitat i el segon és que presenten una gran adherència a la pols que pot fer disminuir la transmissivitat de la radiació solar i reduir la vida útil de la instal·lació.

- Coberta posterior: la missió que ofereixen és similar a la coberta frontal. Ofereix una protecció contra els agents atmosfèrics, sobretot la humitat. Normalment són de Tedlar o EVA. Acostumen a ser de color blanc i això és per afavorir l'absorció de fotons a través de la reflexió. El Tedlar o PVF (fluorur de polivinil) és un polímer termoplàstic, estructuralment similar al PVC (policlorur de vinil). Té una baixa inflamabilitat, baixa permeabilitat als vapors i una excel·lent resistència al desgast per les condicions atmosfèriques.
- Caixa de connexions elèctriques: tal com indica el seu nom, és la caixa on es duen a terme les connexions. Surten dos cables del tipus MC4+ i MC4- que donen continuïtat al circuit elèctric en corrent continu. Alguns també porten presa de terra i, sinó, se'ls hi ha de connectar punts de terra per fer la continuïtat del terra entre ells.
- Cèl·lules fotovoltaïques: són l'essència del mòdul solar. Són, com s'ha comentat, dispositius semiconductors que a partir de la radiació solar generen electricitat.



*Il·lustració 13. Estructura d'un mòdul fotovoltaic. (Font: Soliclima)*

Essencialment, els mòduls estan formats de silici dopat, que trobem de tres formes estructurals:

- Monocristal·lins: són aquelles en què les cèl·lules que el formen es componen d'un únic vidre de silici d'alta puresa i solidificat a temperatura homogènia, cosa que aporta una eficiència més gran i, per tant, un rendiment més alt del mòdul ja que els electrons es poden moure amb una llibertat major.

- Policristal·lins: són els que estan formats per cèl·lules de vidres orientats de manera diferent. Són més barats pel que respecte la fabricació, però el fet de la disposició afecta negativament al seu rendiment i eficiència.
- Amorfs: avui en dia estan obsolets. La seva disposició és un conjunt dels dos anteriors sense seguir cap patró ni ordre i la seva eficiència és la menor de totes i amb això, el rendiment també.

Degut a la diferència d'orientació entre el monocristal·lí i policristal·lí, a baixes temperatures els primers ofereixen un millor comportament. Malgrat això, a altes temperatures presenten un comportament similar.

A nivell residencial, el més recomanable és apostar per la tecnologia monocristal·lina degut a que normalment l'espai és més reduït i, utilitzant aquests, s'obté una millor producció. Tot i això, les dues tecnologies són viables. Al ser un cas residencial, també s'ha de tenir en compte el nivell estètic i és que el policristal·lins presenten un to més blavós mentre que els monocristal·lins acostumen a ser completament negres. [31] [33]

#### 5.5.1.2. Estructures

Els materials més utilitzats són l'alumini i l'acer galvanitzat. L'alumini és el més àmpliament usat pels seus avantatges. Aquests són la seva facilitat per ser muntat i modelat, la lleugeresa i l'alt punt de reciclatge que ofereix. Prop del 95% de l'alumini utilitzat en la fabricació d'estructures solars es pot recuperar a través del reciclatge sense alterar-ne les característiques. El reciclatge de l'alumini permet tornar a fer servir pràcticament la totalitat del material, a més de no produir residus nocius per al medi ambient. [35] [37]

L'alumini és altament emmotllable de manera que el tall, soldat, mecanitzat, trepat, i reblat és molt fàcil. A més, accepta molt bé el modelat de manera que durant la seva extrusió se li poden conferir tota mena de formes.

L'acer galvanitzat incorpora una capa de zinc a la superfície de l'acer. S'immergeix l'acer en zinc fos protegint-lo així de la corrosió i potenciant la seva resistència mecànica als impactes i l'abració. L'acer galvanitzat no necessita manteniment, per la qual cosa després de la instal·lació la seva durabilitat està garantida. El recobriment d'acer galvanitzat proveeix una protecció davant de la corrosió atmosfèrica i de l'aigua extremadament llarga. [38]

En els casos més habituals, les estructures es poden organitzar segons el tipus i lloc d'ús com s'observa a la il·lustració 14. Són les següents:

- Coplanar: s'instal·len, com el nom indica, de manera coplanar a la coberta. S'instal·len en uns carrils ja sigui d'alumini o acer galvanitzat que en facilita el muntatge i disminueix l'impacte visual. Els panells en aquest cas tindran la mateixa inclinació que la teulada on són muntats. [37]
- Fixes en superfícies planes: són molt lleugeres, fàcils de muntar i requereixen poc material cosa que redueix el cost i l'impacte ambiental. S'adapten molt bé al medi on s'instal·len. [37]
- Solarbloc: és el sistema de muntatge patentat que no utilitza una estructura metàl·lica. Són dissenyats per ser instal·lats en cobertes planes i són els més fàcils de muntar, cosa que redueix també els costos i la mà d'obra. Són de formigó reforçat, tenen una alta densitat i resistència tant a agents químics i atmosfèrics cosa que els hi ofereix una gran durabilitat. Degut a la seva alta densitat i pes, contrasten l'efecte vela que pateixen els mòduls inclinats degut al vent. [37]
- Autoportants amb llasts: són una alternativa a la fixació en cobertes planes. Poden ser peces de formigó prefabricat, calaixos farcibles d'algun material pesat o també estructures amb contrapesos com voreres de formigó. En totes elles el llast actua d'ancoratge i donarà estabilitat a l'estructura com a conseqüència del pes. Per això, aquestes estructures no requereixen perforar la coberta. [37]
- Flotants: Es compon d'una estructura triangular i un flotador que permet la instal·lació del mòdul fotovoltaic i un sistema d'amarratge. És una estructura permanent utilitzada per aturar el lliure moviment de l'estructura flotant a l'aigua. No és una opció en residencial. [37]
- Mòbils: Un sistema de seguiment solar és una estructura mòbil que uneix la placa solar amb el terra. La seva funció és maximitzar la producció d'electricitat de la instal·lació solar fotovoltaica, ja que optimitza l'angle amb què els panells reben la radiació solar. Els seguidors solars són típicament usats per a grans instal·lacions solars i emplaçades sobre el terreny, i instal·lacions solars autònomes com els arbres solars. [37]



**Il·lustració 14.** (a) Coplanar (b) Fixes en superfícies planes (c) Amb llasts (d) SolarBloc (e) Flotants (f) Mòbils (Fonts: Solarbloc, almacén fotovoltaico, solarstem, teknosolar, betsolar i solarmat)

### 5.5.1.3. Inversors

Pel que es refereix el tipus de subministrament del quadre d'on s'instal·la el camp solar podem trobar inversors monofàsics i trifàsics.

Els inversors monofàsics s'utilitzen en xarxes de tipus monofàsica, és a dir, només fan servir una fase i un únic corrent altern. La seva tensió normalitzada es fixa, aproximadament, en els 230 volts permetent instal·lar una potència màxima de 14,49 kW, encara que l'inversor monofàsic més potent al mercat és de 8,2 kW. [40]

Els inversors trifàsics, a diferència dels monofàsics, estan formats per 3 fases i 3 diferents corrents alterns i la seva tensió normalitzada es fixa en els 380-400 volts i 50 Hz. Són més utilitzats en grans cases residencials i indústries però és cert que es pot trobar en residències petites.

Un cop se sap la tensió de subministrament, el tipus d'inversor es pot separar en inversors connectats a la xarxa o aïllats. El primer permetrà abocar excedents a la xarxa elèctrica i els sistemes que no estan connectats a la xarxa, necessitaran diverses bateries solars que permetin emmagatzemar l'energia que no s'ha consumit, suposant el 100% de la independència de la xarxa tradicional. Malgrat això, l'inversor aïllat va connectat a la llum i de forma alterna a les bateries. Si la llum marxa, l'inversor funcionarà amb l'energia emmagatzemada però això podria ser entre 3-4 hores com a màxim, és a dir, un temps reduït. [40] [41]

Per una banda trobem tres tipus d'inversors elèctrics connectats a la xarxa: string o en cadena, microinversors i híbrids:

- En cadena o string: s'utilitzen normalment per a sistemes fotovoltaics instal·lats en teulades que no es veuen perjudicades per les ombres. Són els més utilitzats i econòmics del mercat. A les instal·lacions que inclouen inversors string, cadascun dels panells que componen el sistema es connecta en sèrie o per cadenes.

Els inversors accepten diferents strings depenent de la potència del inversor, encara que els de poca potència es podran configurar amb una única cadena, és a dir, la producció d'energia que s'ha generat per cada línia o cadena de panells queda limitada al panell que hagi generat menys potència de la cadena el que es tradueix en que si alguna de les plaques solars que s'han instal·lat es veuen afectades per l'ombra en determinats moments del dia, la potència total de la cadena de panells es veurà reduïda considerablement fins a arribar a la potència del panell que està sent afectat per l'ombra. I és aquí on entren els optimitzadors de potència. No són inversors com a tal, no transformen el corrent continu en altern, però si que treballen de forma conjunta per solventar el problema mencionat. Les instal·lacions amb optimitzadors de potència contenen els millors atributs dels inversors de cadena i els microinversors.

Se situen a la teulada incrustades a la part posterior de les plaques solars igual que els microinversors, però no transformen l'energia directament des de cadascun dels mòduls, sinó que s'envia a un inversor centralitzat tal com passa amb els inversors de cadena. Com que l'inversor centralitzat busca potència tenint en compte el conjunt de panells solars, però els optimitzadors de potència intervenen sobre cada panell i no sobre el conjunt, es podrà localitzar aquell punt on es generi més potència. Per tant, si un panell solar es veu afectat per l'ombra, la potència global del sistema no es reduirà de manera dràstica gràcies a estar connectat a un optimitzador. [41]

- Microinversors: presenten un funcionament diferent dels inversors de cadena. En aquest cas, cada panell conté un inversor d'energia solar, cosa que implica que no cal que la producció vagi dirigida a un únic inversor, sinó que gràcies a que cadascuna de les plaques solars conté un microinversor que podrà transformar l'energia de corrent continu a corrent altern des de la teulada. A diferència dels inversors strings, la producció generada per un panell no afecta la resta reduint així el seu rendiment. Cal tenir en compte que el preu és superior ja que parlem de petits inversors incrustats a cadascun dels panells, dificultant la seva reparació a causa del difícil accés. [41]
- Híbrids: tenen la mateixa funció que un inversor de string convencional però a més de transformar l'energia provinent dels panells per a l'ús domèstic gestiona la càrrega/descàrrega d'energia en sistemes de bateries per al seu ús en moments en què els panells no estiguin produint. Aquests inversors es configuren per maximitzar la vida útil de les bateries, que són l'element més car de la instal·lació. Converteix el corrent continu en corrent altern gestionant la producció d'energia procedent del sol amb les bateries i abocant els excedents generats a la xarxa si les bateries estan carregades. Intercala l'ús de bateries amb l'inversor, és a dir, quan la bateria té un nivell baix, l'inversor intercedirà consumint energia procedent de la xarxa elèctrica externa. Aquest tipus de tecnologia està dissenyada per aconseguir la màxima autosuficiència del sistema i que ens permet el màxim estalvi energètic possible, però té un preu molt superior a un sistema sense bateries. Hi ha alguns inversors híbrids, coneguts com a intel·ligents, que són capaços de carregar les bateries amb energia de la xarxa elèctrica en moments en què el preu sigui baix per utilitzar-la en casos que el sistema fotovoltaic no pugui abastir la demanda elèctrica de l'habitatge. [41]

D'altra banda trobem els inversors de connexió aïllada:

- De connexió aïllada: són un tipus de tecnologia que tal com indica el nom, prescindeix totalment de la xarxa elèctrica externa, essent obligatòriament disposar d'una bateria on es pugui emmagatzemar tota l'energia solar generada a través dels panells. L'inversor extreu l'energia de la bateria i converteix el corrent continu en corrent altern perquè la puguem emprar en el nostre dia a dia.

El problema més gran que presenten és que depenen molt de les bateries i la capacitat útil d'aquestes ja que han d'abastir una residència en la seva totalitat. Si agaféssim uns dies nuvolosos seguits, podríem tenir problemes de subministrament. Funcionen de manera molt similar als inversors híbrids d'instal·lacions connectades a xarxa, però el que fa especials a aquests equips és que són capaços de generar una xarxa elèctrica pròpia d'acord amb la normativa elèctrica (230V/400V 50Hz). [41]

#### 5.5.1.4. Bateria

La bateria solar és un dispositiu que permet emmagatzemar l'energia que es genera a les plaques solars durant les hores que incideix la radiació solar. A les bateries s'emmagatzema també l'excedent d'energia per utilitzar-lo a les nits, en dies ennuvolats o quan la demanda d'energia és més gran que els panells solars.

Hi ha diferents tipus de bateria solar que es poden diferenciar tenint en compte la tecnologia amb què estan fabricades:

- Bateries de plom àcid obert: contenen sis compartiments separats però connectats en sèrie que estan submergits en àcid sulfúric. Les plaques per les quals està composta la bateria contenen els elèctrodes polaritzats positivament i negativament que s'alternen dins de la bateria. Aquest tipus de bateria es fan servir en instal·lacions aïllades gràcies al gran rendiment que tenen i el baix cost. [43]
- Bateries AGM: AGM significa Absorption Glass Material, una tecnologia que permet a les plaques de plom de la bateria absorbir més ràpid i millor l'àcid. Suporten un gran nombre de cicles de manera que el seu ús és recomanable en instal·lacions exigents, encara que també estan recomanades per a caravanes ja que es poden utilitzar com a bateria d'arrencada. Compten amb una llarga vida útil, encara que siguin sotmeses a cicles de descàrrega profunda, tenen un funcionament excel·lent i es poden recarregar. [43]
- Bateries GEL: aquest tipus de bateries contenen l'electròlit gelificat i al estar segellades no desprenen gasos nocius, per la qual cosa es podria instal·lar en un lloc amb poca ventilació. Podeu tenir cicles de descàrrega profunds amb fins a 800 cicles de vida d'aquí que sigui una bateria de gran durabilitat. Estan recomanades per a instal·lacions mitjanes i petites que necessiten una bateria eficaç i amb una funcionalitat extraordinària. [43]
- Bateries estacionàries: aquestes bateries es caracteritzen perquè es mantenen carregades constantment. Contenen un regulador que alimenta el consum i que recarrega la bateria quan es produeix una descàrrega. D'aquesta manera la bateria està en condició de baixa capacitat amb molt poca freqüència. Són recomanades per a instal·lacions fotovoltaïques.

Tenen una vida útil llarga i els seus cicles de descàrrega profunds ofereixen resultats notables per a qualsevol tipus de consum. [43]

- **Bateria de liti:** les bateries de liti es carreguen més ràpid que altres tipus, ofereixen més densitat energètica i tenen una vida útil més gran. No tenen efecte memòria pel que podrien descarregar-se al 100% o a la meitat sense que la bateria patís. Les característiques físiques de les bateries de liti difereixen dels altres tipus, però obtenen més autonomia a més que són menys pesades pel que el seu transport és més senzill. No requereix manteniment ni emet gasos de manera que poden instal·lar-se en un lloc sense ventilació. Són molt utilitzades en instal·lacions fotovoltaïques exigents del sector industrial, però cada cop més a nivell domèstic. [43]

#### 5.5.1.5. Gestor de càrregues

El gestor de càrregues és el dispositiu que s'encarrega de comptabilitzar l'energia que flueix en una instal·lació fotovoltaïca en tots dos sentits: de la xarxa elèctrica a l'usuari, així com l'energia que l'usuari aboca a la xarxa .

Aquest component fotovoltaïc és imprescindible a les instal·lacions d'autoconsum amb excedents. Quan no consumeixes l'energia produïda per les plaques solars i les injectes a la xarxa elèctrica, la comercialitzadora et compensa pels excedents energètics i suposa un estalvi important en el preu de la teva factura. També mencionar que, actualment, si no disposes de gestor de càrregues que et permeti conèixer la generació fotovoltaïca, no optes a subvencions. Aquest element es posa dins del quadre de la casa o en una caixa de mòduls auxiliars. [44]

#### 5.5.1.6. Cablejat i auxiliars

Per la part del cablejat primordialment trobem cablejat per contínua i per alterna. La part contínua és la que va del camp solar l'inversor i de la bateria l'inversor. I el cablejat en alterna és el que va del inversor al quadre de proteccions de generació i d'aquest al quadre general de baixa tensió.

Segons la ITC-BT-40 del REBT, en el seu apartat 5 "Cables de connexió" diu: "Els cables de connexió hauran d'estar dimensionats per una intensitat no inferior al 125% de la màxima intensitat del generador i la caiguda de tensió entre el generador i el punt d'interconnexió a la Xarxa de Distribució Pública i amb la instal·lació interior, no serà superior a l'1,5% de la intensitat nominal".

El cable a utilitzar per a les sèries DC de cada string fins als inversors serà del tipus solar PV1-F (AS) 0,6/1kVca - 1,8kVcc, o el seu equivalent, segons el Reglament dels Productes de la Construcció (CPR) que és Ccas1b,d1,a1 (Alta Seguretat) i té les següents característiques:

- Conductor de coure estanyat, flexible classe 5
- Temperatura màxima: 120º
- No propagador de flama UNE-EN 60332-1-2
- No propagador d'incendi UNE-EN 50399 Baixa emissió de calor i baix índex de creixement del foc UNE-EN 50399
- Baixa acidesa i corrosió dels gasos UNE-EN 60754-2
- Baixa producció de fums UNE-EN 50339
- Baixa opacitat dels fums emesos UNE-EN 61034-2
- Baixa caiguda de partícules inflamades EN 50399
- Aïllament: XLPE (Polietilè Reticulat)
- Coberta exterior: elastòmer termo-estable lliure d'halògens
- Tensió nominal: 0,6/1 kV en CA i 1,8 KV en CC
- Ús: Per a la connexió entre mòduls fotovoltaics i entre mòduls fotovoltaics i inversor (sistemes de corrent continu) Al llarg del seu recorregut per les cobertes els cables s'instal·laran a l'aire mitjançant safata reixada o conducció tancada tipus tub corrugat o gris dur.

El cable a utilitzar a la part de corrent altern serà del tipus RZ1 (AS) 0,6/1kV o el seu equivalent segons el Reglament dels Productes de la Construcció (CPR) que és Cca-s1b,d1,a1 (Alta Seguretat) i aquest cablejat complirà les següents característiques:

- Temperatura màxima: 90ºC No propagador de flama UNE-EN 60332-1-2
- No propagador d'incendi UNE-EN 50399
- Baixa emissió de calor i baix índex de creixement del foc UNE-EN 50399
- Baixa acidesa i corrosió dels gasos UNE-EN 60754-2
- Baixa producció de fums UNE-EN 50339
- Baixa opacitat dels fums emesos UNE-EN 61034-2
- Baixa caiguda de partícules inflamades EN 50399
- Aïllament: XLPE (Polietilè Reticulat)
- Coberta exterior: elastòmer termo-estable lliure d'halògens
- Tensió nominal: 0,6/1kV
- Ús: Cable per al transport i distribució elèctrica a l'aire o enterrat.

Pel que fa a les proteccions podem separar també en alterna i contínua. Pel que fa a contínua el més habitual és trobar fusibles i sobretensions.

El fusible és un component d'instal·lacions elèctriques que s'interromp o es fon quan el corrent resulta excessiu. Estan compostos per una làmina o filament fet d'un aliatge o un metall que es caracteritza per presentar un punt de fusió baix. [45]



Un sobretensions és un dispositiu dissenyat per protegir dispositius elèctrics de pics de tensió ja que gestionen o administren l'energia elèctrica d'un dispositiu electrònic connectat a aquest. Un protector de sobretensió intenta regular el voltatge que s'aplica a un dispositiu elèctric bloquejant o enviant a terra voltatges superiors a un llindar segur. [46]

Pel que respecte a la part alterna, trobarem el diferencial i el magnetotèrmic.

Els diferencials elèctrics també són coneguts com a dispositiu diferencial residual i s'instal·len a les instal·lacions elèctriques de corrent altern amb l'objectiu de protegir les persones de patir un accident directe o indirecte provocat pel contacte amb elements actius de la instal·lació, a més de protegir davant de possibles incendis que poguessin ser provocats per aquestes derivacions. [47]

El magnetotèrmic és un dispositiu que protegeix la línia elèctrica contra curtcircuits i sobrecàrregues a la instal·lació elèctrica. Aquest producte protegeix alhora de dues maneres diferents: protecció tèrmica i protecció magnètica. En primer lloc, la protecció magnètica evita que la instal·lació elèctrica es cremi a causa d'una pujada de la intensitat de corrent de manera sobtada, com per exemple la unió de dos cables de la instal·lació. En segon lloc, la protecció tèrmica evita que se sobrepassi la càrrega assignada a la instal·lació elèctrica per evitar sobrecàrrega i els seus efectes consegüents. [48]

Per tant, les diferències entre un magnetotèrmic i un diferencial és que, mentre un magnetotèrmic protegeix la instal·lació elèctrica, el diferencial protegeix les persones involucrades en aquesta instal·lació. Així que en tota instal·lació elèctrica, hi ha d'haver un automàtic i un diferencial protegint ambdós aspectes. [47] [48]

Pel que fa a materials auxiliars trobaríem també els tubs corrugats i dur pel pas del cablejat, tant en contínua com alterna.

El corrugat és un tub flexible de fàcil maneig. S'utilitza per protegir el cablejat elèctric davant de factors externs. És resistent a l'abradió i la corrosió per productes químics nocius i està fet de PVC. Al igual que el corrugat, el tub dur també acostuma a ser de PVC, la diferència està en la rigidesa i el color. Mentre que el corrugat es pot grapar però normalment va per la coberta o el terra fins i tot pel terra, el dur ja que ha de passar per dins l'habitatge fins a dir l'inversor, acostuma anar grapat a les parets i normalment es pinta. És un tema merament estètic.

Com a element addicional podem trobar la reixetes. S'acostumen a utilitzar més en indústria i es posen al sostre per posar els tubs amb els cablejats pertinents i acostumen a ser d'acer inoxidable, qualitat AISI304.

### 5.5.2. Reciclatge de la instal·lació fotovoltaica

A l'hora del reciclatge dels mòduls fotovoltaics es comença per separar els seus components d'acord amb les normatives tècniques implementades per la Unió Europea i països com el Regne unit, Alemanya i Espanya durant el 2018, tal com es veu a la taula 4. [50] [53]

Part	Mètode	Procediment
Caixa de connexions	Mecànic	Es desprèn la caixa de la coberta posterior i es pesen tant la caixa com el cablejat.
Marc metàl·lic	Mecànic	Es tallen les quatre cantonades del marc, es separen de la coberta posterior i es pesen.
Vidre	Mecànic	Es treu manualment el vidre.
Coberta posterior	Tèrmic	Es col·loca el panell al forn, quan arriba a 150°C es separa la coberta del panell.
Coberta frontal	Tèrmic	Es col·loca el panell al forn, quan arriba a 150°C es separa la coberta del vidre mitjançant unes pinces.
Cèl·lules fotovoltaïques	Vibració	Es separen les cèl·lules de l'EVA mitjançant un llit vibratori. Després es trituren en trossos de 4-5mm per aplicar-li després processos químics.
Contacte metàl·lic present en les cèl·lules	Mecànic	S'extreuen els contactes d'alumini de la superfície restant de la coberta frontal.

*Taula 4. Mètodes de separació dels components del mòdul fotovoltaic. (Font: Disposición final e impacto Ambiental de las celdas fotovoltaicas)*

Un cop separades les peces per tractaments mecànics de separació tall i trituració, i els tractaments tèrmics del vidre es procedeix a la piròlisis i gasificació de l'EVA. Aquests mètodes sobre el polímer generen gasos i olis que més tard passen per un procés de lixiviació àcida a altes temperatures i electròlisis, tal com es veu a la taula 5. [53]

Procés	Material separat	Procediment
<b>Piròlisis en continu amb gasificació</b>	Polímer EVA i cèl·lules de silici	Mitjançant calor i una quantitat controlada d'oxigen, es produeix la degradació del material reduint el volum convertint-lo en gas o combustible en excepció del vidre i metall. Després del procés queden les cendres de silici.
<b>Lixiviació àcida amb H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> i H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b>	Cendres de silici cristal·lí	Mitjançant un dissolvent àcid, el material sòlid dissol un dels seus components. Produint silici purificat com a possible matèria prima.
<b>Electròlisis</b>	Solució amb metalls contaminants	Separació de substàncies submergides en una dissolució a través de corrent elèctric continu. Amb aquest pas es recuperen els ions metàl·lics separats del silici que queden a la solució després de la lixiviació.

*Taula 5. Tractament del polímer EVA i els residus que genera. (Font: Disposició final e impacte Ambiental de las celdas fotovoltaicas)*

Pel que fa a l'impacte ambiental dels materials, com l'alumini del marc, el silici o plom de les cel·les, el vidre o el polímer EVA es pot veure resumit a la taula 6. [53]

Part	Material	Impacte ambiental
<b>Cèl·lules solars</b>	Silici	El silici és el material predominant en els panells. No es dissol bé en aigua però al estar exposat al aire lliure pot generar residus amb un nivell baix de toxicitat.
	Plom	Pot generar lixiviats al contacte amb aigua, cosa que pot afectar els ecosistemes. En animals i humans afecta a nivell nerviós, cardíac i respiratori.

<b>Caixa de connexions</b>	Caixa de connexions	No genera residus més enllà del procés de refabricació que pot incloure algun tipus de combustible.
<b>Marc</b>	Alumini	No és contaminant ja que pot ser reciclat i reutilitzat. Tot i això, la coberta posterior pot contenir fluor que durant tractament tèrmics pot produir emissions de gasos tòxics.
<b>Vidre de protecció</b>	Vidre	No produeix residus ja que després del procés de trituració pot ser venut com a matèria prima.
<b>Encapsulant</b>	EVA	És un material fàcil de reciclar i reutilitzar quan aquest està lliure sense tenir un gran impacte en el medi ambient.

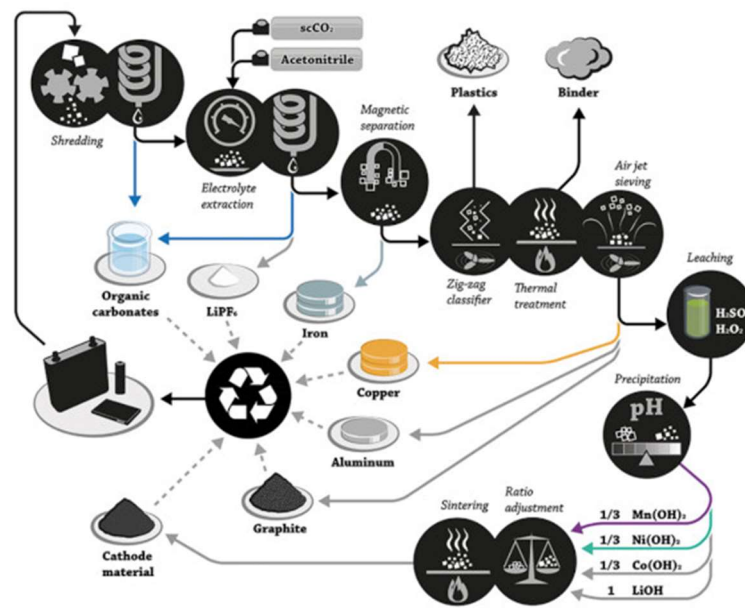
*Taula 6. Impactes ambientals dels materials dels panells solars. (Font: Disposición final e impacto Ambiental de las celdas fotovoltaicas)*

La vida útil d'un mòdul solar ronda els 30 anys, però això també depèn d'agents externs com els meteorològics o l'empresa que fabrica el panell. La gran majoria dels materials usats per un panell són de fàcil separació i recuperació, sobretot el vidre, alumini i EVA, els quals es classifiquen com a residus de maneig especial tipus RAEE, recuperant-se el 96% de material dels panells per recuperació i reutilització dels components per a nous processos industrials. [53]

Tot i que el polímer EVA té un alt percentatge de recuperació, no s'aconsegueix separar al 100% del vidre i el cadmi i plom, presents en alguns panells els quals són considerats d'alt risc tòxic ocasionant que es manipulin com a materials perillosos per evitar que generin danys en l'ambient, essent en general la matèria de més perillositat dels panells. [51]

Quan parlem de dispositius electrònics, englobem sobretot inversors, gestors de càrregues, optimitzadors d'ombres i d'elements similars. El que passa amb aquests elements és el mateix que amb els mòduls però de manera més fàcil. Bàsicament estan fabricats amb materials de fàcil reutilització i reciclatge com són coure, alumini i diferents polímers. El mateix passaria doncs amb el cablejat i els seus accessoris. Bàsicament són de coure i/o alumini recoberts de poliolefina. El procés de rentat de Krones amb pretractament, tractament càustic i post rentat en calent permet l'obtenció d'escates netes, que resulten ideals per a aplicacions de qualitat (fibres, film, emmotllament per injecció) i tornar a utilitzar la poliolefina.

Pel que fa a les bateries, les més usades són les de liti. La recuperació dels materials que componen les bateries de liti es realitza mitjançant el procés de lixiviació. És a dir, a través de l'ús d'àcids per dissoldre els components de les bateries una vegada desmantellat el dispositiu. El procés íntegrament ha de seguir una sèrie de passos, iniciant per la recol·lecció de bateries, classificació i descàrrega d'electricitat. Després, es realitza la separació dels seus components, fins a assolir obtenir l'ànode i el càtode (parts que permeten la reacció electroquímica) completament separats. D'aquesta manera cada part es treballa per separat per recuperar les matèries primeres de la bateria, tal com es veu a la il·lustració 15. [52] [53]



Il·lustració 15. Mètode de reciclatge de les bateries. (Font: Condorchem Envitech)

## 6. Cas d'estudi

Granta EduPack és un *software* visual i interactiu que conté una base de dades i eines dividides en tres nivells. A tots els nivells, Granta EduPack ofereix una base de dades completa de materials i informació de processos que es manté sempre actualitzada. Això ens permet estudiar i filtrar els materials en gràfics de tres eixos atenent uns requisits mecànics, tècnics o químics si es vol.

Eco Audit és una de les eines que podem trobar dins de Granta EduPack. L'objectiu de l'Eco Audit és permetre avaluar ràpidament l'impacte ambiental d'un producte i proporcionar orientació sobre com reduir-lo. Això s'aconsegueix centrant-se en dos fets ambientals ben coneguts, l'ús d'energia i la petjada de CO<sub>2</sub>, i identificant quina de les principals fases de vida (material, fabricació, transport, ús i final de vida) és més exigent d'ambdues.

S'utilitzarà una instal·lació fotovoltaica real per determinar, mitjançant el *software* Granta EduPack, la petjada de carboni i el consum d'energia associat que aquesta té. Amb aquestes dues variables es compararà amb altres mètodes d'obtenció d'energia la petjada de carboni i energia utilitzada. El resultat serà la comparació de grams de diòxid de carboni equivalent i megajoules per kWh produït per cada mètode.

Per realitzar un estudi exacte, es tindrà en compte tots els elements utilitzats en la instal·lació fotovoltaica amb la seva pertinent vida útil atenent als materials, fabricació, ús, eliminació i potencial de fi de vida. Es tindrà en compte també les diferències que puguin existir entre l'energia fotovoltaica i altres mètodes d'obtenció d'energia. Per exemple, en el cas d'autoconsum residencial, la energia emprada serà menor que la nuclear, això és degut a la infraestructura necessària per cada una dista molt. També és cert que la producció energètica no és la mateixa, per tant es tindrà en compte la producció total durant tota la vida útil de cada mètode, el cost energètic i petjada de carboni per treure'n el còmput total.

La identificació de la fase dominant permet establir quin aspecte del disseny s'hauria d'optimitzar per tal de minimitzar la seva petjada ambiental.

Totes les dades ambientals requerides per l'eina Eco Audit relacionades amb els materials i els processos s'emmagatzemen a les fitxes de material. Aquestes dades s'utilitzen de dues maneres:

- Determinar quins processos "Primaris" i "Secundàries" i opcions de "Fi de vida útil" són aplicables al material.
- Càlcul de l'energia incorporada i la petjada de CO<sub>2</sub> associada al cicle de vida especificat.

En el nostre cas no ens centrem tant en com reduir l'impacte d'una instal·lació fotovoltaica, sinó que és simplement d'estudi. Un cop conegudes les conseqüències ambientals d'una instal·lació fotovoltaica, es pot comparar quines són les conseqüències per aconseguir el mateix nivell d'energia amb altres mètodes.

En el nostre cas, els resultats que ens interessin són per una banda veure quina energia associada i petjada de carboni té una instal·lació fotovoltaica residencial i la comparació d'aquestes amb altres mètodes d'obtenció d'energia i per altra banda, quina és la fase que domina en el nostre cas.

## 6.1. Construcció de la instal·lació fotovoltaica d'estudi

Per poder veure realment quins són els passos a seguir per dur a terme una instal·lació fotovoltaica, ens hem recolzat en un cas pràctic que jo mateix he realitzat durant les meves pràctiques a l'empresa Bancells Ecotècnics.

El primer pas és conèixer al màxim la situació i context de l'edifici per conèixer totes les especificacions que s'hauran de tenir en compte. El segon pas és conèixer el consum de l'habitatge, ja sigui per factura o corba horària, per poder dimensionar la instal·lació fotovoltaica per tal d'abastir el consum però no generar excedents no compensats. L'habitatge del nostre cas d'estudi és un habitatge unifamiliar aïllat amb un consum elevat, de gairabé 10.000 kWh.

Un cop es coneix el consum, és dimensiona el camp solar. Mitjançant eines com el "Photovoltaic Geographical System", podem conèixer la generació elèctrica a partir de la localització, potència instal·lada, la inclinació de la coberta i l'orientació o azimuth. [54] L'azimut és l'angle d'una direcció comptat en el sentit de les agulles del rellotge prenent com a origen un punt cardinal. Normalment en navegació i topografia es pren el nord com a origen mentre que en l'energia fotovoltaica es pren el sud. Això és degut que al sud trobem el punt de màxima generació pel que fa a la radiació del sol. Està comprovat que si els mòduls estan orientats a azimuth 180º nord, la seva producció baixarà un 33% respecte a si s'orienten amb un azimuth 0º sud, és per això que sempre es buscarà una orientació més aviat sud sempre que sigui possible. En el nostre cas, s'utilitzen els panells model HiE-S410VG PERC SHINGLED de HYUNDAI. L'elecció d'aquests mòduls es deu principalment a tres factors, l'alta eficiència que tenen, el preu i les garanties d'ús. La seva eficiència és del 20,9% i tenen una garantia de 25 anys.

Tenint en compte l'azimut, l'orientació i la localització de l'habitatge, s'ha determinat que el número a utilitzar en aquest cas és de 18. Amb el PVGIS pots veure tota la producció anual depenent de la potència instal·lada. Sabent que cada mòdul és de 410 W, simplement s'ha anat provant múltiples de 410 fins a trobar una generació més elevada que el consum, en aquest cas 9.965 Wh o 9,97 kWh que corresponen als 18 mòduls.

En aquest punt ja es coneixen els números de mòduls a utilitzar, per tant, s'ha de veure quina estructura és la òptima. El cas d'estudi és una coberta amb una inclinació de 15° de teula portuguesa d'asfalt. S'opta per un suport coplanar continu cargolat per cobertes de teula de l'empresa S:Flex. La disposició de l'estructura depèn, com és obvi, de la disposició dels mòduls. La coberta d'aquest cas no era rectangular i disposava d'arbres en un dels costats. És per això que els mòduls s'han separat en 4 línies de 3 i una de 4. En aquest cas al ser una coberta inclinada només es pot optar per una estructura coplanar. S'escull l'empresa S:Flex pel mateix motiu que per als mòduls. És a dir, pel preu i garantia.

Un cop es dimensiona el camp solar perquè produeixi energia elèctrica per sobre el consum de l'habitatge sense generar excedents no compensats, s'escull l'inversor. Amb el PVGIS podem saber la generació horària de cada dia durant tot el darrer any en una localització amb un azimuth i inclinació determinades. Si dins d'aquests valors busquem els més elevats, que normalment ronda les 14h del 15 de juliol, sabrem els punts on tindrem una potència més elevada. Aquests punts determinen l'elecció de l'inversor. Si sobredimensionem l'inversor per a la nostra instal·lació, el més probable és que no s'engegui, ja que aquests tenen una tensió mínima d'arrencament. I, si l'infradimensionem, com que l'inversor està limitat a una potència de sortida, part de la nostra generació s'estarà perdent ja que l'inversor talla la sortida al seu valor per defecte. En el cas d'estudi s'opta pel model SUN2000-6KTL-M1 de HUAWEI. Són uns models molts bons pel que fa la relació qualitat-preu i a més a més, són híbrids. Això comporta que si es planteja afegir una bateria, no es requereix d'elements addicionals com passa amb altres inversors, cosa que redueix molt el cost de la instal·lació. En addició, els inversors de HUAWEI ja porten les proteccions de contínua incorporades.

Un cop escollit l'inversor, es determina si existeix la necessitat d'adquirir també una bateria. Això depèn de cada instal·lació. En el nostre cas, era necessari. És una casa aïllada prop del bosc, i amb freqüents pèrdues d'electricitat; per això és oportú disposar d'una bateria per aguantar els moments on no hi hagi la llum és oportú. Ja que l'inversor és HUAWEI, es va optar per la bateria LUNA2000-5-S0. El requisit més important a l'hora d'instal·lar una bateria és, primer, veure si la bateria és capaç de carregar-se correctament amb la corba de consum de la instal·lació, i segon, que tingui una capacitat útil suficient per fer aguantar l'habitatge el màxim temps amb electricitat.

També, al ser HUAWEI, el gestor de càrregues només pot ser el Power Sensor. En aquest cas, trifàsic. El subministrament depèn de cada habitatge, en el nostre cas era trifàsic 380 V. D'aquesta manera, els elements més troncal ja estan escollits.

Pel que fa les proteccions, primer s'escullen les de contínua. En el cas de HUAWEI, no fa falta posar ni fusibles, ni porta fusibles ni sobretensions en instal·lacions tant petites. És a dir, sí que en porten, però les inclou el mateix inversor. En altres marques no té perquè ser així. Pel que fa a les proteccions d'alterna, sí que s'han d'escollir el magnetotèrmic i diferencial. El magnetotèrmic ha de tenir, per una banda, els mateixos pols que la tensió de subministrament, i per altra banda la intensitat del



magnetotèrmic ha de ser una mica superior a la intensitat de sortida de l'inversor. D'aquesta manera, si l'inversor per error treu més intensitat, saltarà el magnetotèrmic. Per altra banda, s'escull el diferencial. El diferencial també es regeix per dues condicions. La primera és la sensibilitat que es vol adavant de a pèrdues i, normalment amb residencials i instal·lacions petites, és de 30mA. La segona condició és, igual que en el magnetotèrmic, que tingui el mateix nombre de pols que la tensió de subministrament. En resum, el diferencial és de 4P de 40A 30mA i IGA, i el magnetotèrmic és de 4P 16A.

Un cop determinats els elements, s'escull la ubicació on es disposa l'inversor. Els inversors poden estar a l'exterior però han d'estar coberts. Això dependrà del rang de protecció IP que portin. En el nostre cas l'inversor es posa dins del garatge, a sota de l'habitatge. Això ens serveix per saber quants metres de cablejat en contínua haurem de tirar. S'ha de calcular la caiguda de tensió mitjançant l'equació 5.1 i 5.2 per cable, ja sigui positiu, negatiu i terra i en cap cas, pot superar el 1,50% tal com marca el REBT. Per al càlcul de la intensitat màxima del conductor en contínua, que en el nostre cas és de 4mm<sup>2</sup>, s'ha utilitzat la taula A.52-1 BIS de la Norma UNE 20460-5-523:2004 i s'ha considerat una instal·lació tipus B1 (conductor aïllats en conducte) de dos conductors XLPE.

$$cdt(\%) = \frac{L \times I_{mppt}}{\rho \times V_{mppt} \times S} \times 100 \text{ (Eq. 5.1)}$$

$$cdt(V) = cdt(\%) \times V_{mppt} \text{ (Eq. 5.2)}$$

On:

- cdt(%) Caiguda de tensió (%)
- cdt(V) Caiguda de tensió (V)
- L Longitud del cable positiu més el negatiu (m)
- Imppt Intensitat en el punt de màxima potència (A)
- Vmppt Tensió en el punt de màxima potència (V)
- ρ Conductivitat del conductor (m/Ω·mm<sup>2</sup>)
- S Secció del conductor (mm<sup>2</sup>)

La conductivitat del conductor depèn de la temperatura del mateix. Donat que els conductors de corrent continu tenen part del seu recorregut per l'exterior, és previsible que la seva temperatura de funcionament sigui superior a la normal, per tant es calcularà la temperatura dels mateixos per a una temperatura ambient de 70°C. Per calcular la temperatura d'operació del conductor utilitzarem la hipòtesi que sosté que l'augment de temperatura respecte a la temperatura ambient, és proporcional al quadrat del valor eficaç de la intensitat. Seguint aquesta hipòtesi, l'expressió que ens permetrà calcular la temperatura del conductor serà:

$$T = T_{amb} + (T_{max} - T_{amb}) \times \left(\frac{I}{I_{max}}\right)^2 \quad (\text{Eq. 5.3})$$

On:

- T                      Temperatura d'operació del conductor (°C)
- Tamb                Temperatura ambient (70°C)
- Tmax                Temperatura màxima del conductor (120°C)
- I                      Intensitat prevista pel conductor (A)
- Imax                Intensitat màxima del conductor en funció del tipus d'instal·lació (A)

També s'ha de tenir en compte que la intensitat admissible requerida a la ITC-BT-40 sigui superior al 125% segons l'equació 5.3.

Els cables per corrent continu s'han d'etiquetar de manera que en qualsevol quadre de connexions s'observi clarament la polaritat i el subgrup dels panells als quals pertany aquest cable. L'etiqueta ha d'indicar la polaritat a l'entrada de cada inversor i el nombre d'inversors seguint la nomenclatura: Exly (p.e.: +E3I2 indica pol positiu de l'entrada 3 de l'inversor 1).

Sabent doncs que ha de complir aquests requisits, el cablejat en contínua serà de 60 metres en una secció de 4mm<sup>2</sup>. En total doncs seran 180 metres.

El més habitual és que l'inversor vagi a prop del quadre de l'habitatge, cosa que ens redueix molt el cablejat en alterna. Per al càlcul de la intensitat màxima del conductor en alterna també s'ha utilitzat la taula A.52-1 BIS de la Norma UNE 20460-5-523:2004. En el cas d'alterna, la caiguda de tensió depèn de cada tram. El més comú i, en el nostra cas, tenim un tram que va de l'inversor al quadre de proteccions de generació i, d'aquest, al quadre general de baixa tensió. Podria passar per exemple que el subministrament fos trifàsic 230V, en aquest cas faltaria un autotransformador reversible de 230/380V i un quadre de proteccions de l'autotransformador entre l'inversor i el quadre general de baixa tensió. També ha de complir que la caiguda de tensió en tot el tram sigui inferior al 1,5% seguint l'equació 5.4 i 5.5. També s'ha de tenir en compte que la intensitat admissible requerida a la ITC-BT-40 sigui superior al 125%. Així doncs s'han utilitzat 10 m per R, S, T, N i terra de 4mm<sup>2</sup> en alterna.

L'expressió a utilitzar pel càlcul de la caiguda de tensió en un circuit trifàsic de corrent altern és:

$$cdt(\%) = \frac{\sqrt{3} \times D \times I}{\rho \times V \times S} \times 100 \quad (\text{Eq. 5.4})$$

$$cdt(V) = cdt(\%) \times V \quad (\text{Eq. 5.5})$$

On:

- cdt(%) Caiguda de tensió (%)
- cdt(V) Caiguda de tensió (V)
- D Distància del cablejat (m)
- I Intensitat de fase (A)
- V Tensió de línia (V)
- $\rho$  Conductivitat del conductor (m/ $\Omega$ ·mm<sup>2</sup>)
- S Secció del conductor (mm<sup>2</sup>)

La conductivitat del conductor depèn de la temperatura del mateix. Per calcular la temperatura del conductor utilitzarem la hipòtesi que diu que l'augment de temperatura respecte a la temperatura ambient, és proporcional al quadrat del valor eficaç de la intensitat. Seguint aquesta hipòtesi, l'expressió que ens permetrà calcular la temperatura del conductor serà:

$$T = T_{amb} + (T_{max} - T_{amb}) \times \left(\frac{I}{I_{max}}\right)^2 \text{ (Eq. 5.6)}$$

On:

- T Temperatura d'operació del conductor (°C)
- Tamb Temperatura ambient (50°C)
- Tmax Temperatura màxima del conductor (90°C)
- I Intensitat prevista pel conductor (A)
- Imax Intensitat màxima del conductor en funció del tipus d'instal·lació (A)

Per al càlcul de la secció de terra s'utilitza l'ITC-BT-18 de l'REBT corresponent a les instal·lacions de posta a terra, detalla en el seu punt 3.4 quina és la secció mínima a considerar del conductor de protecció. En aquest sentit, la secció mínima s'obtindrà a través de la taula 7 o bé pel càlcul conforme el que s'indica a la norma UNE 20.460-5-54 apartat 543.1.1.

Secció dels conductors de fase de la instal·lació S (mm <sup>2</sup> )	Secció mínima dels conductors de protecció Sp (mm <sup>2</sup> )
S ≤ 16	Sp = S
16 < S ≤ 35	Sp = 16
S > 35	Sp = S/2

*Taula 7. Selecció de secció mínima dels conductors de protecció depenent dels conductors de la instal·lació. (Font: REBT)*







El cablejat en continua passa per un mateix tub corrugat de PVC en aquest cas amb un diàmetre de 25mm mentre que el corrent en alterna va en tub gris dur també de PVC de 25mm.

## 6.2. Antecedents Granta EduPack

### 6.2.1. Panells solars

En aquest cas doncs, com s'ha comentat, s'han utilitzat 18 unitats dels mòduls HiE-S410VG de HYUNDAI. Les característiques tècniques s'adjuntaran a l'annex però les dimensions i el pes són 1140mmx1719mmx35mm i 22 kg respectivament. La tensió nominal és 38,8 V, el corrent nominal és 10,57 A, la tensió en circuit obert és 46,6 V, el corrent en circuit obert és 11,07 A i l'eficiència és de 20,9%.

Sabent les dimensions del panell solar i el material en que estan realitzades cada una de les parts es pot, a través de la densitat de cada material, treure la distribució del pes de cada una de les parts tal com s'observa a la taula 8.

Cantidad	Nombre del componente	Material	Contenido reciclado	Masa (kg)	Proceso primario	Fin de vida
18	Coberta frontal	 Borosilicate - 7070	Virgen (0%)	8,33	Moldeo de vidrio	Reciclar
18	Coberta posterior	 EVA (Shore A85, 25% vin...	Virgen (0%)	3,73	Moldeo de polímeros	Reciclar
18	Encapsulat	 EVA (Shore A85, 25% vin...	Virgen (0%)	3,73	Moldeo de polímeros	Reciclar
18	Caixa connexions	 Aluminum, EN AC-480... ▲	Virgen (0%)	0,58	Fundición	Reciclar
18	Cèl·lules fotovoltaïques	 Single crystalline silico... ▲	Virgen (0%)	0,91	Incl. en el valor del material	Refabricación
18	Marc de suport	 Aluminum, 5454, H111 ▲	Virgen (0%)	4,72	Extrusión, laminado	Reciclar

Taula 8. Materials i distribució de pesos del panell solar HiE-S410VG.

En aquesta primera part, s'ha tingut en compte una fabricació de zero de tots el materials però amb un fi de vida de reciclatge i, en cas de que no es pugui, de refabricació. La coberta frontal està produïda de borosilicat – 7070 amb emmotllament de vidre, la coberta posterior és d'EVA igual que l'encapsulat i els dos estan fabricats a través de emmotllament de polímers, la caixa de connexions és d'alumini EN AC-48000 chill cast T5 a través de fosa, les cèl·lules fotovoltaïques de silici ja tenen una entrada concreta en el programa i finalment el marc de suport és d'alumini 5454 H111 mitjançant el laminat.

Per altra banda, s'ha realitzat el mateix experiment però amb materials reciclats. La coberta frontal, caixa de connexions i el marc de suport es poden reciclar amb un % típic que marca el programa. L'EVA de la coberta posterior i de l'encapsulat només es poden reutilitzar, de la mateixa manera que les cèl·lules fotovoltaïques. Finalment s'ha de tenir en compte que al final de vida tots els materials es poden reciclar o reutilitzar, amb l'excepció de les cèl·lules fotovoltaïques, que s'haurien de refabricar. En el cas del nostre estudi, s'ha calculat per 18 mòduls, és per això que cada element compte amb 18 unitats.

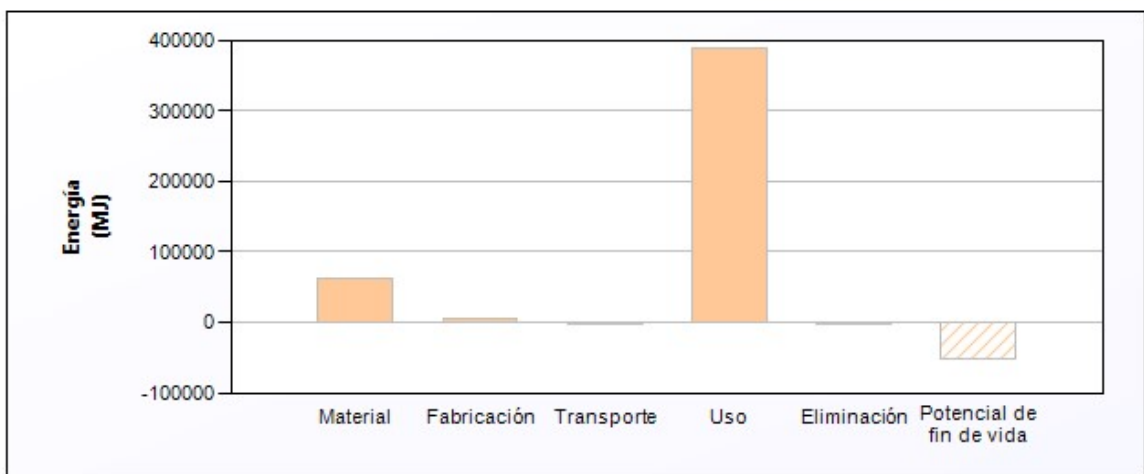
Pel que respecte al transport s'ha tingut en compte la distància fins a la seu central de HYUNDAI, la marca dels mòduls. És cert que l'empresa té diferents sucursals i fàbriques però per realitzar l'estudi de manera equitativa s'ha tingut en compte totes les seus centrals dels diferents productors.

L'empresa de HYUNDAI està situada a Seül, Corea del Sud, amb una distància de 9578km fins a la nostra destinació amb transport marítim.

A la fase d'ús, la vida útil és la que marca el fabricant i és de 30 anys. El país d'ús és Espanya i estarà en mode estàtic de placa solar de 410W que estarà en ús 24 hores al dia, 365 dies durant 30 anys.

Un cop tenim la distribució de materials, el transport i l'ús, el *software* et dona un informe pel que fa a l'energia associada i petjada de carboni per cada fase. D'igual manera ens representa els resultats de manera gràfica tant en MJ com kg de CO<sub>2eq</sub>.

Respecte l'anàlisi d'energia, en el cas de mòduls nous, trobem una energia associada anual equivalent de 15100 MJ/any que es reparteix durant tota la vida útil com observem al gràfic 11.



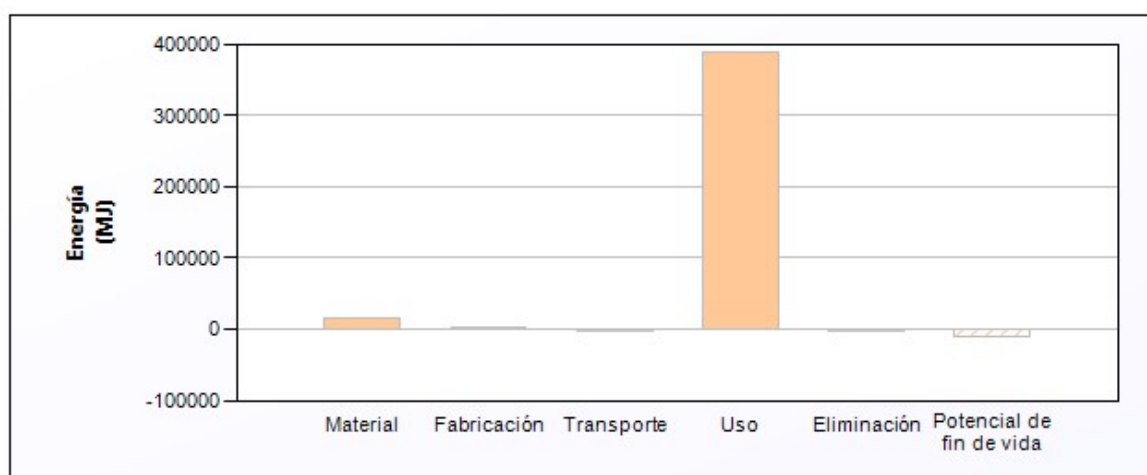
Gràfic 11. Energia equivalent (MJ/any) dels panells solars nous HiE-S410VG.

Pel que fa la petjada de CO<sub>2</sub>, tenim una petjada de carboni anual equivalent mitja de 143kg/any durant els 30 anys de vida útil. Aquí el pes més gran el trobem en els materials, tal com s'observa en el gràfic 12, i no en el seu ús tal com es veia a l'anàlisi d'energia. També s'observa que el potencial de fi de vida és molt més elevat que en el cas de l'anàlisi d'energia.



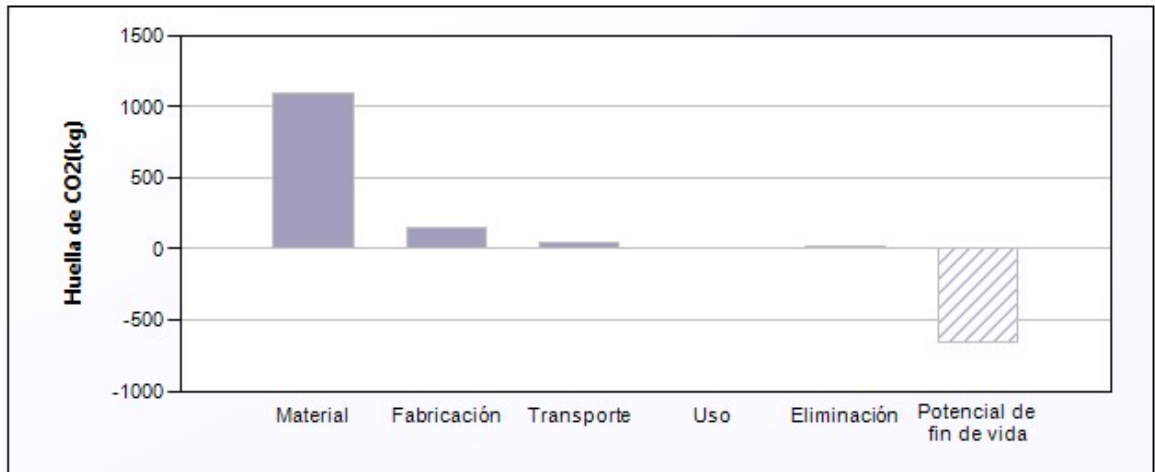
Gràfic 12. Petjada de carboni equivalent (kg/any) dels panells solars nous HiE-S410VG.

Si observem l'anàlisi dels mòduls reciclats s'observa una disminució de l'energia associada anual equivalent mitja de 13.600MJ/any durant els 30 anys de vida útil distribuït tal com es veu al gràfic 13.



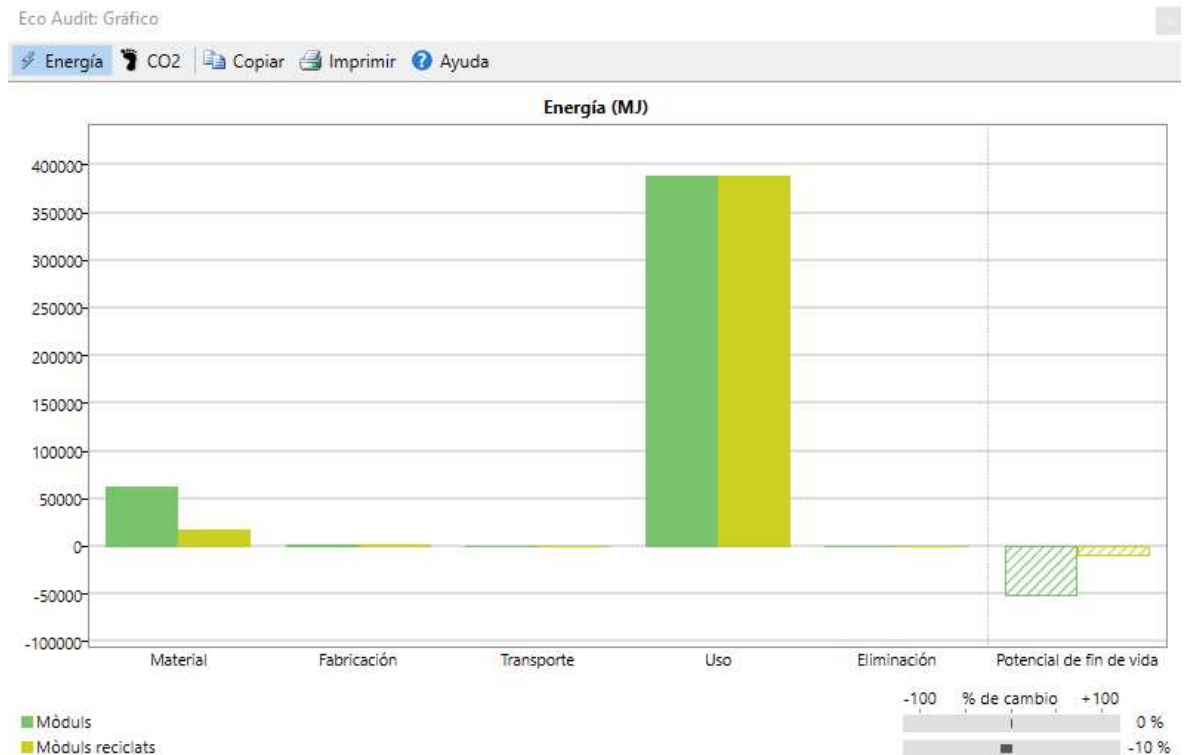
Gràfic 13. Energia equivalent (MJ/any) dels panells HiE-S410VG reciclats.

S'observa una disminució bastant substancial en els materials mentre que en el cas de l'ús, segueix igual. En el cas de la petjada de CO<sub>2</sub>, veiem una disminució molt més gran ja que, en aquest cas, la petjada de carboni anual equivalent mitja durant els 30 anys d'ús és de 43,5 kg/any distribuïts tal com s'observa en el gràfic 14 durant la seva vida útil.

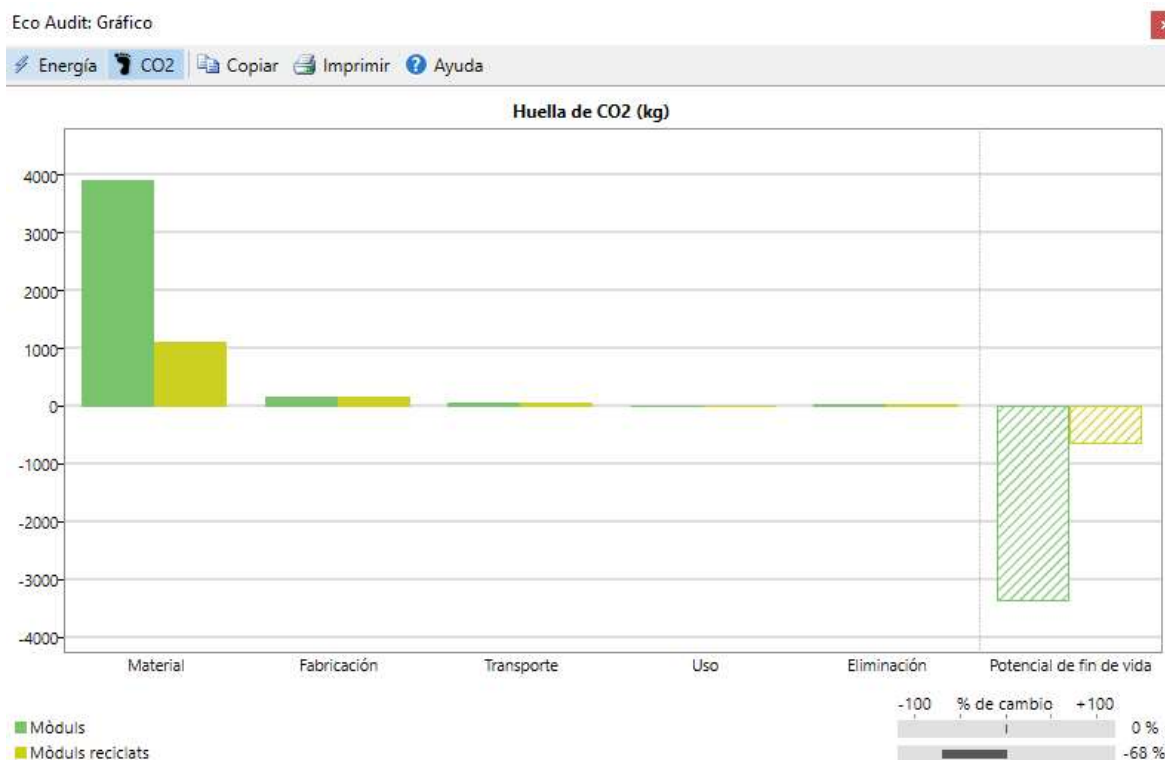


Gràfic 14. Petjada de carboni equivalent (kg/any) dels panells solars HiE-S410VG reciclats.

A la comparativa de l'anàlisi d'energia del gràfic 15 i la comparativa de la petjada de carboni del gràfic 16 veiem en forma de gràfic la distribució de fases. Segons la taula 8, veiem que la gran disminució apareix a la petjada de carboni i no tant en l'energia associada. Això és bàsicament perquè la fase que predomina en la producció de petjada de carboni és la d'ús, que sí que es veu reduïda si part dels mòduls són reciclats, mentre que per l'energia associada no és tan important en el material i aquesta consumeix igual en ambdós casos.



Gràfic 15. Comparativa d'energia entre mòduls HiE-S410VG nous i reciclats en MJ.



Gràfic 16. Comparativa de petjada de carboni entre mòduls HiE-S410VG nous i reciclats.

	MJ/any	Kg CO <sub>2</sub> /any	Total MJ durant la seva vida útil	Total Kg CO <sub>2</sub> durant la seva vida útil
<b>Nou</b>	15100	143	453000	4290
<b>Reciclat</b>	13600	43,5	408000	1305

Taula 9. Taula resum d'energia associada i petjada de carboni per als dos casos del mòdul HiE-S410VG.

### 6.2.2. Inversor

L'inversor utilitzat és el model SUN2000-6KTL-M1 trifàsic de HUAWEI. Té una potència assignada en corrent continu de 9kW, 6kW de potència de sortida en corrent altern, dos seguidors MPPT amb una entrada cada seguidor, rendiment màxim de 98,4%, una eficiència europea de 97,8% i un grau de protecció IP-65. S'adjunta la fitxa tècnica a l'annex del treball.

Pel càlcul de la distribució de pes s'ha tingut en compte, per una part les dimensions de l'inversor que són 365mmx365mmx156mm, i per altra part, els tres components bàsics de l'inversor que són: la carcassa que envolta l'inversor, un inductor que emmagatzema energia en forma de camp magnètic, un transistor que actua com a amplificador i commutador, i per últim el transformador que permet el canvi d'un tipus de subministrament a un altre.



Tenint en compte el material de la carcassa i, que els altres tres elements tenen una partida pròpia en el programa, la distribució de pesos queda com es veu a la taula 10.

Cantidad	Nombre del componente	Material	Contenido reciclado	Masa (kg)	Proceso primario	Fin de vida
1		Inductor	Virgen (0%)	0,8	Incl. en el valor del material	Reutilizar
1		Transistor	Virgen (0%)	0,5	Incl. en el valor del material	Reutilizar
1		Transformer	Virgen (0%)	1,3	Incl. en el valor del material	Reutilizar
1	Carcassa	Aluminum, EN AC-480...	Virgen (0%)	10	Fundición	Reutilizar
1	Gestor de càrregues	Small (hand held) elect...	Virgen (0%)	1,2	Incl. en el valor del material	Reutilizar

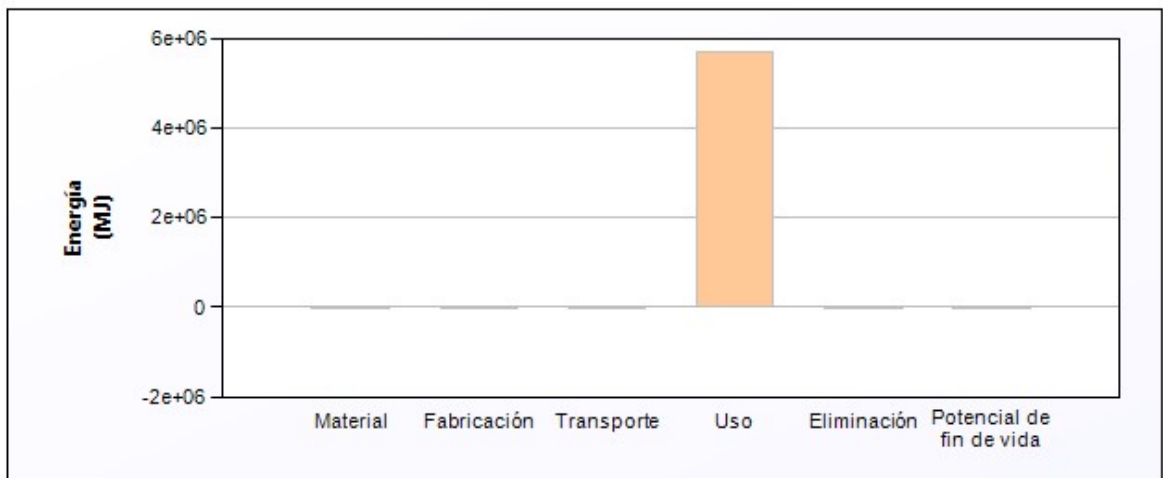
Taula 10. Materials i distribució de pesos de l'inversor SUN2000-6KTL-M1.

Al igual que amb els mòduls, s'han realitzat dos experiments. El primer amb materials nous amb un final de vida reutilitzable i el segon amb materials reutilitzats. Els elements de l'inversor no es reciclen, sinó que es reparen i es reutilitzen. I també s'ha de tenir en compte que els elements de l'inversor ja tenen en compte el procés primari de fabricació en excepció del metall que conforme la carcassa, que es fabrica per fosa. És el cas de l'alumini EN-AC-48000, chill cast T5.

Pel transport s'ha tingut en compte la seu principal de l'empresa de fabricació, HUAWEI. Òbviament passa com en el cas dels mòduls i és que tenen més sucursals i fàbriques però per fer-ho equitatiu s'ha calculat des de Shenzhen de Xina. El transport és de 10.020 km des de la ubicació de l'empresa de la instal·lació i s'ha comptabilitzat un transport marítim.

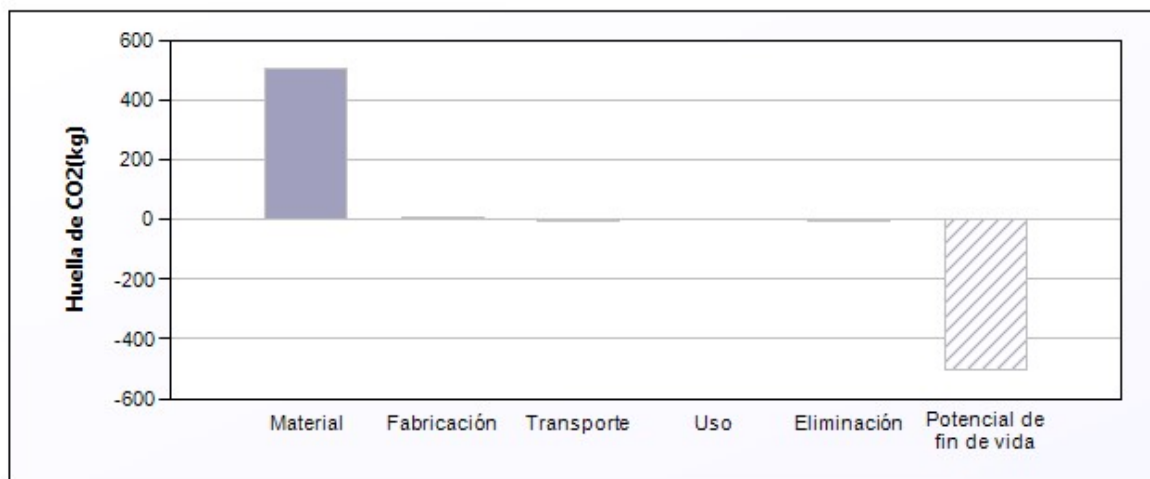
Pel que fa al temps d'ús s'ha tingut en compte la vida útil que presenta l'empresa, que són 30 anys. El producte funcionaria en mode estàtic fotovoltaic que ja presenta una partida dins del programa durant 24 hores al dia, 365 dies l'any durant 30 anys.

Pel que fa a l'anàlisi d'energia, la gran majoria de pes recau sobre l'ús de l'inversor i no tant en el transport, fabricació o extracció de material tal com es veu al gràfic 17 durant tota la vida útil. L'energia associada anual mitja al llarg de 30 anys de vida útil és de 189.000 MJ/any.



Gràfic 17. Energia equivalent (MJ/any) de l'inversor SUN2000-6KTL-M1 nou.

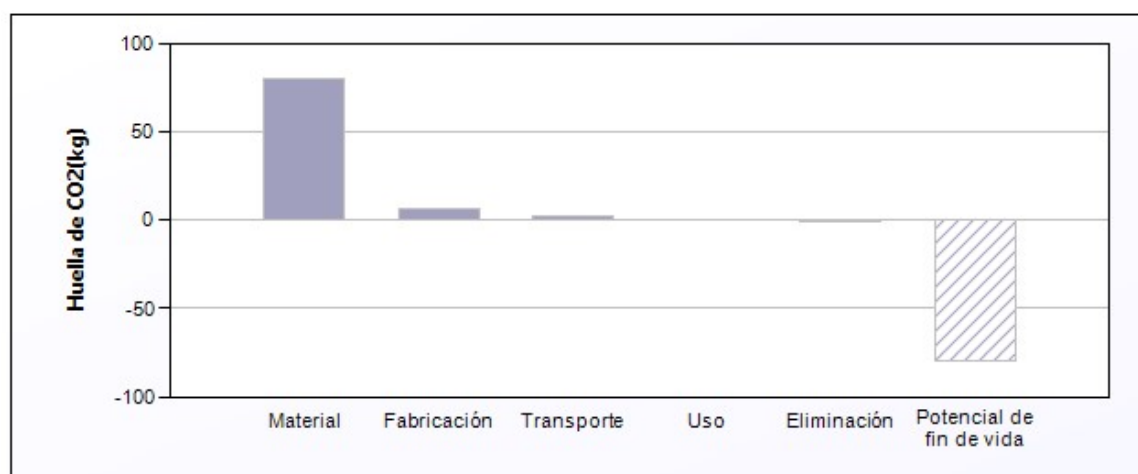
En canvi, quant a la petjada de carboni, el pes més elevat recau en l'extracció del material tal com es veu al gràfic 18 que representa el total de la vida útil. La petjada de carboni anual mitja al llarg de 30 anys de vida útil és de 8,57 kg/any.



Gràfic 18. Petjada de carboni equivalent (kg/any) de l'inversor SUN2000-6KTL-M1 nou.

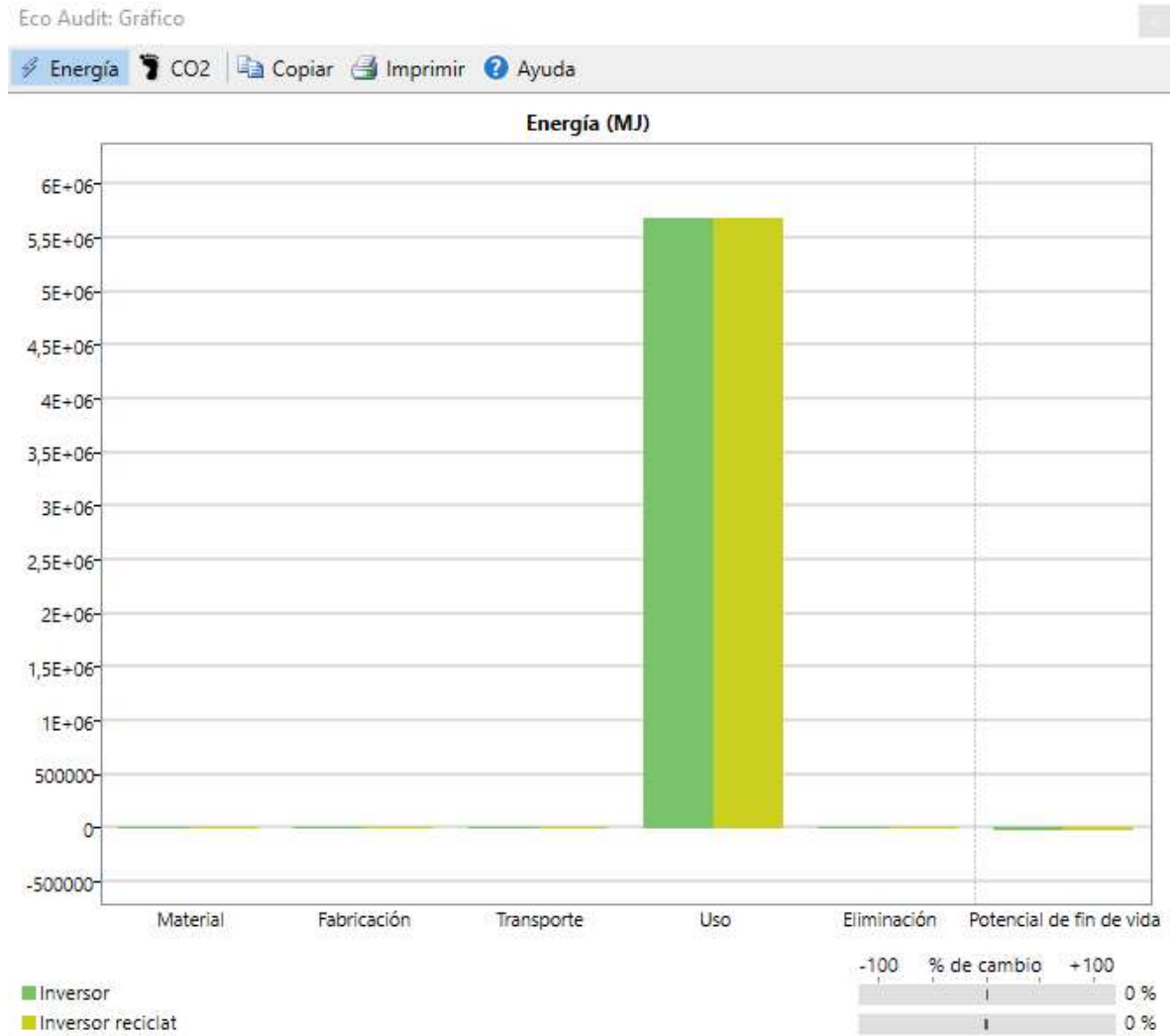
Té sentit ja que encara que es pugui necessitar energia durant el transport o fabricació, això seria durant el primer any mentre que l'inversor estarà 30 anys consumint energia directa de la xarxa. En canvi si parlem de petjada de carboni, la fase dominant és la d'extracció de materials.

Pel que fa a l'energia requerida, no veiem canvi en el cas de l'inversor reciclat ja que tota l'energia necessària és durant l'ús i això no canvia. Pel que fa a la petjada de carboni, sí que notem canvi. Bàsicament perquè el pes el té l'extracció dels materials i ara, al ser en gran part reutilitzat, la petjada disminueix tal com es veu en el gràfic 19. La càrrega ambiental anual equivalent passa de 8,57 a 2,97 kg/any.

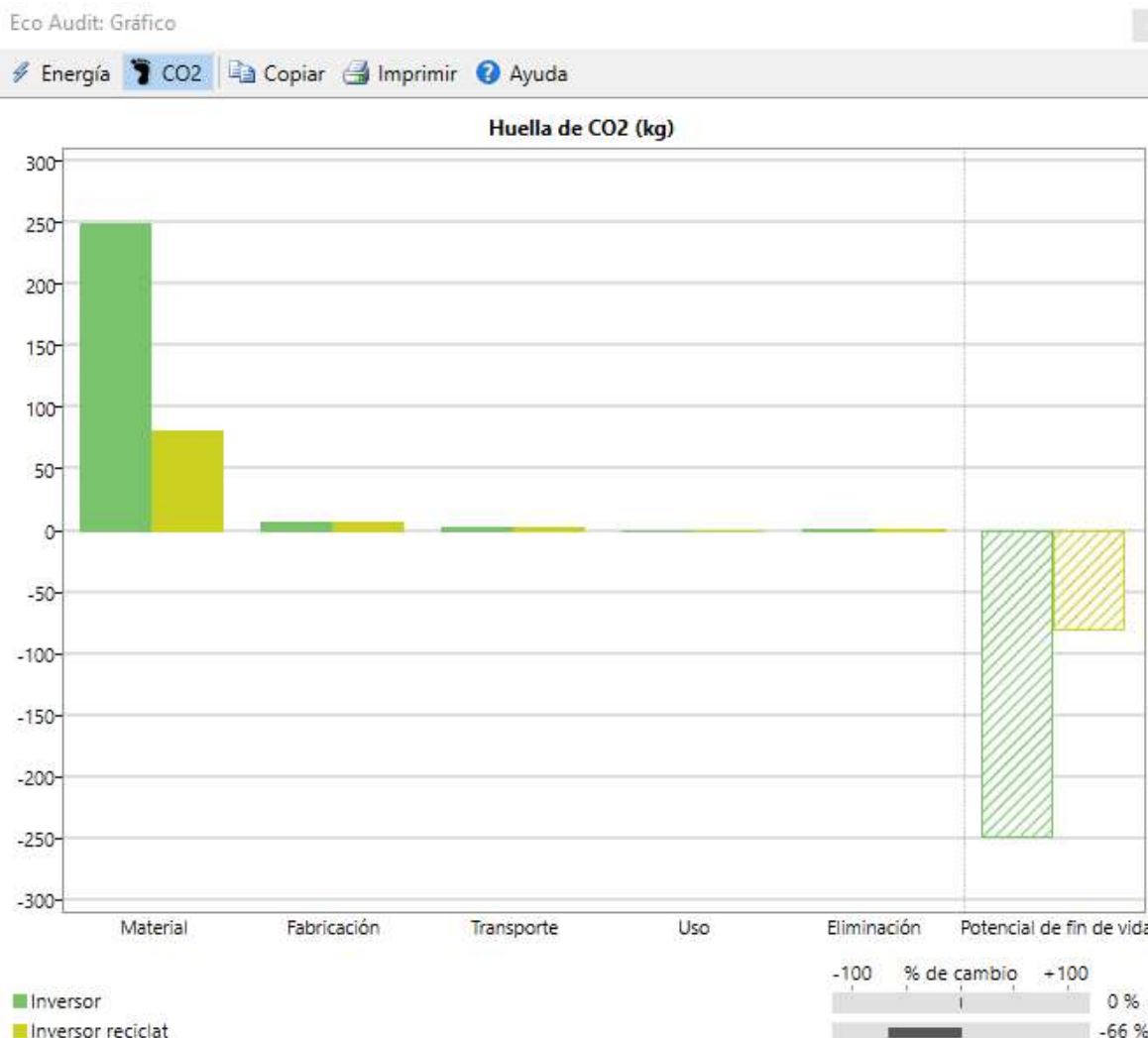


Gràfic 19. Petjada de carboni equivalent (kg/any) de l'inversor SUN2000-6KTL-M1 reciclat.

Si es compara l'inversor nou amb el que comporta elements reutilitzats veiem per una banda que l'energia requerida és la mateixa degut al fet que la reutilització no comporta una reducció en l'energia d'ús de l'inversor, i per altra banda sí que veiem una reducció substancial en la petjada de carboni dels materials. Al gràfic 20 veiem la comparativa de l'energia dels dos inversors mentre que al gràfic 21 veiem la petjada de carboni dels dos casos que trobem representada a la taula 11.



Gràfic 20. Comparativa d'energia entre l'inversor SUN2000-6KTL-M1 nou i reutilitzat.



Gràfic 21. Comparativa de petjada de carboni entre l'inversor SUN2000-6KTL-M1 nou i reutilitzat.

	MJ/any	Kg CO <sub>2</sub> /any	Total MJ durant la seva vida útil	Total Kg CO <sub>2</sub> durant la seva vida útil
<b>Nou</b>	189.000	8,57	5.670.000	257,1
<b>Reciclat</b>	189.000	2,97	5.670.000	89,1

Taula 11. Taula resum d'energia associada i petjada de carboni per als dos casos de l'inversor SUN2000-6KTL-M1.

Pel que respecte a les proteccions, podem separar en contínua i alterna. En contínua trobem 2 fusibles per string, amb 2 porta fusibles fent un total de 4 unitats per cada un.

En el cas d'alterna trobaríem el diferencial i magneotèrmic mencionats anteriorment. El problema d'aquestes proteccions és que el pes i material requerits són tant petits que no s'han tingut en compte en el càlcul.

### 6.2.3. Estructura

En aquest cas s'opta per un suport coplanar continu cargolat per cobertes de teula de l'empresa S:Flex. La coberta d'aquest cas no és rectangular i disposa d'arbres en un dels costats. És per això que els mòduls s'han separat en dues línies de 3 i 3 de 4, tal com es veu a la il·lustració 16. Sabem la densitat del material que s'utilitza i les dimensions podem treure les dimensions de pes, com s'observa a la taula 12.



Il·lustració 16. Croquis camp solar d'estudi.

Cantidad	Nombre del componente	Material	Contenido reciclado	Masa (kg)	Proceso primario	Fin de vida
1	Carril metàl·lic	Aluminum, 6063, T6	Virgen (0%)	51,25	Extrusión, laminado	Reciclar

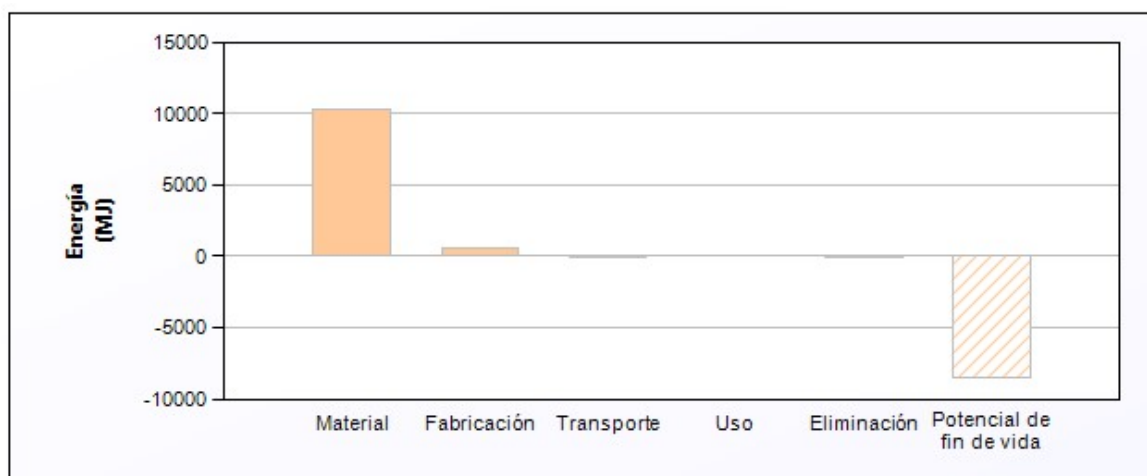
Taula 12. Materials i distribució de pesos de l'estructura coplanar S:Flex.

Pel transport, s'ha considerat la seu central de l'empresa S:Flex. La seu està situada a Hamburg, a 1803km transportat amb un camió de 55 tones. S'ha de tenir en compte que els elements, ja es tracti d'estructura, mòduls, inversor i cablejat no venen sols. Venen empaquetats en sèries més grans, cosa que hauria de reduir encara més la petjada de carboni i energia ja el transport es repartiria entre més unitats. Però també és cert que la petjada de carboni d'un sol viatge, al transportar més pes seria major, però es compensaria amb un número de viatges més elevat amb menys unitats.

La vida útil és més gran que la de l'inversor i mòduls degut a que està anoditzat. Es tindrà en compte tota la instal·lació, és per això que la vida útil considerada en el càlcul és la mateixa que la de la instal·lació, o sigui 30 anys.

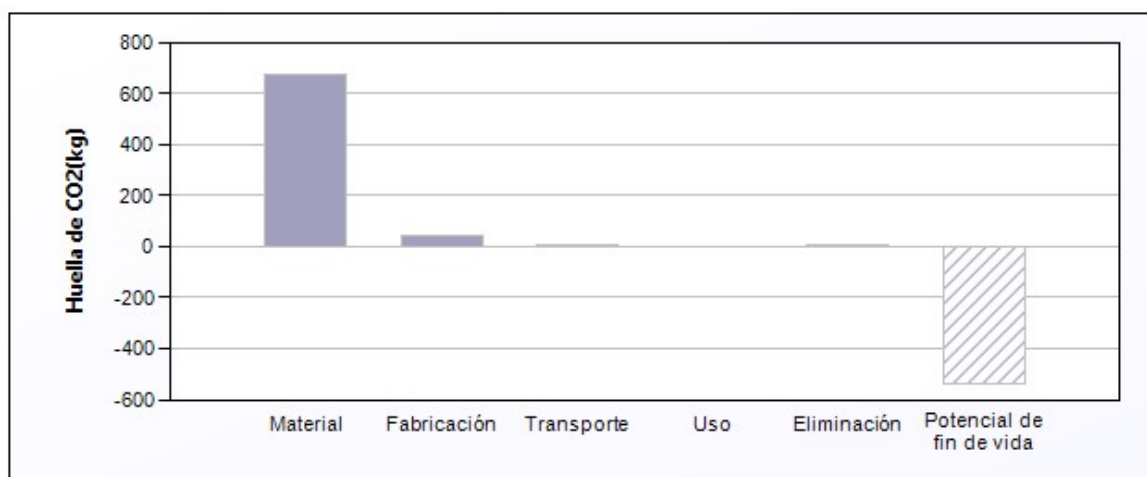
En el cas de l'energia requerida, com és normal, la majoria del pes recau en l'extracció de l'alumini. La fabricació en extrusió, que és la que marca el fabricant no és gaire substancial i el transport tampoc,

tal com es veu en el gràfic 22. L'energia requerida mitja al llarg de 30 anys de vida útil de producte és de 363 MJ/any.



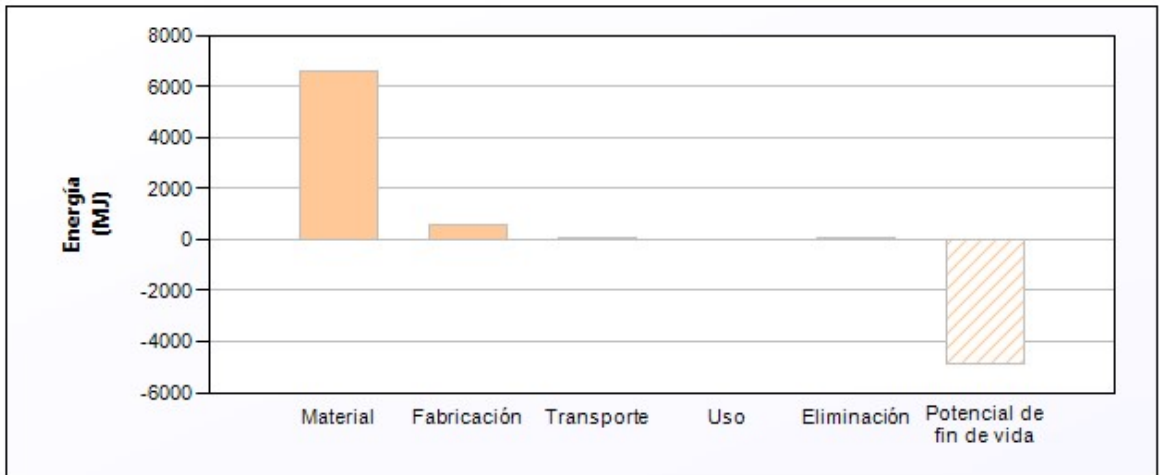
Gràfic 22. Energia equivalent (MJ/any) de l'estructura coplanar nova de S:Flex.

El mateix ens passa en el cas de la petjada de carboni. L'extracció del material és la fase que té més pes tal com es veu en el gràfic 23. S'ha de tenir en compte que l'ús de l'estructura ni requereix energia com els mòduls o l'inversor solar, ni tampoc genera petjada de carboni pel simple fet d'estar muntada. La petjada de carboni mitja al llarg de 30 anys de vida útil del producte és de 24,1 kg/any.



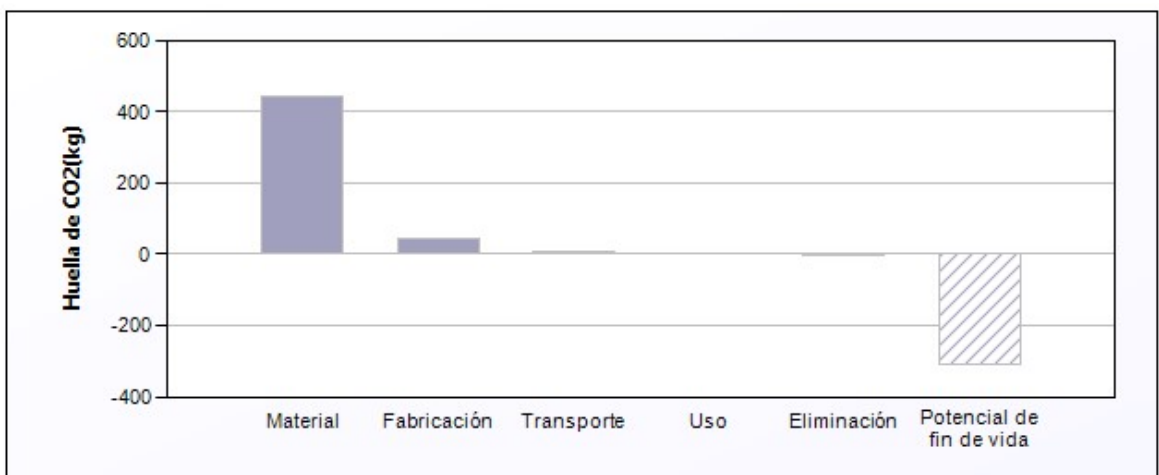
Gràfic 23. Petjada de carboni equivalent (kg/any) de l'estructura coplanar nova de S:Flex.

En el cas del reciclatge de l'alumini veiem una reducció en l'energia requerida al llarg de 30 anys de vida útil. Concretament de 363 MJ/any a 242. L'extracció del material segueix sent la fase que requereix més energia, com s'observa en el gràfic 24.



Gràfic 24. Energia equivalent (MJ/any) de l'estructura coplanar reciclada de S:Flex.

Pel que fa a la petjada de carboni, també pateix una reducció. Concretament de 24,1 a 16,4 kg/any. Al igual que en l'energia, en la petjada de carboni també veiem una superioritat en l'extracció del material. Això es pot observar al gràfic 25.



Gràfic 25. Petjada de carboni equivalent (kg/any) de l'estructura coplanar reciclada de S:Flex.

Si mirem el gràfic 26, es veu reflectit el que s'ha comentat anteriorment i és que la màxima reducció d'energia entre una estructura nova i una de reciclada, es veu en l'extracció del material.

Eco Audit: Gráfico



Gràfic 26. Comparativa d'energia entre l'estructura nova i reutilitzada.

Passa exactament el mateix amb la petjada de carboni, tal com es veu al gràfic 27. L'extracció de l'alumini genera una gran quantitat de kg CO<sub>2eq</sub> tenint en compte els kg d'alumini utilitzats, tal i com es veu resumit a la taula 13.





Gràfic 27. Comparativa de petjada de carboni entre l'estructura nova i reciclada.


	MJ/any	Kg CO <sub>2</sub> /any	Total MJ durant la seva vida útil	Total Kg CO <sub>2</sub> durant la seva vida útil
<b>Nou</b>	363	24,1	10.890	723
<b>Reciclat</b>	242	16,4	7.260	492

Taula 13. Taula resum d'energia associada i petjada de carboni per als dos casos de l'estructura S:Flex.

#### 6.2.4. Cablejat

El cablejat és de coure i, en total tenim 290 metres. A la part contínua tenim 60 metres de tirada. És un cable de positiu i un de negatiu per cada string de 60 metres, per tant 240 metres. Per la part d'alterna necessitem 5 cables; R, S, T, N i terra de 10 metres cada un fent un total de 50 metres.

El cablejat és de coure mentre que la funda que l'encapsula és de polietilè reticulat. Sabent el material podem saber la densitat i si tenim la secció del cable, la secció de la funda que és un cilindre buit i la llargada del cable podem trobar la distribució de pesos tal com es veu a la taula 14.

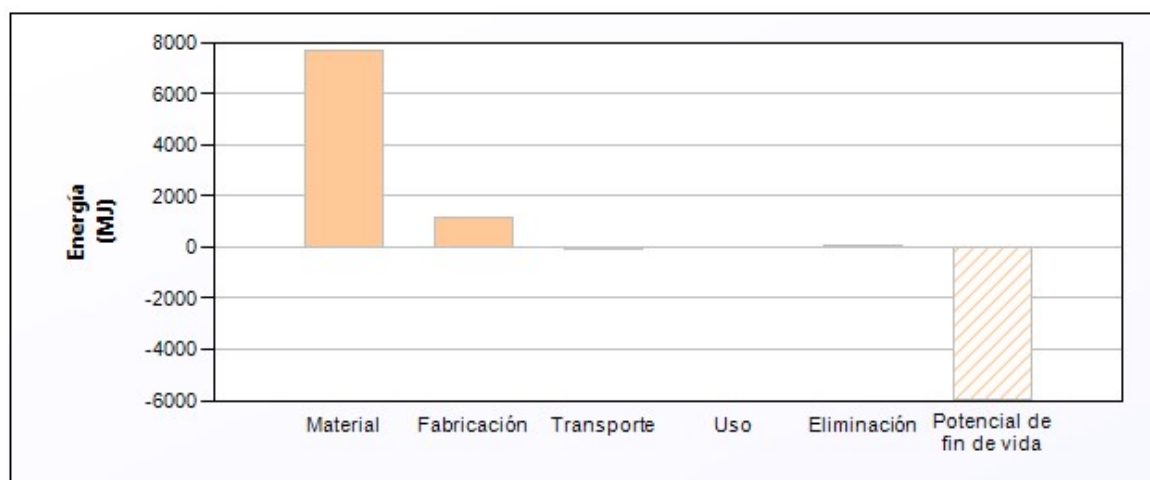
Cantidad	Nombre del componente	Material	Contenido reciclado	Masa (kg)	Proceso primario	Fin de vida
1	Cablejat	 Copper, cast (h.c. copper)	Virgen (0%)	130,4	Fundició	Reciclar
1	Funda	 PE (cross-linked, wire an...	Virgen (0%)	0,25	Extrusió de polímeros	Reciclar

*Taula 14. Materials i distribució de pesos del cablejat.*

S'ha realitzat el mateix experiment que en els casos anteriors. Primer es calcula l'energia emprada i petjada de carboni amb el cablejat nou i després, el reutilitzat. Pel que fa al transport, aquest cas és més fàcil ja que hi ha moltes fàbriques de cablejat de coure n'hi ha moltes i s'ha escollit l'empresa ABAST de Barcelona.

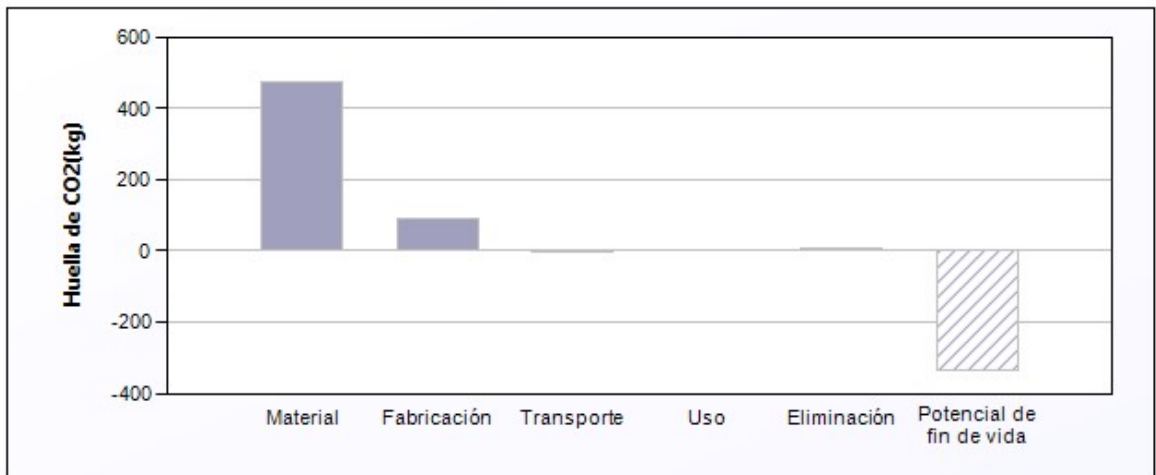
La vida útil, passa el mateix que en el cas de l'estructura. La vida útil és superior a la instal·lació en sí, per tant, marquen 30 anys al igual que els mòduls i l'inversor.

En aquest context tenim una energia associada al llarg de 30 anys de vida útil del cablejat de 300 MJ/any repartint en gran part l'energia en l'extracció del material i fabricació, tal com es veu al gràfic 28.



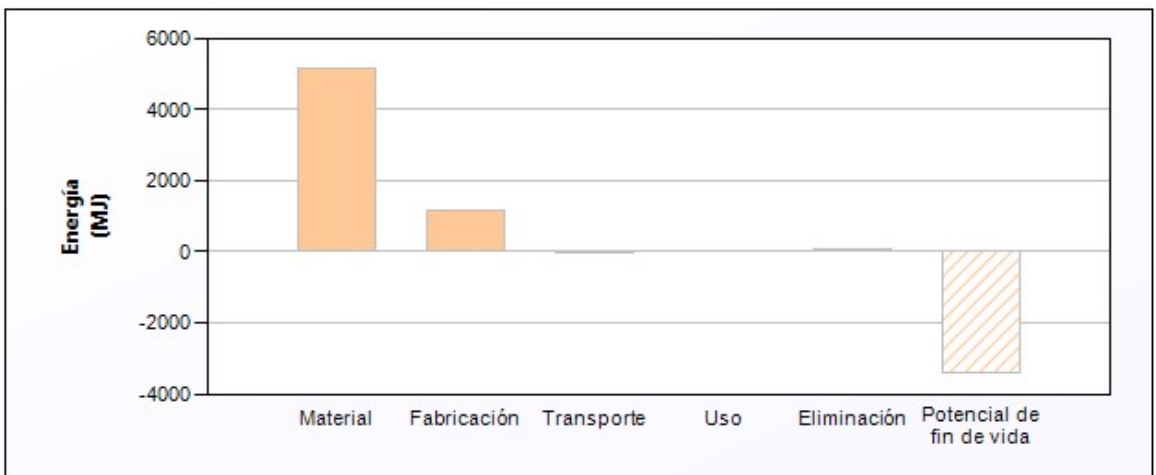
*Gràfic 28. Energia equivalent (MJ/any) del cablejat nou.*

En el cas de la petjada de carboni passa exactament el mateix. Quant a l'ús del cablejat en si, igual que no requereix energia, tampoc genera petjada de carboni pel simple fet de fer de conductor. Per tant la majoria de petjada de carboni es genera en l'extracció del material i, en menor mesura, durant la fabricació com s'observa al gràfic 29. La petjada de carboni mitja al llarg de 30 anys de vida útil és de 18,9 kg/any.



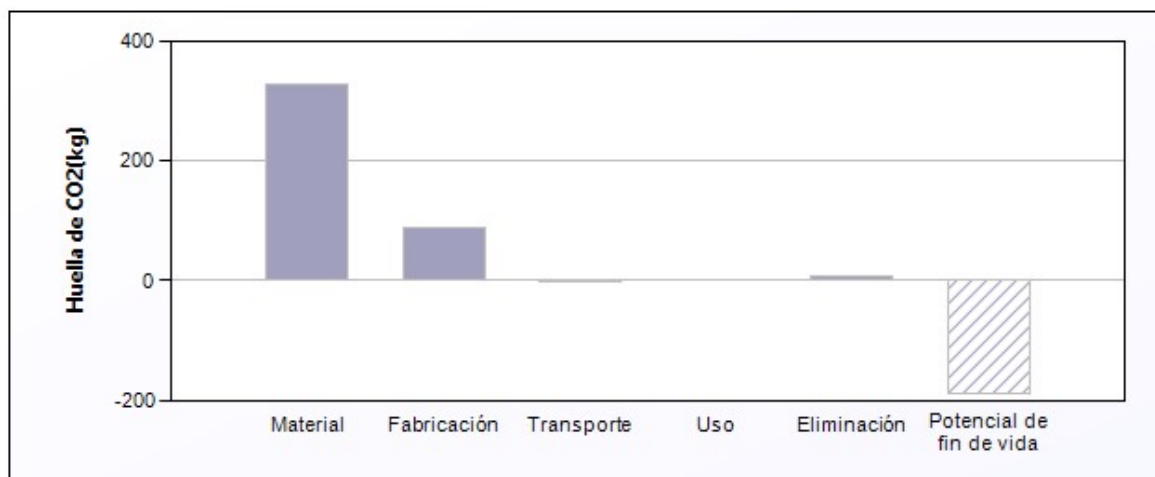
Gràfic 29. Petjada de carboni equivalent (kg/any) del cablejat nou.

En el cas del cablejat reciclat la tipografia de les gràfiques segueix la mateixa tendència. En el consum d'energia, l'extracció segueix marcant el pes tot seguit de la fabricació, tal com s'observa al gràfic 30. També es veu una reducció de l'energia emprada durant els 30 anys de vida útil del cablejat de 214 MJ/any.



Gràfic 30. Energia equivalent (MJ/any) del cablejat reciclat.

Pel que fa doncs a la petjada de carboni, ens torna a passar el mateix tal com es representa en el gràfic 31. Bàsicament on es genera més petjada de carboni és en l'extracció de les matèries primes.



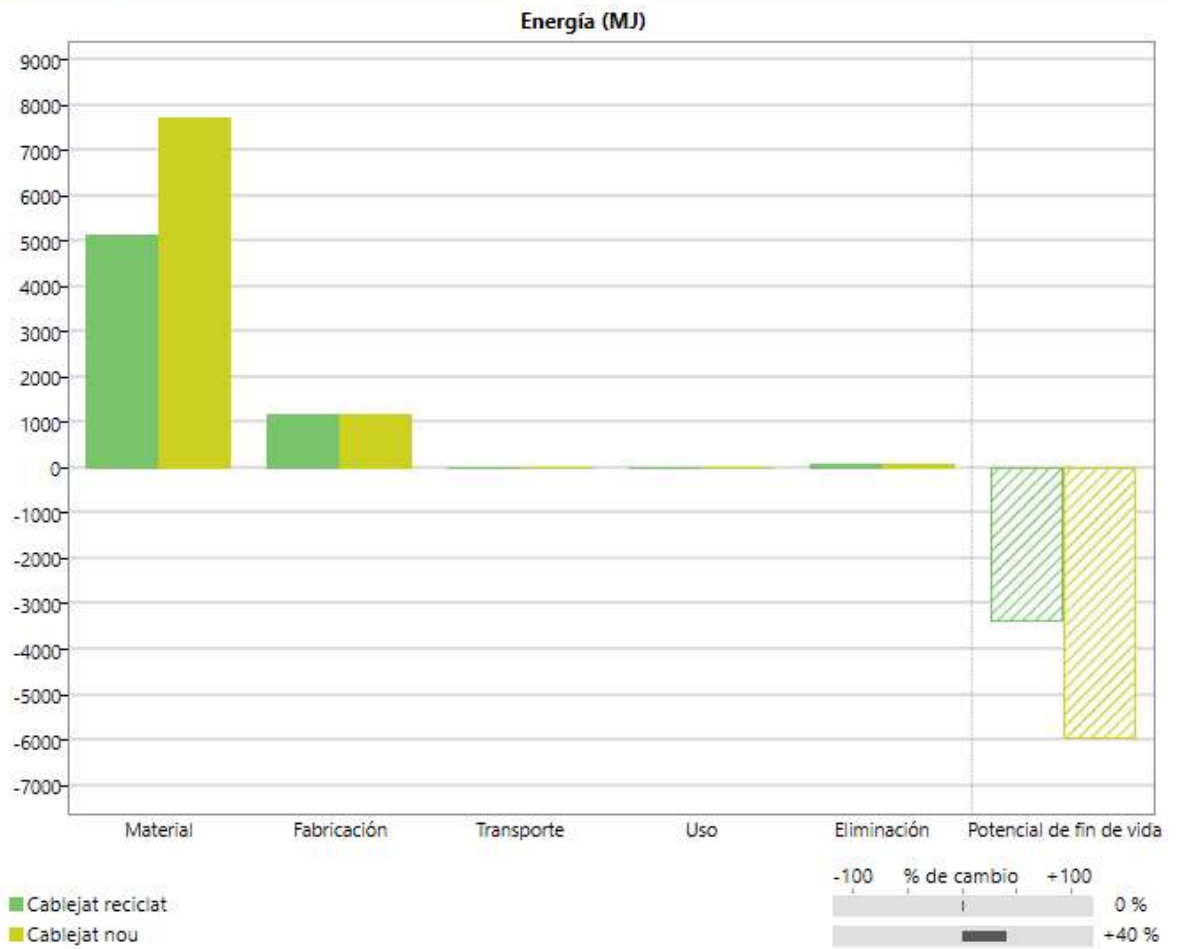
*Gràfic 31. Petjada de carboni equivalent (kg/any) del cablejat reciclat.*

La petjada de carboni anual durant la vida útil en aquest cas també es veu reduïda, concretament de 18,9 a 14,1 kg/any.

Si comparem els dos casos pel que fa a l'energia necessària, veiem que en el cablejat reciclat decau gairebé un terç respecte el cablejat nou, com s'observa en el gràfic 32. Això és degut a que la funda de PE és parcialment reutilitzada. A la comparativa de petjada passa exactament el mateix però en menor mesura tal com es representa en el gràfic 33 i es resumeix a la taula 15.

Eco Audit: Gráfico

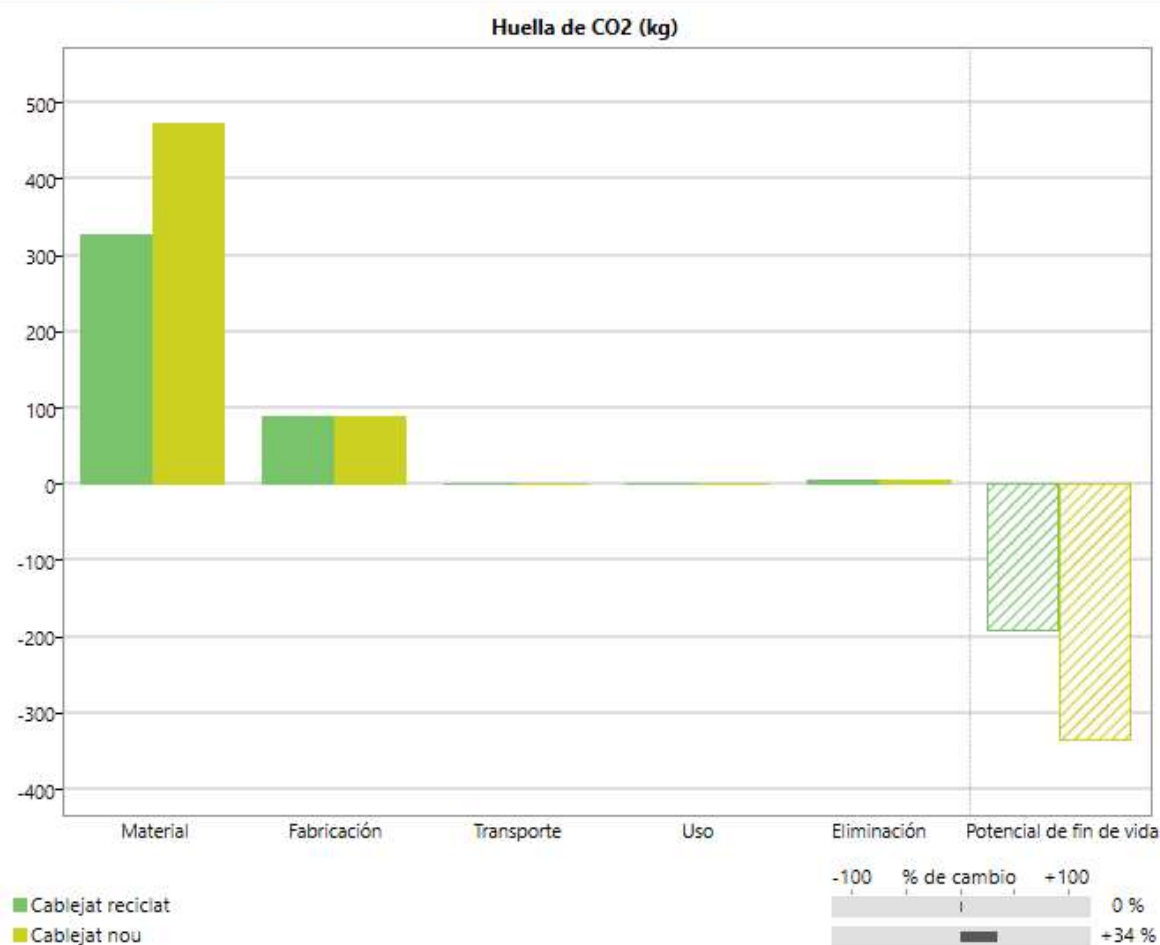
Energía CO2 Copiar Imprimir Ayuda



Gràfic 32. Comparativa d'energia entre el cablejat nou i el reciclat.

Eco Audit: Gráfico

Energía CO2 Copiar Imprimir Ayuda



Gràfic 33. Comparativa petjada de carboni entre cablejat nou i reciclat.









	MJ/any	Kg CO <sub>2</sub> /any	Total MJ durant la seva vida útil	Total Kg CO <sub>2</sub> durant la seva vida útil
<b>Nou</b>	300	18,9	9.000	567
<b>Reciclat</b>	214	14,1	6.420	423

Taula 15. Taula resum d'energia associada i petjada de carboni per als dos casos del cablejat.

### 6.2.5. Auxiliars

Pel que fa els materials auxiliars podem separar en la part de contínua i la part d'alterna. Per la part de contínua s'utilitza el tub corrugat, en aquest cas de 23mm de diàmetre amb les seves grapes amb dos colzes flexibles. A la part de contínua s'ha utilitzat el tub gris dur de 23mm de diàmetre amb les seves i 3 colzes rígids. La part d'alterna va amb una reixeta metàl·lica en aquest cas, per dins del garatge.

El tub corrugat està durant tota la tirada de cablejat en contínua i, per tant, són 60m. El cablejat d'alterna va dins del tub dur de 10m que no porta grapes perquè descansa sobre la reixa metàl·lica rejiband que va collada al sostre. Així doncs, ja sabem les dimensions de cada un, les densitats del material i la fitxa tècnica. Quant a la distribució de pesos i materials, els trobem a la taula 16.

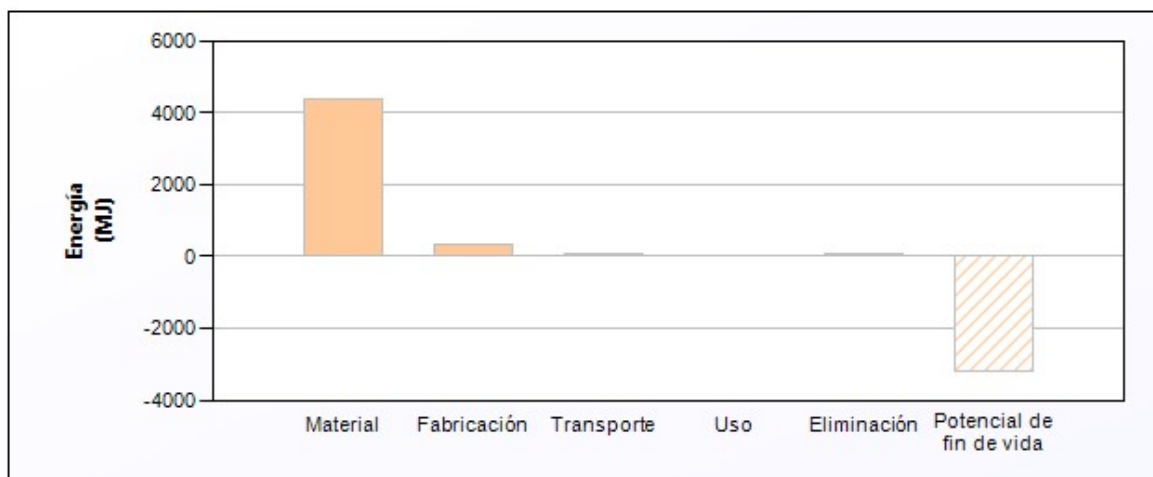
Cantidad	Nombre del componente	Material	Contenido reciclado	Masa (kg)	Proceso primario	Fin de vida
1	Tub corrugat	 PVC (flexible, Shore A60)	Virgen (0%)	9,66	Extrusión de polímeros	Reciclar
18	Grapes tub corrugat	 PVC (rigid, high impact,...	Virgen (0%)	0,2	Moldeo de polímeros	Reciclar
1	Tub gris dur	 PVC (rigid, high impact,...	Virgen (0%)	10,99	Extrusión de polímeros	Reciclar
3	Grapes tub gris dur	 PVC (rigid, high impact,...	Virgen (0%)	0,2	Moldeo de polímeros	Reciclar
2	Colze flexible	 PVC (flexible, Shore A60)	Virgen (0%)	0,3	Moldeo de polímeros	Reciclar
3	Colze rigid	 PVC (rigid, high impact,...	Virgen (0%)	0,5	Moldeo de polímeros	Reciclar
1	Rejiband	 Stainless steel, austenit... 	Virgen (0%)	40	Perfilado	Reciclar

Taula 16. Distribució de pesos i materials auxiliars.

Hi ha moltes empreses que ofereixen aquests productes. En aquest cas s'opta pel grup Incera que tenen la seu a Cantàbria. És per això que s'ha contemplat un transport amb un camió de transport petit de 14 tones de 670 km.

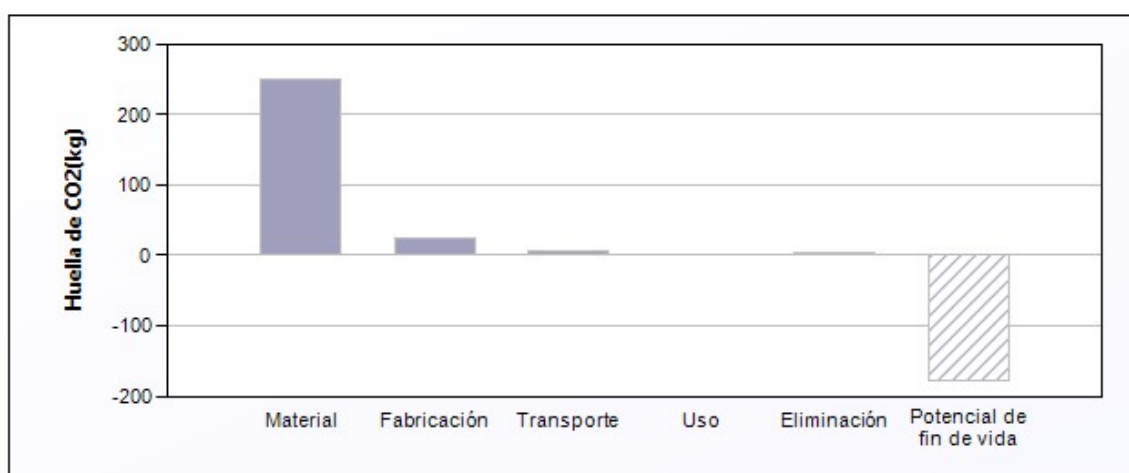
S'ha contemplat també una vida útil de 30 anys i és que, com s'ha dit, en aquestes instal·lacions els que marquen el final de vida són els mòduls i l'inversor.

Pel que fa l'energia associada anual mitja durant la vida útil és de 160 MJ/any. Bàsicament l'extracció de materials és la fase que requereix més energia, com es veu al gràfic 34.



Gràfic 34. Energia equivalent (MJ/any) dels materials auxiliars nous.

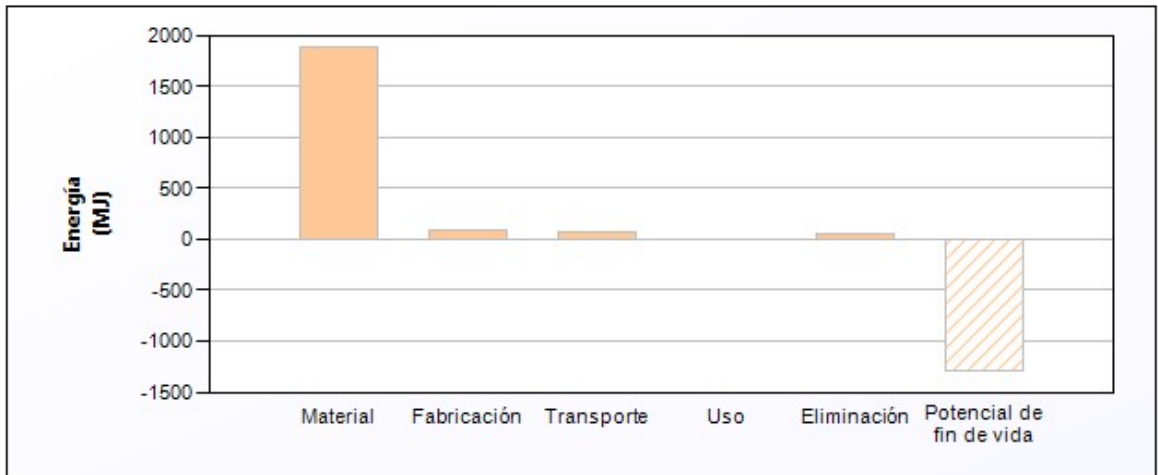
En el cas de la petjada de carboni, veiem que la petjada de carboni anual durant tota la seva vida útil és de 9,4 kg/any on la fase d'extracció de materials és la que genera més petjada de carboni, tal com es veu al gràfic 35.



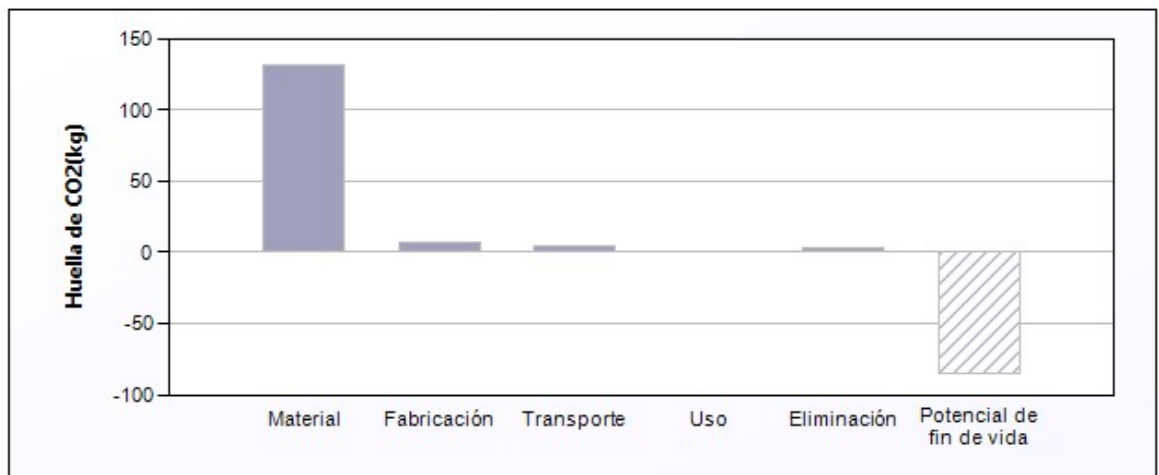
Gràfic 35. Petjada de carboni equivalent (kg/any) dels materials auxiliars nous.

Amb gran part del PVC reciclat i l'acer reciclat, l'energia anual associada i la petjada de carboni es redueixen a 70,1 MJ/any i 4,87 kg/any respectivament com veiem a la taula 17. Tal com es veu al gràfic 36 i 37, l'extracció del material segueix sent la fase que té més pes en l'energia requerida i petjada de carboni.





Gràfic 36. Energia equivalent (MJ/any) dels materials auxiliars reutilitzats.

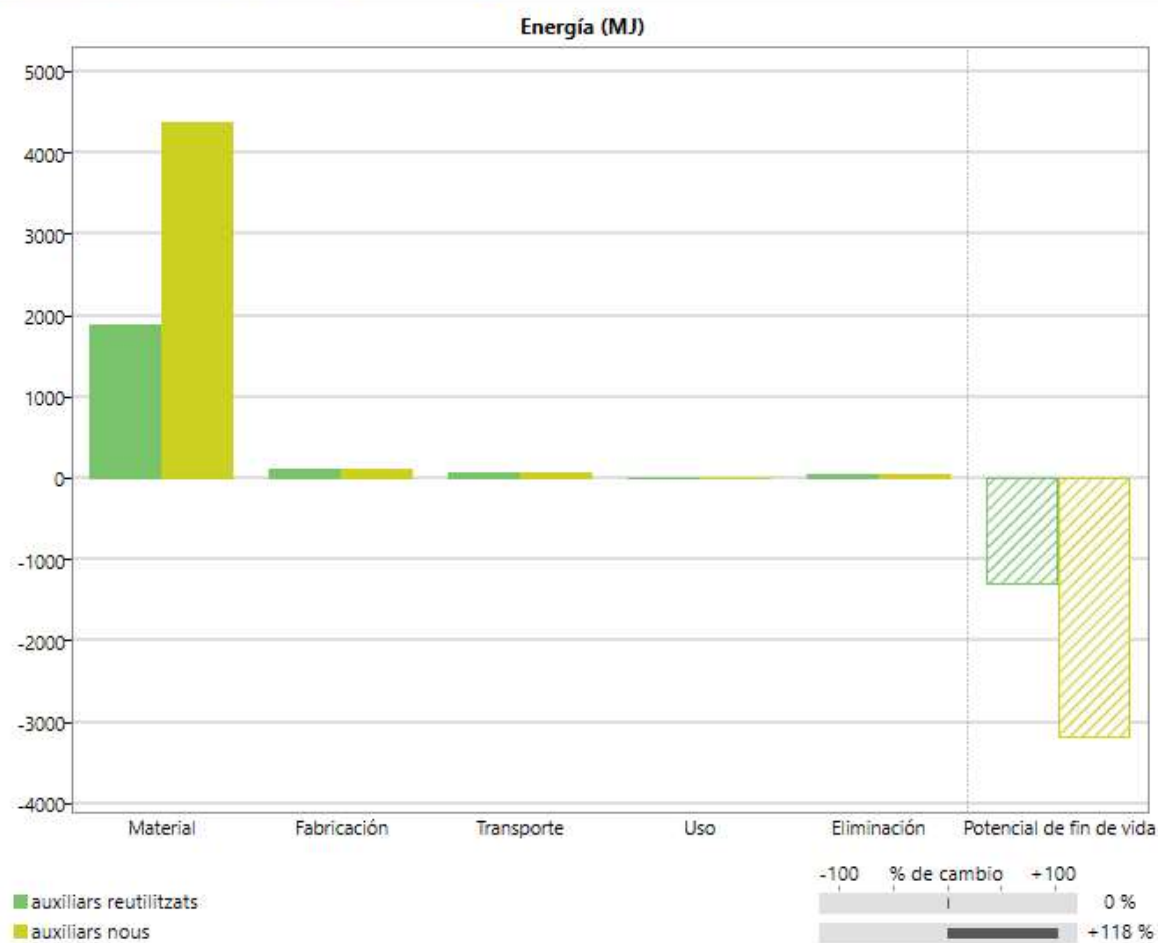


Gràfic 37. Petjada de carboni equivalent (kg/any) dels materials auxiliars reutilitzats.

Si comparem l'energia total en MJ i la petjada de carboni total en kg veiem que en els dos casos s'aconsegueix reduir fins a més de la meitat, com s'observa en els gràfics 38 i 39.

Eco Àudit: Gràfic

Energía CO2 Copiar Imprimir Ayuda



Gràfic 38. Comparativa d'energia entre els materials auxiliars nous i reutilitzats.



Gràfic 39. Comparativa de petjada de carboni entre els materials auxiliars nous i reutilitzats.

	MJ/any	Kg CO <sub>2</sub> /any	Total MJ durant la seva vida útil	Total Kg CO <sub>2</sub> durant la seva vida útil
<b>Nou</b>	160	9,4	4.800	282
<b>Reciclat</b>	70,1	4,9	2.103	147

Taula 17. Taula resum d'energia associada i petjada de carboni per als dos casos del cablejat.

## 6.2.6. Bateria

En aquesta instal·lació s'ha utilitzat una bateria model LUNA2000-5-S0 de HUAWAI. Aquest model té unes dimensions de 670mm x 150mm x 600mm amb un pes de 63,8kg. Té una capacitat útil de 5 kWh, amb una potència màxima de sortida de 2,5kW i un voltatge nominal monofàsic de 360V. Es tracta d'una bateria de fosfat de liti i ferro (LiFePO<sub>4</sub>).

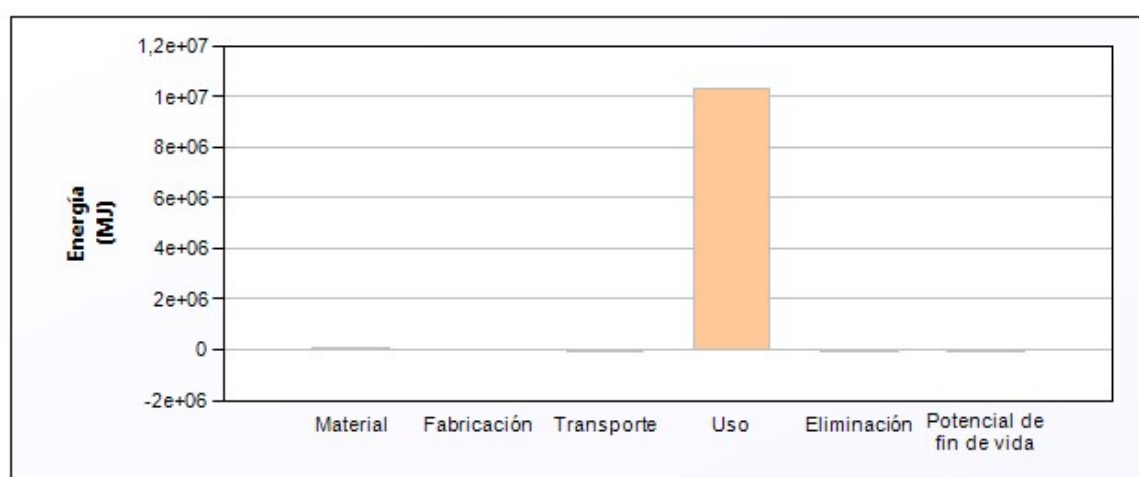
Les bateries de liti ja tenen una partida dins del *software*. El transport marítim serà el mateix que el de l'inversor ja que pertanyen a la mateixa marca i, per tant, comparteixen seu. Serà de 10020 km des de Shenzhen.

La vida útil és de 30 anys i el mètode estàtic és d'ús elèctric a químic de bateria de 5000W durant 24 hores al dia, 365 dies a l'any. La bateria no es recicla, sinó que es repara i es pot reutilitzar en la seva totalitat o alguns components. La taula 18 mostra la distribució de pesos i materials.

Cantidad	Nombre del componente	Material	Contenido reciclado	Masa (kg)	Proceso primario	Fin de vida
1	Bateria	Li-Ion, rechargeable b...	Virgen (0%)	63,8	Incl. en el valor del material	Reutilizar

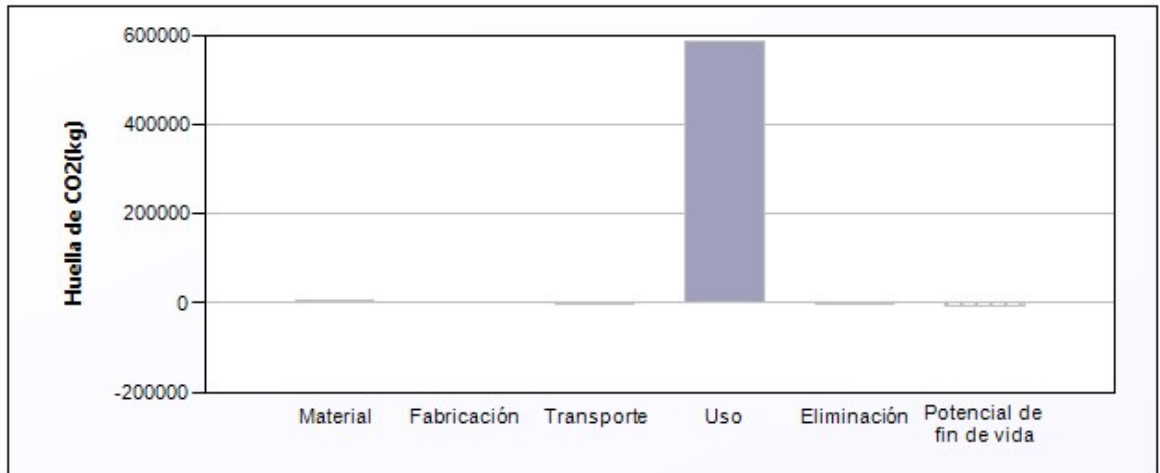
Taula 18. Distribució de pesos i materials de la bateria LUNA2000-5-S0.

Pel que fa l'energia associada al llarg de tota la vida útil és de 34600 MJ/any i, pràcticament en tota la seva totalitat, l'energia es reparteix només en l'ús tal com es veu al gràfic 40.



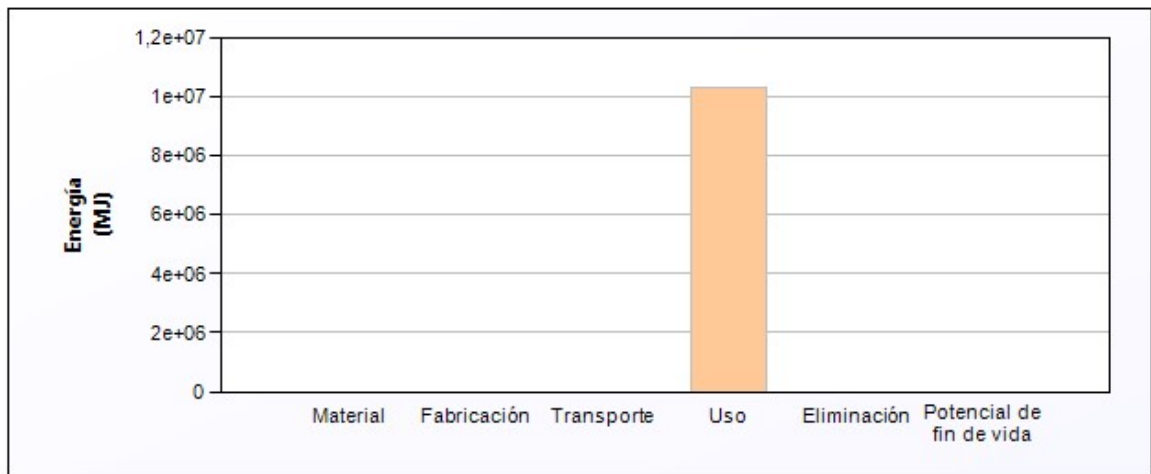
Gràfic 40. Energia equivalent (MJ/any) de la bateria LUNA2000-5-S0 nova.

En el cas de la petjada de carboni anual és de 19700 kg/any i, de mateixa manera que passa en l'energia requerida, la petjada de carboni es genera en tota la seva totalitat a la fase d'ús com es veu al gràfic 41.

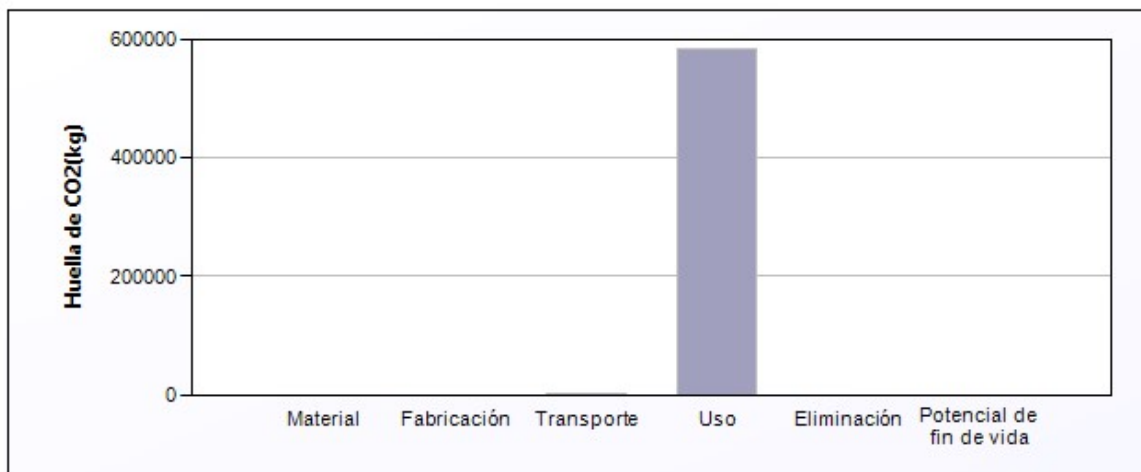


Gràfic 41. Petjada de carboni equivalent (kg/any) de la bateria LUNA2000-5-S0 nova.

Quan es reutilitzen alguns components de la bateria, l'energia associada anual es redueix fins a 34400 MJ/any, que no és massa substancial. Si mirem la petjada de carboni anual es redueix fins a 19500 kg/any. Les reduccions no són massa substancial tal com es veu als gràfics 42 i 43. Les dades queden resumides a la taula 19.

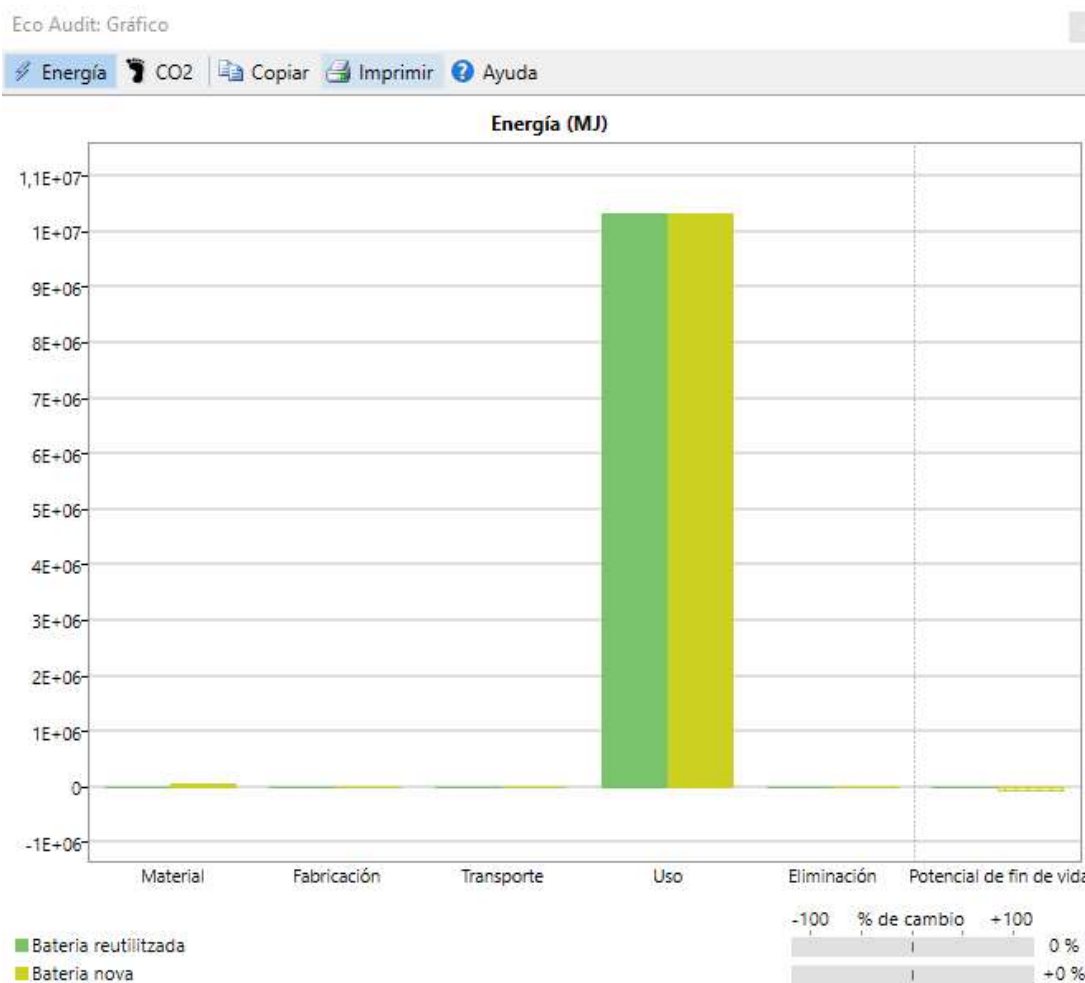


Gràfic 42. Energia equivalent (MJ/any) de la bateria LUNA2000-5-S0 reutilitzada.

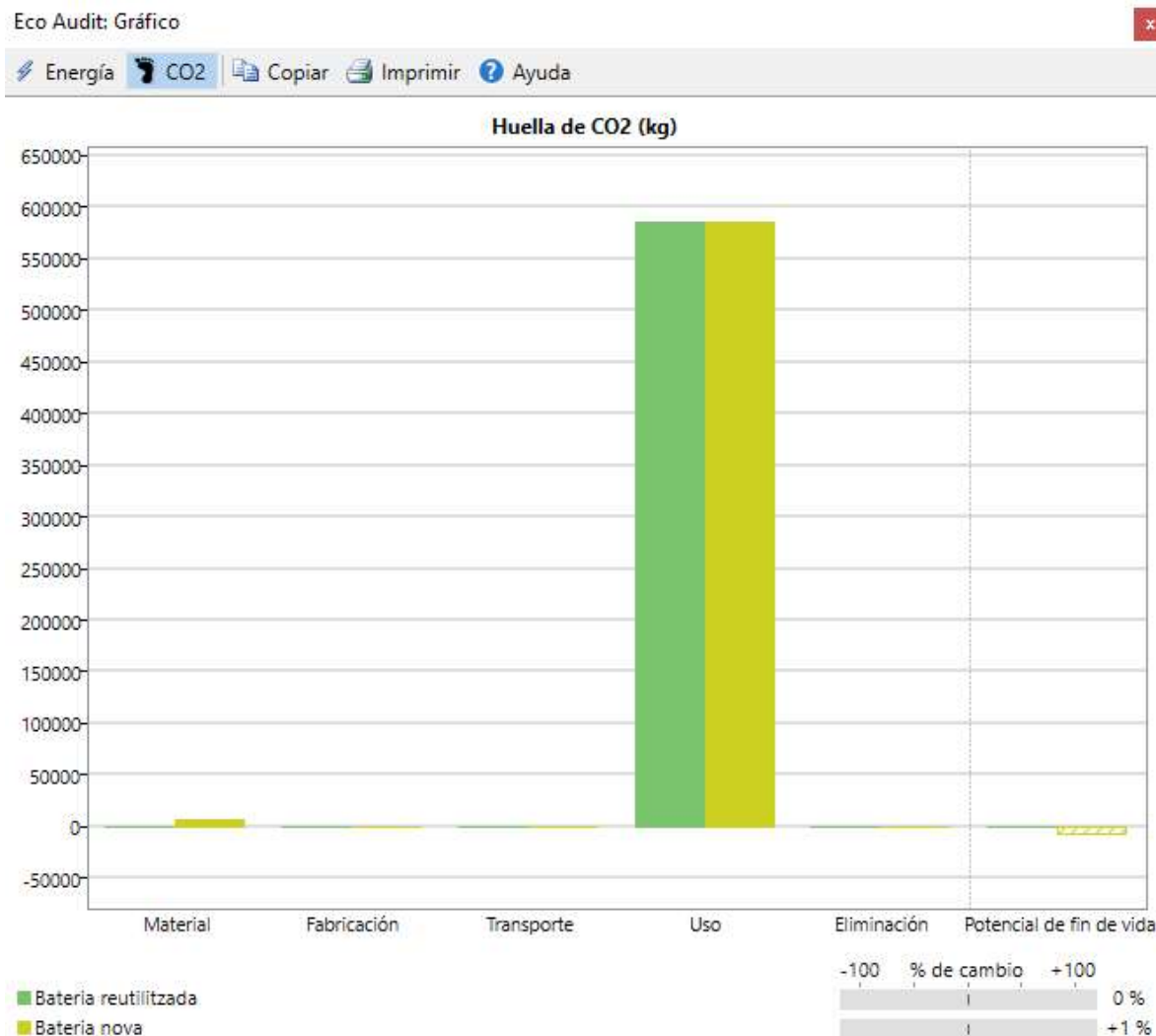


Gràfic 43. Petjada de carboni equivalent (kg/any) de la bateria LUNA2000-5-S0 reutilitzada.

En el cas de la bateria, la diferència entre una nova i una reutilitzada és tant baixa que ni s'aprecien en els gràfics 44 i 45.



Gràfic 44. Comparativa d'energia de la bateria LUNA2000-5-S0 nova i reutilitzada.



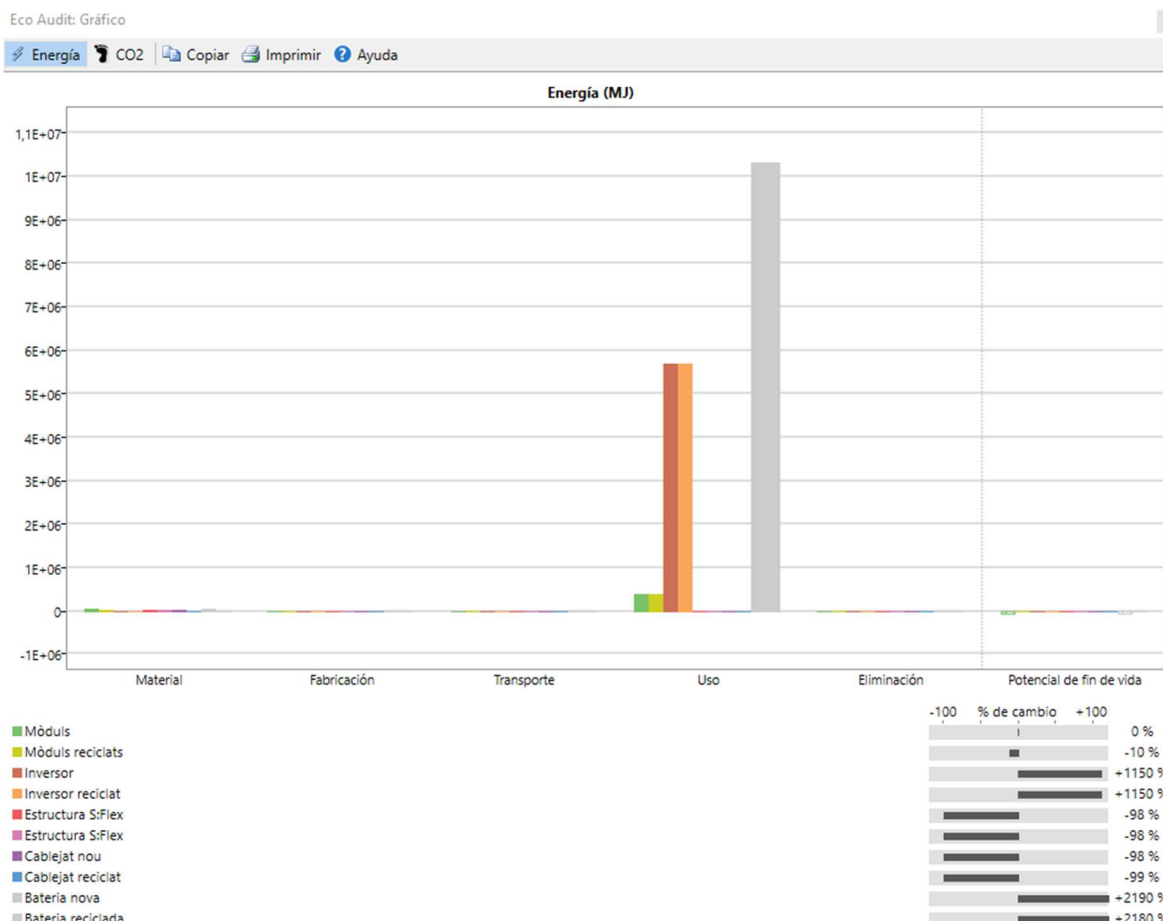
Gràfic 45. Comparativa de petjada de carboni de la bateria LUNA2000-5-S0 nova i reutilitzada.

	MJ/any	Kg CO <sub>2</sub> /any	Total MJ durant la seva vida útil	Total Kg CO <sub>2</sub> durant la seva vida útil
<b>Nou</b>	34.600	19.700	1.038.000	591.000
<b>Reciclat</b>	34.400	19.500	1.032.000	585.000

Taula 19. Taula resum d'energia associada i petjada de carboni per als dos casos de la bateria LUNA2000-5-S0.

### 6.3. Anàlisi de resultats

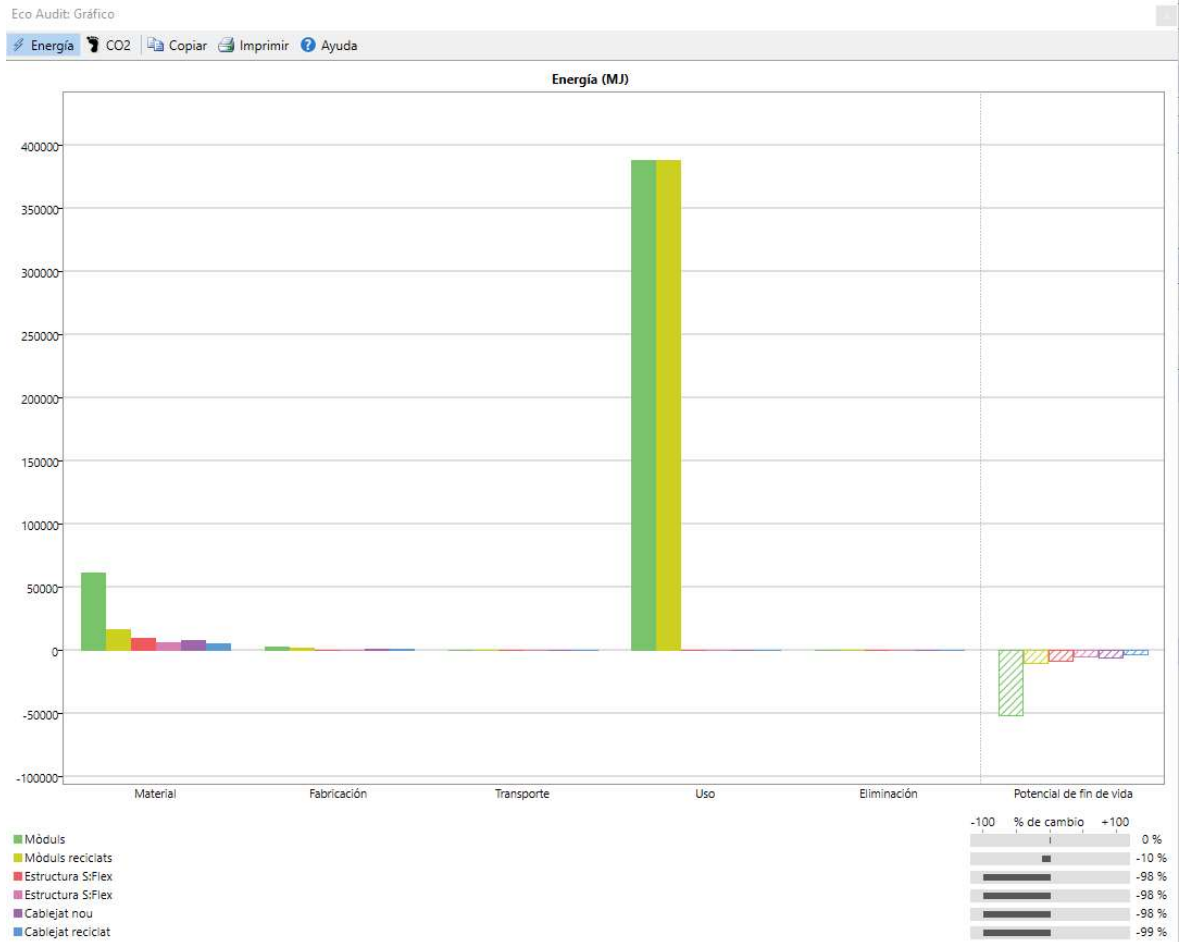
Si s’observa el còmput total, veiem que en termes d’energia requerida la fase que predomina és l’ús. Primordialment l’element que requereix més ús és la bateria tant nova i reciclada, seguit dels dos inversors i els mòduls. No trobem diferència en aquesta comparació ja que encara que el material sigui reciclat, en termes d’energia, requerirà la mateixa en termes d’ús tal com es veu al gràfic 46.



Gràfic 46. Comparativa d'energia entre tots els elements.

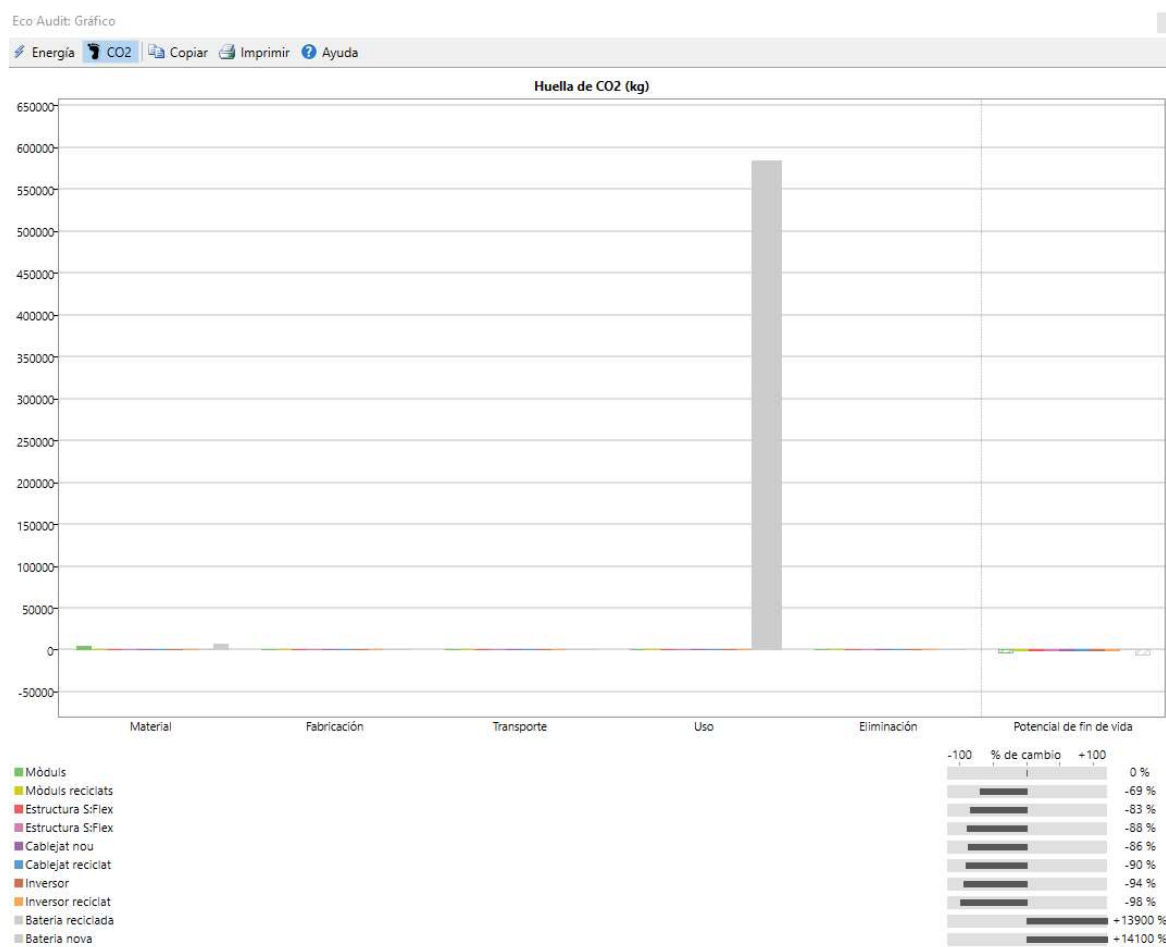
Si fem zoom sense tenir en compte la bateria i l’inversor, veiem que a la fase d’extracció de material, l’energia requerida per ordre de magnitud és de mòduls nous, mòduls reciclats, estructura nova, cablejat nou, estructura reciclada i per últim, el cablejat reciclat, com s’observa al gràfic 47. En total veiem una energia associada de 17.000.000MJ en els dos casos tal com es veu en el gràfic. Això es per generar 9.704 kWh durant 30 anys, o el que es el mateix, 291.120 kWh. Això ens deixaria una energia associada de 58,39 MJ per kWh produït que no es reduiria en el cas de tenir una bateria reutilitzada. En el cas de no haver-hi bateria, es reduiria a 18,89 MJ.





Gràfic 47. Comparativa d'energia dels elements sense tenir en compte la bateria i inversors.

En termes de petjada de carboni el comportament és el mateix. La fase d'ús és la que genera més petjada de carboni sent ara, la bateria, la que pràcticament genera tota la petjada de la instal·lació. Això es veu representat al gràfic 48.

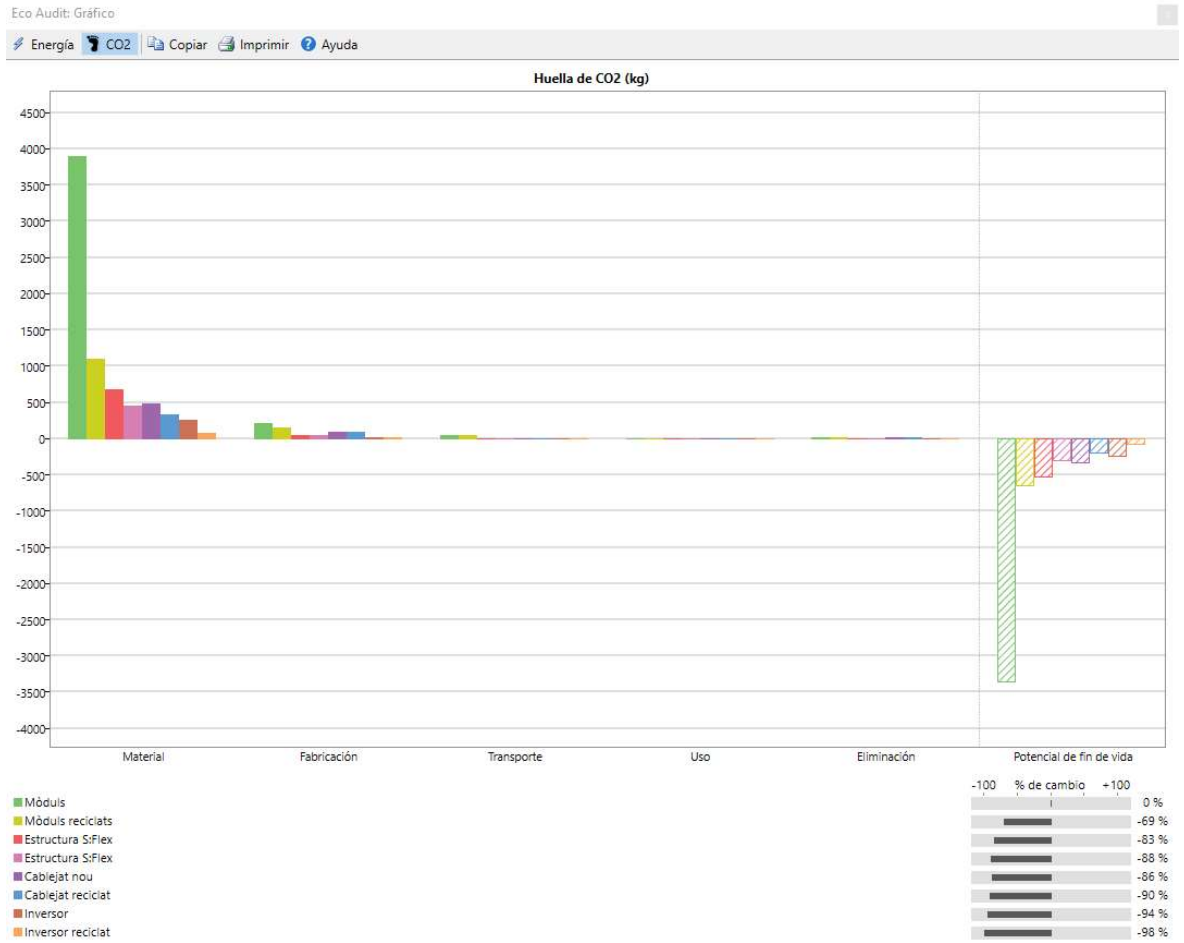


Gràfic 48. Comparativa de petjada de carboni de tots els elements.

Si fem zoom als altres elements, la petjada de carboni guanya pes a la fase d'extracció de materials. Concretament, als mòduls. Els mòduls nous tenen una petjada de carboni major seguit dels mòduls reciclats, estructura nova, cablejat nou, estructura reciclada, cablejat reciclat i per últim l'inversor tant nou com reciclat. Això s'observa al gràfic 49. Veiem que la petjada de carboni es, gairebé en la seva totalitat, 580000 kg de CO<sub>2eq</sub>. Tenint en compte que durant 30 anys es produeixen 291.120 kWh, això ens dona una petjada de carboni de 1,99 kg CO<sub>2eq</sub> per kWh produït.

Aquests 2000g de CO<sub>2eq</sub> es veurien molt reduïts si no s'incorporés la bateria. Concretament per aquests 291.120 kWh produirien una petjada de carboni de 5700 kg CO<sub>2eq</sub>, o el que és el mateix, 19,58 g CO<sub>2eq</sub>. No es veuria massa reduït en el cas de ser una bateria reutilitzada, ja que la fase dominant és la de ús i no la d'extracció i fabricació.

ESTUDI I CÀLCUL D'ENERGIA REQUERIDA I PETJADA DE CARBONI REQUERIDA PER UNA INSTAL·LACIÓ SOLAR FOTOVOLTAICA



Gràfic 49. Comparativa de petjada de carboni de tots els elements excepte la bateria.

	MJ/any	Kg CO <sub>2</sub> /any	Total MJ durant la seva vida útil	Total Kg CO <sub>2</sub> durant la seva vida útil
<b>Mòdul nou</b>	15100	143	453000	4290
<b>Mòdul reciclat</b>	13600	43,5	408000	1305
<b>Inversor nou</b>	189.000	8,57	5.670.000	257,1
<b>Inversor reciclat</b>	189.000	2,97	5.670.000	89,1
<b>Estructura nova</b>	363	24,1	10.890	723
<b>Estructura reciclada</b>	242	16,4	7.260	492
<b>Cablejat nou</b>	300	18,9	9.000	567
<b>Cablejat reciclat</b>	214	14,1	6.420	423
<b>Auxiliars nous</b>	160	9,4	4.800	282
<b>Auxiliars reciclats</b>	70,1	4,9	2.103	147
<b>Bateria nova</b>	34.600	19.700	1.038.000	591.000
<b>Bateria reciclada</b>	34.400	19.500	1.032.000	585.000

*Taula 20. Taula resum d'energia associada i petjada de carboni per als dos casos de tots els elements.*

Degut a que encara que es reutilitzés la bateria no s'apreciarien canvis, s'ha volgut separar les dades en instal·lacions noves o reutilitzades i amb bateria o sense com es veu a la taula 21.

	MJ/any	Kg CO <sub>2</sub> /any	Total MJ durant la seva vida útil	Total Kg CO <sub>2</sub> durant la seva vida útil
Instal·lació nova amb bateria	239.523	19.903,97	7.185.690	597.119,1
Instal·lació reciclada amb bateria	237.526,1	19.581,87	7.125.783	587.456,1
Instal·lació nova sense bateria	204.923	203,97	6.147.690	6.119,1
Instal·lació reciclada sense bateria	203.126,1	81,87	6.093.783	2.456,1

Taula 21. Taula resum d'energia associada i petjada de carboni per instal·lacions noves o reciclades amb bateria o sense.

Si mirem la taula 21 veiem dues coses clares. La primera és que el fet de no instal·lar una bateria ens redueix de manera dràstica l'energia emprada però sobretot la petjada de carboni. I la segona és que una instal·lació amb materials reciclats i reutilitzats sense bateria genera una petjada de carboni molt menor en front als altres tipus.

Això és degut al potencial de fi de cicle. La petjada de CO<sub>2</sub> depèn de on acaba el material. Un cop s'ha utilitzat el material pot acabar a l'abocador, es pot passar per un procés de combustió, reciclar, refabricar, reparar o reutilitzar tal com es veu a la il·lustració 18. Un cop un producte ha arribat al final de la seva vida útil prevista, es recull, es classifica i es prepara per la seva estratègia de final de vida prevista. L'energia ( $H_{collect}$ ) i la petjada de CO<sub>2</sub> ( $CO_{2collect}$ ) associades a aquestes operacions es determinen mitjançant les dades de la taula 22. Mitjançant les següents equacions:

$$H_{collect} = (H_c + H_{ps} + H_{ss}) \frac{r}{100} + H_c \left(1 - \frac{r}{100}\right) \text{ (MJ/kg) (Eq. 5.7)}$$

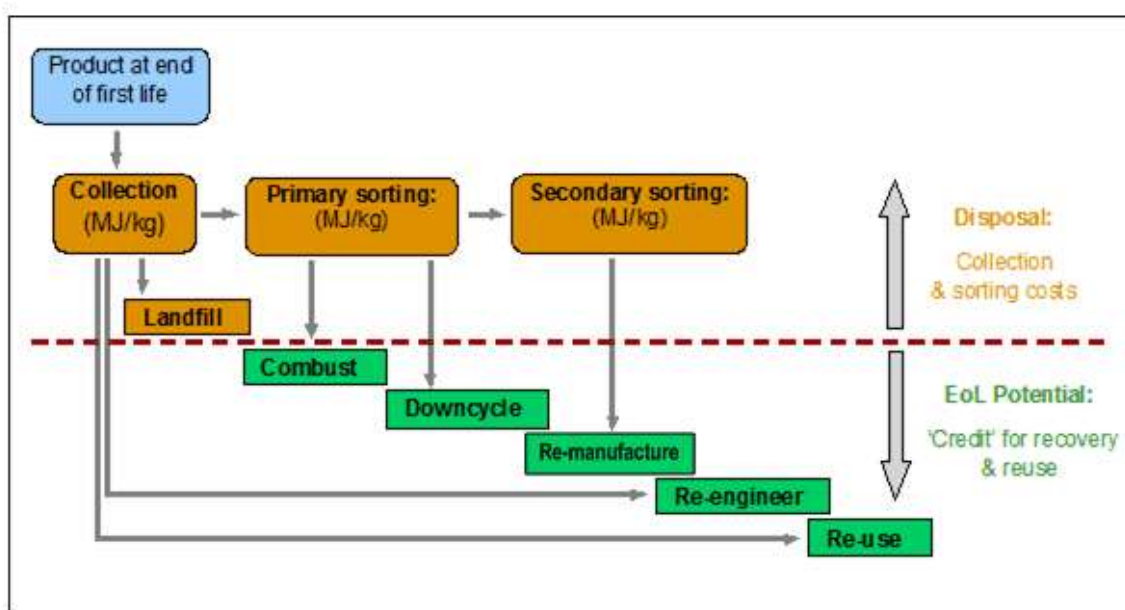
$$CO_{2collect} = \alpha H_{collect} \text{ (Eq. 5.8)}$$

On:

- $r$  = % recuperat
- $H_c$  = energia incorporada, recol·lecció (MJ/kg)
- $H_{ps}$  = energia incorporada, classificació primària (MJ/kg)
- $H_{ss}$  = energia incorporada, classificació secundària (MJ/kg)
- $\alpha$  = kg(CO<sub>2eq</sub>)/MJ 0,07

	Energia associada $H_c$ (MJ/kg)	Energia de classificació primària $H_{ps}$ (MJ/kg)	Energia de classificació secundària $H_{ss}$ (MJ/kg)
Abocador	0,2	-	-
Combustió	0,2	0,3	-
Downcycle	0,2	0,3	-
Reciclar	0,2	-	0,5
Refabricar	0,2	-	-
Reutilitzar	0,2	-	-
Cap	-	-	-

Taula 22. Energia associada, de classificació primària i secundària de diferents finals de cicle.



Il·lustració 17. Esquema fi de cicle dels materials. (Font: Granta Design)

Un cop recollit i classificat, el material és "processat" segons l'estratègia de final de vida seleccionada. L'energia ( $H_{credit}$ ) i la petjada de  $CO_2$  ( $CO_{2credit}$ ) associades a l'estalvi ambiental futur depèn tant de la ruta de final de vida com del tipus de material. Per calcular aquest "crèdit" al final de la vida, es fan els supòsits següents:

- El material recuperat s'utilitza per substituir el material de la mateixa qualitat (és a dir, només es concedeix crèdit per recuperar el contingut verge del component).
- No es concedeix cap crèdit per a un material quan el contingut reciclat s'estableix com a part reutilitzada.

En el *downcycling*, un material es transforma en un material de menor qualitat. Els beneficis ambientals del *downcycling* depenen tant de la tècnica del *downcycling* com de la reducció relativa de la qualitat del material. L'eina d'auditoria ecològica considera tres tècniques principals de *downcycling*: reprocessament, trituració i recuperació de metalls.

Els càlculs de la petjada energètica i de CO<sub>2</sub> utilitzats per al reprocessament es basen en les equacions utilitzades per al reciclatge. La diferència principal és que el *downcycling* comporta la substitució del material amb un rendiment inferior i una energia incorporada menor que el material que es recicla. Això es té en compte aplicant un factor de *downcycling* ( $\beta$ ).

En el reciclatge, el material es reprocessa i es converteix en un material de qualitat similar. Això comporta un estalvi de la petjada energètica i de CO<sub>2</sub> associada a la producció de material verge, menys l'energia i el CO<sub>2eq</sub> associats al procés de reciclatge. L'estalvi energètic es calcula de la següent manera:

$$H_{reciclat} = (H_{rc} - H_{grau}) \frac{r}{100} \text{ (MJ/kg) (Eq. 5.8)}$$

$$CO_{2reciclat} = (CO_{2rc} - CO_{2gra}) \frac{r}{100} \text{ (kg/kg) (Eq. 5.9)}$$

Mitjançant la refabricació, els components es recuperen d'un producte existent, es netegen, s'inspeccionen, es reparen (si cal) i es reutilitzen en un producte nou o com a peça de recanvi. S'estima que, de mitjana, el procés de refabricació utilitza uns 3MJ/kg. Això comporta els següents estalvis:

$$H_{refabricat} = (H_{reparat} - H_{grau}) \frac{r}{100} \text{ (MJ/kg) (Eq. 5.10)}$$

$$CO_{2refabrica} = (CO_{2reparat} - CO_{2gra}) \frac{r}{100} \text{ (kg/kg) (Eq. 5.11)}$$

On:

- $H_{refabricat} = 3\text{MJ/kg}$
- $CO_{2reparat} = \alpha H_{reparat} = 0,21 \text{ kg/kg}$

La reutilització és essencialment l'extensió de la vida útil d'un producte. Com que aquesta opció de final de vida no implica cap processament addicional, es poden aconseguir els màxims beneficis ambientals:

$$H_{reutilitzat} = (-H_{grau}) \frac{r}{100} \text{ (MJ/kg) (Eq. 5.12)}$$

$$CO_{2reutilitzat} = (-CO_{2gr}) \frac{r}{100} \text{ (kg/kg) (Eq. 5.13)}$$

Si al final de la vida útil no es realitza cap procés, no es té en compte cap de les opcions anteriors.

### 6.3.1. Comparació amb els mètodes d'obtenció d'energia no renovables més usats

Tal com veiem en el gràfic 1, els mètodes d'obtenció d'energia no renovable més importants a Espanya durant el 2021 són la nuclear, cicle combinat i cogeneració amb un 20,8%, 17,1% i un 10% respectivament. [8]

L'energia nuclear durant els processos de fissió no genera emissions de CO<sub>2</sub>, però en el seu cicle de vida complet té unes emissions mitges de 12g CO<sub>2</sub> per kWh. Això és degut a que el procés de fabricació, construcció, l'extracció de materials per aquesta i el manteniment sí que tenen una petjada associada. El mateix passaria amb l'energia associada. El procés de fissió com a tal sí que requereix un combustible, en aquest cas l'urani. Però per dur a terme el procés i el cicle de vida d'una central nuclear, s'utilitza 545GWh per any en forma d'energia elèctrica i tèrmica. [69] [70]

Si tenim en compte 40 anys de vida útil, obtindríem 21.800 GWh. Si tenim en compte que la producció mitja d'una central nuclear és de 8.500 GWh, haurà produït 340.000 GWh al llarg de la seva vida útil. Això ens deixaria una energia associada de 0,23 MJ per kWh produït sense tenir en compte el fet de la construcció en sí de la central. De manera bibliogràfica no es troba informació de quina és l'energia necessària per la construcció de la infraestructura d'una central nuclear, és per això que es tindrà en compte aquests 0,23 MJ sabent que aquest valor hauria de ser més gran. [64] [65] De fet, a la taula 23 es pot veure la quantitat de carboni per kWh produït considerant un cicle de vida complet. [58] [63]

	g CO <sub>2</sub> eq / kWh produït
Carbó	950-1.100
Cogeneració amb gas	450-650
Cicle combinat amb gas	350-450
Biomassa	60-80
Solar	40-50
Nuclear	10-15
Eòlica	8-12
Hidràulica	5-10

Taula 23. Quantitat de diòxid de carboni per kWh produït.



Pel que fa al cicle combinat amb gas, a dia d'avui, la seva petjada de carboni és de 450 kgCO<sub>2</sub>eq per MWh. El que és el mateix, 450 gCO<sub>2</sub>eq per kWh. Si agafem d'exemple la central de cicle combinat San Roque, veiem que té una energia associada de 4.174.126 MJ per any i que genera anualment 2.021.753 MWh. Això ens deixaria una energia associada de 2,1 MJ per kWh produït. Passa el mateix que en el cas de la central nuclear, no es troba bibliogràficament l'energia associada d'una central de cicle combinat. És per això que s'agafarà aquest valor de 2,1 MJ sabent que hauria de ser més gran. [71] [72]

Durant la cogeneració, gairebé dos terços de l'energia utilitzada per la generació d'electricitat convencional es malgasta en forma de calor descarregada a l'atmosfera. A més a més, es desaprofita energia addicional durant la distribució d'electricitat als usuaris finals.

En capturar i utilitzar la calor que altrament es desaprofitaria, i en evitar les pèrdues de distribució, la cogeneració pot aconseguir una eficiència del 60%. Això és el mateix que dir que per produir 1 kWh es necessiten 1,66kWh o 2,4MJ d'energia. Aquest valor fa referència només en termes d'energia. No es té en compte ni l'extracció dels materials, ni el transport, ni fabricació d'infraestructura com en els casos anteriors. Pel que fa a la petjada de carboni durant la cogeneració, és de 550 gCO<sub>2</sub>eq per kWh. [73] [74]

A la taula 24 es pot veure un resum de l'energia associada i la petjada de carboni de les energies no renovables estudiades.

	MJ/kWh produït	g CO <sub>2</sub> eq / kWh produït
<b>Nuclear</b>	0,23*	12
<b>Cicle combinat amb gas</b>	2,1*	450
<b>Cogeneració</b>	2,4*	550

*Taula 24. Comparativa de MJ i gCO<sub>2</sub>eq per kWh produït d'energies no renovables. \*No es té en compte energia associada de la infraestructura.*

### 6.3.2. Comparació amb els mètodes d'obtenció d'energia renovables més usats

Com s'observa al gràfic 1, els mètodes d'obtenció d'energia renovable més importants a Espanya durant el 2021 sense tenir en compte la fotovoltaica són la eòlica i la hidràulica amb un 23,3%, 11,4% i un 10% respectivament.

Si ens basem en la declaració ambiental de producte que Siemens ha fet de 4 tipus, veiem que la petjada de carboni és pot separar en parcs terrestres i parcs marins. [61] [62]

Parcs eòlics terrestres:

- 5 gCO<sub>2eq</sub>/kWh, en el molí SWT-2.3-108.
- 4 gCO<sub>2eq</sub>/kWh, en el molí SWT-3.2-113.

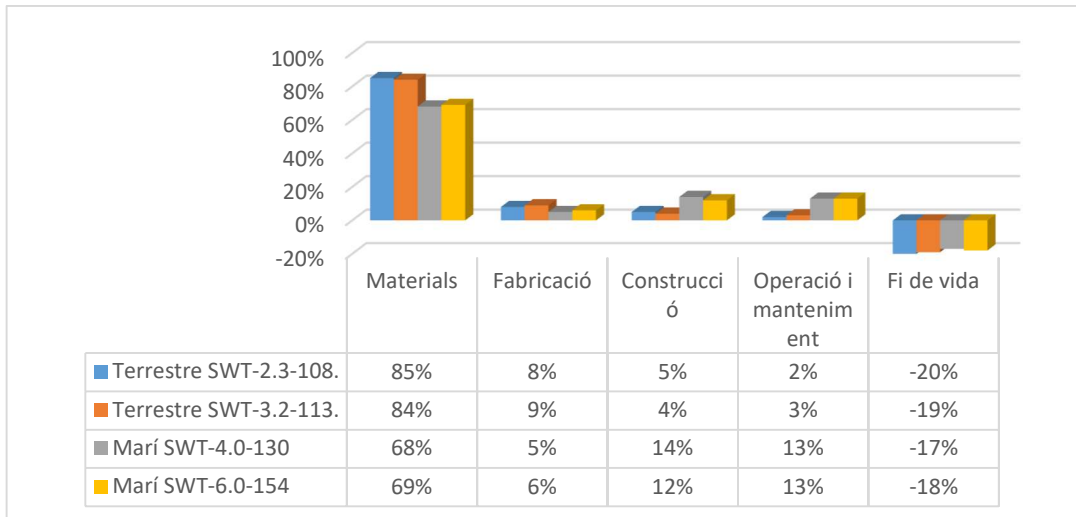
Parcs Eòlics Marins:

- 10 gCO<sub>2eq</sub>/kWh, en el molí SWT-4.0-130.
- 7 gCO<sub>2eq</sub>/kWh, en el molí SWT-6.0-154.

La major contribució a la petjada de carboni, amb molta diferència, correspon a l'extracció i el procés dels materials necessaris per a la fabricació dels molins i la construcció dels parcs. Augmenta fins a un 68 i 69 % del total en los parcs marins, i arriba al 84 i 85 % en els terrestres. [63]

En els parcs eòlics marins, la fase de construcció, a la vegada que la operació i manteniment són les segones en importància, amb una contribució d'entre el 12 i el 14%. Mentre que la fase de fabricació dels molins aporta el 5-6% del total.

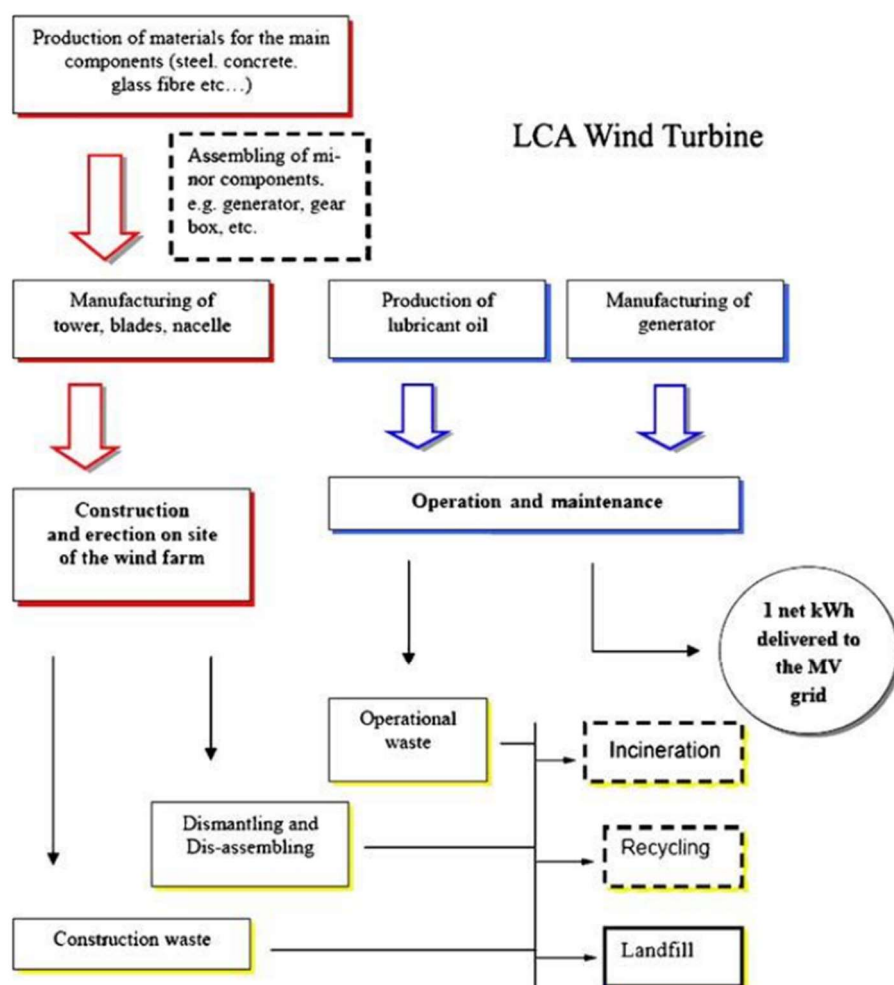
En els parcs eòlics terrestres, la segona en importància és la fase de fabricació dels molins amb un 8-9% del total. La fase de construcció afegeix el 4-5%; i la operació i manteniment, el 2-3%. En el gràfic 50 es pot observar la distribució del pes de cada fase en referència a la petjada de carboni.



Gràfic 50. % de petjada de carboni produïda a cada fase del cicle de vida d'un parc eòlic.

Com veiem, els valors del cicle de vida són negatius. Això és perquè en aquesta fase s'adopta la hipòtesi que, al final de la seva vida útil, els parcs eòlics es poden desmuntar en els seus components i els materials transportats i tractats d'acord amb diferents sistemes de gestió de residus. Aquestes hipòtesis representen les opcions de gestió de residus actuals al nord d'Europa. Pel que respecte als components de la turbina, s'assumeix el reciclatge de tots els materials reciclables; per exemple, els metalls. La resta dels materials s'incinera i es genera energia elèctrica; o es gestiona en un abocador.

El reciclatge permet la recuperació de materials, cosa que evita l'extracció de noves matèries primeres. I l'energia elèctrica produïda en la incineració deixa de ser produïda pel corresponent mix elèctric nacional, fent que un residu que es dipositaria en un abocador tingui utilitat. Tot això evita l'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle en les activitats evitades i explica la petjada de carboni negativa. [62]  
[63]

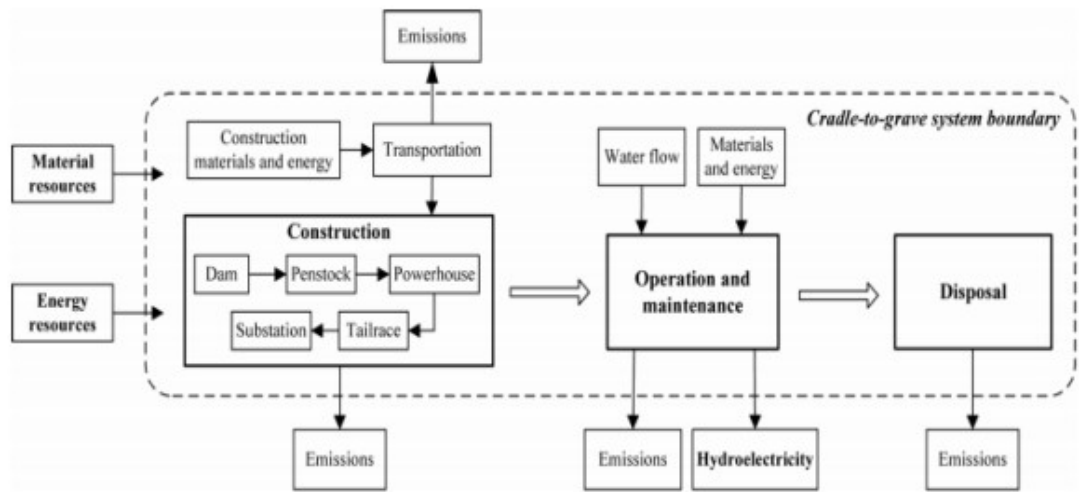


Il·lustració 18. Anàlisi de cicle de vida d'un parc eòlic.

En resum, la petjada de carboni d'un kWh produït en un parc eòlic és petita, de 8 a 12 gCO<sub>2eq</sub>.

L'energia associada per la producció d'un aerogenerador, que és la fase on bàsicament es requereix tota l'energia, és de 89.500.000 MJ. Tenint en compte que un aerogenerador produeix al llarg d'un any una mitja de 1.000.000 kWh i té una vida útil de 25 anys, produeix en total 25.000.000 kWh. Això ens deixaria una energia associada de 3,58 MJ per kWh produït.

L'energia hidràulica, tot i ser una energia renovable, genera emissions de CO<sub>2</sub> de manera indirecta tal com es veu a la il·lustració 19. La petjada de carboni d'un kWh produït en un parc hidràulic és la menor de totes, sent de 5 a 10 gCO<sub>2eq</sub>. [55] [56]



Il·lustració 19. Esquema del anàlisi del cicle de vida d'una central hidroelèctrica.

El pes de cada fase és el següent:

- Fase de construcció: és la fase més rellevant i la que té més pes en l'anàlisi de cicle de vida d'una central hidràulica. Inclou des de l'extracció dels materials necessaris fins a elements mecànics i hidràulics que aquesta necessita. També inclou el transport de tots els elements. [57]
- Fase de operació: aquesta fase es refereix principalment a les actuacions de manteniment de la central i el canvi de components mecànics. [57]
- Fase de desmantellament: aquesta fase inclou tot el desmantellament de la central hidroelèctrica, des del transport per a l'eliminació dels residus i el possible reciclatge de diferents elements. [57]

Aquest tipus d'energia requereix bàsicament energia en la combustió del dièsel pel que fa al transport, per la fabricació dels elements, uns 978.405.619,9 MJ, i un voltatge mig de 133.322.314 kWh. Si fem la conversió veiem l'energia associada per produir un parc hidràulic, que en total és de 1.458.365.950MJ. Tenint en compte que un parc hidràulic produeix al llarg d'un any una mitja de 2.400.000 kWh i té una vida útil de 25 anys també, produeix un total de 60.000.000 kWh. Això ens deixaria una energia associada de 24,31 MJ per kWh produït. A la taula 25 veiem el resum d'energia associada i petjada de carboni per les energies eòliques i hidràuliques.

	MJ/kWh produït	g CO <sub>2</sub> eq / kWh produït
<b>Eòlica</b>	3,58	8-12
<b>Hidràulica</b>	24,31	5-10

*Taula 25. Comparativa de MJ i gCO<sub>2</sub>eq per kWh produït d'energies renovables.*

La instal·lació més habitual en el món de les instal·lacions solars fotovoltaïques, sobretot a nivell residencial, és una instal·lació amb elements nous sense bateria. És per això que a la taula 26 els valors que corresponen a la solar fotovoltaïca és tenint en compte una instal·lació nova sense bateria.

	MJ/kWh produït	g CO <sub>2</sub> eq / kWh produït
<b>Solar fotovoltaïca</b>	20,49	19,9
<b>Eòlica</b>	3,58	8-12
<b>Hidràulica</b>	24,31	5-10
<b>Nuclear</b>	0,23*	12
<b>Cicle combinat amb gas</b>	2,1*	450
<b>Cogeneració</b>	2,4*	550

*Taula 26. Comparativa de MJ/kWh i g CO<sub>2</sub>/kWh de totes les tecnologies estudiades.*

## 7. Anàlisi de l'impacte ambiental

En aquest capítol es pretén valorar l'impacte ambiental que s'ha pogut tenir durant la realització del treball.

Per avaluar d'una manera adequada l'impacte realitzat del treball s'ha de tenir en compte les característiques d'aquest. Si és cert que el cas d'estudi és un cas real però el treball és de caire purament analític i de recerca bibliogràfica.

La instal·lació realitzada no es tindrà en compte ja que no s'ha realitzat pel treball, sinó que ja era una instal·lació realitzada prèviament. És per això que l'impacte d'aquest treball serà de caire limitat més enllà del que pot consumir un ordinador i un cotxe durant al transport a l'empresa on s'ha realitzat el treball.

El cotxe utilitzat com a medi de transport consumeix 4,9 litres de gasolina per 100km si es fa la mitja entre ciutat i carretera. Si tenint en compte que de l'empresa al domicili hi ha 20 km i s'han fet dos viatges al dia durant 3 mesos per 5 dies laborables, obtenim un total de 2.760 km. Un litre de gasolina, que pesa uns 750 grams, conté 652 grams de carboni. Per dur a terme la combustió interna de gasolina, un motor necessita uns 1740 grams d'oxigen per litre, això sumat als grams de carboni anterior dona com a resultat uns 2392 grams de CO<sub>2</sub> per litre de combustible. Això vol dir que durant la realització d'aquest treball s'han generat 323,49 kg de CO<sub>2</sub>. Aquest valor es podria reduir utilitzant transport públic o compartint vehicle, per exemple.

També es podria contemplar la petjada de carboni i l'energia emprada per la realització del vehicle, però això no seria del tot concloent ja que l'ús del vehicle és molt més gran que no pas l'ús concret per aquest treball.

Es podria tenir en compte també l'ordinador que s'ha utilitzat per la realització del treball. Tenint en compte que el treball s'ha realitzat amb unes 370 hores, es podria calcular el consum energètic del dispositiu. El dispositiu emprat consumeix uns 220 W per hora d'energia, que durant tot el treball es traduiria en 81,4 kW.

Si en un futur es pretengués realitzar per exemple, una instal·lació reciclada o algun dels materials emprats en ella de zero, aquest apartat cobriria més sentit.

## Conclusions

En els darrers anys el sector de l'energia solar fotovoltaica s'ha incrementat de manera exponencial. Això no vol dir que les altres energies renovables no juguin un paper important. De fet, tot i el gran augment de l'energia solar fotovoltaica, no s'ha d'oblidar que l'energia eòlica no és només la primera força de les renovables, sinó que és la tecnologia que més ha generat en el mix nacional en el darrer any.

Si es comparen els valors de les tecnologies hidràuliques i eòliques, veiem que la hidràulica requereix gairebé 7 vegades l'energia que requereix la eòlica per produir 1 kWh. Això és degut principalment a l'energia que es requereix a cada una a nivell de construcció i infraestructura. En els dos casos la fase de construcció i materials és la que té el major pes degut a què no requereix de combustibles ni de nivells molt alts d'energia. En aquest aspecte l'energia hidràulica, tot i generar més kWh durant la seva vida útil, requereix més de 16 vegades l'energia que requereix la construcció d'un aerogenerador. És per això que l'energia associada a la tecnologia hidràulica per kWh produït és molt més elevat.

Les coses canvien quan s'observa la petjada de carboni que generen les dues tecnologies per kWh produït. Això de primeres pot semblar curiós degut a que una central hidràulica és molt més gran i requereix més materials que un aerogenerador, però degut als materials de l'aerogenerador, concretament els aliatges dels àleps i la seva fabricació, fa que un aerogenerador sol generi una petjada de carboni major que una central hidràulica.

En el cas de la solar fotovoltaica el primer que salta a la vista és que, tot i ser renovable genera una petjada de carboni superior a les seves homòlogues que utilitzen aire i aigua com a mètode de generació. Si no tenim en compte les bateries el perquè està molt clar, degut als panells solars.

L'extracció de materials i fabricació d'aquests generen una petjada de carboni important. Aquesta a priori pot semblar no molt alta però s'ha de tenir en compte el número total de captadors. En el nostre cas es tractava només de 18 mòduls. Aquests 18 mòduls generen 10.000 kWh que disten molt dels 2.400.000 kWh i 1.000.000 kWh que generen la hidràulica i eòlica respectivament de manera anual. S'ha de tenir en compte que això és a nivell residencial, si es plantegés fer un camp solar per generar el mateix que un aerogenerador es requeririen 1800 mòduls augmentant encara més la petjada de carboni. Aquest fet es veu molt incrementat si s'afegeix una bateria a la instal·lació.



En el cas de l'energia emprada, la solar fotovoltaica tot i requerir menys energia que la tecnologia hidràulica està molt lluny de l'energia eòlica. Això és degut, per una part, a l'extracció de materials que conformen el mòdul solar, sobretot els metalls i el silici. Aquests elements requereixen més energia que no pas els emprats en una central hidràulica. Per altra banda, les instal·lacions solars tenen elements que estan sempre connectats a la xarxa elèctrica nacional com poden ser els inversors, fet que a la llarga fa que la instal·lació requereixi més energia sobretot en la fase d'ús.

Si es compara la solar fotovoltaica amb els mètodes de cogeneració i cicle combinat, veiem que genera una petjada de carboni molt menor. Això és degut a les combustions que aquestes requereixen i que la fotovoltaica no genera. El cas de la nuclear és curiós. És curiós perquè a nivell de petjada de carboni està al nivell de la eòlica i la hidràulica pel que es podria denominar "renovable". El fet perquè no ho és són els residus. No genera gasos d'efecte hivernacle però els residus radioactius que generen tot i estar controlats i emmagatzemats en magatzems ATC i ATI, suposen un greu perill per la població i el medi ambient. La història ens ha deixat varis exemples com pot ser l'accident de Txernòbil al 1986 o l'accident de Fukushima I al 2011.

Pel que fa a l'energia associada tant a les centrals nuclears, com a les de cicle combinat i cogeneració l'estudi queda com a no conclouent. No s'ha trobat de manera bibliogràfica el què aquestes requereixen a nivell energètic per fabricar-se. El que sí que es pot dir és que per una banda, és que al tenir dues d'elles reaccions de combustió i la nuclear reaccions molt més energètiques de fissió i fusió, es requerirà més energia d'ús. Per altra banda també és de sentit comú que requereixin més energia pel que fa a l'extracció de materials i construcció de les centrals per contenir aquestes reaccions, sobretot les nuclears.

Les bateries surten a compte. Això és cert, amb dues condicions. La primera és que sigui una instal·lació solar fotovoltaica residencial ja que els camps solars no requereixen d'aquestes perquè aboquen l'energia generada directament a la xarxa de distribució nacional. La segona és que es busqui una independència i un autoconsum sense tenir en compte l'impacte d'aquestes, tant en relació a l'energia emprada com a la petjada de carboni requerida. Si el que es busca és abastir la població amb una energia amb el mínim impacte al medi ambient, les bateries no són una solució. S'ha de tenir en compte també el liti que aquestes requereixen i com la demanda d'aquest, es trobarà en un moment crític cap al 2040, com marca la IEA.

Un factor a tenir en compte és que les instal·lacions solars fotovoltaïques residencials, sobretot les que s'han posat de moda recentment utilitzen materials nous. S'ha de garantir una vida útil i qualitat, cosa que fa que els usuaris i empreses es decantin més per materials nous. Si s'instal·lessin panells a mode d'autoconsum residencial amb materials reciclats i reutilitzats, l'energia solar fotovoltaica podria competir amb la eòlica pel que fa a l'energia emprada i la petjada de carboni generada.

En conclusió, les instal·lacions solars fotovoltaïques són una alternativa a tenir en compte, sobretot a nivell residencial. La independència energètica, l'autoconsum i darrerament la reducció de les factures d'electricitat fan que siguin una bona opció per produir energia de manera renovable. Si no es volgués aquesta independència individual i autoconsum de cada usuari i es busqués de manera global, l'energia eòlica seria clarament la millor opció per abastar la societat amb una energia renovable.

Degut a què aquest tipus d'instal·lacions no tenen més de 20 anys no trobem encara masses residus. Un possible treball futur seria estudiar què es farà amb tots aquests residus provocats per les instal·lacions solars fotovoltaïques que ara estan en ús i el mateix amb els aerogeneradors.

## Pressupost i/o Anàlisi Econòmica

En aquest apartat es pretén descriure i desglossar de la manera més acurada possible el pressupost referent al treball de final d'estudis en qüestió. Al tractar-se d'un treball de caire primordialment teòric, no s'ha obtingut cap partida en referència al prototipatge, mà d'obra ni materials ja que aquests últims ja es disposaven amb anterioritat com pot ser el cotxe, un ordinador o la pròpia instal·lació.

D'igual manera s'han realitzat unes tasques a nivell d'enginyer o, en aquest cas, enginyer en pràctiques. S'han dividit aquestes tasques en les diferents parts del treball que s'han anat trobant durant el transcurs del mateix. S'ha de tenir en compte que al nostre país un enginyer cobra de mitja 15,33 € per hora que amb els costos indirectes ascendiria fins a 35 € per hora, però tenint en compte que ens trobem en el cas d'un estudiant en pràctica, s'ha tingut en compte 10 € per hora que és el preu del conveni de pràctiques. Les tasques són:

- **Investigació bibliogràfica:** representa la cerca del cos del treball començant pels fonaments teòrics, seguint per la cronologia i mètodes d'obtenció d'energia i acabant per la situació actual i funcionament de l'energia solar fotovoltaica. Aquesta última ha sigut la més profunda juntament amb els impactes que tenen els diferents mètodes d'obtenció d'energia a fi de construir les conclusions del treball. Durant aquesta tasca s'han invertit 60 hores de feina.
- **Redacció de la part teòrica:** en aquest apartat s'ha construït el cos del treball amb les dades obtingudes a la tasca anterior. S'ha construït la part teòrica de manera lògica pel lector donant informació des dels fonaments que el treball requereix fins a la profunda indagació del funcionament dels diferents mètodes d'obtenció d'energia i, en concret, de la solar fotovoltaica que és el nucli d'aquest treball. En aquesta tasca s'han invertit 100 hores de feina.
- **Procediment de la part pràctica:** en aquesta tasca s'han dut a terme tots els càlculs necessaris per poder comparar els diferents mètodes d'obtenció d'energia. A través de l'eina Eco Audit i la prèvia recerca de tots els components i funcionament d'una instal·lació residencial en règim d'autoconsum s'ha calculat per cada un dels elements la petjada de carboni generada i l'energia emprada durant cada fase del seu cicle de vida. En aquesta tasca s'han invertit 120 hores de feina.
- **Avaluació dels càlculs i resultats:** durant aquesta part s'han avaluat els resultats obtinguts a la tasca anterior. Era important en aquesta tasca deixar ben clars els resultats i les seves condicions per als lectors i per poder construir a la tasca posterior una conclusió clara i concisa. Durant aquesta tasca s'han invertit 40 hores de feina.
- **Redacció de la conclusió:** en aquesta part s'ha usat la recerca prèvia de tot el treball fet i l'anàlisi dels resultats de l'apartat anterior per poder redactar unes conclusions coherents i clares per concloure el treball. Aquesta tasca a derivat en 40 hores de feina.

- **Reorganització i repàs final del treball:** aquesta és la última tasca. Es tracta de revisar que tot sigui correcte. Revisar les fonts, el llenguatge emprat, la tipologia del treball, la correcció ortogràfica i tots els petits detalls per deixar llest el treball abans de donar-lo per finalitzat. Aquesta tasca a derivat en 10 hores de feina.
- **Transport:** com s'ha mencionat al punt anterior, durant les pràctiques el transport usat ha sigut un cotxe de gasolina que consumeix 4,9 litres de gasolina per 100 km. Sabent que la mobilitat total ha suposat 2.760 km i que el preu de la gasolina actual és de 2,064 € el litre s'obté el cost.

Tasca	Hores emprades	Preu base enginyer en pràctiques (€/h)	Cost total enginyer en pràctiques (€)	Cost total més I.V.A enginyer en pràctiques (€)	Preu base enginyer titulat (€/h)	Cost total enginyer titulat (€)	Cost total més I.V.A enginyer titulat (€)
Investigació bibliogràfica	60	10	600	726	35	2.100	2541
Redacció de la part teòrica	100	10	1.000	1.210	35	3.500	4235
Procediment part pràctica	120	10	1.200	1.452	35	4.200	5082
Avaluació dels càlculs i resultats	40	10	400	484	35	1.400	1694
Redacció de la conclusió	40	10	400	484	35	1.400	1694
Reorganització i repàs final del treball	10	10	100	121	35	350	423,5
Transport (amb IVA inclòs)			135,3	135,3		135,3	135,3
<b>Total</b>			3.835,3	<b>4.612,3</b>		13.085,3	<b>15.804,8</b>

Taula 27. Pressupost del Treball Final d'Estudis. (Font: elaboració pròpia)

Com es veu a la taula 27, s'ha dividit el cost del treball per un enginyer en pràctiques i un enginyer titulat. Els costos són de 4.612,3 € i 15.804,8 € respectivament.

## Bibliografia

- [1] Khan Academy. “Efecto fotoeléctrico”. Consultat: 06/09/2022. <https://es.khanacademy.org/science/ap-chemistry/electronic-structure-of-atoms-ap/bohr-model-hydrogen-ap/a/photoelectric-effect>
- [2] Radiation Dosimetry. “¿Qué es la banda de conducción y valencia en semiconductores?”. Consultat: 07/03/2022. <https://www.radiation-dosimetry.org/es/que-es-la-banda-de-conduccion-y-valencia-en-semiconductores-definicion/>
- [3] Navarro Veguillas, Luis. “El fotón cumple cien años”. Universitat de Barcelona. 2017. Pàg 2-4.
- [4] Gran Enciclopèdia Catalana. “Espectre electromagnètic”. Consultat: 07/03/2022. <https://www.enciclopedia.cat/gran-enciclopedia-catalana/espectre-electromagnetic>
- [5] Lincot, Daniel. “The new paradigm of photovoltaics: From powering satellites to powering humanity”. Institut photovoltaïque d’Île-de-France. 2016. Pàg 382-384.
- [6] Statista. “Distribución porcentual de la generación de energía eléctrica en España en 2021, por tipo”. Consultat: 08/03/2022. <https://es.statista.com/estadisticas/993747/porcentaje-de-la-produccion-de-energia-electrica-por-fuentes-energeticas-en-espana/>
- [7] Red Eléctrica de España. “Estructura de la generación por tecnologías nacional”. Consultat: 10/03/2022. <https://www.ree.es/es/datos/generacion>
- [8] Gobierno de España. “La Energía en España 2019”. Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. 2019. Pàg 113-118.
- [9] Hiru. “Fisión nuclear y fusión nuclear”. Consultat: 13/03/2022. [https://www.hiru.eus/es/fisica/fision-nuclear-y-fusion-nuclear\\_13/03](https://www.hiru.eus/es/fisica/fision-nuclear-y-fusion-nuclear_13/03)
- [10] Gobierno de España. “La Energía en España 2019”. Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. 2019. Pàg 195-204.
- [11] B. Y. Moratilla. “La energía eólica”. Universidad Pontificia Comillas. 2006. Pàg 7-10.
- [12] Asociación Empresarial Eólica. “La eólica en España”. Consultat: 15/03/2022. <https://aeeolica.org/sobre-la-eolica/la-eolica-en-espana/>

- [13] Red Eléctrica de España. “La eólica se convierte en la principal fuente de generación de energía eléctrica en España en 2021”. Consultat: 15/03/2022. <https://www.ree.es/es/sala-de-prensa/actualidad/nota-de-prensa/2021/12/la-eolica-se-convierte-en-la-principal-fuente-de-generacion-de-energia-electrica-en-espana-en-2021>
- [14] Ente Vasco de la Energía. “El ciclo combinado”. Consultat: 16/03/2022. <https://www.eve.eus/Conoce-la-Energia/Multimedia/Infografias/El-ciclo-combinado?lang=es-es>
- [15] Naturgy. “Ciclos combinados”. Consultat: 19/03/2022. [https://www.naturgy.com/conocenos/actividad\\_y\\_energias/electricidad/ciclos\\_combinados](https://www.naturgy.com/conocenos/actividad_y_energias/electricidad/ciclos_combinados)
- [16] Federación española de municipios y provincias. “Ciclos combinados en España”. Consultat: 19/03/2022. <http://www.seccionmunicipiosciclocombinado.es/ciclos-combinados-en-espana/>
- [17] Endesa Fundación. “Central térmica de ciclo combinado”. Consultat: 19/03/2022. <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/centrales-electricas-convencionales/central-termica-convencional-ciclo-combinado>
- [18] Energía Solar. “Ciclo Rankine: funcionamiento del ciclo que convierte calor en trabajo”. Consultat: 20/03/2022. <https://solar-energia.net/termodinamica/ciclos-termodinamicos/ciclo-rankine>
- [19] Thermal Engineering. “¿Qué es el ciclo de Brayton? – Motor de turbina de gas”. Consultat: 20/03/2022. <https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-el-ciclo-brayton-motor-de-turbina-de-gas-definicion/>
- [20] Agencia Andaluza de la Energía. “Energía Hidráulica”. Consultat: 24/03/2022. <https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/es/informacion-energetica/energias-renovables/energia-hidraulica>
- [21] Enérgya. “¿Qué es la energía hidráulica?”. Consultat: 24/03/2022. <https://www.energyavm.es/energia-hidraulica/>
- [22] Endesa. “Energía hidráulica: qué es, cómo funciona y sus ventajas”. Consultat: 24/03/2022. <https://www.endesa.com/es/blog/blog-de-endesa/sostenibilidad/energia-hidraulica>
- [23] Asociación Española de Cogeneración. “Cogeneración en España”. Consultat: 27/03/2022. <https://www.acogen.es/cogeneracion-espana.php>
- [24] Engie. “Cogeneración”. Consultat: 27/03/2022. <https://www.engie.es/actividades/energia-termica/cogeneracion/>

- [25] Suelo Solar. “¿Qué es la cogeneración de alta eficiencia?”. Consultat: 27/03/2022. <https://suelosolar.com/noticias/eficiencia-energetica/espana/7-10-2014/que-es-cogeneracion-alta-eficiencia>
- [26] Red Eléctrica de España. “La potencia instalada de solar fotovoltaica en España aumenta casi un 30% en 2021”. Consultat: 01/04/2022. <https://www.ree.es/es/sala-de-prensa/actualidad/nota-de-prensa/2022/03/potencia-instalada-solar-fotovoltaica-en-espana-aumenta-casi-un-30-por-ciento-en-2021>
- [27] Red Eléctrica de España. “El sistema eléctrico español. Avance 2021”. 2021. Pàg 1-24.
- [28] Endesa. “Excedents de l'autoconsum: vendre l'energia solar que et sobra”. Consultat: 03/04/2022. <https://www.endesa.com/ca/cataleg/autoconsum-endesa/compensacio-excedents>
- [29] Otovo. “Placas solares fotovoltaicas: Tu guía completa”. Consultat: 03/04/2022. <https://www.otovo.es/blog/placas-solares/placas-solares-fotovoltaicas/>
- [30] Som energía. “¿Cómo funciona la compensación simplificada de excedentes?”. Consultat: 03/04/2022. <https://es.support.somenergia.coop/article/784-como-funciona-la-compensacion-simplificada-de-excedentes>
- [31] Otovo. “Cómo funcionan las placas solares”. Consultat: 10/04/2022. <https://www.otovo.es/blog/placas-solares/como-funcionan-placas-solares-fotovoltaicas/>
- [32] Energía Solar. “¿Cuál es la composición de un panel fotovoltaico?”. Consultat: 10/04/2022. <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/panel-fotovoltaico/estructura-de-un-panel-fotovoltaico>
- [33] Romero, Jacobo. “Análisis del funcionamiento de paneles fotovoltaicos y su utilización en las regiones de costa y sierra del Ecuador. Caso de estudio: Biblioteca Pompeu Fabra de Mataró”. Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona. 2015. Pàg 17-32.
- [34] Suárez Venezuela, Eugenio. “Caracterización del EVA reciclado”. Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona. 2018. Pàg 75-78.
- [35] Solarstem. “Soportes para placas solares”. Consultat: 12/04/2022. <https://solarstem.com/>
- [36] S:Flex. “Sistemas de soporte sobre cubierta. Manual de montaje.
- [37] Atersa. “Tipos de estructura para paneles solares”. Consultat: 12/04/2022. <https://atersa.shop/tipos-de-estructuras-para-paneles-solares/>

- [38] Alusínsolar. “Por qué elegir aluminio y acero galvanizado para tus estructuras solares”. Consultat: 12/04/2022. <https://alusinsolar.com/aluminio-acero-estructuras-solares/>
- [39] SMA. “Funcionamiento de un inversor fotovoltaico”. Consultat: 15/04/2022. <https://www.sma-sunny.com/es/funcionamiento-de-un-inversor-fotovoltaico/>
- [40] Factor energía. “Què és un inversor solar?”. Consultat: 15/04/2022. <https://www.factorenergia.com/ca/blog/eficiencia-energetica-ca/que-es-un-inversor-solar-ca/>
- [41] Otovo. “Inversor solar: qué es, funcionamiento, tipos y cómo escoger el más adecuado”. Consultat: 15/04/2022. <https://www.otovo.es/blog/placas-solares/inversores-solares/>
- [42] Monsolar. “Cómo elegir una batería solar”. Consultat: 17/04/2022. <https://www.monsolar.com/blog/como-elegir-una-bateria-solar/>
- [43] AutoSolar. “Tipos de baterías solares”. Consultat: 17/04/2022. <https://autosolar.es/baterias-placas-solares/tipos-baterias-solares>
- [44] Hogarsense. “El papel del gestor de recarga con los puntos de recargas”. Consultat: 18/04/2022. <https://www.hogarsense.es/energia-solar/gestor-de-carga>
- [45] Helloauto. “Fusible”. Consultat: 18/04/2022. <https://helloauto.com/glosario/fusible>
- [46] Keybps. “¿Qué son las sobretensiones y qué daños producen?”. Consultat: 18/04/2022. <https://www.keybps.com/que-son-las-sobretensiones-y-que-danos-producen>
- [47] Selectra. “¿Qué es el diferencial eléctrico y cómo funciona?”. Consultat: 18/04/2022. <https://selectra.es/energia/info/que-es/interruptor-diferencial>
- [48] Cadenza electric. “Magnetotérmico”. Consultat: 18/04/2022. <https://www.cadenzaelectric.com/magnetotermico-como-funciona.html>
- [49] Otovo. “El reciclado de los paneles solares fotovoltaicos”. Consultat: 20/04/2022. <https://www.otovo.es/blog/placas-solares/reciclaje-de-paneles-solares/>
- [50] Hogarsense. “¿Cómo es el reciclaje de paneles fotovoltaicos?”. Consultat: 20/04/2022. <https://www.hogarsense.es/placas-solares/reciclaje-paneles-solares>
- [51] Krones. “Reciclaje de envases de poliolefinas”. Consultat: 20/04/2022. <https://www.krones.com/es/productos/maquinas/soluciones-para-el-reciclaje-de-poliolefinas-metapure-w-po.php>



- [52] Condorchem envitech. “Extracción y recuperación de litio y reciclaje de baterías”. Consultat: 20/04/2022. <https://condorchem.com/es/blog/extraccion-recuperacion-litio/>
- [53] Sierra Céspedes, María Mónica. Vásquez Stanescu, Carmen Luisa. Ramírez-Pisco, Rodrigo. “Disposición final e impacto Ambiental de las celdas fotovoltaicas”. Universidad de Barcelona, Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre y Universidad Politécnica de Cataluña. 2020. Pàg 75-86.
- [54] EU Science Hub. “PVGIS Photovoltaic Geographical Information System”. Consultat: 02/05/2022. [https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-photovoltaic-geographical-information-system\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-photovoltaic-geographical-information-system_en)
- [55] Cruz Pérez, Noelia. Santamarta Cerezal, Juan Carlos. García, Celso. Rodríguez-Lozano, Pablo. Tirado, Dolores. “La huella de carbono en las infraestructuras hidráulicas de las islas baleares”. Conselleria Medi Ambient i Territori. 2021. Pàg 30-38.
- [56] Oxidine Water Technology. “El CO<sub>2</sub> escondido detrás de las centrales hidroeléctricas”. Consultat: 04/05/2022. <https://oxidine.net/el-co2-escondido-detras-de-las-centrales-hidroelectricas/>
- [57] Club iagua. “La huella hídrica de la producción de energía”. Consultat: 06/05/2022. <https://www.iagua.es/blogs/jose-luis-canga/huella-hidrica-produccion-energia>
- [58] Alvarado, Allan Augusto. “Carbon footprint of renewable energy sources”. Ghent University. 2017.
- [59] Eco inteligencia. “El análisis de ciclo de vida y su marco normativo”. Consultat: 08/05/2022. <https://www.ecointeligencia.com/2016/05/acv-marco-normativo/>
- [60] Indústria Nuclear Espanyola. “¿Cómo influye la energía nuclear en el medio ambiente?”. Consultat: 08/05/2022. <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/preguntas-y-respuestas/sobre-energia-nuclear-y-medio-ambiente/como-influye-la-energia-nuclear-en-el-medio-ambiente/>
- [61] Cortés Landazuri, Paula Andrea. “Análisis comparativo de la Huella de Carbono de Un Parque Eólico en Tenerife – España”. Instituto Politécnico de Leiria. 2019. Pàg 3-14.
- [62] Sánchez Relano, Lorena. “Análisis de ciclo de vida de las tecnologías eólica e hidráulica en España”. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía. 2018. Pàg 32-70
- [63] RGA engineering international. “Huella de carbono y Energías renovables”. Consultat: 11/05/2022. <https://rga-ip.com/huella-de-carbono-y-energias-renovables/>

- [64] Sociedad Nuclear Española. “¿Qué cantidad de combustible necesita una central nuclear durante un ciclo operativo?”. Consultat: 12/05/2022. <https://www.sne.es/preguntas-y-respuestas/funcionamiento-centrales-nucleares/cantidad-combustible-central-nuclear-ciclo-operativo/>
- [65] Organismo Internacional de Energía Atómica. “Ciclo de vida de las centrales nucleares”. Consultat: 12/05/2022. <https://www.iaea.org/es/temas/ciclo-de-vida-de-las-centrales-nucleares>
- [66] Conecta industria. “La huella de carbono en el sistema eléctrico español”. Consultat: 13/05/2022. <https://www.conectaindustria.es/universidad/001108/la-huella-de-carbono-en-el-sistema-electrico-espanol>
- [67] Appa renovables. “Hidráulica: la energía más respetuosa con el medioambiente”. Consultat: 13/05/2022. <https://www.appa.es/appa-hidraulica/>
- [68] Aguilera Acosta, Rodrigo. “ACV en la aplicación de energías renovables en el ciclo urbano del agua”. Universidad de Jaén. 2016. Pàg 27-56.
- [69] Organismo Internacional de Energía Atómica. “Construcción y puesta en servicio de centrales nucleares”. Consultat: 14/05/2022. <https://www.iaea.org/es/temas/construccion-y-puesta-en-servicio-de-centrales-nucleares>
- [70] Plataforma Tecnológica de Energía Nuclear de Fisión. “Cadena de suministro para la construcción de una instalación nuclear”. CEIDEN. 2013. Pàg 3-12.
- [71] San Joaquín Crespo, María del Mar. “Análisis comparativo entre una planta de ciclo combinado convencional y una incorporando una pila de combustible de óxidos sólidos”. Universidad de Sevilla. 2019. Pàg 45-55.
- [72] Fundación Endesa. “Central térmica de ciclo combinado”. Consultat: 17/05/2022. <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/centrales-electricas-convencionales/central-termica-convencional-ciclo-combinado>
- [73] Quispe Chanampa, Carlos Nicolás. “Análisis energético de un sistema de cogeneración y gasificación para la industria azucarera”. Repositorio Institucional Pirhua. 2010. Pàg 51-71.
- [74] BBVA. “Qué es la cogeneración: la industria frente al espejo de la transición energética”. Consultat: 19/05/2022. <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-la-cogeneracion-la-industria-frente-al-espejo-de-la-transicion-energetica/>

[75] efEnergia. “Cogeneración”. Consultat: 19/05/2022. <https://www.efenergia.com/instalaciones-eficiencia-energetica/termicas/cogeneracion/>

[76] AEFA. “Cogeneración”. Consultat: 19/05/2022. <https://aesa.net/es/aplicaciones-energia/cogeneracion>

[77] Renovetec. “Construcción de centrales de ciclos combinados”. Consultat: 21/05/2022. <https://www.renovetec.com/707-construccion-de-ciclos-combinados>

[78] Gobierno de España. “Evaluación completa del potencial de uso de la cogeneración de alta eficiencia y de los sistemas urbanos de calefacción y refrigeración eficientes”. Ministerio de industria, energía y turismo.



## Annex A

### A1. Càlculs justificatius

## CARACTERÍSTIQUES INVERSORS, MÒDULS I BATERIES

Inversor (model principal)	
<b>SUN2000-6KTL-M1</b>	
<b>Valors entrada (DC)</b>	
Tensió MPPT màx	560 V
Tensió MPPT min	90 V
Tensió màxima	600 V
Tensió d'inici	100
Nº strings per entrada	1
Nº entrades	2
Nº MPPT	2
Corrent màx entrada	12,5 A
Corrent curtcircuit màx entrada	18,0 A
<b>Valors sortida (AC)</b>	
Potència nominal	6000 W
Corrent màx	8,5 A
Corrent nominal	8,5 A
Tensió nominal	400 V
Freqüència nominal	50
Cos Phi	0,8...1...0,8
THD	< 3%
Eficiència màxima	98,4%
Euroeficiència	97,8%

Mòduls	
<b>HIE-S410VG</b>	
Potència pic (Pmax)	410 W
Tipus de cèl·lula	Si mono PERC
Tensió circuit obert (Voc)	46,60 V
Intensitat curtcircuit (Isc)	11,07 A
Tensió punt de màxima potència (Vmppt)	38,80 V
Intensitat punt de màxima potència (Imppt)	10,57 A
Eficiència	20,9%
Coefficient de temperatura de Pmax	-0,34 %/°C
Coefficient de temperatura de Voc	-0,27 %/°C
Coefficient de temperatura de Isc	0,040 %/°C
Tensió màxima del sistema	1000 V
Alt	1719 mm
Ample	1140 mm
Profunditat	35 mm
Pes	22,0 Kg
Longitud connectors	1,50 m

Bateria	
<b>LUNA2000-5KW-C0</b>	
Energia total	5,00 kWh
Energia útil	5,00 kWh
Tensió mínima DC	350,0 V
Tensió màxima DC	560,0 V
Corrent nominal DC	13,9 A
Corrent màxima DC	20,0 A
Potència AC	5000 W
Corrent nominal AC	13,9 A
Corrent màxima AC	20,0 A

## CÀLCUL I COMPROVACIÓ PARAMETRES (V i I) DE LES SÈRIES

	dia + fred	dia + càlid
Temperatura ambient	Ta -10 °C	45 °C
Irradiància	I 200 W/m <sup>2</sup>	900 W/m <sup>2</sup>
Temperatura mòdul	Tc -4 °C	73 °C

NoCT nominal 45 °C  
Tc = Ta + I\*(No-20)/800

	Model inversor Principal	Model inversor Secundari
Nº màxim mòduls serie (Tc = -4°C)	11,95	13,39
Nº mínim mòduls serie (Tc = 73°C)	2,87	0,00
Nº màxim strings paral·lel	1,60	0,00

Inversor	Factor d'escala
Principal	1
	0,55
	2
	3
	4

nº mòduls per pressupost
18
potència pic 7,38

Model d'inversor?	Inversor	MPPT	Sèrie	Paral·lel	Vmppt	Imppt	Voc	Isc	Potència	Voc max		Rang MPPT		Isc max			
										Voc Ta=-10°C	Vmppt Ta=-10°C	Vmppt Ta=45°C	Isc Ta=45°C				
Principal	1	1	10	1	388,0 V	10,6 A	466,0 V	11,1 A	4100 W	502,2 V	OK	418,1 V	OK	337,6 V	OK	11,3 A	OK
Principal	1	2	8	1	310,4 V	10,6 A	372,8 V	11,1 A	3280 W	401,7 V	OK	334,5 V	OK	270,1 V	OK	11,3 A	OK
	Nº mòduls			18				7,380 W	1								

## CÀLCUL CAIGUDA DE TENSÍO CABLEJAT DC

Tº ambiente 70 °C  
Tº max cond. 120 °C  
Tipo inst. Tipus B1 (2 conductors XLPE)

Tº del Cond. (°C)	Cond. Cobre (m/Ω·mm <sup>2</sup> )	Cond. Alumini (m/Ω·mm <sup>2</sup> )
20	56	34,5
70	48	30,3
90	44	27,8

$$T = T_{amb} + (T_{max} - T_{amb}) \cdot \left(\frac{I}{I_{max}}\right)^2$$

$$\sigma_{cond} = \sigma_{T1} - \frac{\sigma_{T1} - \sigma_{T2}}{T_2 - T_1} \cdot (T_{cond} - T_1)$$

FV-inversor	Inversor	String	Sèrie	Imppt	Vmppt	Potència	γ (m/Ω·mm <sup>2</sup> )	Long. Mod.	Long. Cable	S Mod.	S cable	CdT Mod.	CdT Cable	% CdT	Imax	Tº cond.	Conductivitat	Material
	1	1	10	10,6 A	388 V	4100 W	46,8	30 m	60 m	4 mm <sup>2</sup>	4 mm <sup>2</sup>	1,71 V	3,39 V	1,31%	38	73,9	46,8	Coure
	1	2	8	10,6 A	310 V	3280 W	46,8	24 m	60 m	4 mm <sup>2</sup>	4 mm <sup>2</sup>	1,37 V	3,36 V	1,52%	38	73,9	46,8	Coure
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>18</b>			<b>7380 W</b>		<b>54 m</b>	<b>120 m</b>			<b>3,1 V</b>	<b>6,8 V</b>	<b>1,41%</b>				

Bateria-inversor	I	V	Potència	Longitud	γ (m/Ω·mm <sup>2</sup> )	S cable	CdT	% CdT	Imax	Tº cond.	Conductivitat
	14 A	560 V	7784 W	4 m	45,8	4 mm <sup>2</sup>	0,30 V	0,05%	32,00	79,43	45,8

Taula per utilitzar en l'Annex 1, no caldrà pels càlculs ja que ja es tenen en compte. Cal posar tantes files com seccions diferents es tinguin i el tram al que corresponguin

Tram	Tipologia <sup>1</sup>	Material	S cable	Tº Màx. Serv.	Tº Max Amb <sup>2</sup>	I'	Imax <sup>1</sup>	Tº conductor	Conductivitat
FV-Inversor	Tipus B1 (2 conductors XLPE)	Coure	4 mm <sup>2</sup>	120 °C	70 °C	10,6 A	38 A	73,9 °C	46,8

## CÀLCUL CORRENT MÀXIMA ADMISSIBLE

Cal posar tante files com seccions diferents es tinguin i el tram al que corresponguin

FV-inversor	Tram	Material	Io	S cable	T.Max.Serv.	T.Max.Amb	Factor K1	Factor K2	Imax adm	Isc	Relació (%)
	FV-Inversor	Coure	38 A	4 mm <sup>2</sup>	120 °C	70 °C	0,8	0,9	27,0 A	11 A	244%

Bateria-inversor	Tram	Material	Io	S cable	T.Max.Serv.	T.Max.Amb	Factor K1	Factor K2	Imax Correg.	I	Relació (%)
	Bat-Inversor	Coure	38 A	4 mm <sup>2</sup>	120 °C	70 °C	0,8	1	30,0 A	20 A	150%

## CÀLCUL CAIGUDA DE TENSIO AC

T° ambiente 50 °C  
 T° max cond. 90 °C  
 Tipo inst. Tipus B1 (3 conductors XLPE)

T° del Cond. (°C)	Cond. Cobre (m/Ω·mm <sup>2</sup> )	Cond. Alumini (m/Ω·mm <sup>2</sup> )
20	56	34,5
70	48	30,3
90	44	27,8

$$T = T_{amb} + (T_{max} - T_{amb}) \cdot \left(\frac{I}{I_{max}}\right)^2$$

$$\sigma_{cond} = \sigma_{T1} - \frac{\sigma_{T1} - \sigma_{T2}}{T_2 - T_1} \cdot (T_{cond} - T_1)$$

Afegir el tram que toqui i la potència i la intensitat que suporti, entre altres variables

Tram	Línia	Potència	Tensió	Intensitat	Longitud	γ (m/Ω·mm <sup>2</sup> )	S cable	% CdT	CdT
Inversor a QPG	Trifàsica	6000 W	400 V	8,5 A	8 m	50,0	2,5 mm <sup>2</sup>	0,24%	0,96 V
QPG a QG-BT	Trifàsica	6000 W	400 V	8,5 A	8 m	50,0	2,5 mm <sup>2</sup>	0,24%	0,96 V
<b>TOTAL</b>					<b>16 m</b>			<b>0,48%</b>	<b>1,92 V</b>

Taula per utilitzar en l'Annex 1, no caldria pels càlculs ja que ja es tenen en compte. Cal posar tantes files com trams diferents es tinguin

Tram	Tipologia <sup>1</sup>	Material	S cable	T° Màx. Serv.	T° Màx. Amb <sup>2</sup>	I <sup>3</sup>	I <sub>max</sub> <sup>1</sup>	T° conductor	Conductivitat
Inversor a QPG	Tipus B1 (3 conductors XLPE)	Coure	2,5 mm <sup>2</sup>	50 °C	90 °C	8,5 A	24 A	55,0 °C	50,0
QPG a QG-BT	Tipus B1 (3 conductors XLPE)	Coure	2,5 mm <sup>2</sup>	50 °C	90 °C	8,5 A	24 A	55,0 °C	50,0

## CÀLCUL CORRENT ADMISSIBLE

Cal posar tantes files com trams diferents es tinguin

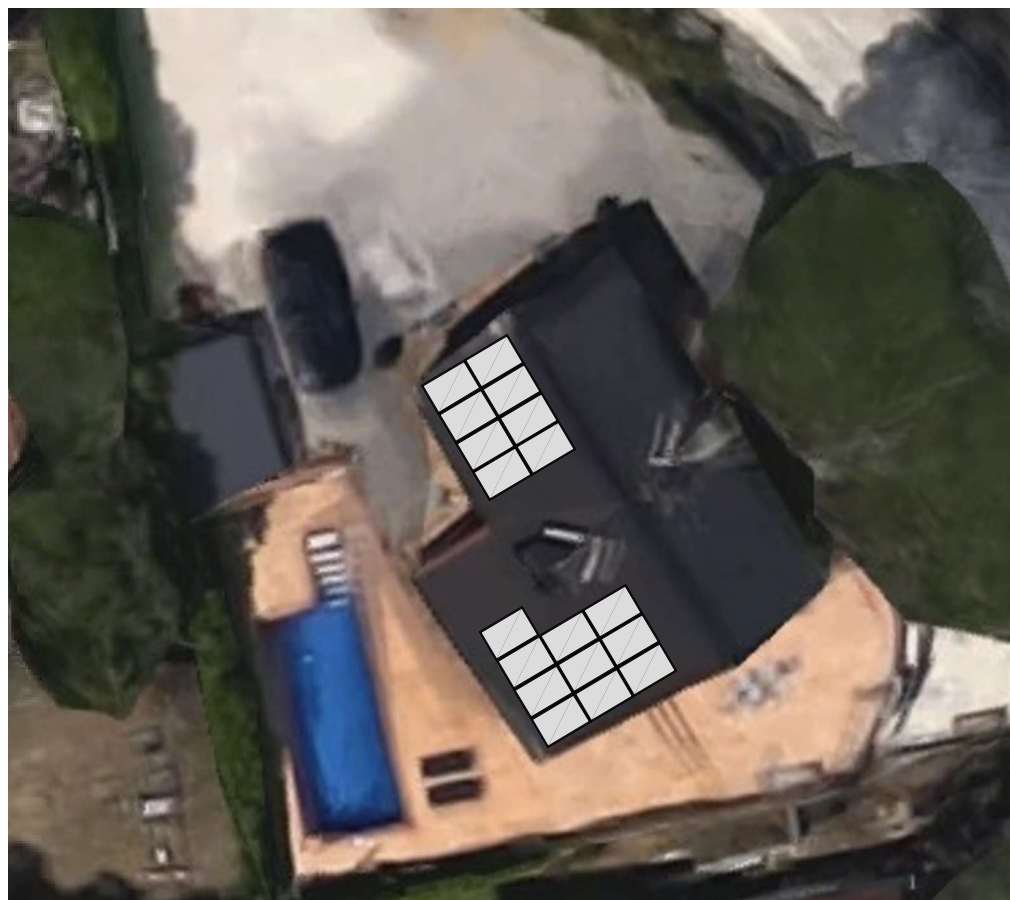
Tram	Material	I <sub>o</sub>	S cable	T.Màx. Serv.	T.Màx. Amb.	Factor K1	Factor K2	I <sub>max,adm</sub>	I <sub>nom</sub>	Relació (%)
Inversor a QPG	Coure	24 A	2,5 mm <sup>2</sup>	90 °C	50 °C	0,9	1	21,5 A	8,5 A	253%
QPG a QG-BT	Coure	24 A	2,5 mm <sup>2</sup>	90 °C	50 °C	0,9	1	21,5 A	8,5 A	253%





## A2. Plànols instal·lació

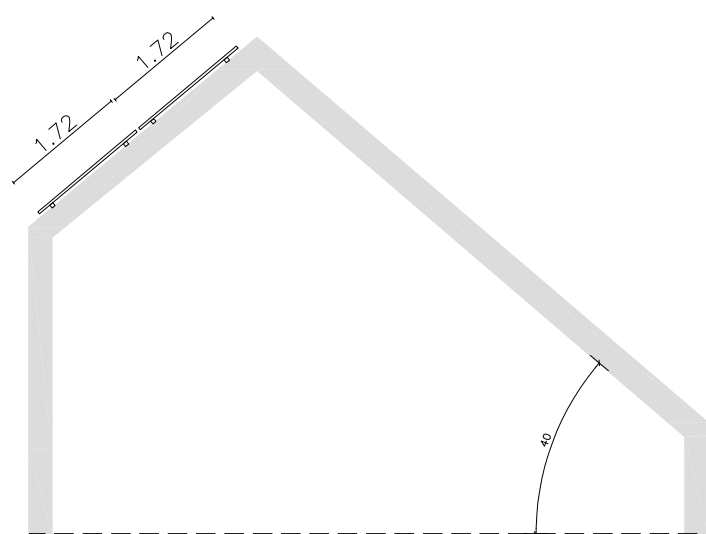




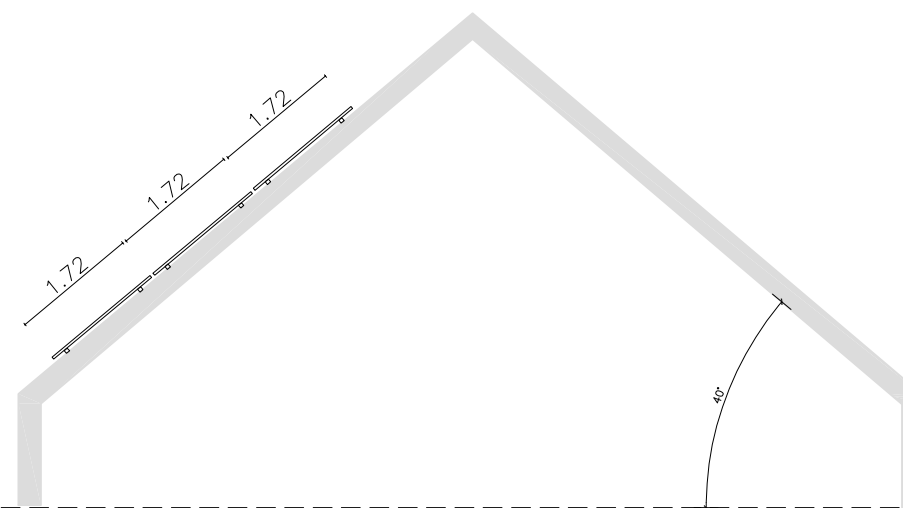
SECCIÓ CAMP SOLAR (E: 1/100)



SECCIÓ A-A'

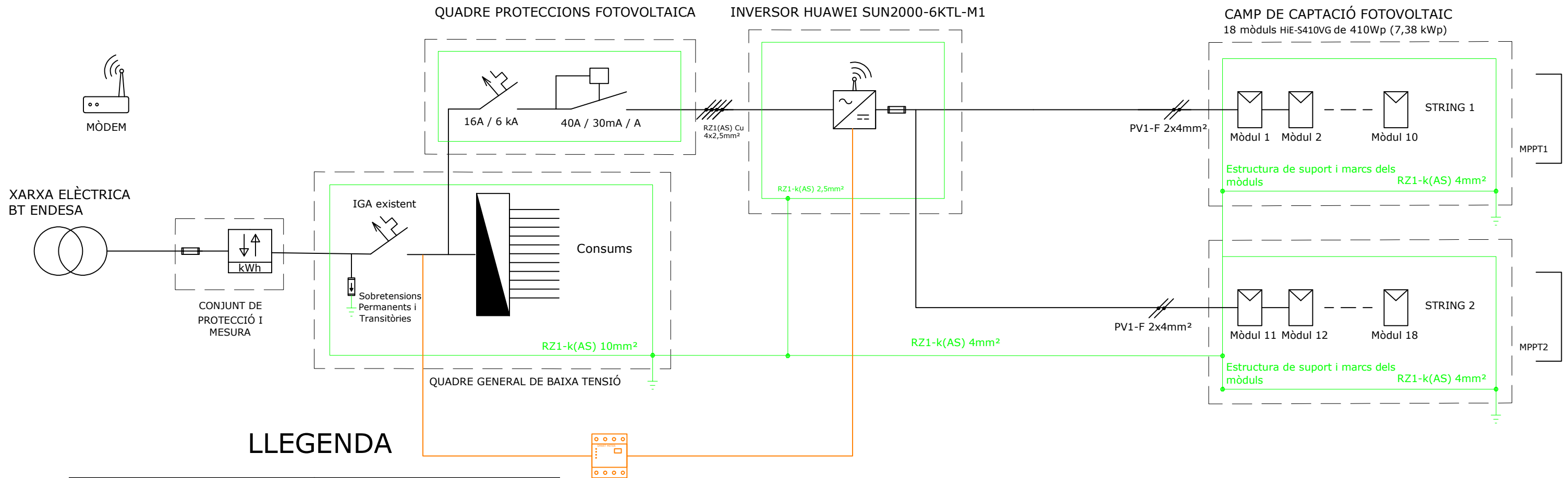


SECCIÓ A2-A2'



POTÈNCIA INSTAL·LADA 7,38KW / POTÈNCIA NOMINAL 6KW  
 18 MÓDULS FOTOVOLTAICS HYUNDAI MODEL HIE-S410VG DE 410Wp  
 1 INVERSOR TRIFÀSIC HUAWEI MODEL SUN2000-6KTL-M1

adreça	escala 1:100/1:50	titular instal·lació	Visat / firma	número <b>01</b>
	data 24/03/2022	projecte INSTAL·LACIÓ SOLAR FV EN AUTOCONSUM	promotor	plànol CAMP SOLAR I SECCIÓ



### LLEGENDA

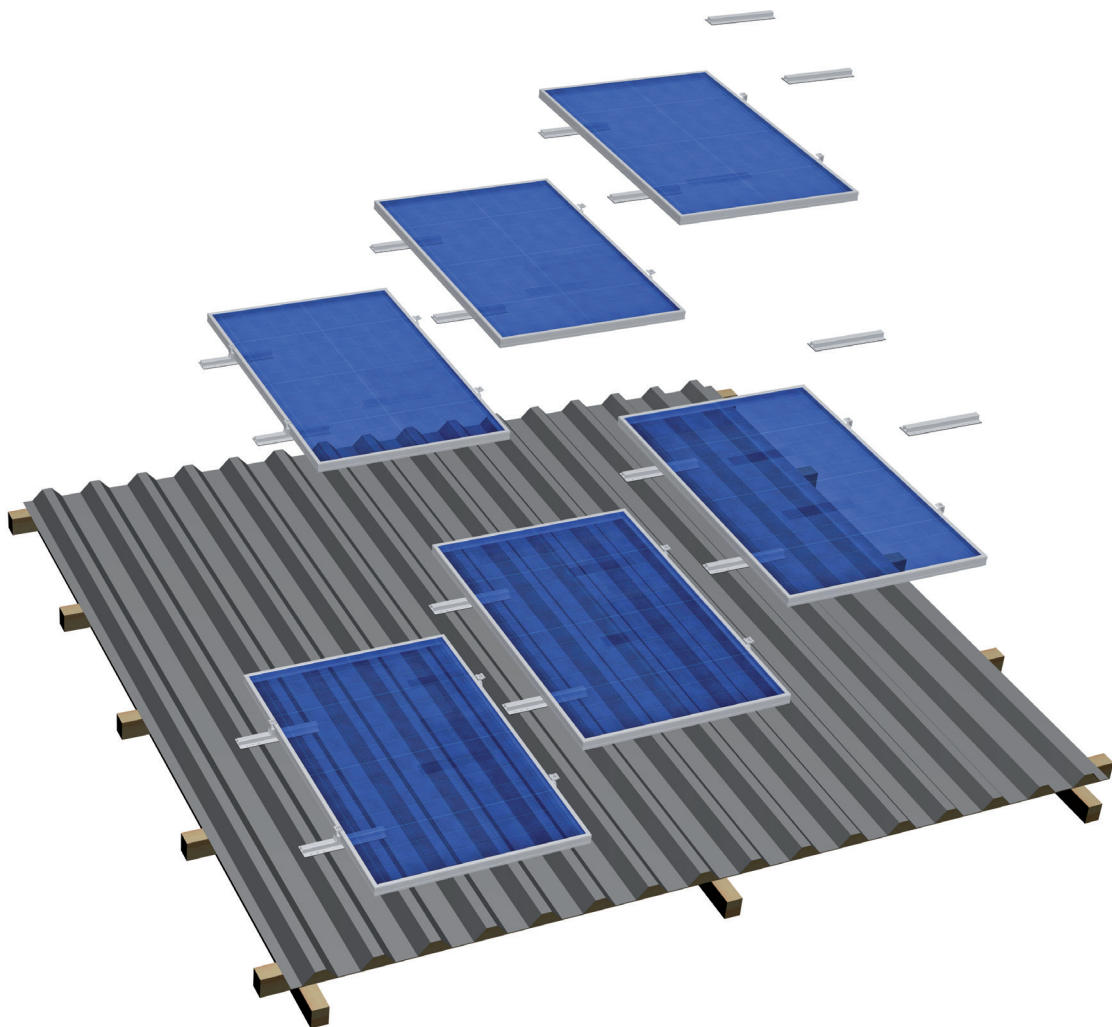
	FUSIBLE		INTERRUPTOR MAGNETOTÈRMIC
	SECCIONADOR		INTERRUPTOR DIFERENCIAL
	DESCARREGADOR SOBRETENSIONS		COMPTADOR BIDIRECCIONAL
	MÒDUL SOLAR		INVERSOR SOLAR
	ANALITZADOR ELÈCTRIC		MÒDEM

### A3. Fitxes tècniques



## MOUNTING SYSTEMS FOR TRAPEZOIDAL SHEET AND CORRUGATED SHEET ROOFS

for framed and frameless modules

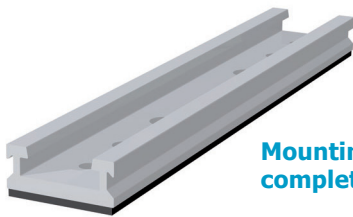
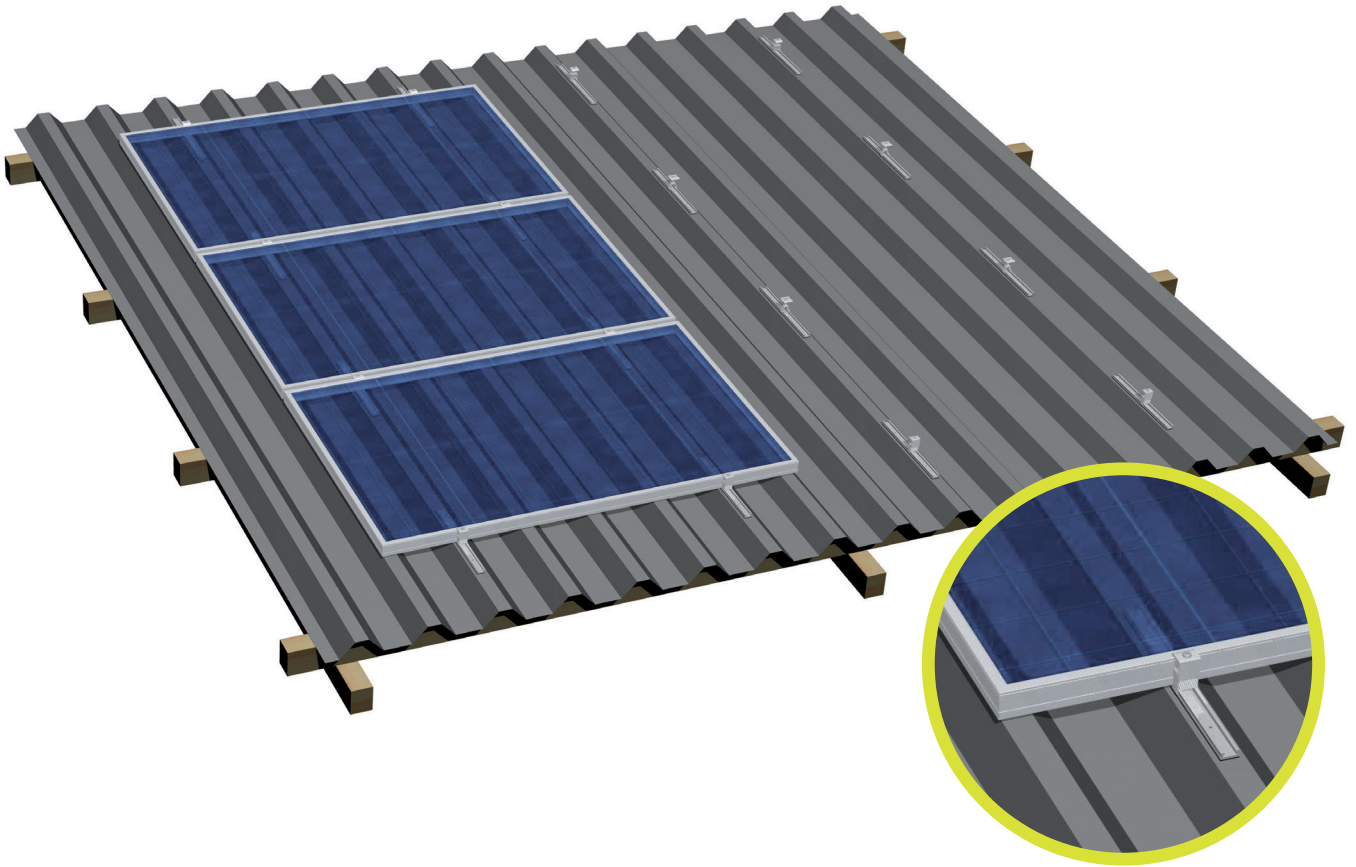


S:FLEX mounting systems for trapezoidal and corrugated sheet metal roofs combine fast and secure fitting with substantially lower materials usage. As a result, you will significantly optimize the margins of your projects.

Our three solidly engineered systems – longitudinal sheet metal rails, transverse sheet metal rails, and brackets for attachment to the sheet metal – provide a solution for almost every roof. Our project engineers and structural engineers also provide custom solutions for exposed locations or steep roofs. Just ask us!

## MOUNTING SYSTEMS FOR TRAPEZOIDAL SHEET AND CORRUGATED SHEET ROOFS

### Mounting using longitudinal sheet metal rails



Mounting rail ST-AK 1/12  
complete l=180

End clamp EH AK II Klick 30-50



Mid-clamp MH AK II Klick 30-50



#### Application:

Trapezoidal sheet metal

#### Fastening:

Riveted or screwed onto raised corrugations

#### Module type:

Framed modules

#### Module orientation:

Landscape

#### Layers of rails:

Single layer

#### Advantages:

- Low material / fitting costs
- Rail lengths of 180 mm, 3150 mm and 6200 mm
- Rail segments 180 mm (ST-AK 1/12 complete / l=180 mm) are supplied prefabricated with 3 x 2 holes (5 mm / 6.5 mm / 8.5 mm) and sealing tape covered bottom side

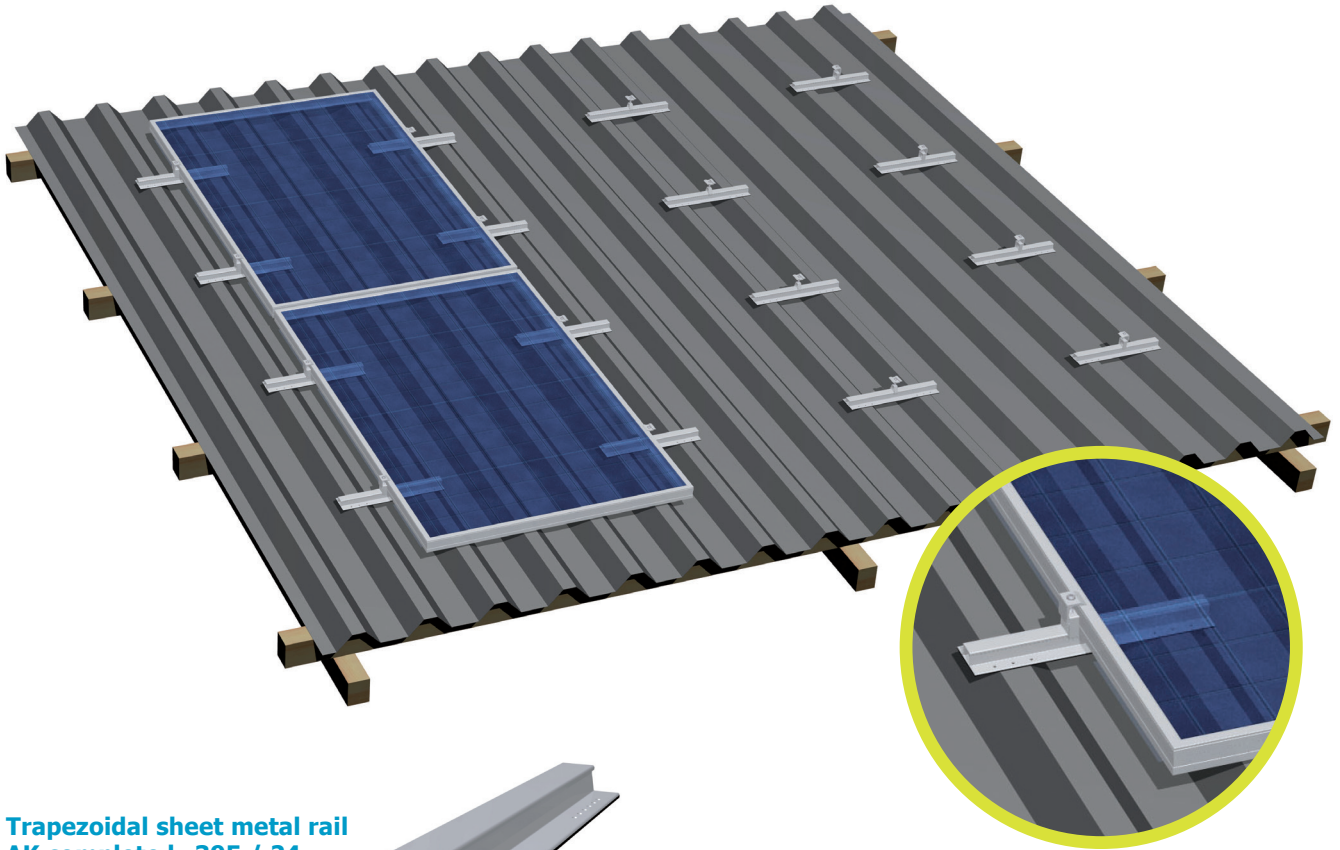
#### Note:

Respective clearances between raised corrugations required for optimum module fastening must be adhered to



## MOUNTING SYSTEMS FOR TRAPEZOIDAL SHEET AND CORRUGATED SHEET ROOFS

### Mounting using transverse sheet metal rails



**Trapezoidal sheet metal rail  
AK complete I=395 / 24**

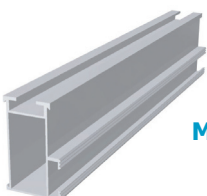
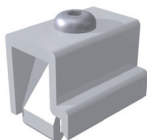


**End clamp EH AK II Klick 30-50**



**Mid-clamp MH AK II Klick 30-50**

**Cross adapter clamp AK**



**Mounting rail ST-AK 13/60**

#### **Application:**

Trapezoidal and corrugated sheet metal

#### **Fastening:**

Riveted or screwed onto raised corrugations

#### **Module type:**

Framed and frameless modules

#### **Module orientation:**

Landscape / portrait

#### **Layers of rails:**

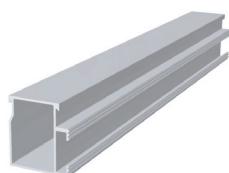
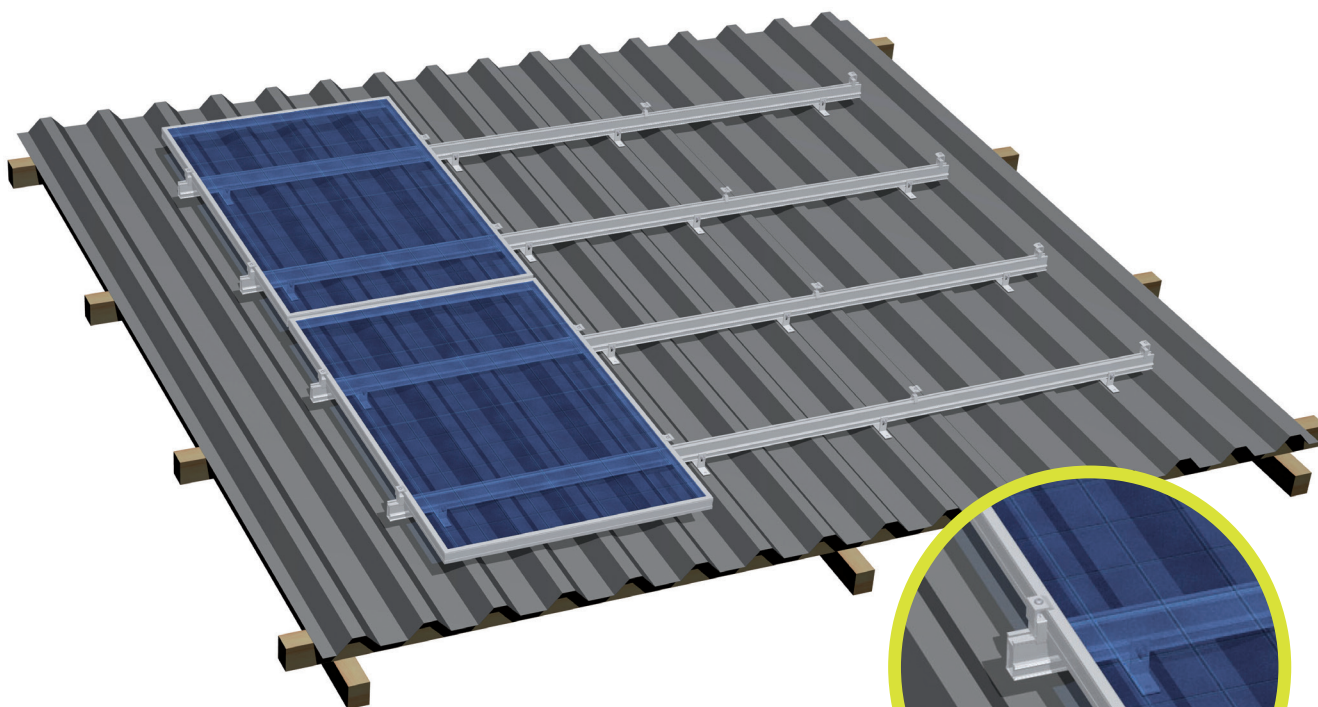
Single / double layer, cross rail installation

#### **Advantages:**

- Low material / fitting costs
- Rail lengths of 395 mm, 3150 mm and 6200 mm
- High rigidity rails suitable for heavier loads
- Rail segments 395 mm (Trapezoidal sheet metal AK complete / I=395 mm) are supplied prefabricated with 24 holes and sealing tape covered bottom side

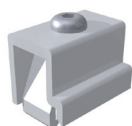
## MOUNTING SYSTEMS FOR TRAPEZOIDAL SHEET AND CORRUGATED SHEET ROOFS

Mounting on sheet metal using brackets



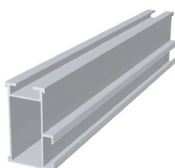
Mounting rail ST-AK 5/40

Bracket for sheet metal  
installation complete



Cross adapter clamp AK

Mounting rail ST-AK 13/60



Mid-clamp MH AK II Klick 30-50

End clamp EH AK II Klick 30-50



### Application:

Trapezoidal and corrugated sheet metal

### Fastening:

Riveted or screwed onto raised corrugations

### Module type:

Framed and frameless modules

### Module orientation:

Landscape / portrait

### Layers of rails:

Single / double layer, cross rail installation

### Advantages:

- Low fitting costs
- Height adjustable via elongated hole in the sheet metal bracket

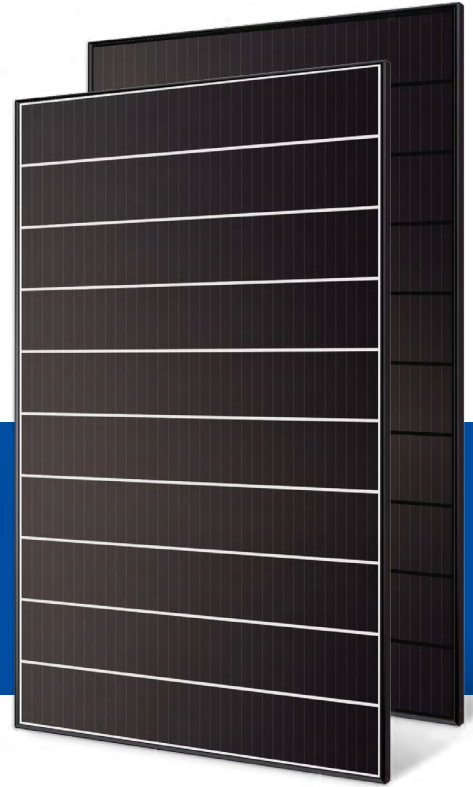


# HYUNDAI SOLAR MODULE

**VG**  
SERIES

## PERC Shingled

HiE-S390VG HiE-S395VG HiE-S400VG  
HiE-S405VG HiE-S410VG



Shingled  
Technology



For Both  
Residential &  
Commercial  
Applications



More Power  
Generation  
In Low Light



## M6 PERC Shingled

M6 PERC Shingled Technology provides ultra-high efficiency with better performance in low irradiation. Maximizes installation capacity in limited space.



## Anti-LID / PID

Both LID(Light Induced Degradation) and PID(Potential Induced Degradation) are strictly eliminated to ensure higher actual yield during lifetime.



## Mechanical Strength

Tempered glass and reinforced frame design withstand rigorous weather conditions such as heavy snow and strong wind.



## Reliable Warranty

Global brand with powerful financial strength provide reliable 25-year warranty. (Europe and Australia only)



## Corrosion Resistant

Various tests under harsh environmental conditions such as ammonia and salt-mist passed.



## UL / VDE Test Labs

Hyundai's R&D center is an accredited test laboratory of both UL and VDE.

### Hyundai's Warranty Provisions



- 25-Year Product Warranty (Europe and Australia only)
- On materials and workmanship



- 25-Year Performance Warranty
- Initial year: 98.0%
- Linear warranty after second year: with 0.55%p annual degradation, 84.8% is guaranteed up to 25 years

### About Hyundai Energy Solutions

Established in 1972, Hyundai Heavy Industries Group is one of the most trusted names in the heavy industries sector and is a Fortune 500 company. As a global leader and innovator, Hyundai Heavy Industries is committed to building a future growth engine by developing and investing heavily in the field of renewable energy.

As a core energy business entity of HHI, Hyundai Energy Solutions has strong pride in providing high-quality PV products to more than 3,000 customers worldwide.

### Certification



**HYUNDAI**  
ENERGY SOLUTIONS

## Electrical Characteristics

		Mono-Crystalline Module (HiE-S___VG)				
		390	395	400	405	410
Nominal Output (P <sub>mpp</sub> )	W	390	395	400	405	410
Open Circuit Voltage (V <sub>oc</sub> )	V	46.3	46.3	46.4	46.5	46.6
Short Circuit Current (I <sub>sc</sub> )	A	10.87	10.92	10.97	11.02	11.07
Voltage at P <sub>max</sub> (V <sub>mpp</sub> )	V	38.5	38.5	38.6	38.7	38.8
Current at P <sub>max</sub> (I <sub>mp</sub> )	A	10.13	10.26	10.36	10.47	10.57
Module Efficiency	%	19.9	20.2	20.4	20.7	20.9
Cell Type	-	PERC Mono-Crystalline Silicon Shingled				
Maximum System Voltage	V	1,500				
Temperature Coefficient of P <sub>max</sub>	%/°C	-0.34				
Temperature Coefficient of V <sub>oc</sub>	%/°C	-0.27				
Temperature Coefficient of I <sub>sc</sub>	%/°C	0.04				

\*All data at STC (Standard Test Conditions). Above data may be changed without prior notice.

\*Tolerance of P<sub>max</sub>: 0~+5W

\*Performance deviation of V<sub>oc</sub> [V], I<sub>sc</sub> [A], V<sub>m</sub> [V] and I<sub>m</sub> [A]: ±3%.

## Mechanical Characteristics

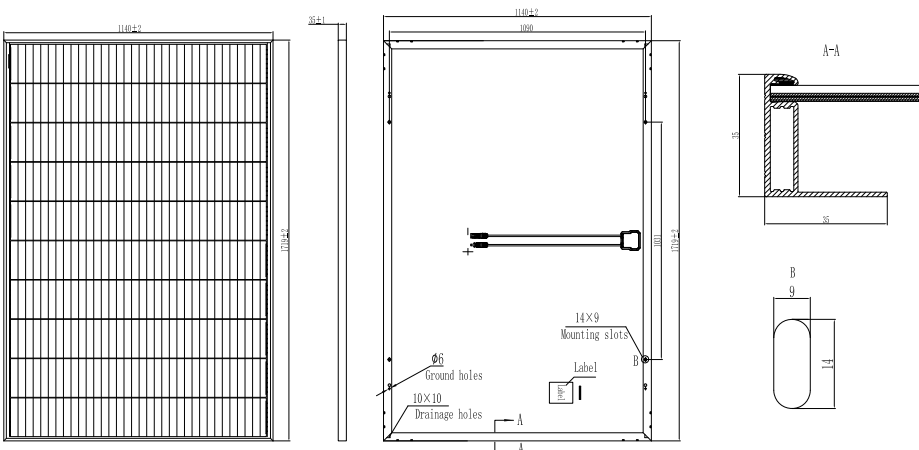
Dimensions	1,719 × 1,140 × 35mm (L × W × H)		
Weight	22kg		
Solar Cells	340 cells, PERC Mono-crystalline Shingled (166 × 166mm)		
Output Cables	Length 1,500mm, 1×4mm <sup>2</sup>	Connector	Stäubli : MC4-Evo2
Junction Box	Rated current : 20A, IP67, TUV&UL		
Construction	Front Glass : White toughened safety glass, 3.2mm Encapsulation : EVA (Ethylene-Vinyl-Acetate)		
Frame	Anodized aluminum		

## Installation Safety Guide

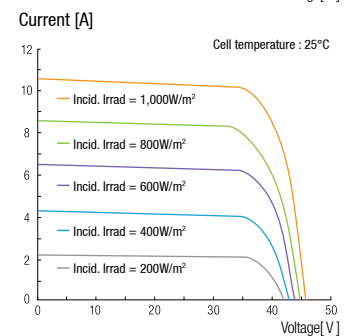
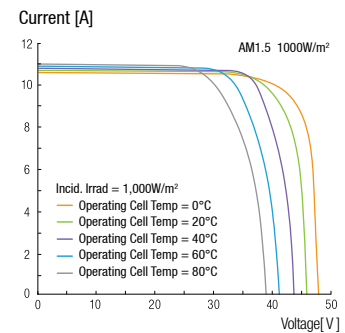
- Only qualified personnel should install or perform maintenance.
- Be aware of dangerous high DC voltage.
- Do not damage or scratch the rear surface of the module.
- Do not handle or install modules when they are wet.

Nominal Operating Cell Temperature	42.3 ± 2°C
Operating Temperature	-40 ~ 85°C
Maximum System Voltage	DC 1,500 / 1,000 (IEC)
Maximum Reverse Current	20A
Maximum Surface Load Capacity	Front 5,400 Pa Rear 2,400 Pa

## Module Diagram (unit : mm)



## I-V Curves



# Smart Energy Controller



## Active Safety

AI Powered  
Active Arcing Protection



## Higher Yields

Up to 30% More Energy  
with Optimizer <sup>1</sup>



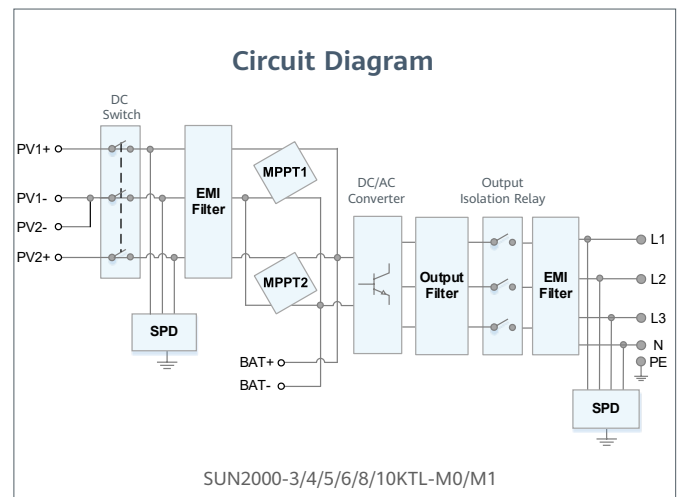
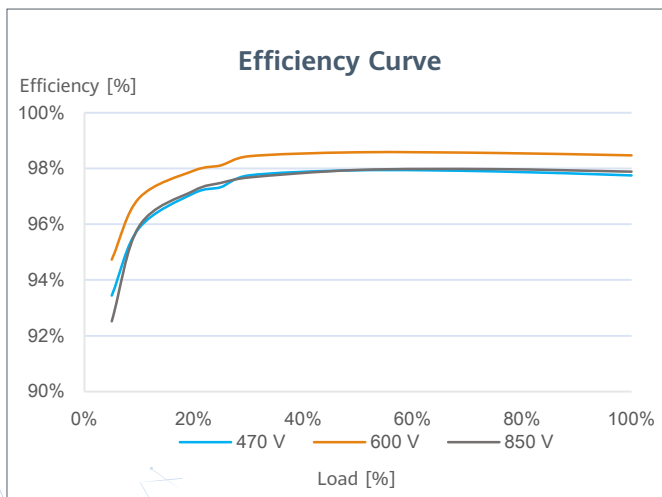
## Battery Ready

Plug & Play battery interface <sup>2</sup>



## Flexible Communication

WLAN, Fast Ethernet, 4G  
Communication Supported



<sup>1</sup> Only applicable to SUN2000-3/4/5/6/8/10KTL-M1 smart energy center.  
<sup>2</sup> SUN2000-3/4/5/6/8/10KTL-M0 will be compatible with HUAWEI smart string ESS in Q1, 2021

SUN2000-3/4/5/6/8/10KTL-M1  
**Technical Specification**

Technical Specification	SUN2000 -3KTL-M1	SUN2000 -4KTL-M1	SUN2000 -5KTL-M1	SUN2000 -6KTL-M1	SUN2000 -8KTL-M1	SUN2000 -10KTL-M1
-------------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	----------------------

**Efficiency**

Max. efficiency	98.2%	98.3%	98.4%	98.6%	98.6%	98.6%
European weighted efficiency	96.7%	97.1%	97.5%	97.7%	98.0%	98.1%

**Input (PV)**

Recommended max. PV power <sup>1</sup>	4,500 Wp	6,000 Wp	7,500 Wp	9,000 Wp	12,000 Wp	15,000 Wp
Max. input voltage <sup>2</sup>	1,100 V					
Operating voltage range <sup>3</sup>	140 V ~ 980 V					
Start-up voltage	200 V					
Rated input voltage	600 V					
Max. input current per MPPT	11 A					
Max. short-circuit current	15 A					
Number of MPP trackers	2					
Max. input number per MPP tracker	1					

**Input (DC Battery)**

Compatible Battery	HUAWEI Smart String ESS 5kWh – 30kWh					
Operating voltage range	600 V ~ 980 V					
Max operating current	16 A					
Max charge Power	10,000 W					
Max discharge Power	3,300 W	4,400 W	5,500 W	6,600 W	8,800 W	10,000 W

**Output (On Grid)**

Grid connection	Three-phase					
Rated output power	3,000 W	4,000 W	5,000 W	6,000 W	8,000 W	10,000 W
Max. apparent power	3,300 VA	4,400 VA	5,500 VA	6,600 VA	8,800 VA	11,000 VA <sup>4</sup>
Rated output voltage	220 Vac / 380 Vac, 230 Vac / 400 Vac, 3W / N+PE					
Rated AC grid frequency	50 Hz / 60 Hz					
Max. output current	5.1 A	6.8 A	8.5 A	10.1 A	13.5 A	16.9 A
Adjustable power factor	0.8 leading ... 0.8 lagging					
Max. total harmonic distortion	≤ 3 %					

**Output (Off Grid)**

Backup Box	Backup Box – B1					
Maximum apparent power	3,000 VA	3,300 VA	3,300 VA	3,300 VA	3,300 VA	3,300 VA
Rated output voltage	220 V / 230 V					
Maximum output current	13.6 A	15 A	15 A	15 A	15 A	15 A
Power factor range	0.8 leading ... 0.8 lagging					

**Features & Protections**

Input-side disconnection device	Yes
Anti-Islanding protection	Yes
DC reverse polarity protection	Yes
Insulation monitoring	Yes
DC surge protection	Yes, compatible with TYPE II protection class according to EN/IEC 61643-11
AC surge protection	Yes, compatible with TYPE II protection class according to EN/IEC 61643-11
Residual current monitoring	Yes
AC overcurrent protection	Yes
AC short-circuit protection	Yes
AC overvoltage protection	Yes
Arc fault protection	Yes
Ripple receiver control	Yes
Integrated PID recovery <sup>5</sup>	Yes
Battery reverse charging from grid	Yes

**General Data**

Operating temperature range	-25 ~ + 60 °C (-13 °F ~ 140 °F)
Relative operating humidity	0 %RH ~ 100 %RH
Operating altitude	0 ~ 4,000 m (13,123 ft.) (Derating above 2000 m)
Cooling	Natural convection
Display	LED Indicators; Integrated WLAN + FusionSolar App
Communication	RS485; WLAN/Ethernet via Smart Dongle-WLAN-FE; 4G / 3G / 2G via Smart Dongle-4G (Optional)
Weight (incl. mounting bracket)	17 kg (37.5 lb)
Dimension (incl. mounting bracket)	525 x 470 x 146.5 mm (20.7 x 18.5 x 5.8 inch)
Degree of protection	IP65
Nighttime Power Consumption	< 5.5 W <sup>6</sup>

**Optimizer Compatibility**

DC MBUS compatible optimizer	SUN2000-450W-P
------------------------------	----------------

**Standard Compliance (more available upon request)**

Certificate	EN/IEC 62109-1, EN/IEC 62109-2, IEC 62116
Grid connection standards	G98, G99, EN 50438, CEI 0-21, VDE-AR-N-4105, AS 4777, C10/11, ABNT, UTE C15-712, RD 1699, TOR D4, NRS 097-2-1, IEC61727, IEC62116, DEWA

<sup>1</sup> Inverter max input PV power is 20,000 Wp when long strings are designed and fully connected with SUN2000-450W-P power optimizers.

<sup>2</sup> The maximum input voltage is the upper limit of the DC voltage. Any higher input DC voltage would probably damage inverter.

<sup>3</sup> Any DC input voltage beyond the operating voltage range may result in inverter improper operating. <sup>4</sup> C10 / 11: 10,000 VA

<sup>5</sup> SUN2000-3~10KTL-M1 raises potential between PV- and ground to above zero through integrated PID recovery function to recover module degradation from PID. Supported module types include: P-type (mono, poly).

<sup>6</sup> <10 W when PID recovery function is activated.

Version No.:04-(20201006)

# Smart Power Sensor



## Accurate

Class 1 measurement accuracy





## Simple & Easy

LCD display, easy to set and check



## Energy Efficient

Overall power consumption  $\leq 1$  W

Technical Specification	DDSU666-H	DTSU666-H 250A/50mA
<b>General Data</b>		
Dimension (H x W x D)	100 x 36 x 65.5 mm (3.9 x 1.4 x 2.6 inch)	100 x 72 x 65.5 mm (3.9 x 2.8 x 2.6 inch)
Mounting type	DIN35 Rail	
Weight (including cables)	1.2 kg (2.6 lb)	1.5 kg (3.3 lb)
<b>Power Supply</b>		
Power grid type	1P2W	3P4W
Input voltage (phase voltage)	176 Vac ~ 288 Vac	
Power consumption	$\leq 0.8$ W	$\leq 1$ W
<b>Measurement Range</b>		
Line voltage	/	304 Vac ~ 499 Vac
Phase voltage	176 Vac ~ 288 Vac	
Current	0 ~ 100 A	0 ~ 250 A
<b>Measurement Accuracy</b>		
Voltage	$\pm 0.5$ %	
Current / Power / Energy	$\pm 1$ %	
Frequency	$\pm 0.01$ Hz	
<b>Communication</b>		
Interface	RS485	
Baud rate	9,600 bps	
Communication protocol	Modbus-RTU	
<b>Environment</b>		
Operating temperature range	-25 °C ~ 60 °C	
Storage temperature range	-40 °C ~ 70 °C	
Operating humidity	5 %RH ~ 95 %RH (non-condensing)	
<b>Others</b>		
Accessories	RS485 Cable (10 m / 33 ft.)	
	1 CT 100 A/40 mA (5 m/16.4 ft.) 	3 CT 250 A/50 mA (5 m/16.4 ft.) 

# Smart String Energy Storage System



## More Usable Energy

100% Depth of Discharge  
Pack Level Energy Optimization



## Flexible Investment

5kWh Modular Design,  
Scalable from 5 to 30 kWh



## Safe & Reliable

Lithium Iron Phosphate (LFP) Cell



## Easy Installation

12 kg Power Module  
50 kg Battery Module





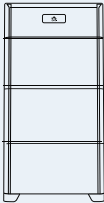
## Quick Commissioning

Automatically Detected in App



## Perfect Compatibility

Compatible to Both Residential  
Single & Three Phase Inverter

Technical Specification	LUNA2000-5-S0	LUNA2000-10-S0	LUNA2000-15-S0
			

Performance			
Power module	LUNA2000-5KW-C0		
Number of power modules	1		
Battery module	LUNA2000-5-E0		
Battery module energy	5 kWh		
Number of battery Modules	1	2	3
Battery usable energy <sup>1</sup>	5 kWh	10 kWh	15 kWh
Max. output power	2.5 kW	5 kW	5 kW
Peak output power	3.5 kW, 10 s	7 kW, 10 s	7 kW, 10 s
Nominal voltage (single phase system)	360 V		
Operating voltage range (single phase system)	350 – 560 V		
Nominal voltage (three phase system)	600 V		
Operating voltage range (three phase system)	600 – 980 V		

Communication	
Display	SOC status indicator, LED indicator
Communication	RS485 / CAN (only for parallel operation)

General Specification			
Dimension (W*D*H)	670 * 150 * 600 mm (26.4 * 5.9 * 23.6 inch)	670 * 150 * 960 mm (26.4 * 5.9 * 37.8 inch)	670 * 150 * 1320 mm (26.4 * 5.9 * 60.0 inch)
Weight (Floor stand toolkit included)	63.8 kg (140.7 lb)	113.8 kg (250.9 lb)	163.8 kg (361.1 lb)
Power module dimension (W*D*H)	670 * 150 * 240 mm (26.4 * 5.9 * 9.4 inch)		
Power module weight	12 kg (26.5 lb)		
Battery module dimension (W*D*H)	670 * 150 * 360 mm (26.4 * 5.9 * 14.0 inch)		
Battery module weight	50 kg (110.2 lb)		
Installation	Floor stand (standard), Wall mount (optional)		
Operating temperature	-10°C ~ + 55°C (14°F ~ 131°F) <sup>2</sup>		
Operating altitude	0 - 4,000 m (13,123 ft.) (Derating above 2,000 m)		
Relative humidity	5% ~ 95%		
Cooling	Natural convection		
Protection rating	IP 66		
Noise emission	<29 dB		
Cell technology	Lithium-iron phosphate (LiFePO4)		
Warranty	10 years <sup>3</sup>		
Scalability	Max. 2 systems in parallel operation		
Compatible inverters	SUN2000-2/3/3.68/4/4.6/5/6KTL-L1, SUN2000-3/4/5/6/8/10KTL-M0 <sup>4</sup> , SUN2000-3/4/5/6/8/10KTL-M1		

Standard Compliance (more available upon request)	
Certificates	CE, RCM, CEC, VDE2510-50, IEC62619, IEC 60730, UN38.3

Ordering and Deliverable Part	
Product ordering model <sup>5</sup>	LUNA2000-5KW-C0, LUNA2000-5-E0, LUNA2000 Wall Mounting Bracket

1. Test conditions: 100% depth of discharge (DoD), 0.2C rate charge & discharge at 25°C  
2. Charge/discharge derating occurs when the operating temperature from -10°C to 5 °C.& 45 °C to 55 °C.  
3. Refer to battery warranty letter for conditional application.  
4. Available in Q1, 2021  
5. Storage system is ordered and delivered in the form of power module and battery module separately with corresponding quantity.  
Version No.:04-(20201006) SOLAR.HUAWEI.COM/EU/