



UNIVERSITAT DE  
BARCELONA

# Instal·lació fotovoltaica d'autoconsum per una indústria agroalimentària ubicada a Montornès del Vallès (Vallès Oriental, Barcelona)

Autor: Mireia Sulé i Arimany

Tutor: Cristian Fàbrega

Curs acadèmic: 2018 – 2019

Màster en Energies Renovables i  
Sostenibilitat Energètica

Dos Campus d'Excel·lència Internacional:



## ÍNDEX

1.	INTRODUCCIÓ .....	4
1.1.	OBJECTIU .....	5
2.	DESCRIPCIÓ DEL PROJECTE .....	6
2.1.	SITUACIÓ .....	6
2.2.	EMPLAÇAMENT.....	6
3.	DESCRIPCIÓ DE LA INDÚSTRIA .....	8
4.	ESTUDI DEL RECURS SOLAR I PRODUCCIÓ D'ENERGIA ELÈCTRICA.....	9
5.	ASPECTES NORMATIUS A COMPLIR.....	11
5.1.	CONDICIONS GENERALS DE LA INSTAL·LACIÓ .....	11
5.2.	ELEMENTS .....	11
5.2.1.	SISTEMA GENERADOR FOTOVOLTAIC .....	11
5.2.2.	INVERSOR CC/CA.....	13
5.2.3.	PROTECCIONS I ELEMENTS DE SEGURETAT .....	14
5.2.4.	ESTRUCTURA DE SUPORT DE LES PLAQUES .....	14
6.	DIMENSIONAMENT DE LA INSTAL·LACIÓ SOLAR FOTOVOLTAICA .....	15
6.1.	ORIENTACIÓ I INCLINACIÓ DE LES PLAQUES .....	15
6.2.	INCIDÈNCIA D'OMBRES .....	15
6.3.	DISTÀNCIA ENTRE FILERES DE LES PLAQUES.....	15
6.4.	NECESSITATS A COBRIR .....	16
6.4.1.	CONSUM.....	16
6.5.	DIMENSIONAMENT DE LA INSTAL·LACIÓ FOTOVOLTAICA .....	18
6.5.1.	IRRADIACIÓ SOBRE EL PLA DEL GENERADOR.....	20
6.5.2.	ESTIMACIÓ DE LA PRODUCCIÓ D'ENERGIA .....	20
6.5.3.	POTÈNCIA INSTAL·LADA O PIC .....	21
6.5.4.	PÈRDUES.....	21
6.5.4.1.	PÈRDUES PER TEMPERATURA.....	21
6.5.4.2.	PÈRDUES ÒHMIQUES .....	21
6.5.4.3.	PÈRDUES PER QUALITAT DELS MÒDULS.....	22
6.5.4.4.	PÈRDUES LID (Light Induced Degradation) .....	22
6.5.4.5.	PÈRDUES PER DESAJUSTAMENT, MÒDULS I PER VOLTATGE DE LES CADENES (STRINGS).....	22
6.5.4.6.	PÈRDUES PER BRUTÍCIA.....	22
6.5.4.7.	PÈRDUES PER L'EFFECTE D'INCIDÈNCIA .....	22
6.5.4.8.	PÈRDUES DEGUDES AL NIVELL D'IRRADIACIÓ .....	23

6.5.4.9.	PÈRDUES DE L'INVERSOR.....	23
6.5.4.10.	PÈRDUES PER INDISPONIBILITAT.....	23
6.5.4.11.	RESUM DE PÈRDUES.....	23
6.6.	PRODUCCIÓ ESTIMADA.....	24
7.	ANÀLISI ECONÒMIC I MEDIAMBIENTAL.....	27
8.	CONCLUSIONS.....	30
9.	BIBLIOGRAFIA.....	31
	ANNEX I: Potències dels aparells de la indústria agroalimentària.....	32
	ANNEX II: Especificacions tècniques dels equips (mòdul fotovoltaic i inversor) .....	33
	ANNEX III: Simulació PVSyst .....	36
	ANNEX IV: Resultats de l'estudi econòmic.....	42
	ANNEX V: Plànol Instal·lació Fotovoltaica a la coberta.....	43

## 1. INTRODUCCIÓ

En el present projecte s'ha estudiat i dimensionat una instal·lació d'autoconsum fotovoltaica connectada a la xarxa per una indústria agroalimentària elaboradora de patates xips.

S'opta per aquesta alternativa per la producció elèctrica, ja que la indústria agroalimentària vol adaptar-se a la transició energètica, sent consumidors i productors d'energia per aconseguir més sostenibilitat mediambiental i econòmica. És una opció que contempla diversos paràmetres atractius pel nou model energètic, ja que afavoreix a la baixa emissió de carboni, l'aprofitament dels recursos renovables i a conseqüència l'abandonament de combustibles fòssils.

L'electricitat prové de la xarxa elèctrica externa, tot i que també pot procedir de fonts d'energia renovables mitjançant les instal·lacions corresponents, amb la qual cosa s'afavoreix l'autoconsum. S'entén per autoconsum d'energia elèctrica la producció d'electricitat per al consum propi. Les instal·lacions d'autoconsum poden ser aïllades (sense connexió física a la xarxa) o connectades a la xarxa.

S'ha tingut en compte la normativa vigent del Reial Decret 244/2019, de 5 d'abril [1] (BOE, 2019). Aquesta completa el marc regulador de l'autoconsum, impulsat pel Reial Decret-Llei 15/2018 desenvolupa les condicions administratives, tècniques i econòmiques de l'autoconsum d'energia elèctrica, defineix les instal·lacions pròximes a l'efecte d'autoconsum, desenvolupa l'autoconsum individual i col·lectiu, estableix un sistema de compensació simplificada entre els dèficits dels consumidors i els excedents de les seves instal·lacions d'autoconsum, i organitza el registre administratiu d'autoconsum d'energia elèctrica així com el seu procediment d'inscripció que no suposarà càrrega administrativa per als consumidors.

Segons l'Article 4, classifiquen les instal·lacions d'autoconsum segons diferents modalitats:

- Modalitat de subministrament amb autoconsum sense excedents.
- Modalitat de subministrament amb autoconsum amb excedents:
  - o Acol·lida a compensació.  
Aquesta opció inclou els casos de subministrament amb autoconsum amb excedents en què el consumidor i el productor optin voluntàriament per acollir-se a un mecanisme de compensació d'excedents. Tot i així, han de complir que la font d'energia primària sigui d'origen renovable, que la potència total de les instal·lacions de producció associades no sigui superior a 100 kW, si es necessari fer un contracte de subministrament per a serveis auxiliars de producció, que el consumidor hagi subscrit un únic contracte de subministrament per al consum associat i per als consums auxiliars de producció amb una empresa comercialitzadora, segons el que disposa l'article 9.2 del Reial Decret 244/2019. També hauran de tenir en compte que el consumidor i el productor associat hagin subscrit un contracte de compensació d'excedents d'autoconsum que defineix l'Article 14 del Reial Decret 244/2019 i que la instal·lació de producció no tingui atorgat un règim retributiu addicional o específic.

- No acollida a compensació  
Aquest cas són tots els casos que no compleixen algun dels requisits explicats anteriorment o que òptim voluntàriament per no acollir-se a la modalitat esmentada.

Per la instal·lació dimensionada s'ha tingut en compte la modalitat de subministrament amb autoconsum amb excedents acollida a compensació.

### **1.1. OBJECTIU**

S'ha dimensionat una instal·lació solar fotovoltaica per autoconsum a una indústria agroalimentària que elabora patates xips ubicada a Montornès del Vallès amb l'objectiu de millorar la seva eficiència energètica i sostenibilitat mediambiental. Per realitzar-ho, s'han tingut en compte els càlculs obtinguts del Treball Final de Grau (Sulé i Arimany, Annex 11. Instal·lació elèctrica. Projecte d'una planta d'elaboració de patates xips ubicada a Montornès del Vallès (Vallès Oriental), 2017) de l'alumna Mireia Sulé i Arimany, Enginyera Agroalimentària per la Universitat de Girona.

S'ha seguit el document CTE – H5 Contribució fotovoltaica mínima d'energia elèctrica (DB-HE Secció 5, 2019) [2] i utilitzat el programa PVsyst [3] (Photovoltaic software, 2019) per dimensionar la instal·lació d'autoconsum.

L'objectiu del treball és la realització de l'avaluació del recurs solar, la seva prospectiva i la generació elèctrica estimada per als primers vint-i-cinc (25) anys de vida de la instal·lació d'autoconsum. En el mateix s'indiquen les dades amb què es compta per al desenvolupament del Projecte, l'estadística utilitzada, les fonts d'informació i realitzar una caracterització ambiental i geogràfica sintètica del Lloc (topografia, cobertura vegetal, règim climàtic, etc.).

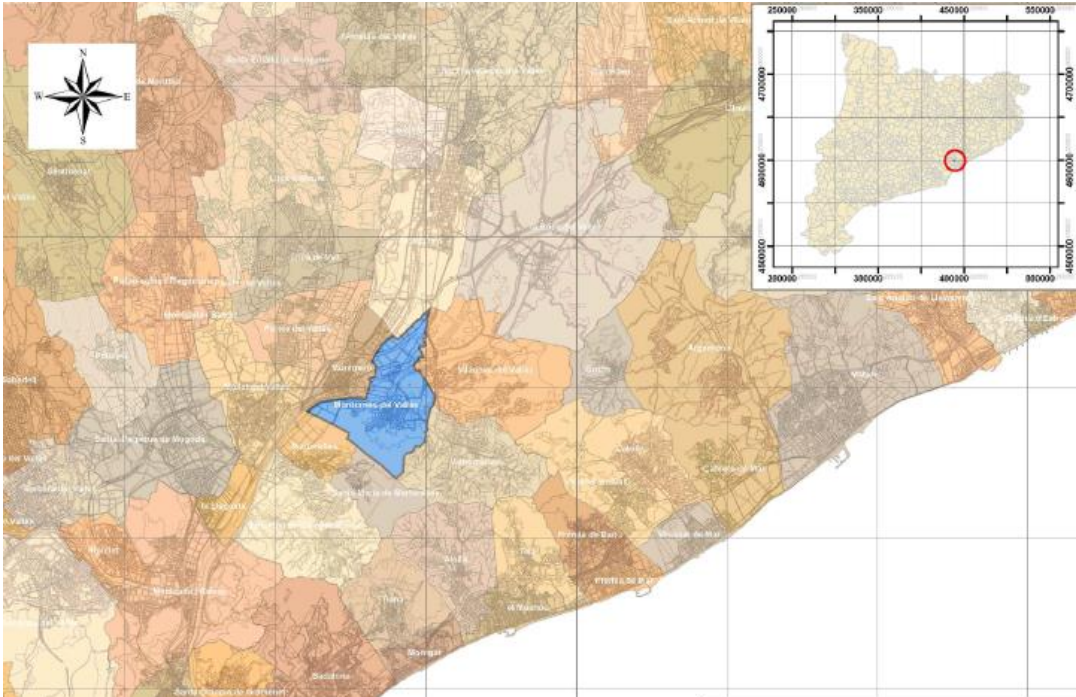
### **Agents**

- **Promotor:** SULIFRITZ, SL (PL. INDUSTRIAL CONGOST 4 08170 - MONTORNES DEL VALLÈS, VALLÈS ORIENTAL, BARCELONA).
- **Projectista:** Mireia Sulé i Arimany (Enginyera Agroalimentària especialitzada en Indústries Alimentàries).

## 2. DESCRIPCIÓ DEL PROJECTE

### 2.1. SITUACIÓ

La ubicació de la indústria és a Montornès del Vallès, Vallès Oriental (Barcelona) tal i com es mostra a la Figura 1.



**Figura 1.** Localització de la indústria agroalimentària, Montornès del Vallès. [4] (Sulé i Arimany, Plànols - Projecte d'una planta d'elaboració de patates xips ubicada a Montornès del Vallès (Vallès Oriental), 2017)

#### Situació geogràfica:

Las coordenades geogràfiques on se troba la instal·lació fotovoltaica d'autoconsum són:

- Latitud: 41,56° N
- Longitud: 2,27° E
- Altitud (s.n.m.): 87 m
- Fus horari: UT+1

### 2.2. EMPLAÇAMENT

Concretament, la parcel·la està ubicada a la part nord del municipi, al costat de l'autopista AP-7 (Veure Figura 2).

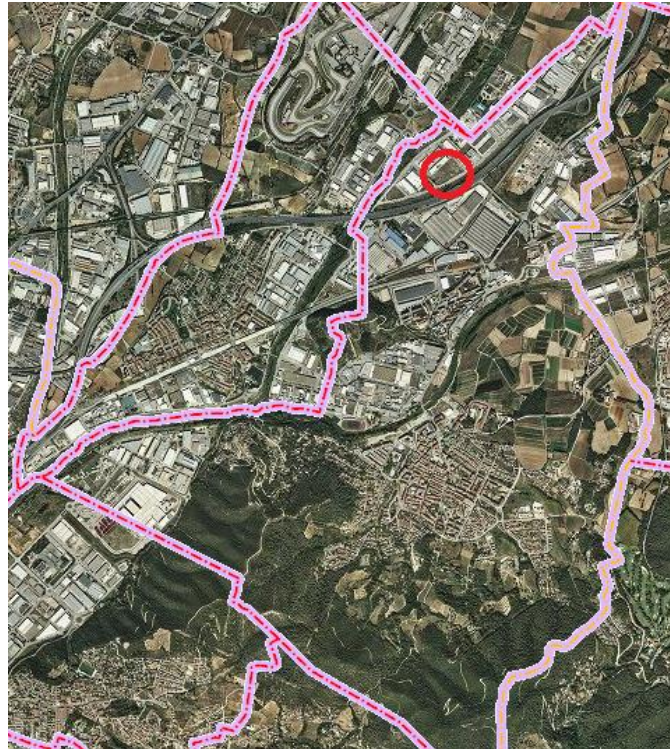


Figura 2. Imatge aèria del municipi Montornès del Vallès [5] (Cadastrre, 2017)

La indústria està en el polígon "Polígon Industrial el Congost" i la seva adreça és Camí de Can Pla número 4 (Veure Figura 3).

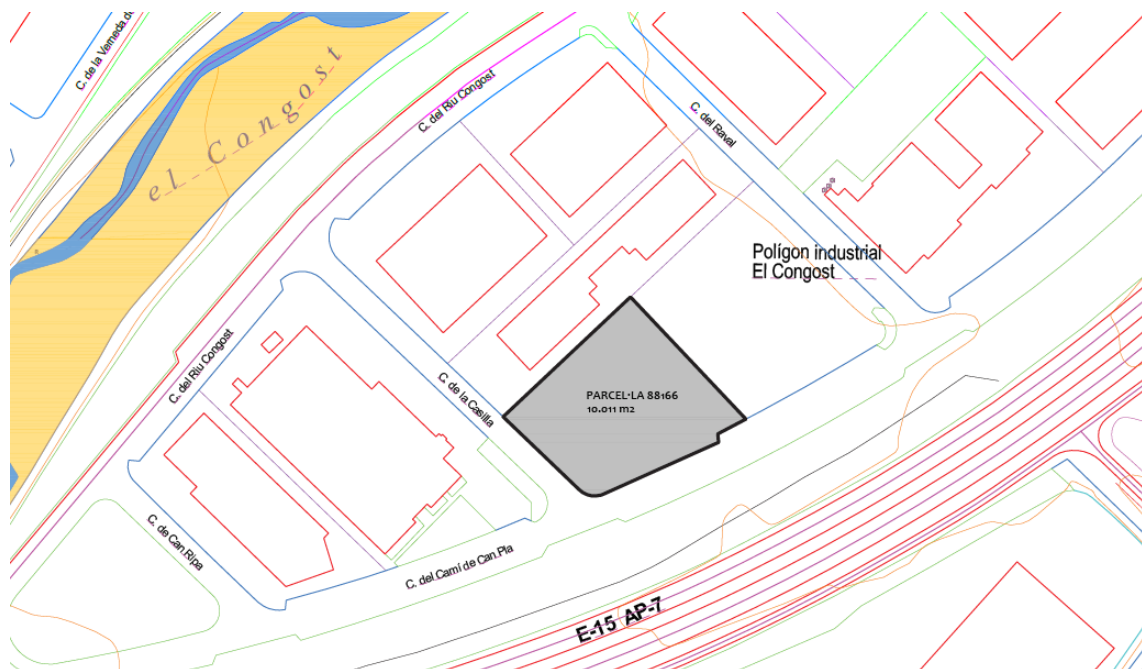


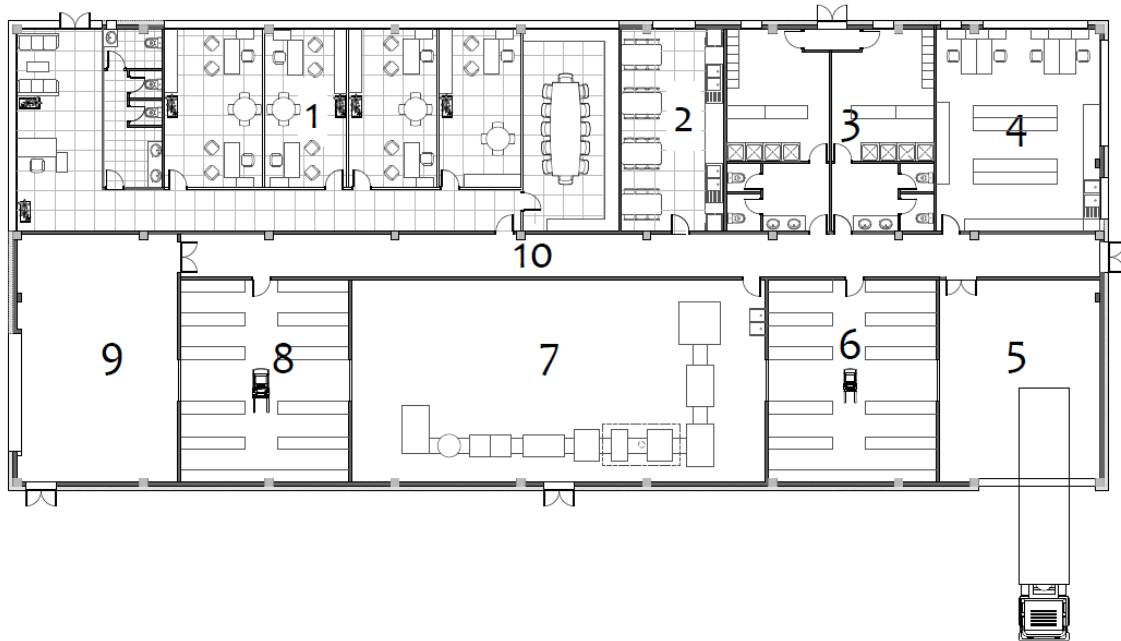
Figura 3. Parcel·la de la indústria. [4] (Sulé i Arimany, Plànols - Projecte d'una planta d'elaboració de patates xips ubicada a Montornès del Vallès (Vallès Oriental), 2017)

### 3. DESCRIPCIÓ DE LA INDÚSTRIA

Aquesta indústria agroalimentària elabora patates xips i es poden distingir diferents zones en funció de l'estat de contaminació del producte i de l'activitat que es realitzi en cadascuna d'elles. Les diferents zones són les següents:

1. Oficines
2. Menjador
3. Vestidors
4. Laboratori
5. Zona de descàrrega
6. Magatzem de la matèria prima
7. Zona de producció
8. Magatzem d'expedició
9. Zona d'expedició

A la Figura 4 es pot observar un esquema de la distribució en planta de la indústria.



**Figura 4.** Distribució de la indústria alimentària. [4] (Sulé i Arimany, Plànols - Projecte d'una planta d'elaboració de patates xips ubicada a Montornès del Vallès (Vallès Oriental), 2017)



#### 4. ESTUDI DEL RECURS SOLAR I PRODUCCIÓ D'ENERGIA ELÈCTRICA

La radiació solar és l'energia radiant emesa pel Sol que prové de reaccions al seu interior. La potència de la radiació solar rebuda per  $m^2$  sobre un pla tangent a l'esfera imaginària formada per la capa externa de l'atmosfera és de  $1367 \text{ W/m}^2$  però varia  $\pm 3 \%$  en funció de les variacions de les distàncies entre el Sol i la Terra al llarg de l'any.

La radiació incident en cada punt depèn de la localització, estació i climatologia, per tant, es pren un valor estàndard de referència (hora sol pic = hsp) de  $1000 \text{ W/m}^2$  (ATLES DE RADIACIÓ SOLAR A CATALUNYA, 2019).



Figura 5. Radiació a Catalunya. [6] (GLOBAL SOLAR ATLAS, 2019)

S'ha analitzat les bases de dades meteorològiques disponibles per al lloc de la Instal·lació d'autoconsum fotovoltaic, les quals es detallen a continuació.

- **METEONORM 7**

El software METEONORM ofereix estimacions d'irradiació en qualsevol punt de la geografia mundial a través de la interpolació dels valors registrats en més de 8300 estacions meteorològiques. La base de dades d'irradiació ha estat creada amb un període de dades de 24 anys, és a dir, des de 1981 fins a 2005. En el cas de la base de dades de temperatura, les dades han estat registrats en un període de 40 anys. La incertesa en les estimacions, d'acord amb la informació proporcionada per METEONORM, és de fins a 10 % per a la irradiació i de  $1,30 \text{ }^\circ\text{C}$  per a la temperatura, depenent de l'emplaçament.

Per a la ubicació de la instal·lació d'autoconsum fotovoltaic, METEONORM 7 ha estimat un valor d'irradiació global horitzontal de  $1612 \text{ kWh/m}^2$ .

- **SSE NASA**

La base de dades Surface meteorology and Solar Energy (SSE), ha estat elaborada amb el suport de la National Aeronautics and Space Administration (NASA). Aquesta base de dades

ofereix estimacions de radiació solar, així com d'altres paràmetres meteorològics, els quals es deriven de dades satel·litzades i registres mesurats en estacions terrestres.

En general, la meteorologia i la radiació solar per a la versió 6.0 de SSE s'han obtingut dels programes d'investigació i de re-anàlisi de la Direcció de Missió Científica de la NASA.

Per a la ubicació de la instal·lació d'autoconsum fotovoltaic, SSE-NASA 7 ha estimat un valor d'irradiació global horitzontal de **1575 kWh/m<sup>2</sup>**.

- **PVGIS**

PVGIS (Sistema d'informació geogràfica fotovoltaica) és un instrument de recerca, demostració i suport a les polítiques per al recurs d'energia solar, que forma part de l'acció SOLAREC a la unitat JRC Renewable Energies de les Comunitats Europees (Ispra).

Per a la ubicació de la instal·lació d'autoconsum fotovoltaic, PVGIS ha estimat un valor d'irradiació global horitzontal de **1720 kWh/m<sup>2</sup>**.

- **SolarGIS**

SolarGIS és un proveïdor de dades solars que posseeix un programa per a aplicacions d'energia solar i bases de dades climàtiques d'alta resolució.

La base de dades de recursos solars es calcula mitjançant el model de SolarGIS a partir de dades atmosfèriques i satel·litzades amb un interval de temps de 10, 15 o 30 minuts (dependent de la regió).

SolarGIS ha proporcionat l'any meteorològic tipus derivat de les sèries temporals horàries d'un període de 17 anys, des de gener de 1999 a desembre de 2015.

Per a la ubicació de la instal·lació d'autoconsum fotovoltaic, SolarGIS ha estimat un valor d'irradiació global horitzontal de **1620 kWh/m<sup>2</sup>**.

La Taula 1 mostra els valors anuals considerats per les diferents bases de dades estudiades prèviament.

*Taula 1. Diferents bases Meteorològiques.*

BASE METEOROLOGICA	GHI (kWh/m <sup>2</sup> any)	%
Meteonorm 7	1.612	-1,24 %
SSE-NASA	1.575	-3,57 %
PVGIS	1.720	5,14 %
SolarGIS	1.620	-0,75 %
Mitjana	1.632	0,00 %

La base de dades utilitzada per a l'estimació de la producció d'energia és la de Meteonorm (-1,24 %) ja que s'han descartat els dos extrems (Veure Taula 1).

## 5. ASPECTES NORMATIUS A COMPLIR

Tot i que segons el CTE H5 Contribució fotovoltaica mínima d'energia elèctrica (DB-HE Secció 5, 2019), la indústria projectada no té l'obligació d'instal·lar energia solar fotovoltaica, se n'instal·larà ja que és un condicionant del promotor.

### 5.1. CONDICIONS GENERALS DE LA INSTAL·LACIÓ

La instal·lació solar fotovoltaica connectada a xarxa està constituïda per un conjunt de components encarregats de realitzar les funcions de captar la radiació solar, generant energia elèctrica en forma de corrent continu i adaptar-la a les característiques que la facin utilitzable connectats a la xarxa de distribució de corrent altern. Aquest tipus d'instal·lacions fotovoltaiques treballen en paral·lel amb la resta dels sistemes de generació que subministren a la xarxa de distribució. Els sistemes que conformen la instal·lació solar fotovoltaica connectada a la xarxa són els següents:

- Sistema generador fotovoltaic, compost de mòduls que al seu torn contenen un conjunt elements semiconductors connectats entre si, denominats cèl·lules, i que transformen l'energia solar en energia elèctrica.
- Inversor que transforma el corrent continu produïda pels mòduls en corrent altern de les mateixes característiques que la de la xarxa elèctrica.
- Conjunt de proteccions, elements de seguretat, de maniobra, de mesura i auxiliars.
- Estructura de suport de les plaques.

### 5.2. ELEMENTS

#### 5.2.1. SISTEMA GENERADOR FOTOVOLTAIC

Les cèl·lules fotovoltaiques s'associen en grups formant mòduls fotovoltaics. Aquests mòduls fotovoltaics juntament amb els cables elèctrics que els uneixen i amb els elements de suport i fixació, constitueixen un generador fotovoltaic.

Tots els mòduls han de satisfer les especificacions UNE – EN 61215:1997 per mòduls de silici cristal·lí o UNE – EN 61646:1997 per mòduls fotovoltaics de capa prima segons el Codi Tècnic d'Edificació [2] (DB-HE Secció 5, 2019).

#### Característiques elèctriques de la placa solar fotovoltaica

Es pot identificar els següents paràmetres elèctrics bàsics:

- Potència nominal del mòdul o pic:  
És la potència determinada pel punt de màxima potència de la placa amb unes condicions estàndards de mesura. Les condicions estàndards es defineixen:
  - Radiació: 1000 W/m<sup>2</sup>
  - Incidència normal
  - Distribució espectral AM 1,5 G
  - Temperatura de la cèl·lula 25 °C

De manera que aquests valor són els valors estàndards de prova i d'homologació de les plaques.

- **Intensitat de màxima potència ( $I_{m\grave{a}x}$ ):**  
És el valor de la intensitat que pot oferir el mòdul quan les condicions de càrrega li permeten treballar a la seva màxima potència.
- **Tensió de màxima potència ( $V_{m\grave{a}x}$ ):**  
És el valor de la tensió que pot oferir el mòdul a la seva màxima potència.
- **Intensitat de curtcircuit ( $I_{sc}$ ):**  
És el corrent que produeix el mòdul quan és forçat a treballar a un voltatge 0, és a dir amb un curtcircuit en els seus contactes elèctrics.  
La intensitat resultant és la màxima que poden produir les cèl·lules.
- **Tensió de circuit obert ( $V_{oc}$ ):**  
És la tensió màxima que pot donar el mòdul, obtinguda quan no hi ha cap càrrega connectada (circuit obert, corrent 0).

Respecte a les plaques solars fotovoltaïques, n'hi ha de diversos tipus segons el grau de cristal·linitat de les cel·les (el silici cristal·lí és la base de les cel·les monocristal·lines i policristal·lines). Generalment es distingeixen 2 tipus; els panells fotovoltaïcs monocristal·lins i els policristal·lins. Com més pur és el silici, millor alineades estan les seves molècules i millor converteix l'energia solar en electricitat. L'augment de la puresa del silici implica processos més cars i per tant, un elevat cost de la placa solar fotovoltaïca. Les monocristal·lines tenen un rendiment energètic alt (14 – 17 %) i un cost econòmic elevat. En canvi, les policristal·lines tenen un menor rendiment energètic (10 – 14 %) com també un menor cost. L'avantatge principal de les policristal·lines respecte a les cel·les monocristal·lines és que part del procés de producció requereix menor cost i per tant el preu del panell és menor envers les monocristal·lines. Tot i això, compten amb alguns desavantatges com la baixa tolerància a la calor de les cel·les que a conseqüència fa que comptin amb una eficiència inferior a l'alternativa monocristal·lina.

Per la instal·lació, s'ha escollit el model dels panells fotovoltaïcs **TSHM 380-72** de l'empresa **Trina Solar** (Veure Taula 2 i Figura 6), ja que són panells fotovoltaïcs plans per al muntatge en horitzontal o vertical, per cobertes planes i inclinades, així com integració a la teulada i muntatge sobre estructura de suport. S'ha escollit aquesta casa comercial ja que són pioners a la Xina, ofereixen uns panells d'alta qualitat i utilitzen última tecnologia per millorar l'eficiència i durabilitat dels seus panells solars. Per a més informació consultar Annex II. Especificacions tècniques dels equips (mòduls fotovoltaïc i inversor).

*Taula 2. Dades bàsiques dels mòduls fotovoltaïcs [7]. (Trina Solar, 2019)*

Model	TSHM 380-72 (Trina Solar)	
Dimensions (LxA)	0,991x2	m
Superfície mòdul	1,98	m <sup>2</sup>
Superfície cèl·lules	1,77	m <sup>2</sup>
Pes	22,50	kg
Potència	380	Wp/panell
Voltatge punt potència màxima	39,80	V
Eficiència del mòdul	19,20	%
Nº cèl·lules solars	72	unitats
Tipus de cèl·lula	Silici monocristal·lí	



Figura 6. Mòdul fotovoltaic escollit. [7] (Trina Solar, 2019)

### 5.2.2. INVERSOR CC/CA

És un dispositiu electrònic encarregat de convertir el voltatge de corrent continu en voltatge altern de 230 V entre fase i neutre i amb 3 fases de sortida (de manera que pot proporcionar 400 V entre fases) amb una freqüència de 50 Hz. S'ha escollit un model d'inversor **Sunny Tripower 25000TL-30** de l'empresa SMA (Veure Figura 7) on les característiques principals es poden observar a la Taula 3. Aquest s'encarregarà de convertir el corrent continu en altern. El mode de treball d'aquest inversor és el de "Maximum Power Point Tracking" (MPPT) que permet extreure dels panells en funció de la quantitat de radiació solar disponible. Per a més informació consultar Annex II. Especificacions tècniques dels equips (mòduls fotovoltaic i inversor).



Figura 7. Inversor escollit. [8] (SMA, 2019)

Taula 3. Dades bàsiques de l'inversor escollit. [8] (SMA, 2019)

Model	Sunny Tripower 25.000 TL-30 (SMA)	
Mètode de funcionament	MPPT	
Dimensions (AxAxF)	665x690x265	mm
Pes	61,00	kg
Potència nominal DC	26.000	W
Potència nominal AC	25.000	W
Eficiència màxima	98,40	%
Inversor	25.000	W (ac)
Potència total dels 3 inversors	75.000	W (ac)

### **5.2.3. PROTECCIONS I ELEMENTS DE SEGURETAT**

S'inclouran tots els elements necessaris de seguretat i proteccions tant per les persones i de la instal·lació fotovoltaica, assegurant la protecció davant de contactes directes i indirectes, curtcircuits i sobrecàrregues.

Per facilitar el manteniment, la instal·lació ha de permetre la desconnexió i seccionament de l'inversor en la part de corrent continu i la de l'altern.

### **5.2.4. ESTRUCTURA DE SUPORT DE LES PLAQUES**

L'estructura de suport de les plaques és l'element que fixa les plaques solars a la teulada, façana o a terra segon el tipus d'instal·lació permetent fixar les plaques solars amb la inclinació i orientació òptima perquè rendeixin el màxim possible. Aquestes estructures poden ser fixes o amb seguidors, que persegueixen la posició del sol, i que són les més adequades per a instal·lacions fixades a terra.

En cas de muntatge sobre cobertes planes l'opció més adequada és la utilització de contrapesos prefabricats per a l'ancoratge. Aquestes peces donaran estabilitat a l'estructura d'alumini per tant, no serà necessari perforar la coberta. El material d'aquesta estructura serà d'alumini per la seva resistència a les condicions meteorològiques que afecten aquest tipus d'estructures amb menys requisits que altres instal·lacions com ancorades al terreny que són d'acer galvanitzat.

## **6. DIMENSIONAMENT DE LA INSTAL·LACIÓ SOLAR FOTOVOLTAICA**

Per a aconseguir l'aprofitament del sol com a recurs energètic es determinarà l'orientació i la inclinació de les plaques en instal·lacions per tal d'aconseguir el mínim cost del kWh solar. S'ha de tenir en compte que la instal·lació estarà ubicada a la coberta (plana) de la indústria.

### **6.1. ORIENTACIÓ I INCLINACIÓ DE LES PLAQUES**

Per a determinar el posicionament de les plaques fotovoltaïques caldrà considerar com a criteri de partida que la posició de les plaques haurà de permetre el màxim aprofitament de la radiació incident en tot l'arc de la trajectòria solar. Sota aquest criteri i d'acord amb l'observació de la trajectòria solar, s'estableix que l'orientació òptima de les plaques serà perpendicular a la línia de l'equador, per tant serà el sud.

La inclinació de les plaques es determina per la posició que permeti la màxima radiació incident en l'època d'utilització predominant. Tenint en compte que és un tipus d'instal·lació amb connexió a la xarxa, s'opta per una inclinació de 30°, ja que és un valor habitual de l'òptim de la zona de Barcelona.

### **6.2. INCIDÈNCIA D'OMBRES**

Per a assolir el màxim aprofitament d'un sistema d'energia solar, s'haurà de tenir en compte la incidència de possibles ombres sobre les plaques, tant les properes com les ombres llunyanes. Les ombres llunyanes seran mínimes i les properes fan referència a la distància entre fileres de les plaques fotovoltaïques.

### **6.3. DISTÀNCIA ENTRE FILERES DE LES PLAQUES**

La separació entre fileres de captadors ha de garantir la no superposició d'ombres entre les fileres de captadors en els mesos més desfavorables. Així doncs, es té en compte la inclinació triada dels mòduls i l'altura d'ells. El càlcul d'aquesta separació entre les fileres de les plaques (d) es fa mitjançant la fórmula:

$$d = K \cdot L$$

Essent:

- K: Coeficient K (adimensional).
- L: Longitud (m).
- $\beta$ : Angle d'inclinació de les plaques fotovoltaïques (°).

El coeficient K ve condicionat de la inclinació de les plaques per tant, per una inclinació de 30° i s'ha considerat de 2,14.

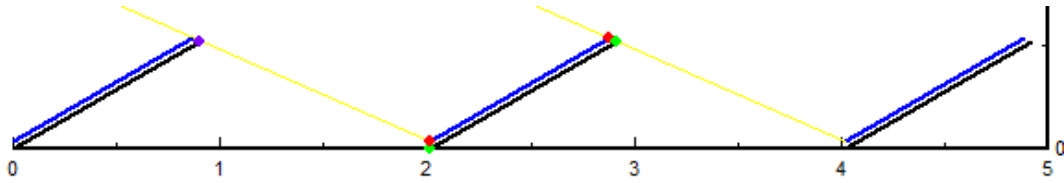
Els mòduls es col·locaran horitzontals, així doncs l'alçada és de 0,50 m per tant, s'obté una distància de 1,07 m de les fileres (Veure Figura 8) ja que;

$$d = 2,14 \cdot 0,50 = 1,07 \text{ m}$$

Per tant, s'obté una separació entre les fileres dels panells de 1,92 m  $\approx$  2 m ja que:

$$\cos 30 = \frac{x}{0,99} \quad x = \cos 30 \cdot 0,99 = 0,857 \text{ m}$$

$$0,857 \text{ m} + 1,07 \text{ m} = 1,93 \approx 2 \text{ m}$$



**Figura 8.** Separació entre els panells. [3] (Photovoltaic software, 2019)

Es disposa de gran superfície de coberta, de 1144 m<sup>2</sup> per tant, la superfície útil de la instal·lació és de 392,04 m<sup>2</sup>. Per poder veure la distribució dels panells fotovoltaics a la coberta plana de la indústria consultar el Plànol 1. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA (COBERTA) de l'Annex V. Plànol Instal·lació Fotovoltaica a la coberta.

#### 6.4. **NECESSITATS A COBRIR**

##### 6.4.1. **CONSUM**

Per determinar les necessitats energètiques s'ha d'establir quins són els condicionants de partida de la demanda energètica. Per determinar la potència requerida de la indústria s'ha assumit que es treballa a una potència nominal, és a dir a una cota superior ja que no es té cap perfil de consum. Per tant, s'ha calculat el consum diari per les diferents hores tenint en compte que es té una potència nominal de 91,93 kW.

Per fer-ho, s'ha tingut en compte els horaris dels treballadors de l'empresa ja que l'horari d'oficina és de 8.00 h del matí a 17.00 h de la tarda i els dels operaris són 3 torns (matí, tarda i nit, de 8 hores cadascun). Per poder estimar el consum, s'ha tingut en compte les potències nominals de cada màquina de la zona de producció, de les lluminàries i endolls de cada sala de la indústria (Veure Taula 15 de l'ANNEX I: Potències dels aparells de la indústria alimentària).

A la Taula 4 s'observa la potència nominal total de cada aparell, endoll i enllumenat de la indústria.

**Taula 4.** Potència de les diferents línies elèctriques de la indústria (enllumenat, endolls, aparells monofàsics i trifàsics) i la total.[9] (Sulé i Arimany, Annex 11. Instal·lació elèctrica. Projecte d'una planta d'elaboració de patates xips ubicada a Montornès del Vallès (Vallès Oriental), 2017)

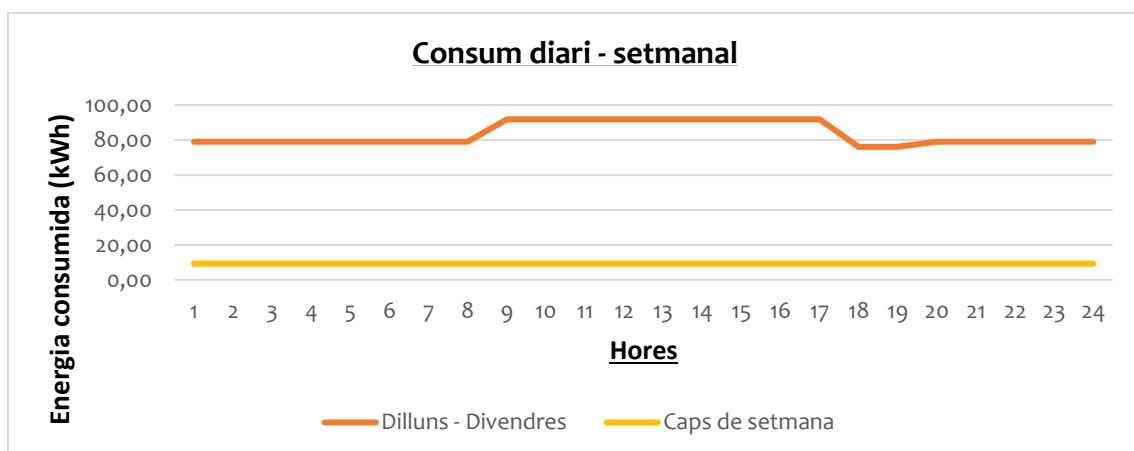
	Potència Activa (W)
Enllumenat	17.933,40
Endolls	20.700,00
Aparells Monofàsics	8.000,00
Aparells Trifàsics	45.300,00
Total (W)	91.933,40
Total (kW)	<b>91,93</b>



A la Taula 5, s'observa el consum a cobrir dels dies de la setmana de la indústria i a la Figura 9 es mostra gràficament.

**Taula 5.** Consum dels diferents dies de la setmana.

		Energia consumida (kWh)						
		Dilluns	Dimarts	Dimecres	Dijous	Divendres	Dissabte	Diumenge
0:00	1:00	79,09	79,09	79,09	79,09	79,09	9,13	9,13
1:00	2:00	79,09	79,09	79,09	79,09	79,09	9,13	9,13
2:00	3:00	79,09	79,09	79,09	79,09	79,09	9,13	9,13
3:00	4:00	79,09	79,09	79,09	79,09	79,09	9,13	9,13
4:00	5:00	79,09	79,09	79,09	79,09	79,09	9,13	9,13
5:00	6:00	79,09	79,09	79,09	79,09	79,09	9,13	9,13
6:00	7:00	79,09	79,09	79,09	79,09	79,09	9,13	9,13
7:00	8:00	79,09	79,09	79,09	79,09	79,09	9,13	9,13
8:00	9:00	91,93	91,93	91,93	91,93	91,93	9,13	9,13
9:00	10:00	91,93	91,93	91,93	91,93	91,93	9,13	9,13
10:00	11:00	91,93	91,93	91,93	91,93	91,93	9,13	9,13
11:00	12:00	91,93	91,93	91,93	91,93	91,93	9,13	9,13
12:00	13:00	91,93	91,93	91,93	91,93	91,93	9,13	9,13
13:00	14:00	91,93	91,93	91,93	91,93	91,93	9,13	9,13
14:00	15:00	91,93	91,93	91,93	91,93	91,93	9,13	9,13
15:00	16:00	91,93	91,93	91,93	91,93	91,93	9,13	9,13
16:00	17:00	91,93	91,93	91,93	91,93	91,93	9,13	9,13
17:00	18:00	76,17	76,17	76,17	76,17	76,17	9,13	9,13
18:00	19:00	79,09	76,17	76,17	76,17	76,17	9,13	9,13
19:00	20:00	79,09	79,09	79,09	79,09	79,09	9,13	9,13
20:00	21:00	79,09	79,09	79,09	79,09	79,09	9,13	9,13
21:00	22:00	79,09	79,09	79,09	79,09	79,09	9,13	9,13
22:00	23:00	79,09	79,09	79,09	79,09	79,09	9,13	9,13
23:00	0:00	79,09	79,09	79,09	79,09	79,09	9,13	9,13
<b>Total</b>		2.010,80	2.007,88	2.007,88	2.007,88	2.007,88	219,02	219,02



**Figura 9.** Consum setmanal de la indústria.

Segons la gràfica de la Figura 9, es pot observar el consum setmanal de la indústria, on la línia groga constant és el consum del cap de setmana de quasi 10,00 kWh i la línia taronja el consum dels dies laborables. Aquest consum té en compte els 3 torns explicats anteriorment i d'aquí, que el segon torn (de 8.00 h a 17.00 h aproximadament) hi hagi el màxim consum.

Es considera un consum màxim (els aparells treballen a potència nominal) per dimensionar la instal·lació d'autoconsum ja que no es disposa d'informació annexa dels consums mensuals de la indústria ni corbes de consum.

Per tant, la indústria agroalimentària té un consum anual de 546,32 MWh, dels quals 523,48 MWh corresponen als dies laborables i 22,84 MWh al caps de setmana (Veure Taula 6).

*Taula 6. Energia consumida anual [MWh] de la indústria agroalimentària.*

Energia consumida anual (MWh)		Total
Dilluns a divendres	Caps de setmana	
523,48	22,84	546,32

En principi tota energia generada per la instal·lació fotovoltaica serà consumida per la indústria però sempre pot ocórrer que existeixi un excedent puntual. Per tant, es considera la modalitat de subministrament amb autoconsum amb excedents acollida a compensació. El Reial decret 244/2019, de 5 d'abril [1] (BOE, 2019), informa que aquesta modalitat el consumidor i el productor optin voluntàriament per acollir-se a un mecanisme de compensació d'excedents. Aquesta opció només és possible en els casos en què es compleixin les condicions:

- Que la font d'energia primària sigui d'origen renovable.
- Que la potència total de les instal·lacions de producció associades no sigui superior a 100 kW.

## **6.5. DIMENSIONAMENT DE LA INSTAL·LACIÓ FOTOVOLTAICA**

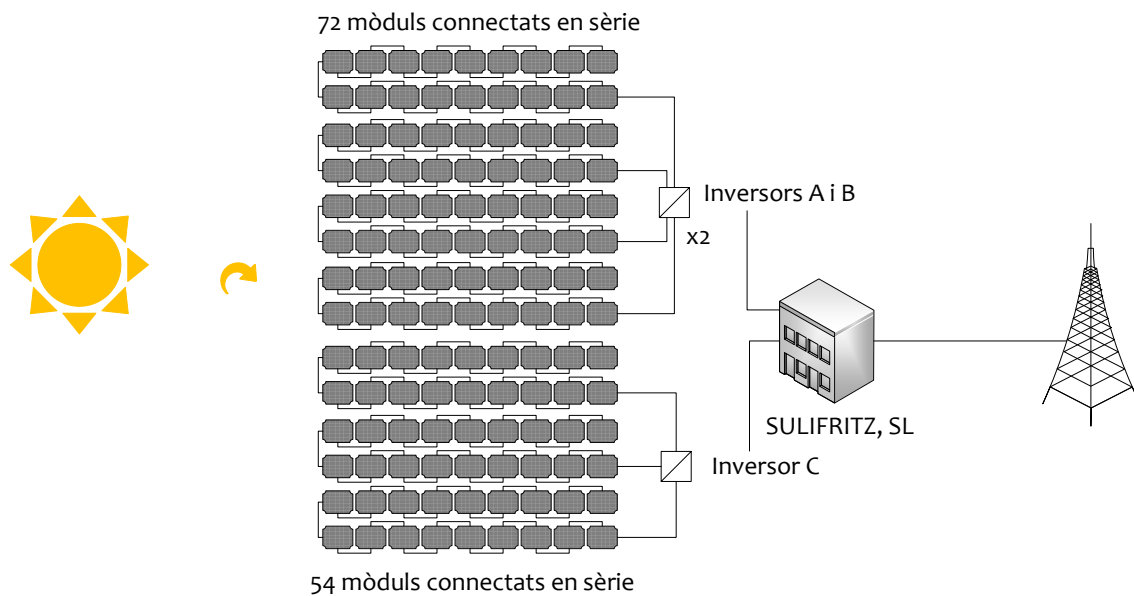
En primer lloc, pel correcte dimensionament de la instal·lació fotovoltaica es defineixen uns paràmetres bàsics:

- **String:** Connexió en sèrie en corrent continu dels panells fotovoltaics a la caixa de strings.
- **STC (Standard Test Condicion):** Indica el rendiment dels panells fotovoltaics a una temperatura de la cèl·lula de 25 °C i una radiació de 1000 W/m<sup>2</sup> amb una espectre AM 1,5 (air mas).
- **NOCT (Normal Operating Cell Temperature):** Temperatura d'operació nominal de la cèl·lula amb temperatura ambient de 20 °C, una radiació de 800 W/m<sup>2</sup> i una velocitat mitjana del vent d'1 m/s (El valor oscil·la entre 45 i 49 °C).

Les condicions d'operació estàndard que serveix per definir NOCT significa que el panell fotovoltaic proporcionarà una potència inferior a la potència en STC que a més la descriu el fabricant.

- Capacitat de l'inversor: Potència que és capaç de convertir el corrent continu a corrent altern.

La instal·lació s'ha dissenyat agrupant 18 panells fotovoltaics en sèrie formant un *string* que representa un total d'11 *strings* (amb un total de 198 panells). Per tant, es tindrà un total de 3 inversors (A, B i C), on dos d'ells tindran 4 entrades per cada *strings* i un d'ells només utilitzarà 3 entrades (1 per cada *strings*).



**Figura 10.** Esquema simplificat de la instal·lació fotovoltaica.

Per tant, aquesta instal·lació consta de 198 plaques solars fotovoltaïques ubicades a la coberta plana de la indústria. Cada 18 plaques formaran un *string*, que aniran connectades en sèrie. Els *strings* estaran connectats en paral·lel i n'hi haurà un total d'11. Aquests aniran connectats a l'inversor de 4 entrades de *strings*. Seran un total de 3 inversors, però un d'ells (inversor C) només utilitzarà tres entrades *strings* (Veure Figura 10). Per tant, l'inversor A i B tindran 72 panells cadascun i l'inversor C agruparà 54 panells (18 panells per cada *string*).

$$18 \text{ plaques en sèrie} \cdot 4 \text{ entrades strings en paral·lel} = 72 \text{ plaques inversor A i B}$$

$$18 \text{ plaques en sèrie} \cdot 3 \text{ entrades strings en paral·lel} = 54 \text{ plaques inversor C}$$

A la Taula 7 es poden veure els valors dels càlculs corresponents a l'explicació anterior.

**Taula 7.** Característiques de la instal·lació fotovoltaica.

Situació	Coberta	
Nombre mòduls	198	unitats
Superfície total dels mòduls	392,04	m <sup>2</sup>
Nombre <i>strings</i>	11	unitats
Nombre <i>strings</i> per mòduls	18	unitats
Potència pic mòdul en STC	380	Wp
Potència pic total en STC	75.240	Wp
Nombre d'inversors	3	unitats
Inversor	25.000	W (ac)
Potència total dels inversors	75.000	W (ac)

### 6.5.1. IRRADIACIÓ SOBRE EL PLA DEL GENERADOR

S'ha estimat una irradiació global horitzontal de valor igual a 1612,10 kWh/m<sup>2</sup> any.

Els mòduls fotovoltaics de la instal·lació d'autoconsum seran instal·lats sobre coberta plana orientats a SUD (azimut zero) amb una inclinació de 30°. Per això, la irradiació que arriba als mòduls fotovoltaics és superior a la irradiació en el pla horitzontal. Usant el programa de simulació PVsyst [3] (Photovoltaic software, 2019), s'ha seleccionat el model de transposició de Pérez, com a model matemàtic per calcular el factor de transposició de la irradiació horitzontal a inclinada.

El guany obtingut mitjançant simulació i la irradiació resultant en el pla del generador es mostra en la Figura 11 (1724 kWh / m<sup>2</sup>).

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	DiffHor kWh/m <sup>2</sup>	T_Amb °C	GlobInc kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	EArray MWh	E_User MWh	E_Solar MWh	E_Grid MWh	EFrGrid MWh
Enero	64.7	23.23	7.82	110.3	99.4	7.22	48.29	5.808	1.259	42.48
Febrero	82.8	36.97	8.95	120.5	110.0	7.98	42.22	6.320	1.500	35.90
Marzo	131.3	43.39	11.85	167.2	153.8	10.88	46.49	8.556	2.101	37.93
Abril	162.6	64.80	14.15	181.8	165.3	11.65	44.46	8.287	3.125	36.18
Mayo	195.3	73.89	17.92	194.0	175.7	12.19	48.29	9.124	2.552	39.17
Junio	202.4	81.20	22.12	193.3	174.4	11.95	44.46	9.427	2.282	35.04
Julio	219.7	69.96	24.37	215.0	195.5	13.19	46.49	9.861	3.069	36.63
Agosto	185.7	70.32	24.44	198.4	180.4	12.18	48.29	9.582	2.351	38.71
Septiembre	140.0	61.64	20.61	165.9	150.8	10.40	42.66	7.558	2.160	35.10
Octubre	103.9	38.95	17.43	144.7	132.9	9.29	48.29	7.954	1.145	40.34
Noviembre	67.8	28.83	11.82	109.4	98.5	7.07	46.27	5.703	1.040	40.56
Diciembre	55.9	22.92	8.32	99.3	86.9	6.34	44.68	4.995	1.210	39.69
Año	1612.2	616.12	15.86	1899.9	1723.6	120.33	550.90	93.177	23.797	457.72

Leyendas: GlobHor	Irradiación global horizontal	GlobEff	Global efectivo, corr. para IAM y sombreados
DiffHor	Irradiación difusa horizontal	EArray	Energía efectiva en la salida del conjunto
T_Amb	Temperatura Ambiente	E_User	Energía suministrada al usuario
GlobInc	Global incidente plano receptor	E_Solar	Energía del sol
		E_Grid	Energía inyectada en la red
		EFrGrid	Energía de la red

**Figura 11.** Diferents irradiacions, temperatures, energia del sol i altres dades durant l'any i l'annual a Montornès del Vallès. [3](Photovoltaic software, 2019)

### 6.5.2. ESTIMACIÓ DE LA PRODUCCIÓ D'ENERGIA

L'estimació de l'energia anual produïda per una instal·lació fotovoltaica es du a terme a través de l'avaluació dels següents paràmetres: Potència instal·lada ( $P_p$ ), Irradiació sobre el pla del generador ( $I_{gen}$ ), l'Eficiència de la conversió fotovoltaica ( $P_R$ ).

La potència instal·lada ( $P_p$ ) és un paràmetre de disseny que reflecteix la suma de la potència nominal dels panells fotovoltaics de la instal·lació i la superfície de recepció ( $A_c$ ) en m<sup>2</sup>, la Irradiació ( $I_{gen}$ ) és la irradiació anual que arriba a la superfície del generador fotovoltaic, i  $\eta$  és el percentatge de potència convertida en energia elèctrica de la llum solar total absorbida per un panell sota condicions estàndard (STC). Així l'energia produïda serà;

$$E [kWh] = I_{GEN} \left[ \frac{kWh}{m^2} \right] \cdot A_c [m^2] \cdot \eta [\%]$$

Essent;

- E: Energia produïda dels mòduls de la instal·lació [kWh].
- $I_{GEN}$ : Irradiació anual sobre el pla [kWh/m<sup>2</sup>].
- $A_c$ : Superfície de recepció, és a dir, superfície total dels mòduls [m<sup>2</sup>].
- $\eta$ : Percentatge de potència convertida en energia elèctrica de la llum solar total absorbida per un panell sota condicions estàndard (STC) [%].

L'eficiència de la conversió fotovoltaica és un paràmetre especificat pel fabricant (en el cas d'estudi **19,22 %**) [7] (Trina Solar, 2019). Per tant, s'obté una energia produïda dels mòduls sota condicions estàndard (STC) de 130 MWh ja que;

$$E = 1.724,00 \left[ \frac{kWh}{m^2} \right] \cdot 392 [m^2] \cdot 19,22 [\%] = 129.890,29 kWh \cong 130 MWh$$

### **6.5.3. POTÈNCIA INSTAL·LADA O PIC**

La potència instal·lada és de 75240 Wp, és a dir, 75,24 kWp (198 panells) que representen 392 m<sup>2</sup> de la superfície de la coberta, que ve donada perquè és el màxim que es pot posar a la coberta. Tot i així, s'ha de tenir en compte que la superfície total de la coberta és de 1144 m<sup>2</sup>, per tant, poden anar distribuïts adequadament respectant la separació mínima entre panells i dels límits de la coberta.

$$P = 380 \frac{Wp}{panell} \cdot 198 panells = 75.240 Wp = 75,24 kWp$$

### **6.5.4. PÈRDUES**

#### **6.5.4.1. PÈRDUES PER TEMPERATURA**

El voltatge de les cèl·lules fotovoltaïques, i per tant la potència d'aquestes i del mòdul, depèn de la temperatura de les mateixes. Quan s'opera fora de les Condicions Estàndard de Mesura (STC), en les quals la temperatura de la cèl·lula és 25 °C, la tensió del mòdul fotovoltaic es redueix i, per tant, la potència pic de sortida és menor que la que s'obté en STC.

Cal assenyalar que aquest factor de pèrdues depèn de les característiques elèctriques dels mòduls fotovoltaïcs instal·lats, específicament, del coeficient de temperatura de la potència màxima. En aquest cas, per als mòduls seleccionats, el coeficient és igual a -0,38 %/°C.

Les pèrdues per temperatura s'han estimat mitjançant el programari PVsyst d'acord amb les recomanacions del programa per a aquest tipus d'instal·lació fotovoltaica d'autoconsum, en base als resultats de la simulació, s'ha estimat un valor per aquestes pèrdues de -3,94 %.

#### **6.5.4.2. PÈRDUES ÒHMIQUES**

- Circuit CC

Les pèrdues elèctriques en el cablejat de corrent continu es deuen a la resistència òhmica que té lloc en el cablejat que parteix des dels mòduls fotovoltaïcs fins a arribar als inversors.

S'adopta -0,96 % com un valor adequat per a les pèrdues elèctriques en el cablejat de corrent continu (en baixa tensió).

- Circuit AC

Les pèrdues elèctriques en el cablejat de corrent altern es deuen a la resistència òhmica que té lloc en el cablejat de mitjana tensió que part dels inversors al punt d'interconnexió.

Aquestes pèrdues no es consideren ja que són mínimes per la seva distància.

#### **6.5.4.3. PÈRDUES PER QUALITAT DELS MÒDULS**

La pèrdua de qualitat del mòdul és un paràmetre que ha d'expressar la seva pròpia confiança en el rendiment del mòdul real, pel que fa a les especificacions del fabricant. Per defecte, PVsyst inicialitza la "Pèrdua de qualitat del mòdul" d'acord amb l'especificació de tolerància del fabricant del mòdul PV. En aquest cas, és de +0,30 %, que és un guany.

#### **6.5.4.4. PÈRDUES LID (Light Induced Degradation)**

LID (Degradació induïda per la Llum) és una pèrdua de rendiment que sorgeix en les primeres hores d'exposició al sol, amb mòduls Cristal·lins. Pot afectar el rendiment real pel que fa a les dades finals de proves de fàbrica proporcionats per alguns proveïdors de mòduls fotovoltaics.

El valor predeterminat proposat és del -1,30 %.

#### **6.5.4.5. PÈRDUES PER DESAJUSTAMENT, MÒDULS I PER VOLTATGE DE LES CADENES (STRINGS)**

La "pèrdua de desajustament" es deu principalment al fet que en una cadena de mòduls (o cel·les), el corrent més baix impulsa el corrent de tota la cadena. El valor considerat és del -1,10 %.

#### **6.5.4.6. PÈRDUES PER BRUTÍCIA**

La brutícia sobre els panells fotovoltaics redueix la radiació solar que incideix sobre aquests, donant lloc a pèrdues d'energia. Les pèrdues per brutícia dependran de les característiques de la localització, les condicions meteorològiques, el tipus d'estructura sobre la qual s'instal·lin els panells i la freqüència de les neteges dels panells establerta en els plans de manteniment. S'ha considerat un -3 % de pèrdues per brutícia com un valor adequat, assolible amb un pla de manteniment típic.

#### **6.5.4.7. PÈRDUES PER L'EFECTE D'INCIDÈNCIA**

L'efecte d'incidència (el terme designat és IAM "modificador d'angle d'incidència") correspon a la disminució de la irradiància que realment aconseguix la superfície de les cèl·lules fotovoltaïques, pel que fa a la irradiància sota incidència normal. Aquesta disminució es deu principalment a les reflexions a la coberta de vidre, que augmenta amb l'angle d'incidència.

La pèrdua de transmissió és un fenomen general, a causa de la reflexió i transmissió del raig del sol a cada interfície de material, així com també certa absorció en el vidre. Això sorgeix per a qualsevol raig d'incidència. Per a la incidència normal, la reflexió és de l'ordre del 5 % i s'inclou en el rendiment del STC mesurat. El IAM només es refereix a la dependència angular d'aquest efecte, és a dir, es normalitza a la transmissió amb una incidència perpendicular (angle d'incidència de 0°).

PVsyst fa servir una funció IAM, que descriu el dèficit de transmissió en funció de l'angle d'incidència. Aquesta funció s'aplica al component del feix, i al difús i l'albedo, usant una integral sobre totes les direccions "vistes", suposant una distribució isotròpica de la irradiància difusa. El valor d'aquestes pèrdues és del -2,89 %.

#### **6.5.4.8. PÈRDUES DEGUDES AL NIVELL D'IRRADIACIÓ**

Quan s'opera fora de les Condicions Estàndard de Mesura (STC), en les quals el nivell d'irradiació és diferent de 1.000 W/m<sup>2</sup>, l'eficiència del panell és també diferent de la mesura STC, això és la indicada en les especificacions tècniques dels panells fotovoltaics.

La simulació realitzada amb PVsyst, tenint en compte la corba d'eficiència del mòdul seleccionat, s'ha estimat aquestes pèrdues en un -0,61 %.

#### **6.5.4.9. PÈRDUES DE L'INVERSOR**

L'eficiència dels inversors depèn de la càrrega de potència a la qual estan operant. Generalment, a mesura que el nivell de càrrega augmenta, l'eficiència augmenta.

En el cas del Projecte, s'ha adoptat el valor recomanat pel fabricant, aquesta anàlisi realitzat mitjançant la simulació amb PVsyst, ha determinat unes pèrdues de -2,03 %.

A més de les pèrdues per eficiència, és també necessari tenir en compte l'energia perduda a causa al recull, és a dir, la limitació de potència evacuada quan la càrrega DC és més gran que la potència nominal dels inversors. Aquesta resulta de 0,10 %.

#### **6.5.4.10. PÈRDUES PER INDISPONIBILITAT**

La indisponibilitat fa referència al període de temps en el qual la Instal·lació fotovoltaica no està produint energia a plena capacitat.

La durada del temps d'indisponibilitat considerada és del -1,74 %.

#### **6.5.4.11. RESUM DE PÈRDUES**

Tenint en compte les pèrdues detallades anteriorment, a la Taula 8, es pot veure un resum d'aquestes.

**Taula 8.** Resum pèrdues del sistema fotovoltaic. [3] (Photovoltaic software, 2019)

	Pèrdues qualitat del mòdul	Pèrdues desajust conjunt de mòduls	Pèrdua òhmica del cablejat	Energia virtual del conjunt en MPP	Pèrdues globals inversor
	kWh				
Gener	-22.306,00	81,00	60,50	7.219,00	151,50
Febrer	-24.661,00	89,50	65,10	7.983,00	162,30
Març	-33.700,00	122,30	112,80	10.885,00	227,60
Abril	-36.050,00	130,90	117,10	11.648,00	235,60
Maig	-37.719,00	136,90	123,90	12.186,00	249,50
Juny	-36.972,00	134,20	118,80	11.947,00	238,20
Juliol	-40.864,00	148,30	144,80	13.191,00	261,60
Agost	-37.714,00	136,90	130,50	12.177,00	243,70
Setembre	-32.186,00	116,80	99,40	10.404,00	203,90
Octubre	-28.722,00	104,30	87,30	9.286,00	186,70
Novembre	-21.836,00	79,30	54,80	7.071,00	143,50
Desembre	-19,56	71,00	46,50	6.338,00	133,00
Any	-352.749,56	1.351,40	1.161,50	120.335,00	2.437,10

## 6.6. PRODUCCIÓ ESTIMADA

Després de l'anàlisi de tots els factors indicats anteriorment, s'han estimat els paràmetres del primer any d'operació de la Instal·lació fotovoltaica. L'estimació de l'energia neta anual produïda, així com la producció normalitzada del sistema i l'estimació de la producció mensual durant el primer any es mostra a la Taula 9. Aquests valors s'han obtingut mitjançant la simulació del PVsyst [3] (Photovoltaic software, 2019).

**Taula 9.** Irradiacions i energies. [3] (Photovoltaic software, 2019)

	Irradiació Global Horitzontal	Irradiació Difusa Horitzontal	Energia subministrada a l'usuari	Energia solar	Energia injectada a la xarxa	Energia de la xarxa
	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh	kWh	kWh
Gener	64,70	23,23	48.291,00	5.808,00	1.259,00	42.483,00
Febrer	82,80	36,97	42.221,00	6.320,00	1.500,00	35.901,00
Març	131,30	43,39	46.487,00	8.556,00	2.101,00	37.931,00
Abril	162,60	64,80	44.464,00	8.287,00	3.125,00	36.177,00
Maig	195,30	73,89	48.291,00	9.124,00	2.552,00	39.168,00
Juny	202,40	81,20	44.464,00	9.427,00	2.282,00	35.037,00
Juliol	219,70	69,96	46.487,00	9.861,00	3.069,00	36.626,00
Agost	185,70	70,32	48.291,00	9.582,00	2.351,00	38.709,00
Setembre	140,00	61,64	42.659,00	7.558,00	2.160,00	35.102,00
Octubre	103,90	38,95	48.291,00	7.954,00	1.145,00	40.338,00
Novembre	67,80	28,83	46.268,00	5.703,00	1.040,00	40.565,00
Desembre	55,90	22,92	44.683,00	4.995,00	1.210,00	39.688,00
Any	1.612,20	616,12	550.898,00	93.174,00	23.796,00	457.725,00

Respecte a la representació gràfica de l'energia produïda, dir que els mesos amb més producció són d'abril a agost, ja que són els dies que tenen més llum del sol i els de menor els



mesos d'hivern (menys hores de sol durant el dia), de novembre a febrer (Veure Figura 12). Per tant, es pot observar perfectament aquesta corba on el centre (mesos d'estiu) és més elevada i els extrems (mesos d'hivern) és menor. Respecte a les pèrdues, dir que a major producció, majors pèrdues a causa del canvi d'irradiació a energia elèctrica.

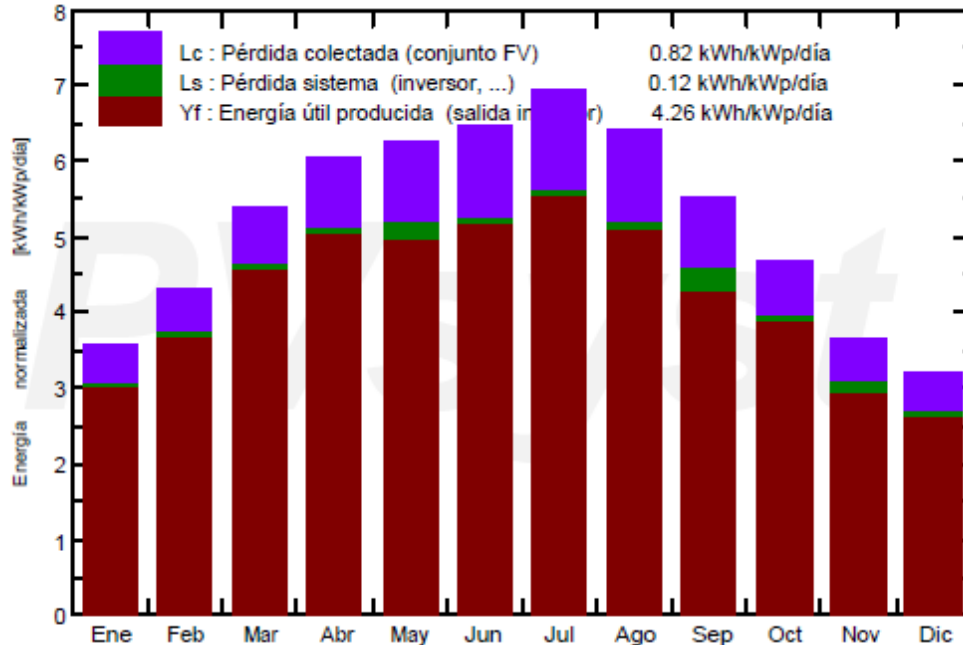


Figura 12. Energia útil produïda i pèrdues del sistema al dia [kWh/kWp/dia]. [3] (Photovoltaic software, 2019)

Finalment, la instal·lació fotovoltaica generarà un total de 117 MWh a l'any, on una part anirà injectada a la xarxa elèctrica.

Aquesta indústria agroalimentària anirà connectada a la xarxa elèctrica que utilitzarà 457,70 MWh d'aquesta, i l'energia autoconsumida per la instal·lació fotovoltaica serà de 93,20 MWh que equival a un 17,06 %. L'energia injectada a la xarxa o excedent serà un 25,54 % que equival a 23,80 MWh (Veure Taula 10), és a dir, la instal·lació fotovoltaica generarà un total de 117 MWh a l'any (Veure Figura 13).

Taula 10. Energia produïda, utilitzada de la xarxa elèctrica i injectada.

	Valor	Unitats
Energia utilitzada de la xarxa elèctrica	457,70	MWh
Energia autoconsumida de la instal·lació FV	93,20	MWh
Energia consumida total	550,90	MWh
Excedents injectats a la xarxa elèctrica	23,80	MWh
Energia total produïda de la instal·lació fotovoltaica	117,90	MWh

Per tant, tots aquests excedents seran compensats per la comercialitzadora i així poder reduir econòmicament la factura elèctrica. És a dir, en aquest cas, Factor Energia s'ha establert com la comercialitzadora, per tant, serà qui li compri aquest excedent suposant en períodes trimestrals per obtenir aquesta reducció a la factura elèctrica.

Per a veure més informació detalladament, veure Annex III: Simulació PVsyst.

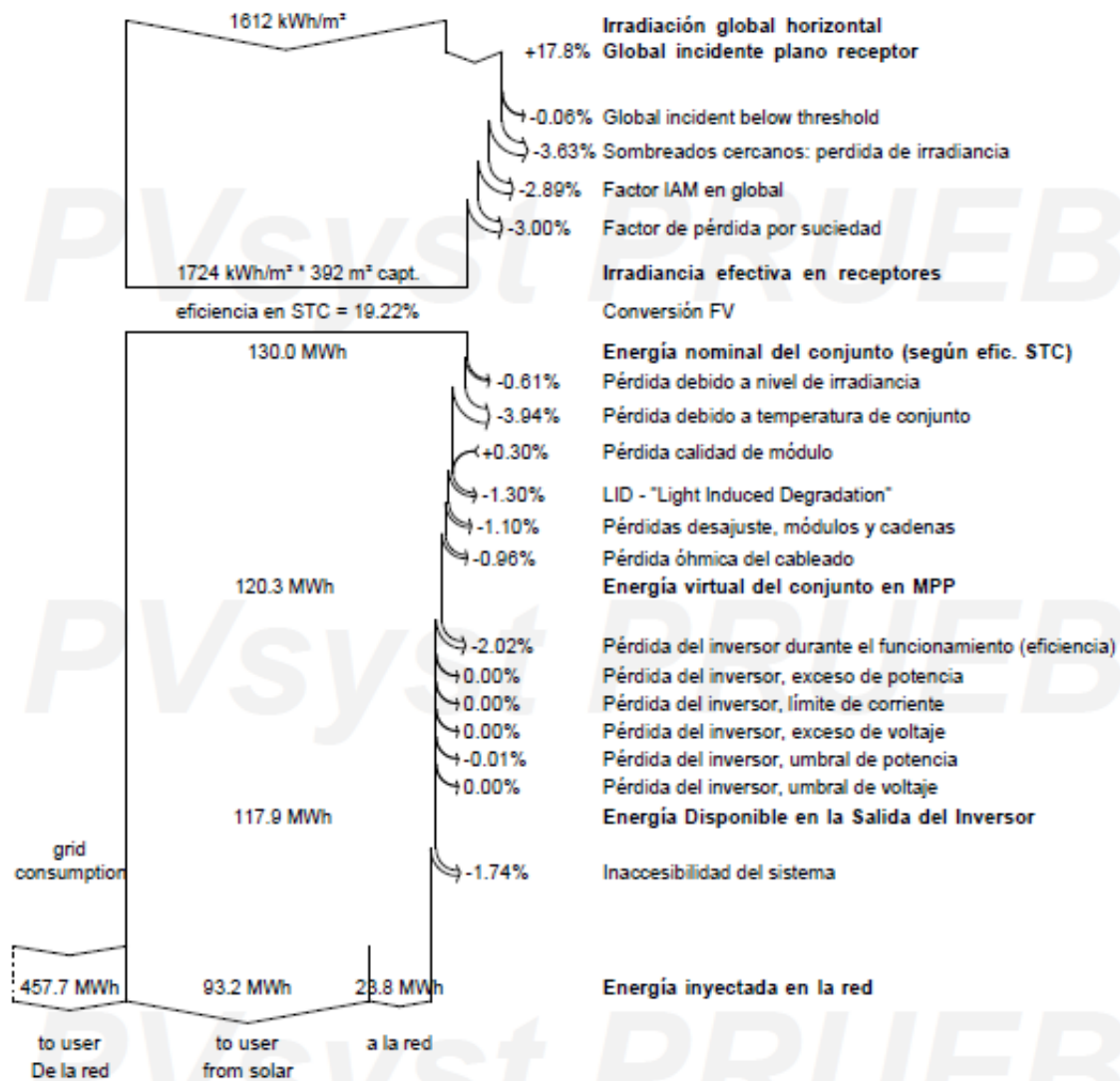


Figura 13. Diagrama de pèrdues durant tot l'any. [3] (Photovoltaic software, 2019)

## 7. ANÀLISI ECONÒMIC I MEDIAMBIENTAL

Segons el consum obtingut, s'ha establert una tarifa 3.0A ja que és el més adient per les PIMES. Aquest tipus de tarifa consta de 3 períodes diferents i el preu del terme de l'energia és diferent a cada un. Aquests períodes corresponen a un cert nombre d'hores i són diferents a la tardor/hivern (octubre a març) i a la primavera/estiu (abril a setembre) tal com es mostra a la Taula 11.

*Taula 11. Hores corresponents a cada període de facturació. [11] (ESIPE, 2019).*

Període	Tardor/Hivern	Primavera/Estiu
P1 (Punta)	18.00 h – 22.00 h	11.00 h – 15.00 h
P2 (Pla)	8.00 h – 18.00 h i 22.00 h – 24.00 h	8.00 h – 11.00 h i 15.00 h – 00.00 h
P3 (Vall)	00.00 h – 8.00 h	00.00 h – 8.00 h

Com ja s'ha dit anteriorment, l'electricitat que es genera és consumida principalment pel propietari de la instal·lació. Els excedents d'electricitat es poden acumular en bateries per consumir-la en hores en que no fa sol i/o es pot injectar a la xarxa general. En aquest cas, s'ha optat per la compensació simplificada d'excedents, ja que el cost de les bateries és molt elevat i això encareix el cost de la instal·lació.

Segons el Reial Decret 244/2019, de 5 d'abril (BOE, 2019), pel qual es regulen les condicions administratives, tècniques i econòmiques de l'autoconsum d'energia elèctrica, s'ha establert a l'Article 4, la modalitat de subministrament amb autoconsum amb excedents acollida a compensació. Per tant, aquesta instal·lació serà dotada d'aquesta compensació on la comercialitzadora (serà Factor Energia) li comprarà aquest excedent.

Ja que actualment encara no s'ha establert ni definit com es gestionarà la compensació simplificada d'excedents, s'ha suposat el preu d'aquest. OMIE (Operador del Mercat Ibèric d'Energia – P. Espanyol) és qui fixa el preu de l'energia a Espanya i per tant, s'ha de tenir en compte que el preu que la comercialitzadora comprarà l'energia ha de ser inferior al preu fixat. Per tant, per la compensació d'excedents s'ha considerat un 30 % del preu que ven la comercialitzadora a la indústria agroalimentària.

S'han utilitzats uns preus del Terme d'Energia (€/kWh) de la comercialitzadora Factor Energia (Veure Taula 12).

*Taula 12. Preus del terme d'energia (€/kWh). [10] (factorenergia, 2019)*

Tarifa d'accés	Període	Terme d'energia [€/kWh]
3.0A	P1 (Punta)	0,163456
	P2 (Pla)	0,151258
	P3 (Vall)	0,114590

Per tal de dur a terme el present projecte, es preveu demanar un préstec bancari pel valor de 82569,70 € ja que el 70 % de la inversió prové d'aquest préstec i el 30 % del promotor. Per tant, el promotor invertirà 35387,02 € de fons propis per a completar els 117956,72 € de la inversió necessària. L'interès del préstec bancari serà del 2 % i amb un període de retorn de 15 anys amb anualitats constants.

A la Taula 13 s'observa els costos totals de la instal·lació.

*Taula 13. Taula resum dels costos de la instal·lació.*

<b>Inversió</b>			
<b>Costos directes</b>	<b>u</b>	<b>€/u</b>	<b>€</b>
Mòduls FV	198	186,07	36.841,86
Suports dels mòduls	198	46,29	9.165,42
Inversors	3	2389	7.167,00
Enginyeria			10.000,00
Permisos i altres tarifes administratives			1.000,00
Anàlisis econòmic			1.000,00
Instal·lació			50.000,00
Assegurança de transport			250,00
Assegurança de responsabilitat			250,00
Retard en l'assegurança inicial			250,00
Despeses bancàries de préstec			2.032,44
<b>Inversió neta</b>			<b>117.956,72</b>
<b>Costos operatius</b>			<b>€/any</b>
Manteniment	Sous		600,00
	Reparacions		600,00
	Neteja		1.000,00
<b>Total</b>			<b>2.200,00</b>
<b>Costos d'operació (inflació 2,00 %)</b>			<b>2.765,12</b>

El Pay-Back indica el nombre d'anys que transcorren fins que es recupera la inversió inicial, per tant, la inversió serà més interessant com més petit sigui el Pay-Back. El Pay-Back de la inversió del present projecte és de 9,30 anys (Veure Taula 16 de l'Annex IV. Resultats de l'estudi econòmic). Aquest valor és idoni ja que la vida útil del projecte és de 25 anys, per tant, quedarien aproximadament uns 15 anys per gaudir de l'estalvi que proporciona la instal·lació fotovoltaica.

La taxa interna de rendibilitat (TIR) obtinguda és de 6,79 % i el valor actual net (VAN) s'ha obtingut un valor positiu de 179 mil €, per tant, es pot dir que aquesta inversió és rentable ja que és superior a zero.

La vida útil dels panells fotovoltaics és de 25 anys, per tant, tenint en compte aquest temps, es realitza el càlcul del període de recuperació de la inversió. El ROI permet avaluar la rendibilitat del sistema, ja que indica quant ha generat en vendes cada euro invertit en el projecte, per tant ens informa del rendiment de la inversió. Si el retorn de la inversió és positiu significa que el projecte és rendible. En cas contrari, si el resultat és negatiu, la inversió no és rendible i s'estaria perdent diners. El ROI és la relació entre el benefici net i la inversió inicial:

$$ROI = \frac{\text{Benefici net al final de la vida útil}}{\text{Inversió total}}$$

Es tindrà un benefici net al final de la vida útil de 220844,20 € i la inversió total és de 117956,72 €, per tant;

$$ROI = \frac{259.162,53}{117.956,72} = 2,197 \cdot 100 = 219,70 \%$$

S'obté un Retorn d'Inversió de 219,70 % . Això significa que per cada euro invertit es guanya 2,19 € i al sortir positiu, és una inversió rendible.

La Taula 14 mostra un resum de l'avaluació econòmica de la instal·lació.

**Taula 14.** Resum de l'avaluació econòmica de la instal·lació.

<b>Inversió total (Fons Propi + Préstec del Banc)</b>	117956,72	€
<b>Benefici net al final de la vida útil</b>	259162,53	€
<b>VAN</b>	213690,94	€
<b>TIR</b>	6,79	%
<b>Pay-Back</b>	9,30	anys
<b>ROI</b>	219,70	%
<b>Vida útil del projecte</b>	25	anys

Respecte a les emissions de diòxid de carboni, les produïdes per fabricar els panells i les estructures són de 132,66 tCO<sub>2</sub>. Amb aquesta instal·lació hi ha un estalviat d'emissions de 1015,10 tCO<sub>2</sub> durant la vida útil i 287 g CO<sub>2</sub>/kWh d'emissions del cicle de vida de la xarxa segons la Llista de l'IEA a Espanya proporcionada pel programa PVsyst [3] (Photovoltaic software, 2019). Per tant, s'obté un estalvi de 748,10 tCO<sub>2</sub> ja que;

$$1.015,10 \text{ tCO}_2 - 132,66 \text{ tCO}_2 - 287 \frac{\text{gCO}_2}{\text{kWh}} = \mathbf{748,10 \text{ tCO}_2 \text{ Estalvi al Medi Ambient}}$$

## 8. CONCLUSIONS

La instal·lació de panells solars redueix significativament la factura elèctrica mensual i la dependència de la xarxa pública. Aquesta independència energètica protegeix contra l'augment del cost de l'electricitat i contra la volatilitat en el preu dels combustibles. Ja que el preu de la llum va variant i pujant cada any, l'energia solar segueix sent una solució rendible i una inversió a llarg termini en el futur.

Respecte a les plaques solars fotovoltaïques escollides, s'ha optat per l'opció monocristal·lina per la seva elevada eficiència tot i que comparades amb les policristal·lines tenen un major cost econòmic encara que avui en dia quasi és mínim.

Ja que es disposa d'una superfície de coberta elevada, de 1144 m<sup>2</sup>, s'ha considerat una separació de panells major a la mínima necessària per evitar possibles ombres (Veure Annex V. Plànol Instal·lació Fotovoltaica a la coberta, Plànol 1. Instal·lació Fotovoltaica (Coberta)).

Pel que fa als inversors escollits, s'han triat d'una potència inferior a la potència pic de la instal·lació. Tot i que un dels tres inversors escollits està sobredimensionat, s'ha optat perquè els 3 siguin del mateix tipus, de 75000 W, per tenir un dimensionament homogeni. Tot i això, encara que està sobredimensionat, tampoc es descarta una possible ampliació de plaques solars fotovoltaïques per decisió del promotor en un futur i per tant, només caldria instal·lar les plaques.

Respecte a l'avaluació econòmica es pot dir que el promotor haurà d'invertir un 30 % de la inversió total i la resta serà de préstec bancari d'un interès del 2 % durant 15 anys. La vida útil del projecte és de 25 anys ja que és la mitjana de la vida útil de les plaques solars i a partir de l'any 9 es recupera la inversió.

Les conclusions respecte a l'avaluació econòmica és que el projecte és viable ja que el VAN és superior a zero, una TIR de 6,79 % i el període de retorn de la inversió és inferior a 10 anys (9,30 anys). Per aquest tipus d'instal·lació, ja és viable un període de retorn menor a 10 anys. També cal dir que, s'ha optat per no utilitzar bateries ja que encareix el cost de la instal·lació, per tant, el ROI incrementa i s'ha optat per l'opció d'utilitzar el mètode de compensació simplificada d'excedents del nou Reial Decret.

## 9. BIBLIOGRAFIA

- [1] BOE, B. (10 / Abril / 2019). BOE. Recollit de [https://www.boe.es/boe\\_catalan/dias/2019/04/06/pdfs/BOE-A-2019-5089-C.pdf](https://www.boe.es/boe_catalan/dias/2019/04/06/pdfs/BOE-A-2019-5089-C.pdf)
- [2] DB-HE Secció 5, C. (15 / Abril / 2019). IDAE. Recollit de [https://www.coit.es/system/files/link\\_group/he\\_5\\_contribucion\\_fotovoltaiica\\_minim\\_a\\_de\\_energia\\_electrica\\_77f479a7.pdf](https://www.coit.es/system/files/link_group/he_5_contribucion_fotovoltaiica_minim_a_de_energia_electrica_77f479a7.pdf)
- [3] Photovoltaic software, P. P. (Maig / 2019).
- [4] Sulé i Arimany, M. (2017). *Plànols - Projecte d'una planta d'elaboració de patates xips ubicada a Montornès del Vallès (Vallès Oriental)*.
- [5] Cadastre, S. (Maig / 2017). Recollit de <https://www.sedecatastro.gob.es/>
- [6] GLOBAL SOLAR ATLAS. (17 / Abril / 2019). Recollit de <https://globalsolaratlas.info/?c=41.898188,1.889648,7&s=41.56139,2.26694>
- [7] Trina Solar, M. (20 / Maig / 2019). Recollit de <https://www.trinasolar.com/es/product/tallmax>
- [8] SMA, I. (20 / Maig / 2019). Recollit de <https://www.sma.de/es/productos/inversor-fotovoltaiico.html>
- [9] Sulé i Arimany, M. (2017). *Annex 11. Instal·lació elèctrica. Projecte d'una planta d'elaboració de patates xips ubicada a Montornès del Vallès (Vallès Oriental)*.
- [10] factorenergia, F. (25 / Maig / 2019). Recollit de <https://www.factorenergia.com/ca/negocis/pla-descompte-fix-15-kw/>
- [11] ESIPE, E. d. (Juny / 2019). Recollit de [https://www.esipe.es/wp-content/uploads/periodos\\_tarifarios\\_r1.pdf](https://www.esipe.es/wp-content/uploads/periodos_tarifarios_r1.pdf)

## ANNEX I: Potències dels aparells de la indústria agroalimentària

**Taula 15.** Diferents aparells de la indústria amb les corresponents potències. (Sulé i Arimany, Annex 11. Instal·lació elèctrica. Projecte d'una planta d'elaboració de patates xips ubicada a Montornès del Vallès (Vallès Oriental), 2017)

	Aparell	Número	Potència (W)
TRIFÀSIC	Tremuja de recepció	1	1.500
	Classificadora	1	1.500
	Rentadora 1	1	3.000
	Rentadora 2	1	3.000
	Pesadora	1	1.000
	Peladora	1	1.500
	Cinta d'inspecció	1	1.000
	Talladora centrífuga	1	1.100
	Escaldadora	1	2.200
	Fregidora	1	20.000
	Bombo rotatori	1	3.000
	Salador	1	3.000
	Envasadora + Pesada + Etiquetatge	1	3.500
MONOFÀSICS	Microones	2	2.000
	Nevera	2	1.600
	Campana extractora	1	2.000
	Motor portes	6	2.400



**ANNEX II: Especificacions tècniques dels equips (mòdul fotovoltaic i inversor)**

### Características de un módulo FV

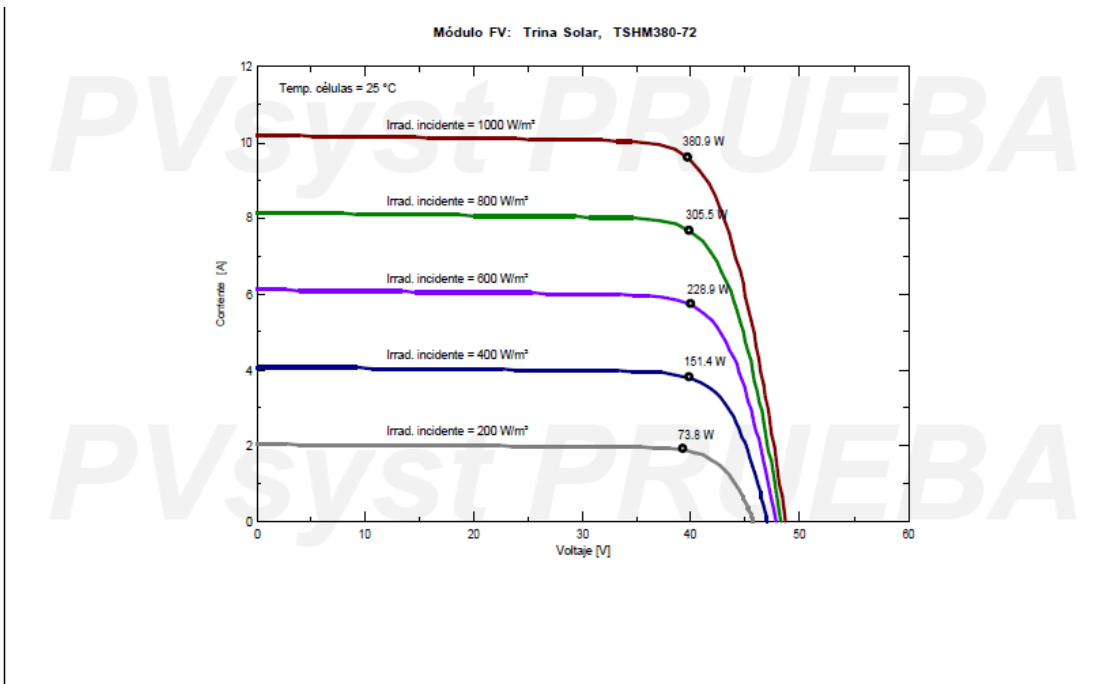
Fabricante, modelo : **Trina Solar, TSHM380-72**

Disponibilidad : Prod. desde 2019

Origen de datos : Manufacturer 2019

<b>Potencia STC (fabricante)</b>	<b>Pnom</b>	<b>380 Wp</b>	<b>Tecnología</b>	<b>Si-mono</b>
Dimensiones módulo (LxA)	0.991 x 2.000 m <sup>2</sup>		Superficie bruta módulo	Smódulo 1.98 m <sup>2</sup>
Cantidad de células	1 x 72		Sup. sensible	Scélulas 1.77 m <sup>2</sup>
<b>Especificaciones para el modelo (fabricante o datos de medida)</b>				
Temperatura de referencia	TRef 25 °C		Irradiancia de referencia	GRef 1000 W/m <sup>2</sup>
Voltaje de circuito abierto	Voc 48.7 V		Corriente de cortocircuito	Isc 10.19 A
Voltaje punto potencia máx => potencia máxima	Vmpp 40.4 V Pmpp 380.1 W		Corriente punto potencia máx	Impp 9.41 A
			Coef. de temp. Isc	miIsc 5.1 mA/°C
<b>Parámetros de modelo con un diodo</b>				
Resistencia paral.	Rparal 250 ohm		Corriente saturación diodo	IoRef 0.025 nA
Resistencia serie	Rserie 0.35 ohm		Coef. de temp. Voc	MuVoc -154 mV/°C
			Factor de calidad diodo	Gamma 0.99
Coef. temp. Pmpp específica	miPmáxR -0.38 %/°C		Coef. temp. en Gamma	miGamma -0.001 1/°C
<b>Parámetros de Polarización Inversa, para comportamientos en sombreado parcial o desajuste</b>				
Características inversas (oscuro)	BRev 3.20 mA/V <sup>2</sup>		(Factor cuadrático por célula)	
Cant. diodos bypass por módulo	3		Voltaje directo diodos by-pass	-0.7 V

<b>Resultados modelo para las condiciones estándar (STC: T=25°C, G=1000 W/m<sup>2</sup>, AM=1.5)</b>				
Voltaje punto potencia máx	Vmpp 39.8 V		Corriente punto potencia máx	Impp 9.58 A
Potencia máxima	Pmpp 380.9 Wc		Coef. de temp. potencia	miPmpp -0.37 %/°C
Eficiencia(/ Sup. módulo)	Efic_mód 19.2 %		Factor de forma	FF 0.767
Eficiencia(/ Sup. células)	Efic_cél 21.5 %			



PVSYST V6.79		25/05/19	Página 1/1
<b>Características de un inversor de red</b>			
Fabricante, modelo :		<b>SMA, Sunny Tripower 25000TL-30</b>	
Disponibilidad :		Prod. desde 2014	
Origen de datos :		Manufacturer 2014	
<b>390</b>			
Modo funcionamiento		MPPT	
Voltaje MPP mínimo	Vmin	N/A V	Potencia nominal FV
Voltaje MPP máximo	Vmax	800 V	Potencia máxima FV
Voltaje FV máx. absoluto	Vmax array	1000 V	Corriente máxima FV
Voltaje mín. para Pnom	Vmin PNom	390 V	Umbral de la potencia
			Pnom DC
			26 kW
			Pmax DC
			26 kW
			Imax DC
			N/A A
			Pthresh.
			84 W
Capacidad Multi-MPPT		Núm. de entradas MPPT	
Comportamiento en Vmin/Vmáx		Comportamiento en Pnom	
	Limitación		2
			Limitación
<b>Características de salida (lado red CA)</b>			
Voltaje de Red	Unom	400 V	Potencia nominal CA
Frecuencia de la red	Freq	50/60 Hz	Potencia máxima CA
		Trifásico	Corriente CA nominal
			Imax AC
			36 A
			Pnom AC
			25 kWac
			Pmax AC
			25 kWac
			Imax AC
			36 A
Eficiencia definida para 3 voltajes	390 V	600 V	800 V
Eficiencia máxima	97.2 %	98.3 %	97.8 %
Eficiencia media europea	96.8 %	98.0 %	97.4 %
<b>Notas y Características técnicas</b>		Dimensiones: Ancho	
Vigilancia del aislamiento del conjunto, Inter. CC interno,		665 mm	
Desconexión ajustada según el voltaje de salida,		Altura	
Protección ENS,		690 mm	
Tecnología: TL transformerless, 16 kHz, SG, IGBT		Fondo	
Protección: -25 - +60°C, IP 65: outdoor installation		265 mm	
Control:		Peso	
		61.00 kg	

**ANNEX III: Simulació PVsyst**

PVSYST V6.79		25/05/19	Página 1/5
<b>Sistema Conectado a la Red: Parámetros de la simulación</b>			
<b>Proyecto :</b>	<b>TFM</b>		
<b>Sitio geográfico</b>	<b>Montornès del Vallès (TFM)</b>	<b>País</b>	<b>España</b>
<b>Ubicación</b>	Latitud 41.56° N	Longitud	2.27° E
Tiempo definido como	Hora Legal Huso horario UT+1	Altitud	87 m
	Albedo 0.20		
<b>Datos meteorológicos:</b>	<b>Montornès del Vallès (TFM)</b> Meteororm 7.2 (1991-2010), Sat=35% - Sintético		
<b>Variante de simulación : Nueva variante de simulación</b>			
	Fecha de simulación	25/05/19 12h47	
<b>Parámetros de la simulación</b>	Tipo de sistema	<b>Cobertizos ilimitados</b>	
<b>Orientación plano captador</b>	Inclinación	30°	Acimut 0°
<b>Configuración de los cobertizos</b>	Núm. de cobertizos	23	Cobertizos ilimitados
	Separación entre cobertizos	2.01 m	Ancho receptor 1.00 m
Banda inactiva	Arriba	0.02 m	Abajo 0.02 m
Ángulo límite de sombreado	Ángulo de perfil límite	20.4°	Factor de ocupación del suelo (GCR) 49.8 %
<b>Modelos empleados</b>	Transposición	Perez	Difuso Perez, Meteororm
<b>Horizonte</b>	Sin horizonte		
<b>Sombreados cercanos</b>	Sombreados mutuos de cobertizos		
<b>Necesidades del usuario :</b>	perfil diario	modulación semanal	
	media	1508 kWh/Día	
<b>Características del conjunto FV</b>			
<b>Módulo FV</b>	Si-mono	Modelo	<b>TSHM380-72</b>
Parámetros definidos por el usuario		Fabricante	Trina Solar
Número de módulos FV		En serie	18 módulos
Núm. total de módulos FV		Núm. módulos	198
Potencia global del conjunto		Nominal (STC)	<b>75.2 kWp</b>
Caract. funcionamiento del conjunto (50°C)		U mpp	644 V
Superficie total		Superficie módulos	<b>392 m²</b>
		Superficie célula	350 m²
<b>Inversor</b>		Modelo	<b>Sunny Tripower 25000TL-30</b>
Base de datos Pvsyst original		Fabricante	SMA
Características		Voltaje de funcionam.	390-800 V
		Pnom unitaria	25.0 kWac
Paquete de inversores		Núm. de inversores	3 unidades
		Potencia total	75 kWac
		Relación Pnom	1.00
<b>Factores de pérdida del conjunto FV</b>			
Suciedad del conjunto		Fracción de pérdidas	3.0 %
Factor de pérdidas térmicas	Uc (const)	29.0 W/m²K	Uv (viento) 0.0 W/m²K / m/s
Pérdida óhmica en el Cableado	Res. global conjunto	102 mOhm	Fracción de pérdidas 1.5 % en STC
LID - "Light Induced Degradation"			Fracción de pérdidas 1.3 %
Pérdida Calidad Módulo			Fracción de pérdidas -0.3 %
Pérdidas de "desajuste" Módulos			Fracción de pérdidas 1.0 % en MPP
Pérdidas de "desajuste" cadenas			Fracción de pérdidas 0.10 %
Efecto de incidencia, perfil definido por el usuario (IAM): Perfil personalizado			
	0°	20°	30°
	40°	50°	60°
	70°	80°	90°
	1.000	1.000	1.000
	0.990	0.970	0.950
	0.880	0.600	0.000
Indisponibilidad del sistema	7.3 días, 3 periodos		Fracción de tiempo 2.0 %

### Sistema Conectado a la Red: Necesidades detalladas del usuario

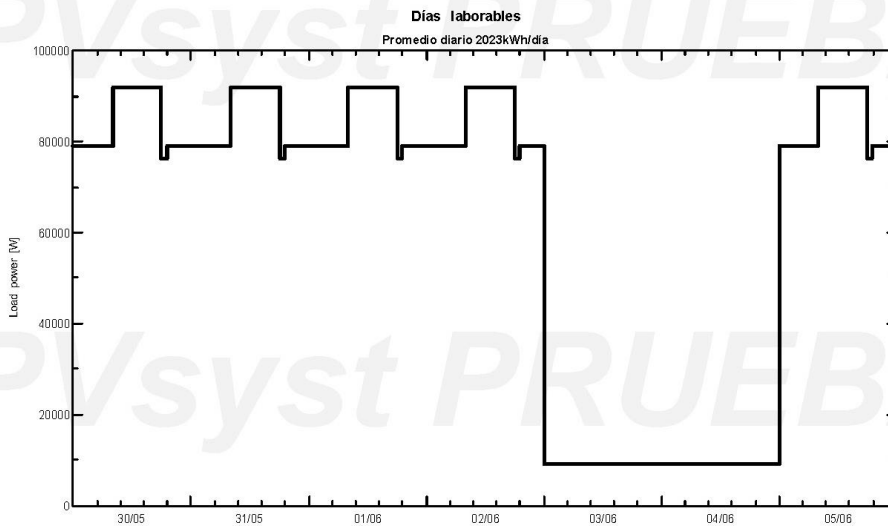
**Proyecto :** TFM

**Variante de simulación :** Nueva variante de simulación

Parámetros principales del sistema		Tipo de sistema	Cobertizos ilimitados
Orientación Campos	Disposición en cobertizos, inclinación	30°	acimut 0°
Módulos FV	Modelo	TSHM380-72	Pnom 380 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	198	Pnom total <b>75.2 kWp</b>
Inversor	Modelo	Sunny Tripower 25000TL-30	25.00 kW ac
Paquete de inversores	Núm. de unidades	3.0	Pnom total <b>75.0 kW ac</b>
Necesidades del usuario	perfil diario	modulación semanal	Global 550 MWh/año

**perfil diario, modulación semanal, media = 1508 kWh/día**

	0 h	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	7 h	8 h	9 h	10 h	11 h	
	12 h	13 h	14 h	15 h	16 h	17 h	18 h	19 h	20 h	21 h	22 h	23 h	
Working days	79.1	79.1	79.1	79.1	79.1	79.1	79.1	79.1	91.9	91.9	91.9	91.9	kW
	91.9	91.9	91.9	91.9	91.9	91.9	76.2	79.1	79.1	79.1	79.1	79.1	kW
Week-end	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	kW
	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	kW



### Sistema Conectado a la Red: Resultados principales

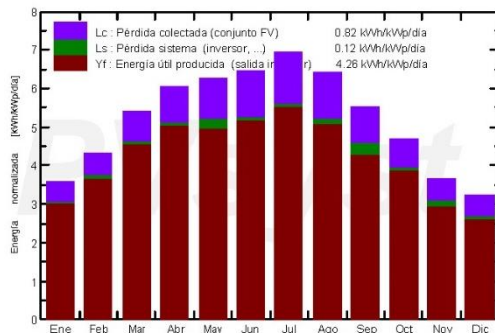
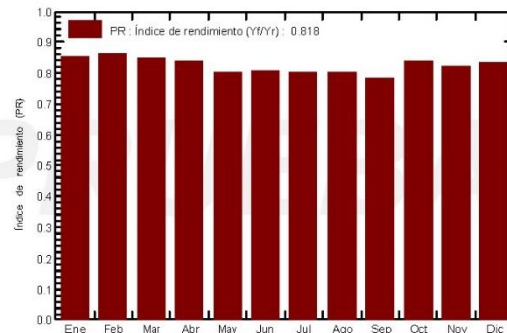
**Proyecto :** TFM

**Variante de simulación :** Nueva variante de simulación

Parámetros principales del sistema		Tipo de sistema		Cobertizos ilimitados	
Orientación Campos	Exposición en cobertizos, inclinación	30°	acimut	0°	
Módulos FV	Modelo	TSHM380-72	Pnom	380 Wp	
Conjunto FV	Núm. de módulos	198	Pnom total	<b>75.2 kWp</b>	
Inversor	Modelo	Sunny Tripower 25000TL-30		25.00 kW ac	
Paquete de inversores	Núm. de unidades	3.0	Pnom total	<b>75.0 kW ac</b>	
Necesidades del usuario	perfil diario	modulación semanal	Global	550 MWh/año	

**Resultados principales de la simulación**

Producción del sistema	<b>Energía producida</b>	<b>117.9 MWh/año</b>	Produc. específica	1567 kWh/kWp/año
	Índice de rendimiento (PR)	81.83 %	Fracción solar (SF)	16.91 %

**Producciones normalizadas (por kWp instalado): Potencia nominal 75.2 kWp**

**Índice de rendimiento (PR)**

**Nueva variante de simulación  
Balances y resultados principales**

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_User	E_Solar	E_Grid	EFrGrid
	kWh/m²	kWh/m²	°C	kWh/m²	kWh/m²	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh
<b>Enero</b>	64.7	23.23	7.82	110.3	99.4	7.22	48.29	5.808	1.259	42.48
<b>Febrero</b>	82.8	36.97	8.95	120.5	110.0	7.98	42.22	6.320	1.500	35.90
<b>Marzo</b>	131.3	43.39	11.85	167.2	153.8	10.88	46.49	8.556	2.101	37.93
<b>Abril</b>	162.6	64.80	14.15	181.8	165.3	11.65	44.46	8.287	3.125	36.18
<b>Mayo</b>	195.3	73.89	17.92	194.0	175.7	12.19	48.29	9.124	2.552	39.17
<b>Junio</b>	202.4	81.20	22.12	193.3	174.4	11.95	44.46	9.427	2.282	35.04
<b>Julio</b>	219.7	69.96	24.37	215.0	195.5	13.19	46.49	9.861	3.069	36.63
<b>Agosto</b>	185.7	70.32	24.44	198.4	180.4	12.18	48.29	9.582	2.351	38.71
<b>Septiembre</b>	140.0	61.64	20.61	165.9	150.8	10.40	42.66	7.558	2.160	35.10
<b>Octubre</b>	103.9	38.95	17.43	144.7	132.9	9.29	48.29	7.954	1.145	40.34
<b>Noviembre</b>	67.8	28.83	11.82	109.4	98.5	7.07	46.27	5.703	1.040	40.56
<b>Diciembre</b>	55.9	22.92	8.32	99.3	86.9	6.34	44.68	4.995	1.210	39.69
<b>Año</b>	1612.2	616.12	15.86	1899.9	1723.6	120.33	550.90	93.177	23.797	457.72

Leyendas: GlobHor	Irradiación global horizontal	GlobEff	Global efectivo, corr. para IAM y sombreados
DiffHor	Irradiación difusa horizontal	EArray	Energía efectiva en la salida del conjunto
T_Amb	Temperatura Ambiente	E_User	Energía suministrada al usuario
GlobInc	Global incidente plano receptor	E_Solar	Energía del sol
		E_Grid	Energía inyectada en la red
		EFrGrid	Energía de la red

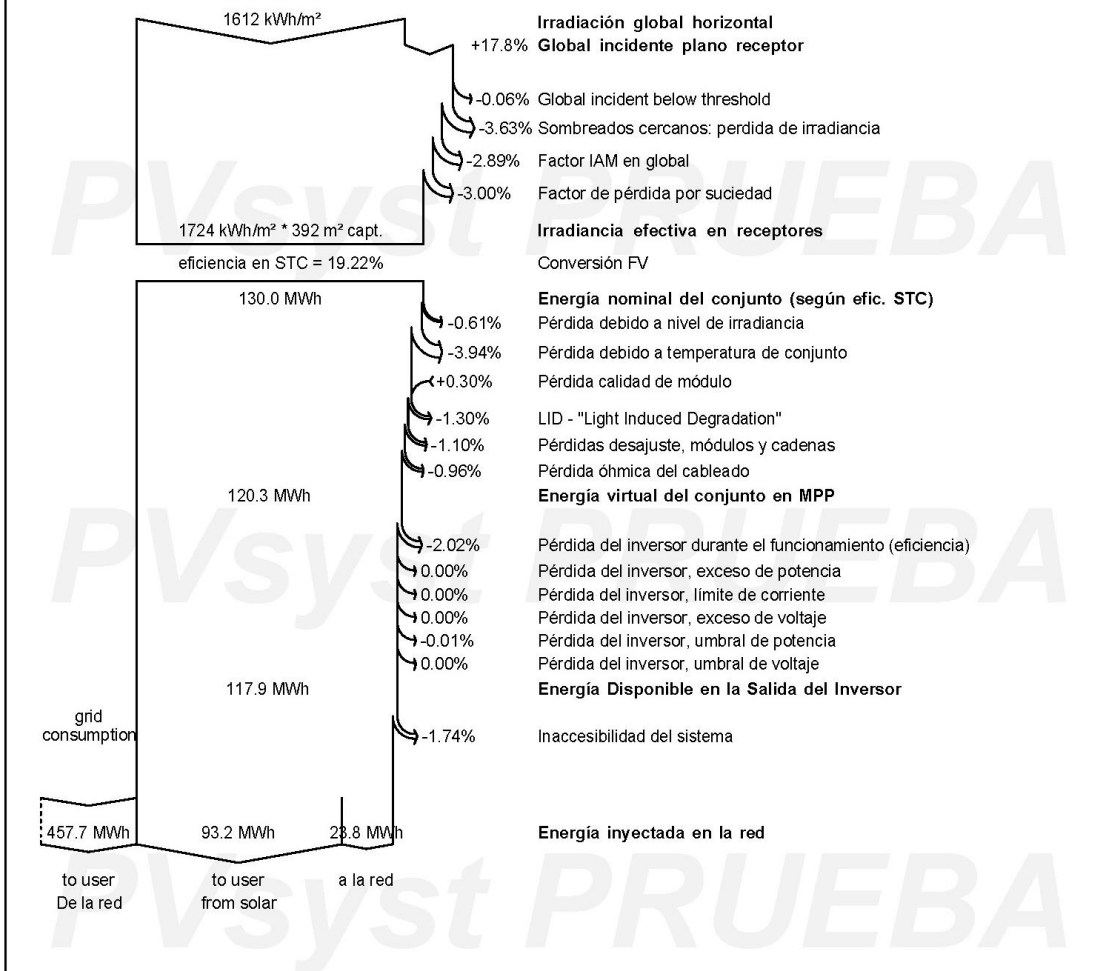
### Sistema Conectado a la Red: Diagrama de pérdidas

**Proyecto :** TFM

**Variante de simulación :** Nueva variante de simulación

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	Cobertizos ilimitados	
Orientación Campos	Disposición en cobertizos, inclinación	30°	acimut 0°
Módulos FV	Modelo	TSHM380-72	Pnom 380 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	198	Pnom total <b>75.2 kWp</b>
Inversor	Modelo	Sunny Tripower 25000TL-30	25.00 kW ac
Paquete de inversores	Núm. de unidades	3.0	Pnom total <b>75.0 kW ac</b>
Necesidades del usuario	perfil diario	modulación semanal	Global 550 MWh/año

Diagrama de pérdida durante todo el año





### Sistema Conectado a la Red: CO2 Balance

**Proyecto :** TFM

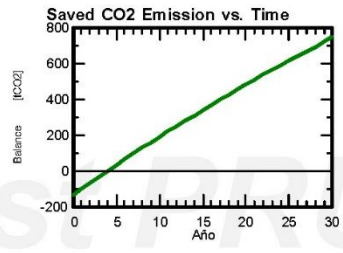
**Variante de simulación :** Nueva variante de simulación

<b>Parámetros principales del sistema</b>		<b>Cobertizos ilimitados</b>
Tipo de sistema	Disposición en cobertizos, inclinación	30° acimut 0°
Orientación Campos	Modelo	TSHM380-72 Pnom 380 Wp
Módulos FV	Núm. de módulos	198 Pnom total <b>75.2 kWp</b>
Conjunto FV	Modelo	Sunny Tripower 25000TL-30 25.00 kW ac
Inversor	Núm. de unidades	3.0 Pnom total <b>75.0 kW ac</b>
Paquete de inversores	perfil diario	modulación semanal Global 550 MWh/año
Necesidades del usuario		

<b>Produced Emissions</b>	<b>Total:</b> 132.66 tCO2
	Source: Detailed calculation from table below
<b>Replaced Emissions</b>	<b>Total:</b> 1015.1 tCO2
	System production: 117.90 MWh/año Lifetime: 30 years
	Annual Degradation: 1.0 %
	Grid Lifecycle Emissions: 287 gCO2/kWh
	Source: IEA List Country: Spain
<b>CO2 Emission Balance</b>	<b>Total:</b> 748.1 tCO2

**System Lifecycle Emissions Details:**

Item	Modules	Supports
LCE	1713 kgCO2/kWp	1.91 kgCO2/kg
Quantity	75.2 kWp	1980 kg
Subtotal [kgCO2]	128865	3790



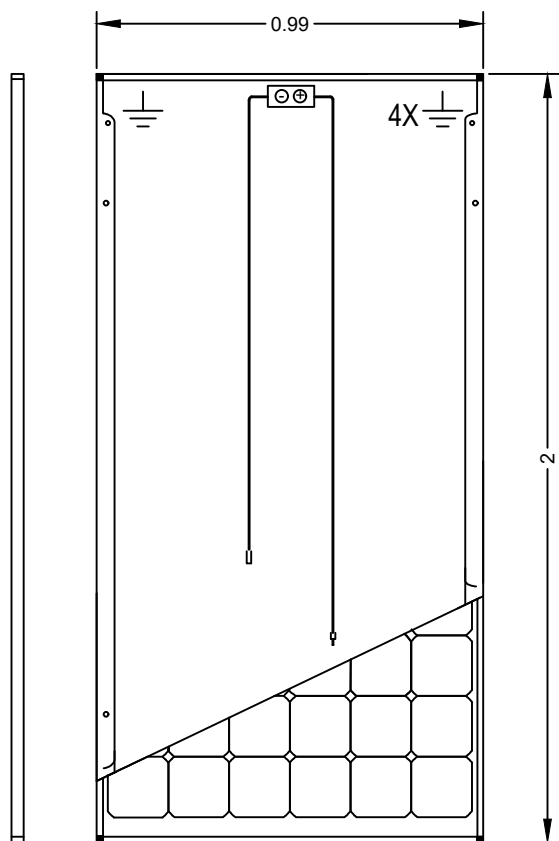
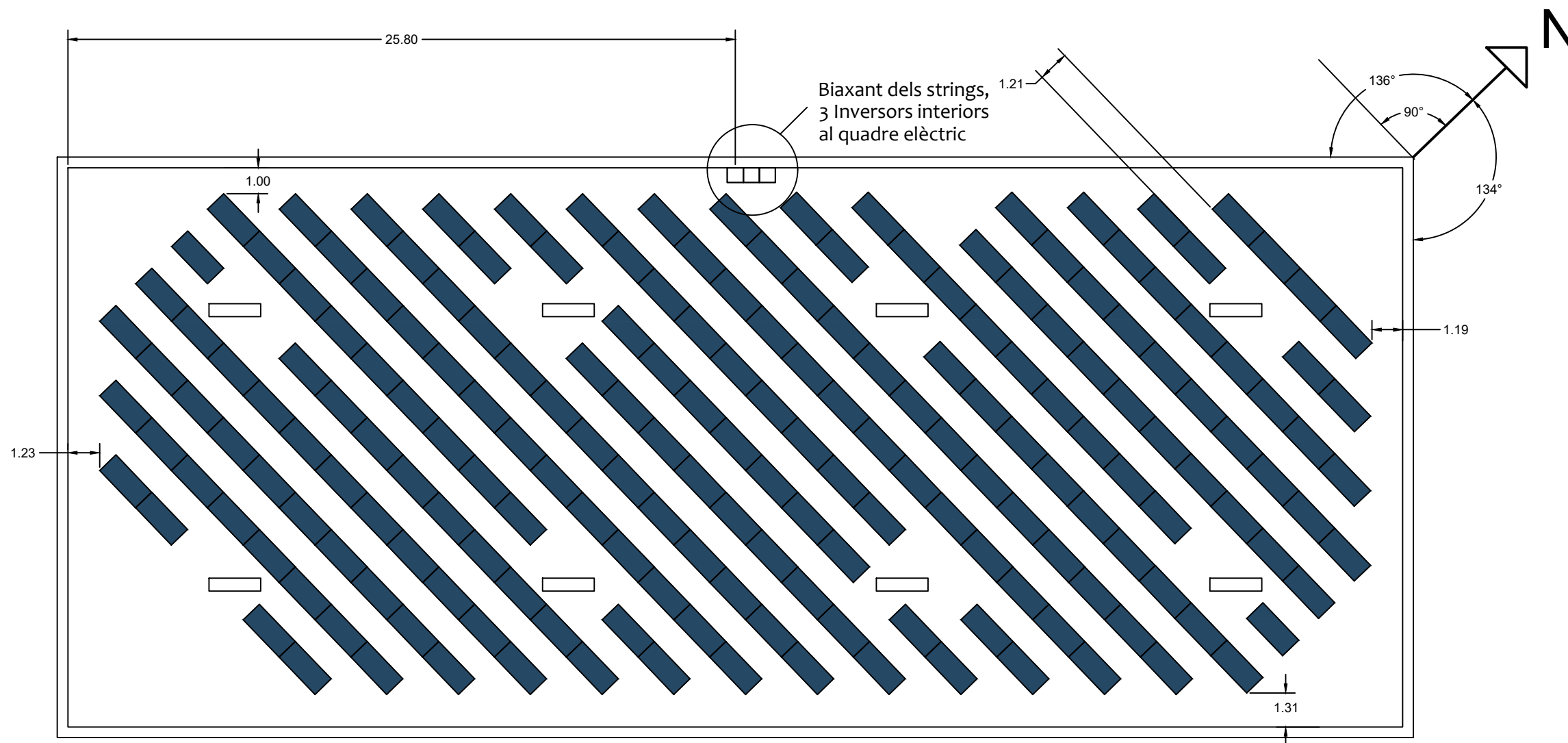
**ANNEX IV: Resultats de l'estudi econòmic**

Taula 16. Taula resum de l'estudi econòmic.

Any	Flux de caixa acumulat (€)	Valor net (€)	La part del retorn del capital de la quota del préstec (€)	Import pendent del crèdit bancari (€)	Retorn dels fons propi (€)	PAYBACK (€)
		-35.387,02				
1	6.540,00	6.540,00	4.775,00	77.795	-28.847	-106.641,72
2	13.310,00	6.770,00	4.870,00	72.925	-22.077	-95.001,72
3	20.309,00	6.999,00	4.968,00	67.957	-15.078	-83.034,72
4	27.537,00	7.228,00	5.067,00	62.890	-7.850	-70.739,72
5	34.992,00	7.455,00	5.168,00	57.722	-395	-58.116,72
6	42.674,00	7.682,00	5.272,00	52.450	7.287	-45.162,72
7	50.581,00	7.907,00	5.377,00	47.073	15.194	-31.878,72
8	58.713,00	8.132,00	5.485,00	41.588	23.326	-18.261,72
9	67.069,00	8.356,00	5.594,00	35.994	31.682	-4.311,72
10	75.647,00	8.578,00	5.706,00	30.288	40.260	9.972,28
11	84.447,00	8.800,00	5.820,00	24.468	49.060	24.592,28
12	93.468,00	9.021,00	5.937,00	18.531	58.081	39.550,28
13	102.708,00	9.240,00	6.055,00	12.476	67.321	54.845,28
14	112.167,00	9.459,00	6.176,00	6.300	76.780	70.480,28
15	121.842,00	9.675,00	6.300,00	0	86.455	0
16	138.160,00	16.318,00	0,00	0	102.773	0
17	154.693,00	16.533,00	0,00	0	119.306	0
18	171.440,00	16.747,00	0,00	0	136.053	0
19	188.399,00	16.959,00	0,00	0	153.012	0
20	205.570,00	17.171,00	0,00	0	170.183	0
21	222.951,00	17.381,00	0,00	0	187.564	0
22	240.541,00	17.590,00	0,00	0	205.154	0
23	258.338,00	17.797,00	0,00	0	222.951	0
24	276.341,00	18.003,00	0,00	0	240.954	0
25	294.550,00	18.209,00	0,00	0	259.163	0
<b>Total</b>	294.550,00	294.550,00	82.570,00	-	-	-

## **ANNEX V: Plànol Instal·lació Fotovoltaica a la coberta**

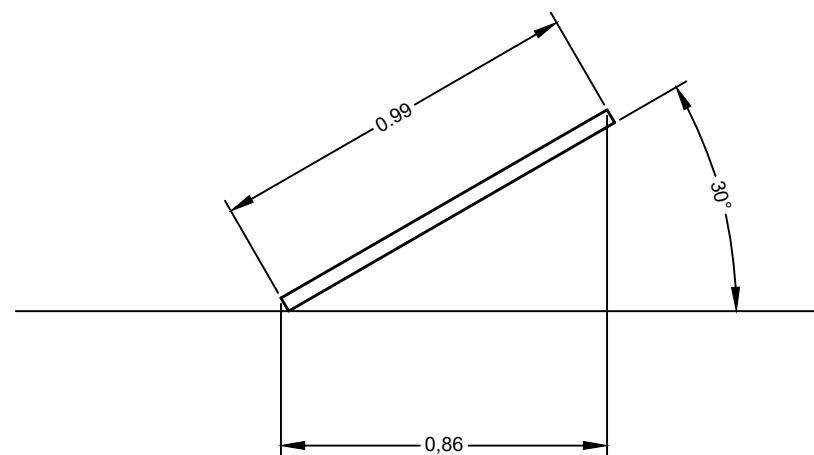
Situació	Coberta
Nombre mòduls	198 unitats
Superfície mòdul	1,98 m <sup>2</sup>
Superfície total dels mòduls	392,04 m <sup>2</sup>
Superfície total de les cèl·lules	350 m <sup>2</sup>
Nombre strings	11 unitats
Nombre strings per mòduls	18 unitats
Potència mòdul en STC	380 W
Potència total en STC	75.240 W
Nombre d'inversors	3 unitats
Inversor	25.000 W (ac)
Potència total dels inversors	75.000 W (ac)



VISTA  
LATERAL

VISTA FRONTAL

DETALL DEL MÒDUL FOTOVOLTAIC  
ESCALA:  
1:20



Plànol número : 1	Instal·lació fotovoltaica d'autoconsum per una indústria agroalimentària ubicada a Montornès del Vallès (Vallès Oriental).	
Escala: 1:200	Dibuixant	Mireia Sulé i Airmany
	Estudis	Màster d'Energies Renovables i Sostenibilitat Energètica



ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA (COBERTA)

## RESUM

En el present projecte s'ha estudiat i dimensionat una instal·lació d'autoconsum fotovoltaic connectada a la xarxa per una indústria agroalimentària elaboradora de patates xips ubicada a Montornès del Vallès (Vallès Oriental, Barcelona).

L'objectiu del treball és millorar l'eficiència energètica i sostenibilitat mediambiental de la indústria agroalimentària. Per realitzar-ho, s'han tingut en compte els càlculs obtinguts del Treball Final de Grau de l'alumna Mireia Sulé i Arimany, Enginyera Agroalimentària per la Universitat de Girona.

Per dimensionar la instal·lació fotovoltaica s'ha tingut en compte el consum estimat de la indústria. Per determinar-ho, s'ha assumit que la maquinària treballa a una potència nominal, ja que no es té cap perfil de consum.

Per tant, aquesta instal·lació ubicada a la coberta plana constarà de 198 panells amb una separació de fileres d'1,21 metres. Hi haurà 11 *strings* connectats en paral·lel, i cada *string* estarà format per 18 panells connectats en sèrie. Aquests aniran connectats a l'inversor, que n'hi haurà un total de 3, inversor A, B i C.

S'ha escollit unes plaques fotovoltaiques monocristal·lines de potència 380 Wp de la casa comercial Trina Solar (model TSHM 380-72) i un model d'inversor Sunny Tripower 25000TL-30 de l'empresa SMA.

La potència instal·lada és de 75,24 kWp (198 panells que representen 392 m<sup>2</sup> de la superfície de la coberta). La instal·lació fotovoltaica generarà un total de 117 MWh a l'any, on una part anirà injectada a la xarxa elèctrica i tindrà una compensació de l'excedent de l'energia per part de la comercialitzadora.

Per tal de dur a terme el present projecte, es preveu demanar un préstec bancari que equival al 70 % de la inversió i el 30 % restant prové del promotor.

Finalment, s'ha obtingut un Pay-Back de 9,30 anys, una TIR de 6,27 %, un VAN positiu de 179 mil € i finalment un ROI de 219,17 %.

## **ABSTRACT**

This project was developed to size and study a self-consumption grid connected photovoltaic installation to provide energy to a food industry, specifically a potato chips producer located in Montornès del Vallès (Barcelona, Barcelona).

The objective of the work is to improve the energy efficiency and environmental sustainability of the factory analyzed. To achieve this, data was taken from Mireia Sulé Arimany's Graduation Final Project, Food-Processing Engineer from the University of Girona.

To measure the photovoltaic installation, the estimated consumption of the industry has been taken into account. To determine this, it has been assumed that the machinery works at nominal power since there is no consumer profile.

This installation, which is located on the buildings deck, consists of 198 photovoltaic solar panels with a 2 meters in-between distance. A string is formed every 18 panel, which will be on a serial connection configuration; the strings will be connected in parallel configuration reaching a total amount of 11 pieces. These will be connected to three electronic inverters named as A, B and C.

Monocrystalline solar photovoltaic panels with a power generation capacity of 380 Wp from the brand Trina Solar (model TSHM 380-72) were chosen, meanwhile for the inverter an SMA Sunny Tripower 25000TL-30 model was used as reference.

The total installation's power capacity is 75,24 kWp (198 panels) needing 392 m<sup>2</sup> of the roof's surface. The photovoltaic installation will generate a total of 117 MWh per year, where a part will be injected into the power grid receiving an economic compensation from the grid operator.

In order to carry out this project, a bank loan for 70 % of initial investment, meaning that the missing 30 % will be taken out of the company's capital.

Finally, a Pay-Back period of 9,30 years, a TIR of 6,27 %, a positive VAN of 179 thousand € and finally a ROI of 219,17 % was obtained.