

# Escola Universitària Politécnica de Mataró

Centre adscrit a:



UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA

**Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica**

**Projecte d'una Instal·lació Solar Fotovoltaica per Autoconsum en una  
Nau Industrial**

**Memòria**

**David Esteban Puerta**  
**PONENT: Salvador Alepuz Menéndez**

PRIMAVERA ANY 2014



TecnoCampus  
Mataró-Maresme



## **Dedicatòria**

A la meva filla Martina, que ha nascut paral·lelament a aquest projecte, que em regala un somriure cada vegada que la miro.

A la meva dóna, Sara, que ha patit en certs moments la meva falta de temps lliure al llarg dels estudis de Grau.

## **Agraïments**

Al meu tutor en la realització d'aquest projecte, Salvador Alepuz, per la dedicació i ajuda en la implementació del projecte.



## **Resum**

L'objectiu d'aquest treball és dissenyar una instal·lació solar fotovoltaica per autoconsum per a una nau industrial en funcionament. Hi ha moltes alternatives de disseny i dimensionament, però s'ha de cercar la opció més adient a la realitat de la instal·lació. Per a trobar la millor alternativa s'han de valorar diferents escenaris de producció i compararlos amb el consum anual típic de la instal·lació elèctrica. Una vegada escollit l'escenari, s'ha de dimensionar la instal·lació solar fotovoltaica i definir exactament els components necessaris i les seves característiques. El resultat és un projecte que permet realitzar una instal·lació solar fotovoltaica per autoconsum amb la millor rendibilitat econòmica.

## **Resumen**

El objetivo de este trabajo es diseñar una instalación solar fotovoltaica para autoconsumo para una nave industrial en funcionamiento. Hay muchas alternativas de diseño y dimensionado, pero se debe buscar la opción más adecuada a la realidad de la instalación. Para encontrar la mejor alternativa se tienen que valorar diferentes escenarios de producción y compararlos con el consumo anual típico de la instalación eléctrica. Una vez elegido el escenario, se tiene que dimensionar la instalación solar fotovoltaica y definir exactamente los componentes necesarios y sus características. El resultado es un proyecto que permite realizar una instalación solar fotovoltaica para autoconsumo con garantías de éxito.

## **Abstract**

The goal of this project is to design a solar photovoltaic installation for home consumption for an operating warehouse. There are lots of chances in the design, but we must search the most adequate option for the real installation. To find the better choice we must suppose different production scenes and compare it with the typical annual consumption of the electric installation. Once we have selected the best one, we must to design the solar photovoltaic installation and define exactly witch components we need and how they work. The result is a project that lets you make a solar photovoltaic installation for home consumption with exit warranties.

# Índex.

Índex de figures.....	V
Índex de taules. ....	VI
Glossari de termes. ....	VII
1. Objectius. ....	1
1.1. Propòsit.....	1
1.2. Finalitat.....	1
1.3. Objecte.....	1
1.4. Abast.....	1
2. Antecedents.....	3
3. Estudi del dimensionament òptim.....	9
3.1. Corbes de consum de la instal·lació elèctrica.....	9
3.2. Producció i Aprofitament de la instal·lació solar fotovoltaica .....	16
3.2.1. Instal·lació Trifàsica (entre 3kWp i 7kWp) .....	17
3.2.2. Instal·lació Monofàsica (2 grups entre 1,5KWp i 4KWp).....	23
3.3. Estudi econòmic i amortització de la inversió .....	26
3.3.1. Instal·lació Trifàsica (entre 3KWp i 7KWp).....	27
3.3.2. Instal·lació Monofàsica (2 grups entre 1,5KWp i 4KWp).....	30
3.4. Comprovació de resultats .....	31
4. Dimensionat de la instal·lació .....	33
4.1. Càlculs elèctrics .....	35
4.2. Selecció dels materials .....	43
4.2.1. Panells Solars Fotovoltaics .....	43
4.2.2. Inversor .....	44
4.2.3. Controlador Dinàmic de Potència.....	45
4.2.4. Comptador Energia .....	47
5. Impacte Mediambiental .....	49
6. Conclusions.....	51
7. Referències.....	53

## Índex de figures.

Fig. 2.1. Gràfica típica ISF d'autoconsum.....	3
Fig. 2.2 Gràfica de l'històric del preu de les Cèl·lules Fotovoltaïques de Silici cristal·lí.....	4
Fig. 2.3 Previsió de cost energètic de l'Energia Solar Fotovoltaica.....	5
Fig. 2.4 Comparatiu gràfica Autoconsum – Balanç Net.....	6
Fig. 2.5 Gràfica comparativa de les tarifes elèctriques i fotovoltaica.....	7
Fig. 3.2 Consums a la Primavera o Tardor.....	14
Fig. 3.1 Consums al Hivern.....	14
Fig. 3.3 Consums a l'Estiu.....	14
Fig. 3.4 Consum Mesurat 15 d'Abril de 2014.....	15
Fig. 3.5 Consum Mesurat 16 d'Abril de 2014.....	15
Fig. 3.6 Consum Mesurat 17 d'Abril de 2014.....	16
Fig. 3.7 Producció Solar per a una instal·lació de 5KW.....	18
Fig. 3.8 Producció Solar Útil per a una instal·lació de 5KW.....	19
Fig. 3.9 Aprofitament Solar per a una instal·lació de 5KW a la primavera.....	20
Fig. 3.11 Aprofitament Solar per a una instal·lació de 5KW a la tardor.....	21
Fig. 3.10 Aprofitament Solar per a una instal·lació de 5KW a l'estiu.....	21
Fig. 3.12 Aprofitament Solar per a una instal·lació de 5KW al hivern.....	22
Fig. 3.13 Producció Solar per una Instal·lació de 1,5KW.....	23
Fig. 3.15 Aprofitament Solar per una instal·lació de 1,5KW a l'estiu en la Fase 2.....	24
Fig. 3.14 Aprofitament Solar per una instal·lació de 1,5KW a la primavera en la Fase 2.....	24
Fig. 3.17 Aprofitament Solar per una instal·lació de 1,5KW al hivern en la Fase 2.....	25
Fig. 3.16 Aprofitament Solar per una instal·lació de 1,5KW a la tardor en la Fase 2.....	25
Fig. 3.18 Mapa de Possibles Escenaris.....	27
Fig. 3.19 Aprofitament de la PSF respecte el consum global de la instal·lació.....	29
Fig. 3.20 Gràfica de Retorn de la Inversió de 3KW a 7KW (Trifàsic).....	29
Fig. 3.21 Gràfica de Retorn de la Inversió de 1,5KW a 4KW (2 Monofàsics).....	30
Fig. 4.1 Esquema d'ISF per autoconsum.....	34
Fig. 4.2 Fórmula del càlcul de la secció dels conductors.....	35
Fig. 4.3 Esquema unifilar de la ISF.....	38
Fig. 4.4 Distribució dels Panells Solars.....	39
Fig. 4.5 Simulació 3D de la coberta de l'edifici.....	40
Fig. 4.6 Foto Aèria de la teulada.....	41
Fig. 4.7 Foto de la coberta on aniran les plaques solars fotovoltaïques.....	41
Fig. 4.8 Ombrejat de les files de plaques solars.....	42
Fig. 4.9 Vista posterior panell Sharp NA-E120G5.....	43
Fig. 4.10 Foto de l'inversor (esquerra) i les seves connexions elèctriques (dreta).....	44
Fig. 4.11 Esquema de connexió de l'inversor.....	45
Fig. 4.12 Esquema de connexionat del CDP.....	47
Fig. 4.13 Esquema de connexionat del comptador CVM-MINI.....	48

## **Índex de taules.**

Taula3.1 Consums al Hivern. ....	9
Taula3.2 Consums a la Primavera o Tardor. ....	10
Taula3.3 Consums a l'Estiu. ....	11
Taula 4.1 Càlcul de seccions dels conductors de la ISF. ....	33
Taula 4.2 Llistat de seccions reglamentàries segons intensitat màxima. ....	33
Taula 4.3 Llistat de seccions reglamentàries segons intensitat màxima. ....	34

## **Glossari de termes.**

ISF	Instal·lació Solar Fotovoltaica
PSF	Producció Solar Fotovoltaica
ROI	Retorn de la Inversió (Return of Inversion)
REBT	Reglament Electrotècnic de Baixa Tensió
CDP	Controlador Dinàmic de Potència
DC	Corrent Continu
AC	Corrent Altern
kW	Kilowatts
kWh	Kilowatts hora
kWp	Kilowatts pic



# **1. Objectius.**

## **1.1. Propòsit.**

Realitzar l'estudi, càlcul i disseny d'una ISF per autoconsum d'una nau industrial existent, al polígon Can Baliarda de Sant Fost de Campsentelles.

## **1.2. Finalitat.**

Disposar del projecte d'una ISF d'autoconsum més rentable per tal de ser implementada.

## **1.3. Objecte.**

Estudi econòmic i projecte d'una ISF d'autoconsum.

## **1.4. Abast.**

En aquest projecte es definirà en la seva totalitat el disseny y la construcció d'un sistema solar fotovoltaic, des de la instal·lació dels panells, fins a la connexió amb la xarxa elèctrica. Els aspectes generals a tractar es detallen a continuació:

- Anàlisi de la potència consumida per la instal·lació actual
- Estudi econòmic per determinar la dimensió més rentable de la instal·lació fotovoltaica d'autoconsum
- Dimensionat del número i potència dels panells fotovoltaics
- Dimensionat de l'estructura per a la sorportació dels panells
- Selecció dels components de potència i control
- Selecció dels materials a utilitzar
- Dimensionat i càlcul de la instal·lació elèctrica
- Pressupost del projecte





## 2. Antecedents

Les instal·lacions solars fotovoltaïques han estat un bon negoci per a moltes empreses en els últims anys. Les subvencions en la venda d'energia han fet de motor del sector i s'han construït grans instal·lacions solars fotovoltaïques. No obstant, al 2010 es van reduir molt les subvencions i el sector es va veure abocat a una crisi profunda. La rendibilitat de les instal·lacions depenien de les subvencions, i sense elles el negoci no tenia sentit.

Hi ha 2 fets que han canviat el panorama del sector: el increment del preu de l'electricitat i la reducció de preus de les plaques fotovoltaïques i altres components. Aquesta tendència ha propiciat que les instal·lacions fotovoltaïques tornin a ser amortitzables, aquest cop sense subvencions. El model ha canviat, ja no valen les grans instal·lacions fotovoltaïques per vendre energia. El nou negoci es troba en l'autoconsum, veure figura 2.1., petits productors d'energia que generen electricitat per consumir-la en la pròpia instal·lació, amb l'estalvi econòmic que aquest fet implica.

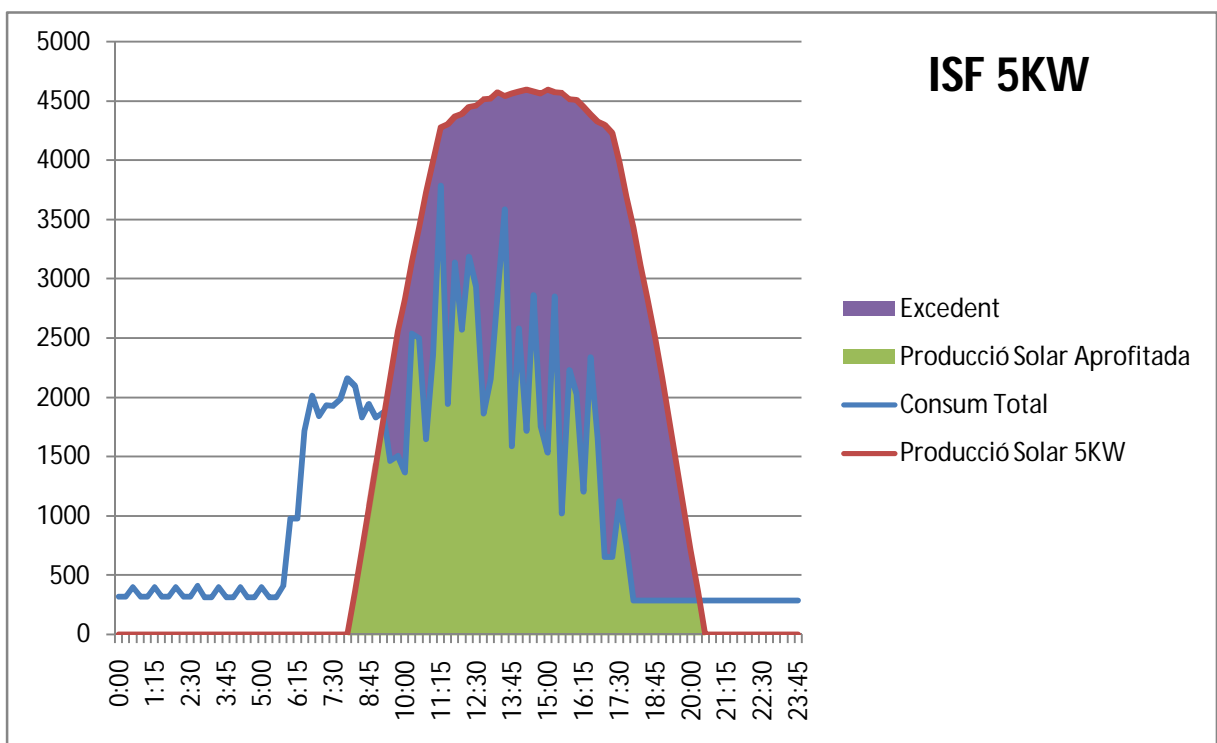


Fig. 2.1. Gràfica típica ISF d'autoconsum

La consultoria multinacional Bloomberg, el Maig de 2012, va afirmar en el seu informe "Reconsiderando las claves económicas de la energía fotovoltaica" que, en els últims 3 anys els preus dels mòduls fotovoltaics havien caigut un 75%, des de \$3,88 al 2008 fins a menys de \$0,75 al de 2013 [1]. El silici, una de les matèries primes més importants dels mòduls fotovoltaics, ha caigut de 450 dòlars al 2008 fins als 27 dòlars a finals de 2011.

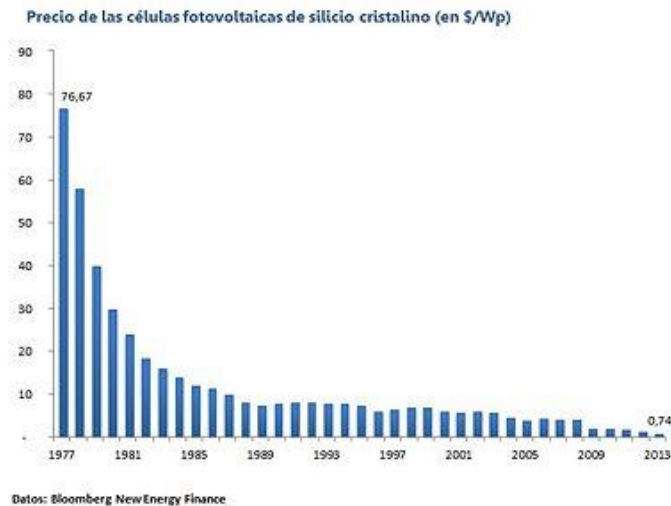


Fig. 2.2 Gràfica de l'històric del preu de les Cèl·lules Fotovoltaïques de Silici cristal·lí

La previsió pels propers anys no és pas un canvi de tendència pel que fa als costos de fabricació de panells solars fotovoltaics. Tan és així que es calcula que al 2020 el cost mig de producció d'energia solar fotovoltaica a Europa es situarà entre els 0.08€ i 0.19€ per KWh produït, un 25% menys respecte l'any 2014. A la Fig. 2.3 es pot veure l'evolució des de 2010 fins a 2020 del cost mig de producció d'energia solar fotovoltaica [2].

Per tant, la societat actual es troba davant d'una gran oportunitat per a canviar el model energètic actual, molt més eficient i sostenible, fent servir un recurs natural tan present en el nostre país.

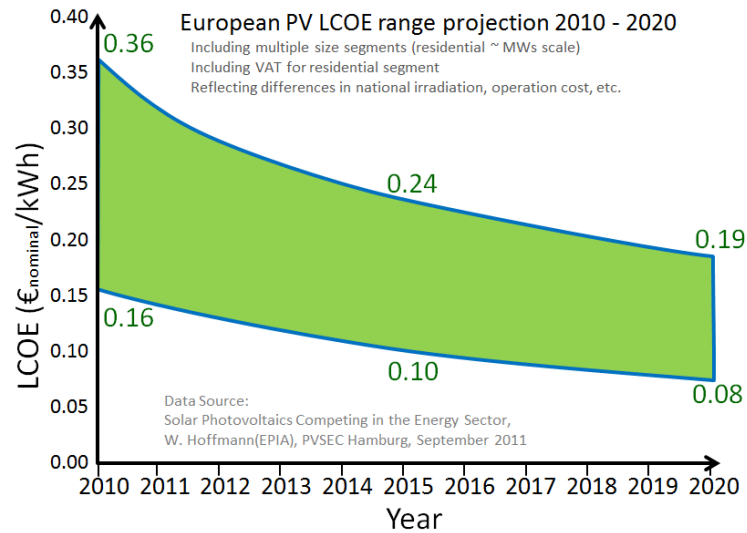


Fig. 2.3 Previsió de cost energètic de l'Energia Solar Fotovoltaica

No obstant, el govern actual no està per la labor de facilitar el camí cap a aquest nou model energètic. Tant és així que a data 12 de Juliol de 2013 va publicar el Real Decret 9/2013, pel que s'adopten mesures urgents per a garantir l'estabilitat financera del sistema elèctric Espanyol. Aquest Real Decret, aprovat per interessos polítics i econòmics de les grans empreses energètiques del país, marca una sèrie de peatges o impostos pels productors d'energia solar fotovoltaica per autoconsum. Fent un símil en la vida quotidiana, és com si els propietaris d'horts haguessin de pagar pels tomàquets que cultiven per consum propi. Varies associacions i fundacions en pro de les energies renovables han denunciat aquest Real Decret a la Comissió Europea, i tot el sector de les renovables està indignat per aquesta mesura.

A nivell pràctic no està clar que aquest Real Decret es pugui aplicar. De fet, moltes administracions, com la Generalitat de Catalunya encara no tenen procedimentat el registre que permetria cobrar els impostos d'aquestes instal·lacions, i veient la resposta del sector, hi ha certs dubtes que aquest Real Decret s'apliqui finalment.

L'aprovació de l'esperadíssim "Balanz Net" seria una empenta definitiva pel sector. El "Balanz Net" és un terme que s'utilitza per a definir un nou model, on l'energia sobrant que genera un productor d'Energia l'aboca a la xarxa pública per a que la pugui aprofitar un altre consumidor, i quan el productor torni a consumir de la xarxa pública, pugui descomptar els kilowatts entregats anteriorment. Per tant, és un sistema bidireccional on es

fa balanç de l'energia entregada respecte la consumida. Aquest model seria molt beneficiós per als productors d'energia solar fotovoltaica, ja que fa molt més rendible la instal·lació. En moltes ocasions els mitjans d'informació han anunciat la imminent publicació del Reial Decret que aprovava el "Balanç Net", però aquest fet mai arriba. Certament, el "Balanç Net" seria quelcom molt positiu pel sector i aportaria molts beneficis a l'estructura de la distribució de la xarxa elèctrica del país, descentralitzant la producció d'energia i disminuint ineficiències en el transport d'electricitat per la xarxa existent.

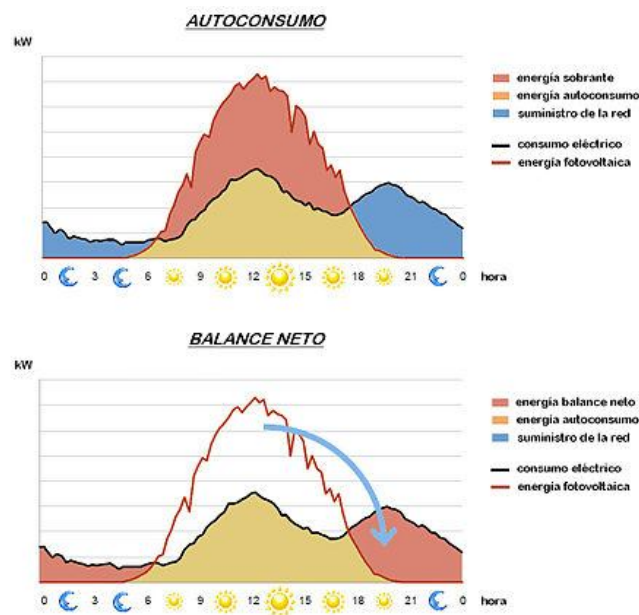


Fig. 2.4 Comparatiu gràfica Autoconsum – Balanç Net

En la gràfica de la Fig. 2.5 es pot observar el cost de la producció d'energia solar fotovoltaica respecte a la compra d'energia de la companyia subministradora, en diferents escenaris d'instal·lació.

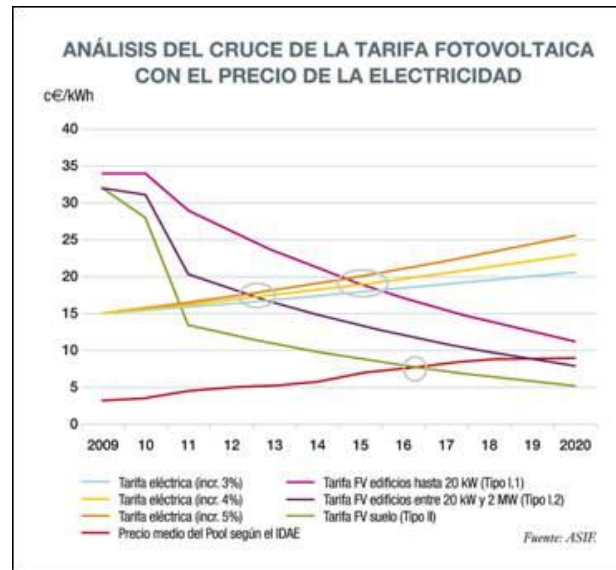


Fig. 2.5 Gràfica comparativa de les tarifes elèctriques i fotovoltaica



### **3. Estudi del dimensionament òptim.**

La primera tasca en aquest tipus de projecte consisteix en trobar el dimensionament òptim de la ISF respecte el consum de les càrregues connectades a la instal·lació elèctrica. Per a fer-ho es poden tenir diferents criteris, que poden portar a camins i resultats ben diferents. En aquest projecte, l'aspecte més important que s'ha tingut en compte és la rendibilitat econòmica de la inversió. És a dir, que la inversió que es realitzi tingui un període de retorn el més curt possible.

Aquest és un projecte d'una ISF d'autoconsum. Això significa que l'energia que produeixin les plaques fotovoltaïques serà absorbida per l'energia que consumeixi la instal·lació. L'estat ideal en aquest sentit seria que la ISF fos capaç de produir exactament la mateixa energia que la que consumeix la instal·lació. Aquesta idealitat és del tot impossible, ja que la potència consumida per la instal·lació depèn de la necessitat del client, i la PSF depèn exclusivament de paràmetres atmosfèrics, i per tant, hi haurà moments on sobrarà energia i altres on en faltarà.

Cal tenir tota aquesta informació disponible per poder calcular el rendiment de la ISF, i ser capaç de seleccionar quina és la dimensió de la instal·lació fotovoltaïca que farà més eficient i rendible el projecte.

#### **3.1. Corbes de consum de la instal·lació elèctrica**

La instal·lació a estudiar és un edifici de 315m<sup>2</sup> amb 2 plantes de magatzem y un altell per oficines. L'activitat que es realitza és per una empresa que realitza instal·lacions a tercers. L'empresa inicia la seva activitat a les 7:00h i la finalitza a les 18:30h. Les càrregues elèctriques de les oficines són la il·luminació, els ordinadors i impressores i l'aire condicionat. Aquesta última és la càrrega més significativa pel que fa al consum elèctric. En les oficines hi ha activitat durant tot el dia, per tant el consum en il·luminació informàtica és pràcticament constant en totes les franges horàries. La climatització varia en funció de l'hora del dia i de l'època de l'any, i per tant, és consum molt variable. Al magatzem les hores puntes de treball és la primera hora del matí i la última de la tarda. En aquest horari la il·luminació està funcionant al 100%. Fora d'aquest horari l'entrada de

personal és esporàdica i el consum és pràcticament nul. Els vestidors i la oficina del magatzem disposen de calefacció mitjançant emissors tèrmics. Durant el hivern aquests emissors s'activen durant la primera franja horària del dia i a la tarda. La resta de l'any estan apagats. Altes consums de la instal·lació són un carregador de les bateries d'un elevador, l'equip de bombeig de la instal·lació d'energia solar tèrmica, endolls de servei distribuïts durant tota la instal·lació, i altres càrregues amb consums menys importants. A les Taules 3.1, 3.2 i 3.3 es mostren taules resum amb totes les càrregues connectades a la instal·lació elèctrica, indicant el consum per a cada època de l'any repartit en les 3 fases de la xarxa elèctrica.

Les taules i gràfiques esmentades estan basades en una estimació del consum d'un dia d'activitat normal en l'estació de l'any corresponent. Hi ha consums que es comporten d'una manera molt lineal durant tot l'any, com per exemple la il·luminació, o les càrregues de la xarxa informàtica. No obstant, hi ha altes, com per exemple la climatització, que poden variar molt durant una estació, o inclús durant un únic dia, en funció de l'estat del temps.



<b>Hivern</b>					
		7h-11h	11h-15h	15h-19h	19h-7h
<b>Fase</b>	<b>Línea</b>	<b>Consum Tram 1</b>	<b>Consum Tram 2</b>	<b>Consum Tram 3</b>	<b>Consum Tram 4</b>
2	Enllumenat Exterior	0 W	0 W	0 W	0 W
2	Aire Condicionat Oficina	4000 W	4000 W	4000 W	0 W
1,2,3	Resistència auxiliar energia solar	0 W	0 W	2000 W	0 W
1,2,3	Endolls Trifàsics	0 W	0 W	0 W	0 W
1,2,3	Energia Solar Tèrmica	20 W	80 W	80 W	20 W
1,2,3	Carregador Bateria Elevador	0 W	0 W	0 W	200 W
1	Enllumenat Oficina PB	100 W	0 W	100 W	0 W
1	Enllumenat Vestidors y magatzem	200 W	0 W	200 W	0 W
1	Enllumenat Altell	200 W	0 W	200 W	0 W
1	Aire Condicionat Oficina PB	2000 W	0 W	2000 W	0 W
3	Enllumenat Z1 Oficina	1000 W	1000 W	1000 W	0 W
3	Enllumenat Z2 Oficina	1000 W	1000 W	1000 W	0 W
3	Alarma	50 W	50 W	50 W	50 W
3	Enllumenat Emergències	100 W	100 W	100 W	100 W
1	Endolls Taller	0 W	0 W	0 W	0 W
1	Endolls Oficina Operaris	200 W	200 W	200 W	200 W
1	Porta Vehicles	0 W	0 W	0 W	0 W
2	Endolls Z1 Oficina	600 W	600 W	600 W	0 W
2	Endolls Z2 Oficina	500 W	500 W	500 W	0 W
2	Domòtica - Control Accès	30 W	30 W	30 W	30 W
3	Rack Informàtic	100 W	100 W	100 W	100 W
	Fase 1	2707 W	227 W	2727 W	273 W
	Fase 2	5137 W	5157 W	5157 W	103 W
	Fase 3	2257 W	2277 W	4277 W	323 W
	<b>Total</b>	<b>10100 W</b>	<b>7660 W</b>	<b>10160 W</b>	<b>700 W</b>

Taula 3.1 Consums al Hivern

Al hivern és quan la instal·lació elèctrica té càrregues més elevades. La climatització de les oficines funciona a ple rendiment i la calefacció dels vestuaris i oficina del magatzem treballa al 100% durant les franges horàries establertes. La resta de càrregues es comporten igual que en les altres estacions de l'any.

Primavera/Tardor					
		7h-11h	11h-15h	15h-19h	19h-7h
Fase	Línea	Consum Tram 1	Consum Tram 2	Consum Tram 3	Consum Tram 4
2	Enllumenat Exterior	0 W	0 W	0 W	0 W
2	Aire Condicionat Oficina	2000 W	2000 W	2000 W	0 W
1,2,3	Resistència auxiliar energia solar	0 W	0 W	0 W	0 W
1,2,3	Endolls Trifàsics	0 W	0 W	0 W	0 W
1,2,3	Energia Solar Tèrmica	20 W	80 W	80 W	20 W
1,2,3	Carregador Bateria				
1,2,3	Elevador	0 W	0 W	0 W	200 W
1	Enllumenat Oficina PB	100 W	0 W	100 W	0 W
1	Enllumenat Vestidors y magatzem	200 W	0 W	200 W	0 W
1	Enllumenat Altell	200 W	0 W	200 W	0 W
1	Aire Condicionat Oficina PB	0 W	0 W	0 W	0 W
3	Enllumenat Z1 Oficina	1000 W	1000 W	1000 W	0 W
3	Enllumenat Z2 Oficina	1000 W	1000 W	1000 W	0 W
3	Alarma	50 W	50 W	50 W	50 W
3	Enllumenat Emergències	100 W	100 W	100 W	100 W
1	Endolls Taller	0 W	0 W	0 W	0 W
1	Endolls Oficina Operaris	200 W	200 W	200 W	200 W
1	Porta Vehicles	0 W	0 W	0 W	0 W
2	Endolls Z1 Oficina	800 W	800 W	800 W	50 W
2	Endolls Z2 Oficina	500 W	500 W	500 W	50 W
2	Domòtica - Control Accès	30 W	30 W	30 W	30 W
3	Rack Informàtic	100 W	100 W	100 W	100 W
	Fase 1	707 W	227 W	727 W	273 W
	Fase 2	3337 W	3357 W	3357 W	203 W
	Fase 3	2257 W	2277 W	2277 W	323 W
	<b>Total</b>	<b>6300 W</b>	<b>5860 W</b>	<b>6360 W</b>	<b>800 W</b>

Taula 3.2 Consums a la Primavera o Tardor

Primavera i tardor són èpoques de l'any on el clima és molt canviant. Això fa que l'aire condicionat de les oficines funcioni alternativament segons l'estat de la climatologia en cada moment. No obstant, en aquesta època és quan menys s'utilitza l'aire condicionat i la calefacció, i quan s'utilitza és a baix rendiment i en períodes de temps curts. Pel que fa a la resta de consums es mantenen pràcticament constant durant tot l'any.

Estiu					
		7h-11h	11h-15h	15h-19h	19h-7h
Fase	Línea	Consum Tram 1	Consum Tram 2	Consum Tram 3	Consum Tram 4
2	Enllumenat Exterior	0 W	0 W	0 W	0 W
2	Aire Condicionat Oficina	2000 W	4000 W	4000 W	0 W
1,2,3	Resistència auxiliar energia solar	0 W	0 W	0 W	0 W
1,2,3	Endolls Trifàsics	0 W	0 W	0 W	0 W
1,2,3	Energia Solar Tèrmica	20 W	80 W	80 W	20 W
1,2,3	Carregador Bateria				
1,2,3	Elevador	0 W	0 W	0 W	200 W
1	Enllumenat Oficina PB	100 W	0 W	100 W	0 W
1	Enllumenat Vestidors y magatzem	200 W	0 W	200 W	0 W
1	Enllumenat Altell	200 W	0 W	200 W	0 W
1	Aire Condicionat Oficina PB	0 W	0 W	0 W	0 W
3	Enllumenat Z1 Oficina	1000 W	1000 W	1000 W	0 W
3	Enllumenat Z2 Oficina	1000 W	1000 W	1000 W	0 W
3	Alarma	50 W	50 W	50 W	50 W
3	Enllumenat Emergències	100 W	100 W	100 W	100 W
1	Endolls Taller	0 W	0 W	0 W	0 W
1	Endolls Oficina Operaris	200 W	200 W	200 W	200 W
1	Porta Vehícles	0 W	0 W	0 W	0 W
2	Endolls Z1 Oficina	800 W	800 W	800 W	50 W
2	Endolls Z2 Oficina	500 W	500 W	500 W	50 W
2	Domòtica - Control Accés	30 W	30 W	30 W	30 W
3	Rack Informàtic	100 W	100 W	100 W	100 W
	Fase 1	707 W	227 W	727 W	273 W
	Fase 2	3337 W	5357 W	5357 W	203 W
	Fase 3	2257 W	2277 W	2277 W	323 W
	<b>Total</b>	<b>6300 W</b>	<b>7860 W</b>	<b>8360 W</b>	<b>800 W</b>

Taula 3.3 Consums a l'Estiu

L'estiu té una corba de consum semblant al hivern. Tot i això, en general els consums són més baixos atès que el calor intens és només durant les hores centrals del dia. A més a més, a les oficines del magatzem i als vestidors no s'encén pràcticament l'aire condicionat, fet que al hivern és tot al contrari. La il·luminació, endolls i demés càrregues es comporten amb la mateixa corba de consum que la resta de l'any.

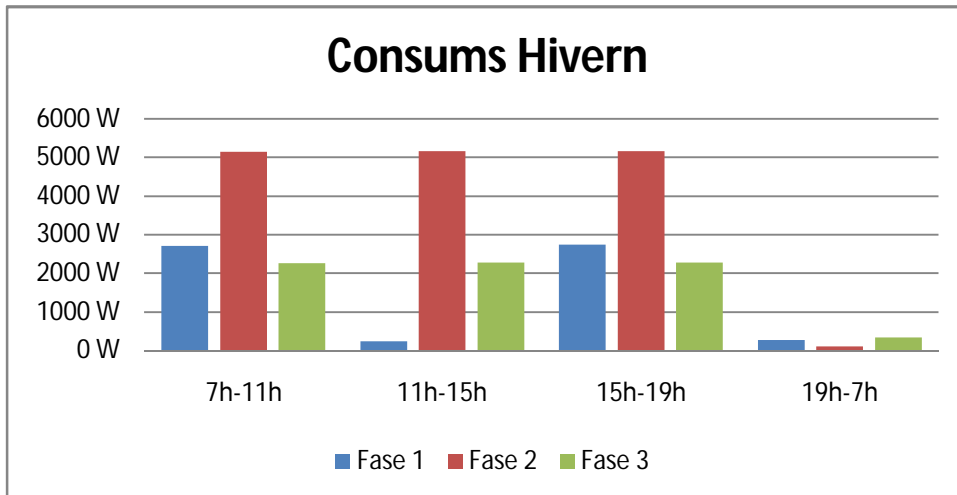


Fig. 3.1 Consums al Hivern

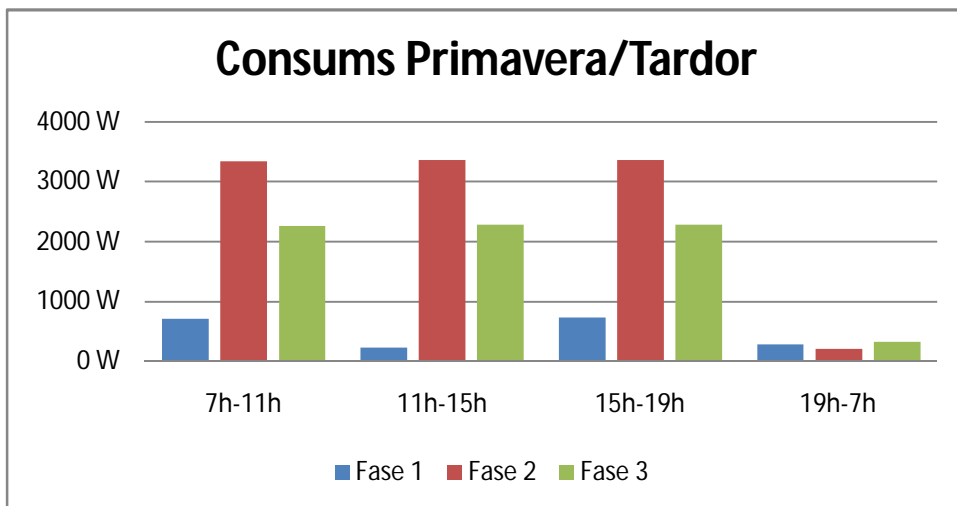


Fig. 3.2 Consums a la Primavera o Tardor

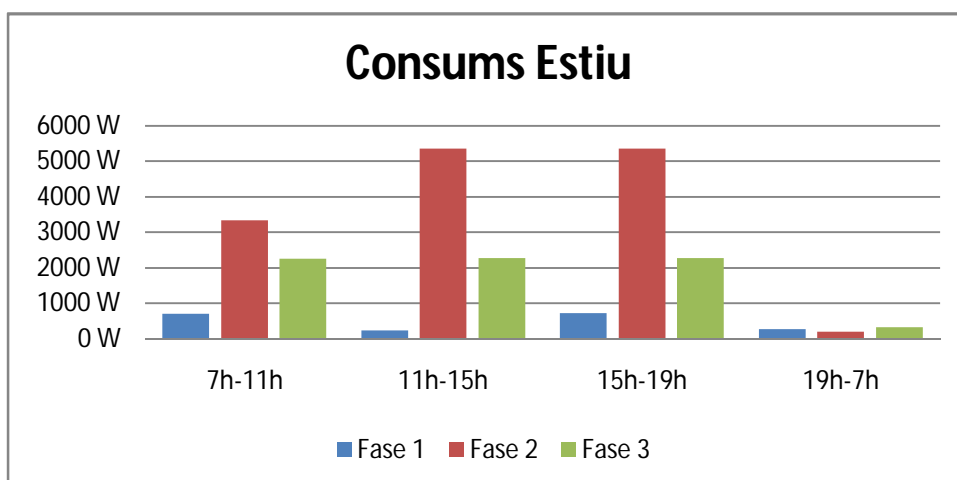


Fig. 3.3 Consums a l'Estiu

Per a comprovar que les aproximacions realitzades són certes, s'ha instal·lat un analitzador de xarxes elèctriques durant 3 dies continuats, recollint així la informació de la corba de consum de la instal·lació. El resultat d'aquest anàlisi es pot observar en les gràfiques de les figures 3.4 a 3.6.

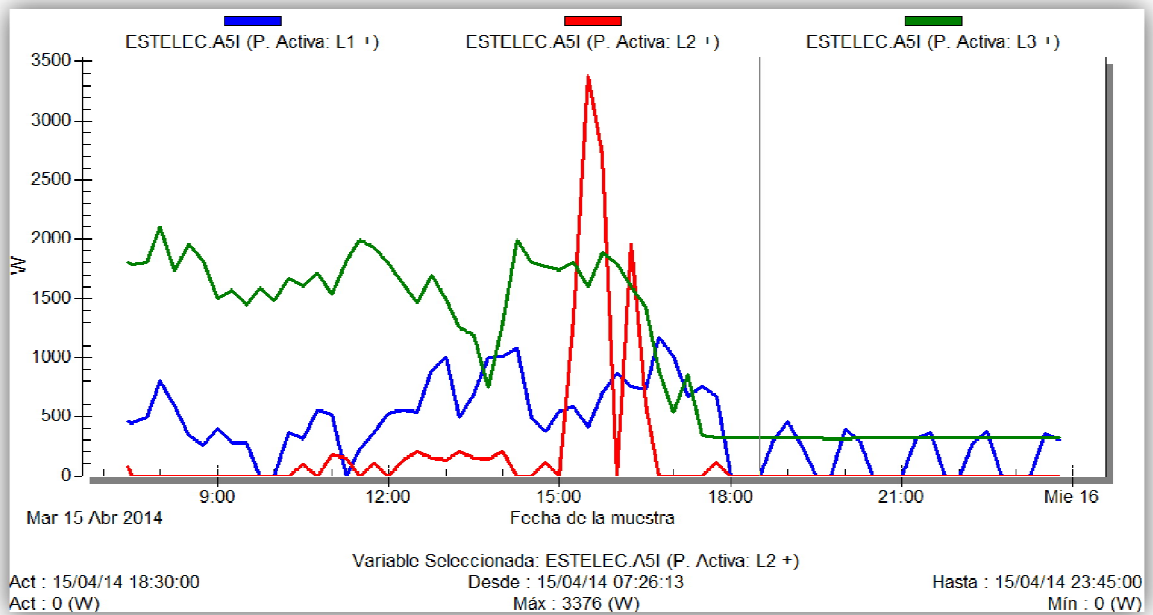


Fig. 3.4 Consum Mesurat 15 d'Abril de 2014

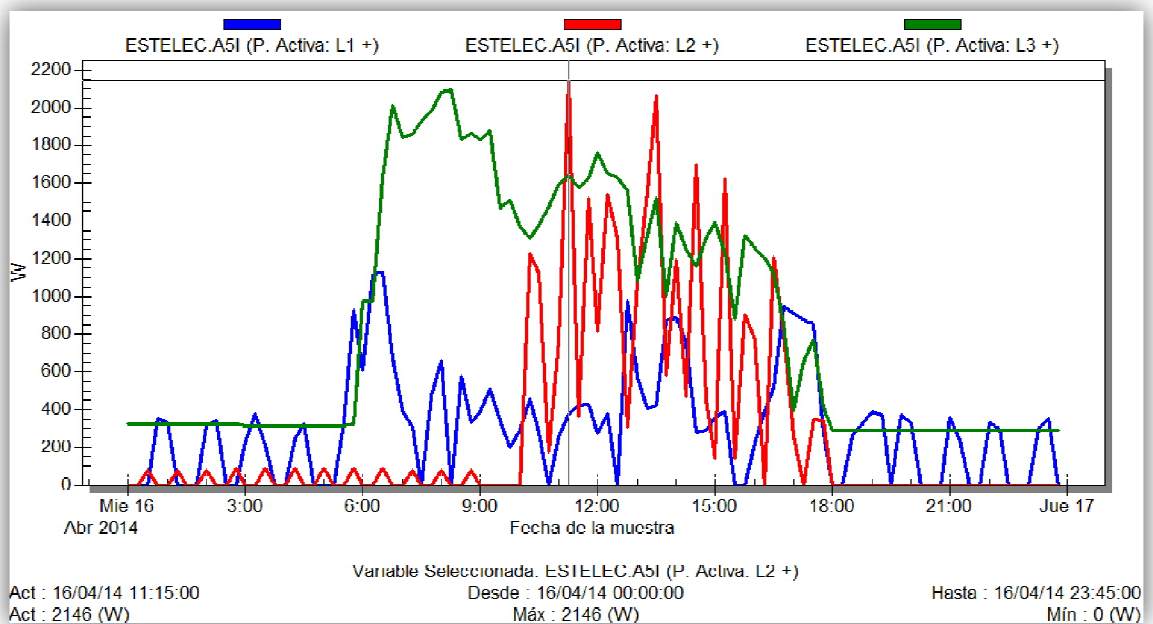


Fig. 3.5 Consum Mesurat 16 d'Abril de 2014

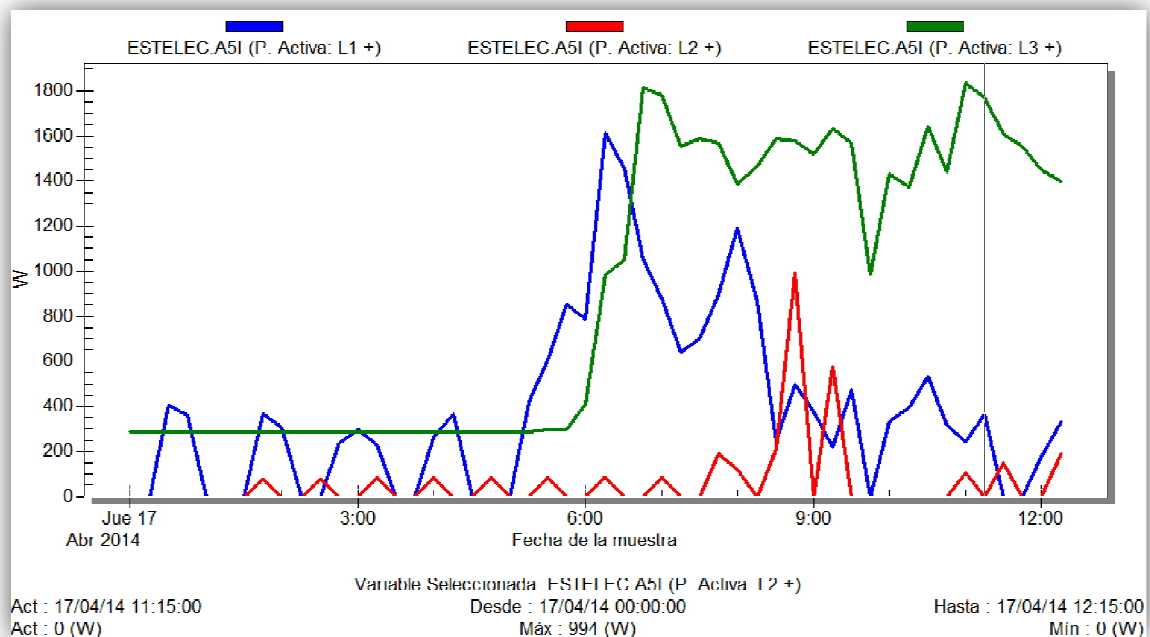


Fig. 3.6 Consum Mesurat 17 d'Abril de 2014

La mesura realitzada ha estat en el període del 15 d'Abril al 17 d'Abril de 2014. El temps durant aquest 3 dies va ser mig ennuvolat, i no va fer gaire calor. Es pot observar com, el dia 15 i 16, durant les hores centrals del dia, hi ha un consum destacable en la fase 2. Aquest fet és conseqüència de l'activació durant aquestes hores de l'aire condicionat a les oficines. La climatització és el factor més important que fa que la corba de consum tingui una variació tan important d'un dia a un altre, marcant grans diferències entre estacions. Evidentment, durant el hivern i l'estiu és quan més consum hi haurà en aquesta fase.

### 3.2. Producció i Aprofitament de la instal·lació solar fotovoltaica

Un cop estimat el consum de les càrregues elèctriques connectades a la instal·lació, cal saber quanta energia és capaç de produir una ISF, i la seva distribució en les diferents estacions.

Del mateix mode que s'ha estudiat la corba de consum, es calcula la corba de producció. Es pren com a mostra un dia Standard [3] de cada estació de l'any i es veu la seva corba de producció durant les 24 hores del dia.

Per a fer aquest càlcul s'ha de seleccionar la potència solar desitjada que sigui la més fidel al consum de la instal·lació, de tal manera que la producció solar s'aproximi al màxim a la corba de consum de la instal·lació.

La instal·lació elèctrica és trifàsica, però la majoria de càrregues són monofàsiques. Hi ha 2 fases que tenen pràcticament tot el consum de la instal·lació, i la tercera fase està més descarregada. Amb aquest escenari es plantegen 2 opcions d'ISF.

- Realitzar una instal·lació trifàsica amb panells fotovoltaics d'una potència entre 5 kWp i 9 kWp.
- Realitzar dos instal·lacions monofàsiques independents per a compensar les fases més carregades, deixant la tercera fase sense instal·lació solar. En aquest cas la potència dels panells fotovoltaics estaria entre 1,5KWp i 4KWp cada grup, ja que el consum està repartit en dos fases.

### 3.2.1. Instal·lació Trifàsica (entre 3kWp i 7kWp)

S'ha realitzat un comparatiu seleccionant 5 potències candidates, 3KWp, 4KWp, 5KWp, 6KWp i 7KWp. Per a cada una d'elles s'han introduït en una taula Excel totes les dades de consum i s'han extret les gràfiques de producció estimades en les 4 estacions de l'any, primavera, estiu, tardor, hivern (veure Annex apartat 1.1). A continuació es mostra la gràfica de producció de 5KWp a mode d'exemple.

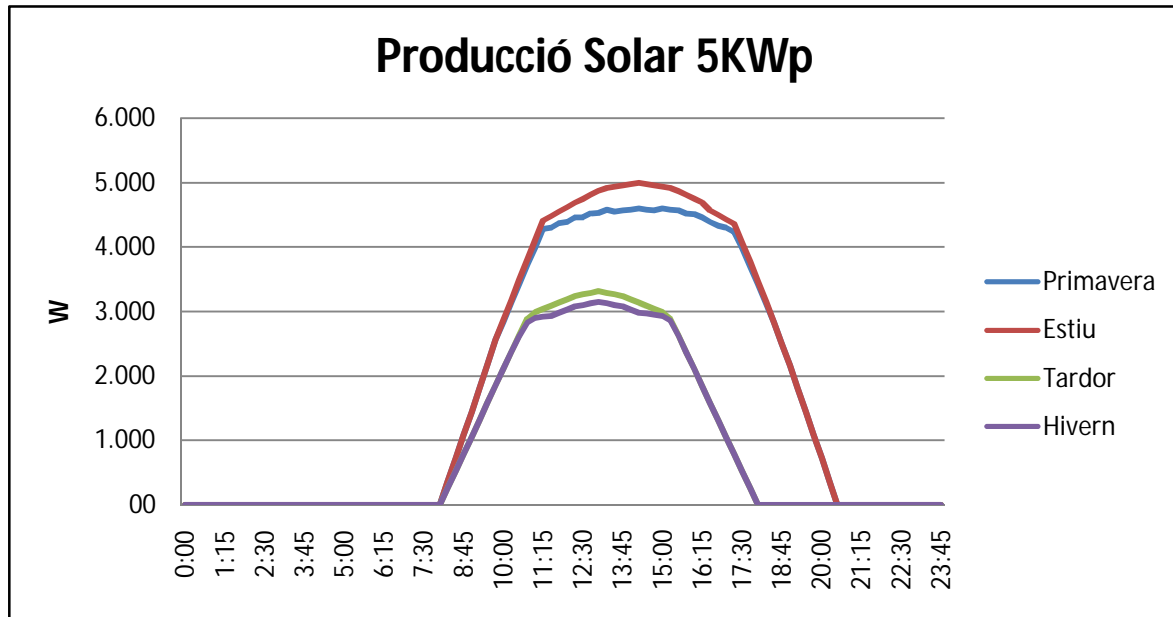


Fig. 3.7 Producció Solar per a una instal·lació de 5KWp

La Fig. 3.7 mostra la producció “bruta” de la ISF. A aquests valors s’han de restar les pèrdues del sistema des de que es genera l’energia fins que arriba a la instal·lació. S’estima [2] que hi ha un 9,7% de pèrdues causades per les pèrdues per calor y baixa irradiació, un 2,5% a causa d’efectes del reflectància angular i un 14% en l’inversor i els conductors. En total, un 24,3% de pèrdues. Per tant la potència útil, que és la que s’entrega a la instal·lació, s’ha de calcular tenint en conte aquestes pèrdues. La gràfica dels 5KWp queda segons mostra la figura 3.8.



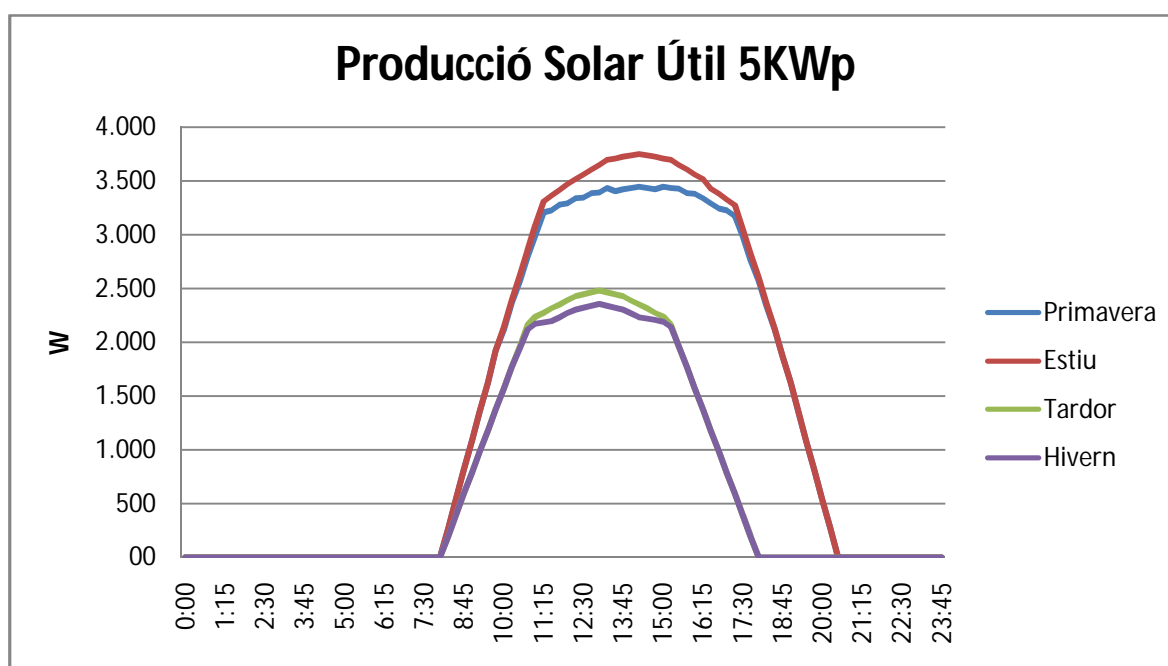


Fig. 3.8 Producció Solar Útil per a una instal·lació de 5KWp

El gràfic de la Fig.3.8 mostra quina és la producció que és capaç de generar la instal·lació solar. No obstant, és molt probable que durant el dia el sistema tingui la capacitat de generar més energia de la que la instal·lació necessita. En aquest interval de temps hi haurà una energia excedent que no es pot aprofitar, degut a que el sistema no disposa de bateries on poder emmagatzemar l'energia sobrant. Per tant, aquests valors de producció solar s'han de comparar amb els valors de consum de la instal·lació, obtenint així l'energia realment aprofitada per a la instal·lació. En la taula de l'Annexo de l'apartat 1.4 a 1.7 s'han indicat tots els consums de les 3 fases de la instal·lació en cada període horari i en cada estació de l'any. A continuació s'ha realitzat una resta de l'energia consumida i l'energia produïda. En cas que aquest valor sigui positiu, s'ha de sumar com a energia excedent. L'energia no serà aprofitable per a la instal·lació elèctrica i no es podrà tenir en compte de cara a la amortització del sistema.

Les gràfiques de les figures Fig. 3.9 a 3.12 són el resultat de cadascun dels càlculs realitzats per a cada estació de l'any i per a cada potència de camp solar. Per tal de limitar el número pàgines de la memòria, es mostren els càlculs realitzats amb 5KWp a mode d'exemple, mentre que la resta de les gràfiques, taules i càlculs realitzats per altres potències es mostren en els Annexes apartat 1.4 al 1.7.

En les figures 3.9 a 3.12, la línia blava representa el consum total (3 fases) de la instal·lació. La línia vermella és la PSF útil. L'àrea verda és l'energia que es pot aprofitar per al consum de la instal·lació. L'àrea lila és l'energia excident de la ISF que no podrà aprofitar la instal·lació, i que per tant, s'haurà de limitar la producció per a que aquesta energia no es generi.

Els valors calculats en les taules d'Excel de l'Annex dels apartats 1.4 a 1.7 segueixen el següent criteri:

- Consum Total: Consum Fase 1 + Consum Fase 2 + Consum Fase 3
- Producció Solar: Valor de producció
- Producció Solar Aprofitada:  $=SI(\text{Producció Solar} \geq \text{Consum}; \text{Consum}; \text{Producció Solar})$
- Excedent: Producció Solar – Producció Solar Aprofitada

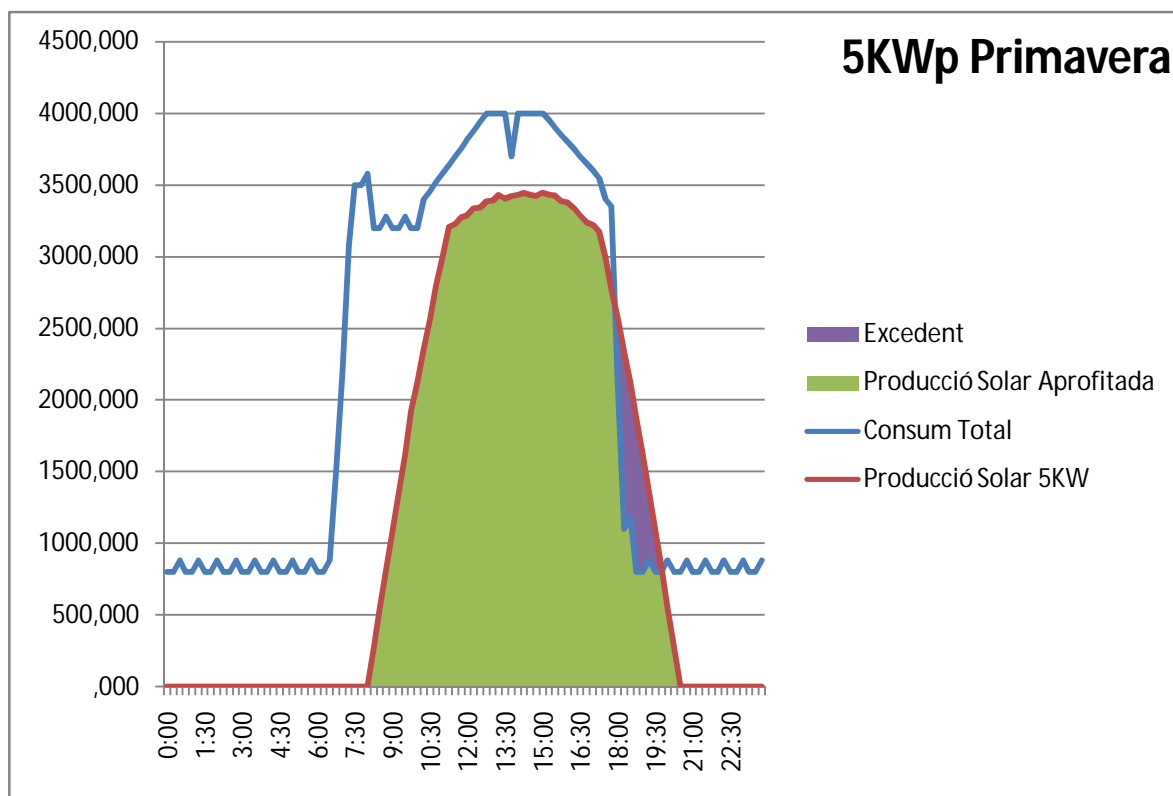


Fig. 3.9 Aprofitament Solar per a una instal·lació de 5KWp a la primavera

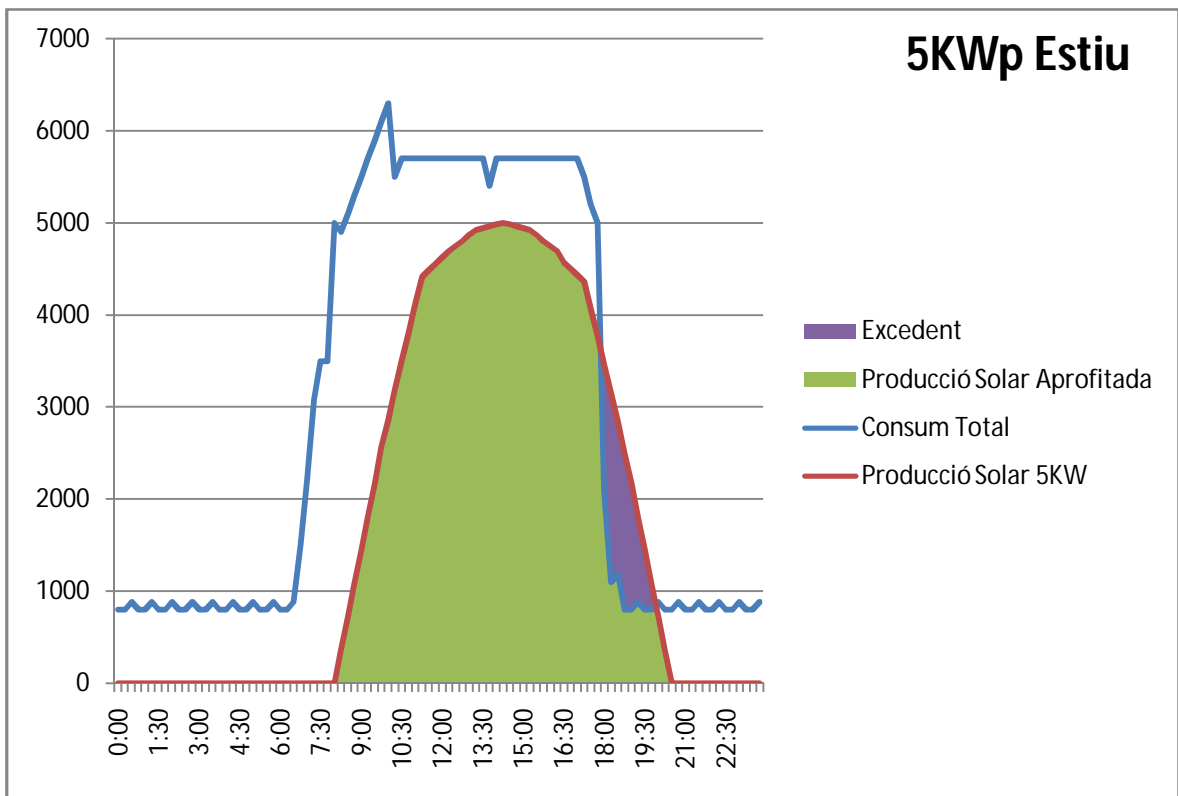


Fig. 3.10 Aprofitament Solar per a una instal·lació de 5KWp a l'estiu

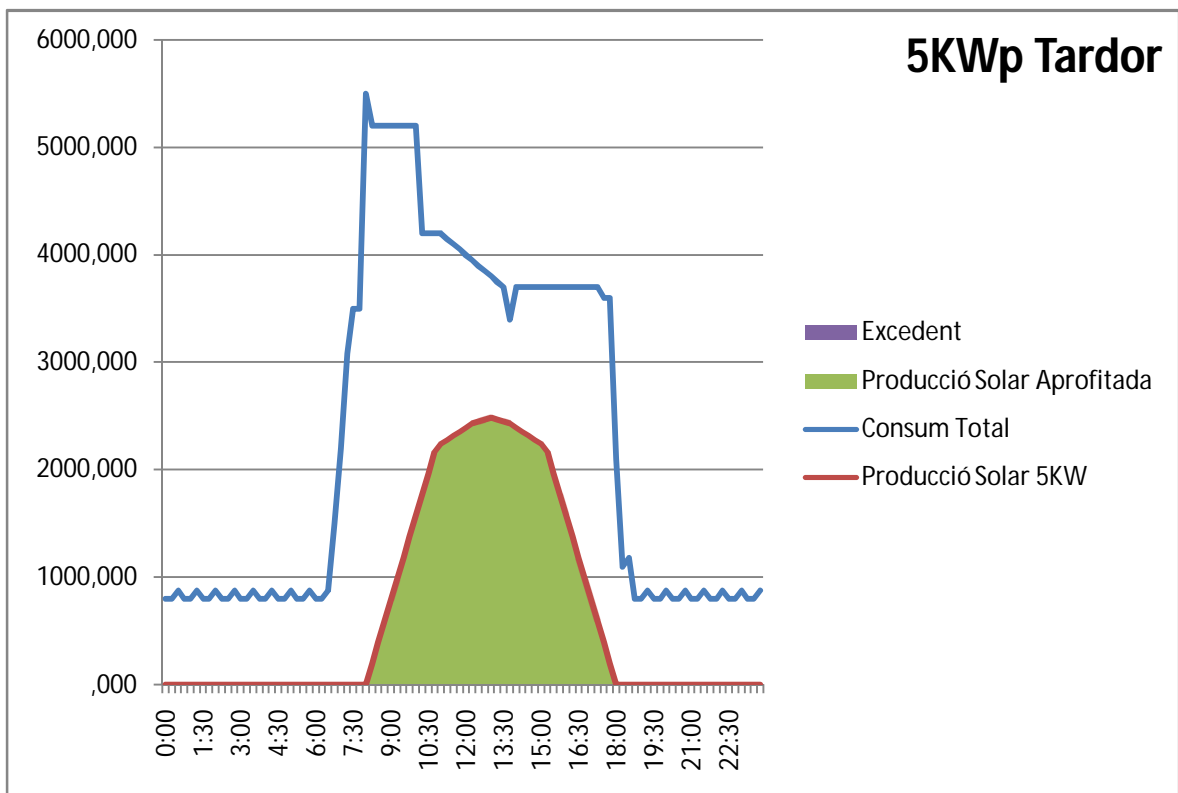


Fig. 3.11 Aprofitament Solar per a una instal·lació de 5KWp a la tardor

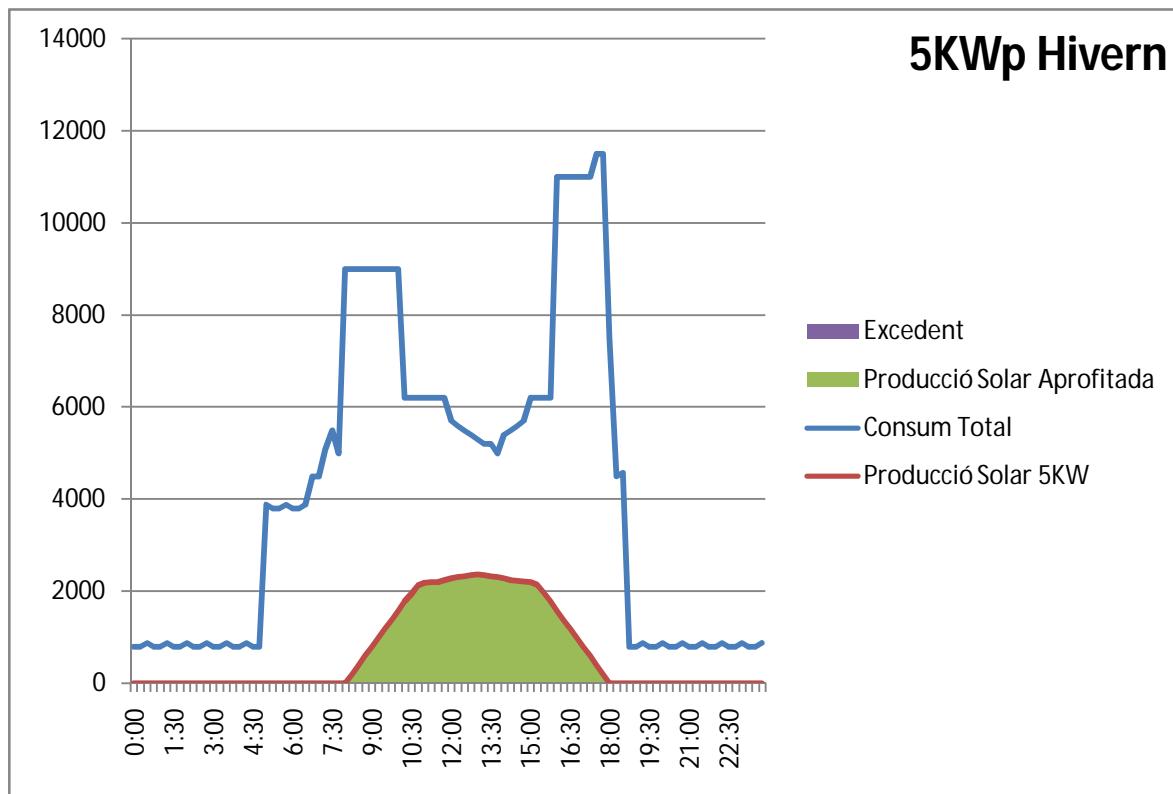


Fig. 3.12 Aprofitament Solar per a una instal·lació de 5KWp al hivern

Es pot observar com, al hivern (Fig. 3.12) i la tardor (Fig. 3.11), tota l'energia generada és aprofitada pel sistema. En canvi, a l'estiu (Fig. 3.10) i la primavera (Fig. 3.9), a partir de les 18:30h comença a sobrar energia, ja que les càrregues elèctriques estan desconnectades i la instal·lació solar encara pot seguir aportant energia a la instal·lació. Si s'observen la resta de gràfiques de l'Annex en l'apartat 1.4 a 1.7, es veu clarament com, quan la ISF és més gran, es produeix més energia, però també en sobra més. L'energia excedent no penalitza la instal·lació, però s'ha de tenir en compte que, per a generar aquesta energia s'ha de sobredimensionar la instal·lació solar, i per tant té un cost més elevat. Així doncs, d'una manera indirecta, l'energia excedent penalitza de cara al rendiment econòmic de la instal·lació.

### 3.2.2. Instal·lació Monofàsica (2 grups entre 1,5KWp i 4KWp)

La estratègia d'aquesta instal·lació és fer 2 instal·lacions completament independents, i que cadascuna d'elles compensi el consum de la fase que li correspon. D'aquesta manera, es realitzarien 2 instal·lacions solars fotovoltaïques monofàsiques.

Primerament s'ha de calcular el consum de les càrregues i la producció de la instal·lació solar per una de les fases, per després calcular-ho per l'altra fase.

De la mateixa manera que s'ha treballat en el apartat anterior, en aquest cas es calcula la taula de producció per a cada època de l'any per a les diferents potències seleccionades (1.5KWp, 2KWp, 2.5KWp, 3KWp, 3.7KWp). A mode d'exemple, en la Fig. 3.13 es mostra el gràfic de la potència útil produïda pels panells solars. La resta de gràfiques i taules es troben en el CD, document "02. càlcul aprofitament solar monofàsica - Fase 2" i "02. càlcul aprofitament solar monofàsica - Fase 3".

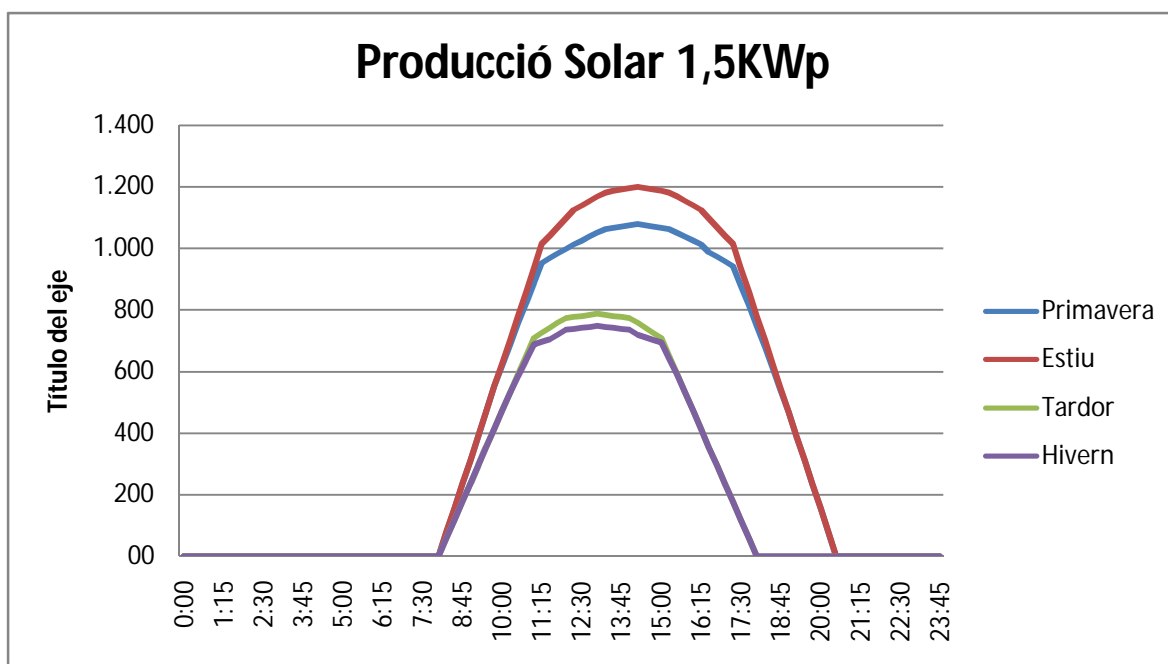


Fig. 3.13 Producció Solar per una Instal·lació de 1,5KWp

En les figures Fig. 3.14 a 3.17 es mostra l'aprofitament solar de la Fase 2 per a la instal·lació de 1,5KWp. La resta de càlculs amb totes les potències seleccionades i els càlculs de la Fase 3 es troben en el CD, document "02. càlcul aprofitament solar monofàsica - Fase 2" i "02. càlcul aprofitament solar monofàsica - Fase 3".

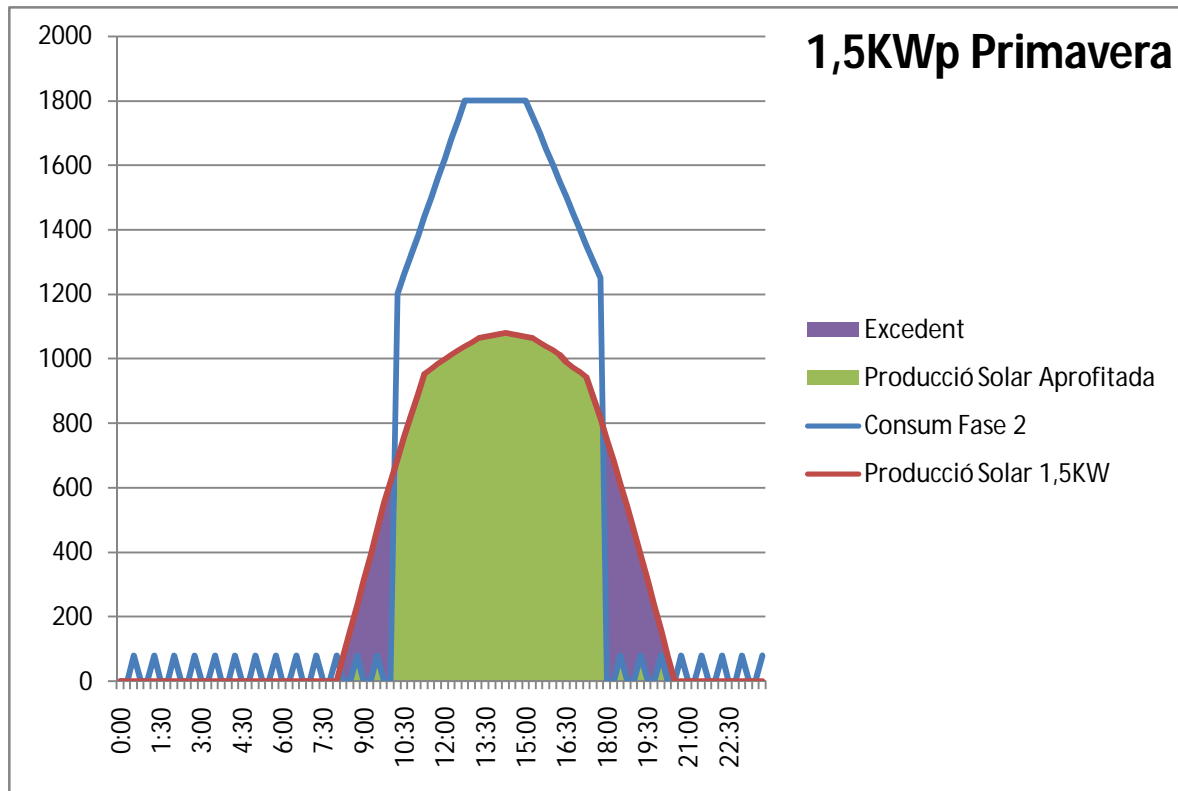


Fig. 3.14 Aprofitament Solar per una instal·lació de 1,5KWp a la primavera en la Fase 2

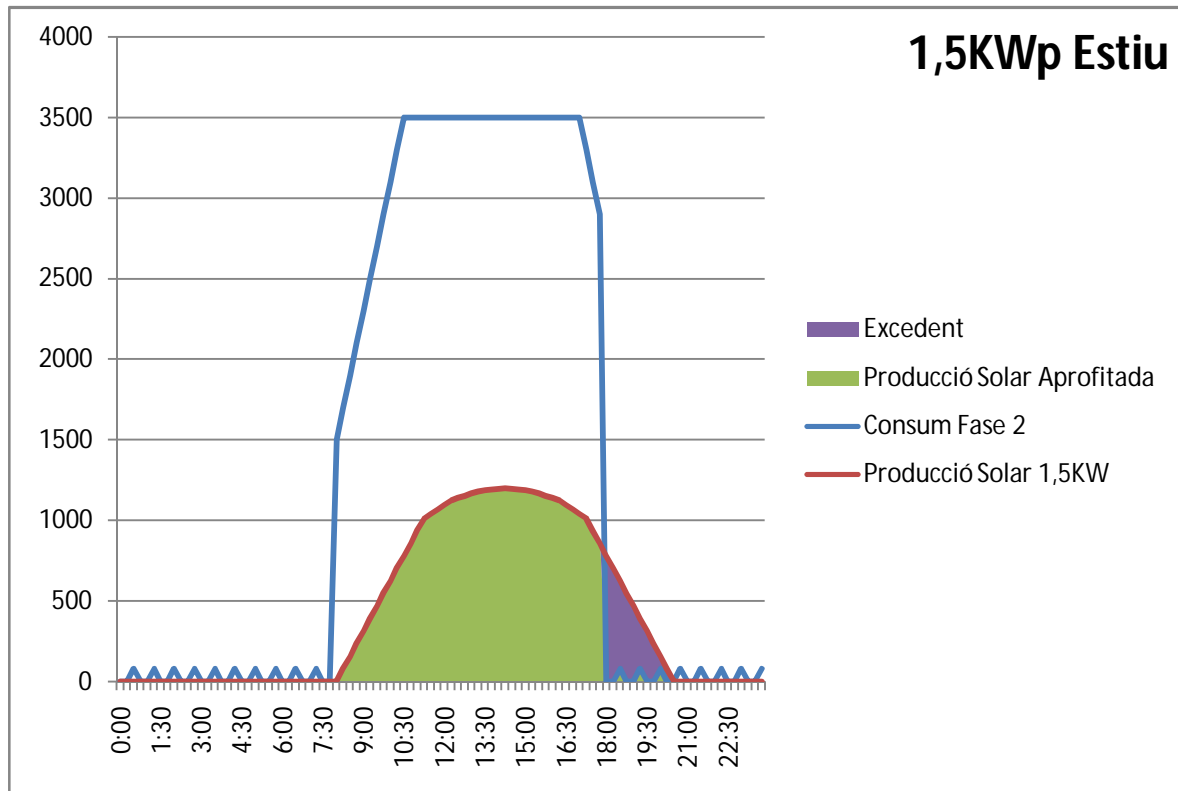


Fig. 3.15 Aprofitament Solar per una instal·lació de 1,5KWp a l'estiu en la Fase 2

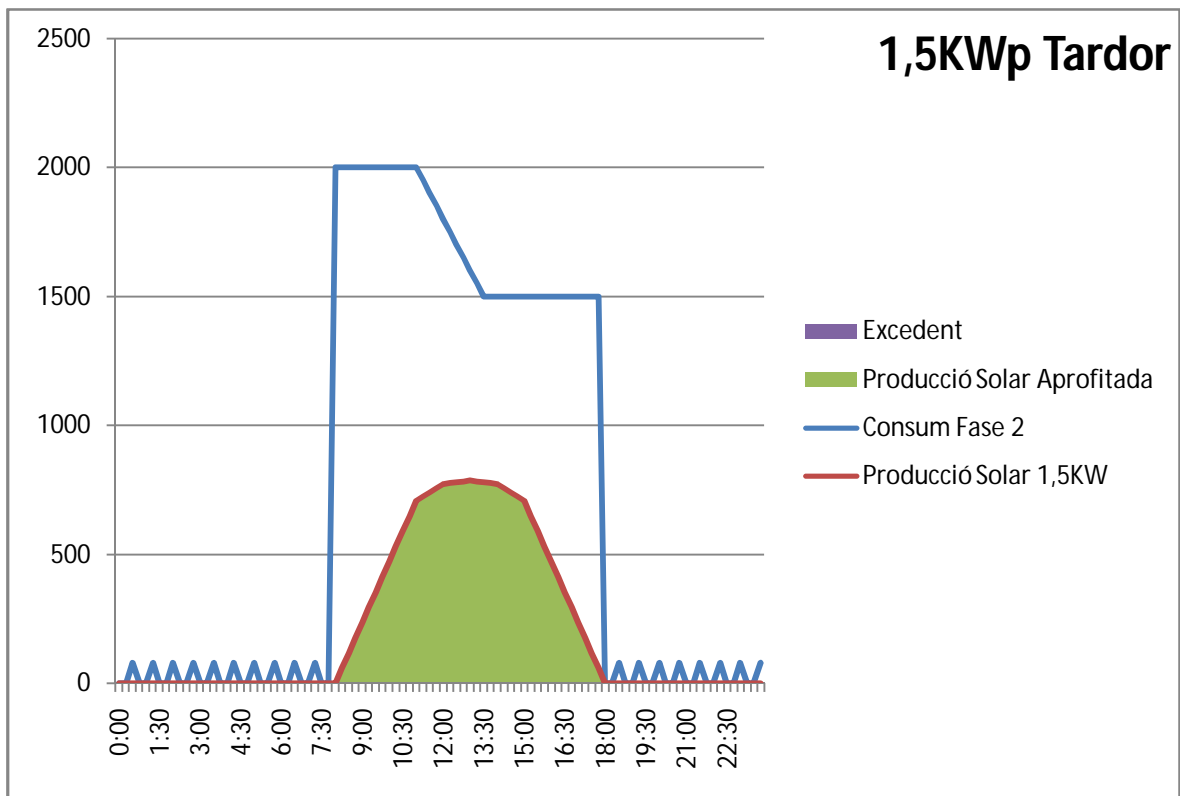


Fig. 3.16 Aprofitament Solar per una instal·lació de 1,5KWp a la tardor en la Fase 2

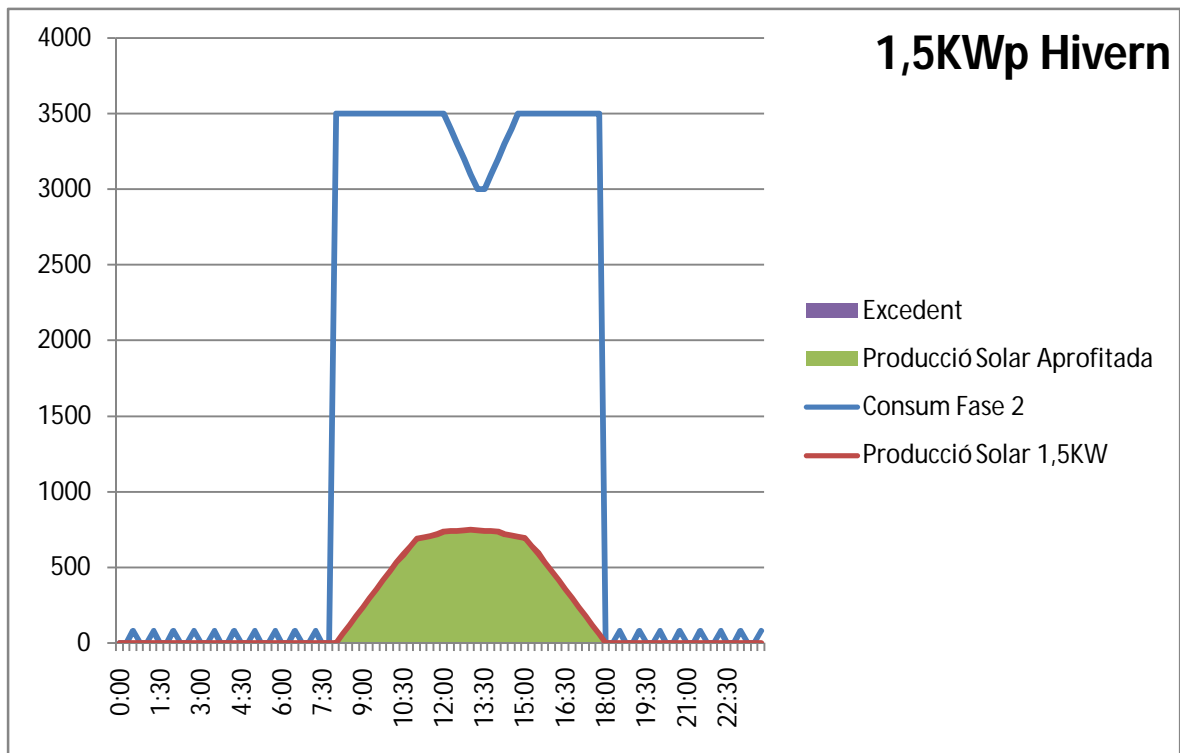


Fig. 3.17 Aprofitament Solar per una instal·lació de 1,5KWp al hivern en la Fase 2

### 3.3. Estudi econòmic i amortització de la inversió

Els càlculs realitzats en l'apartat anterior descriuen el comportament de la instal·lació d'un dia "ideal" de cada estació de l'any. Com a "ideal" es considera un dia assolellat, sense núvols durant tot el dia. No obstant, tots els dies de l'any no verifiquen la condició d'"ideal", la qual cosa s'ha de considerar per a realitzar els càlculs d'amortització de la inversió. L'agència estatal de meteorologia [5] marca uns dies determinats al mes on el cel està cobert, a la província de Barcelona. Aquest valor s'ha de restar de la producció solar aprofitada, doncs durant aquests dies no hi ha producció solar. A més a més, dels 7 dies de la setmana, l'empresa en treballa 5. Per tant, hi ha 2 dies setmanals on no hi ha consum. Durant aquests 2 dies si hi ha producció solar, no és aprofitada per la instal·lació. Extrapolant aquestes dades s'obtenen els següents resultats:

- Primavera:
  - 90 dies hàbils
  - 17 dies coberts (sense Sol)
  - 24 dies festius
  - 66 dies laborables \*  $(1-(17/90)) \Rightarrow$  54 dies producció solar aprofitada
- Estiu:
  - 90 dies hàbils
  - 6 dies coberts (sense Sol)
  - 24 dies festius
  - 66 dies laborables \*  $(1-(6/90)) \Rightarrow$  62 dies producció solar aprofitada
- Tardor:
  - 90 dies hàbils
  - 15 dies coberts (sense Sol)
  - 24 dies festius
  - 66 dies laborables \*  $(1-(15/90)) \Rightarrow$  55 dies producció solar aprofitada
- Hivern:
  - 90 dies hàbils
  - 15 dies coberts (sense Sol)
  - 24 dies festius
  - 66 dies laborables \*  $(1-(15/90)) \Rightarrow$  55 dies producció solar aprofitada



A diferència de una ISF connectada a la xarxa per vendre energia, la ISF per autoconsum té el handicap de que la producció solar s'ha de utilitzar de manera instantània en el consum de les càrregues de la instal·lació. En aquest cas, del total de 365 dies de l'any, només 211 es poden aprofitar, un 57% del total, comptant els dies de sol laborables. Aquest és un fet que perjudica la rendibilitat de la instal·lació molt considerablement.

Per tant, a continuació s'estudiarà si la inversió que s'ha de realitzar es pot amortitzar mitjançant l'estalvi econòmic obtingut a través de la PSF. S'han plantejat diferents escenaris possibles per a fer la instal·lació, i s'ha de seleccionar quin és el més òptim per arribar a l'objectiu plantejat.

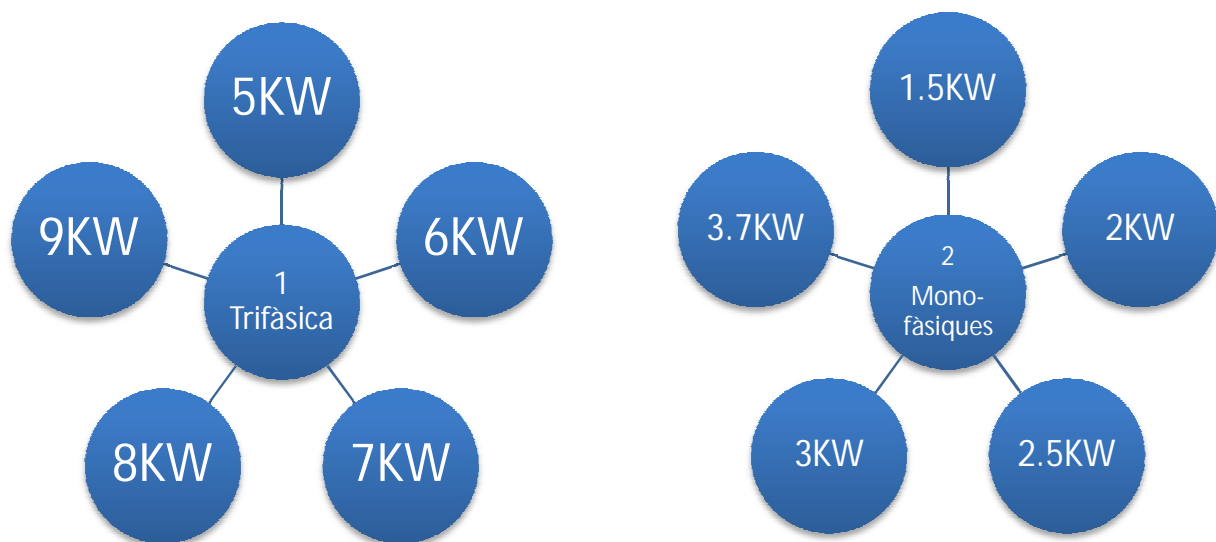


Fig. 3.18 Mapa de Possibles Escenaris

S'estudien les 2 opcions principals per separat, i en cadascuna d'elles es calcula el retorn de la inversió (ROI). En aquest tipus d'instal·lacions un retorn de la inversió de 6 anys pot estar força bé. En canvi un ROI de més de 9 anys comença a ser massa elevat.

### 3.3.1. Instal·lació Trifàsica (entre 3KWp i 7KWp)

Cal introduir totes les dades calculades fins ara en una taula comparativa, on es mostri com rendeix econòmicament la ISF al llarg dels anys. Igual que en els apartats anteriors, s'han

de repetir els càlculs per a totes les potències seleccionades. En la Fig. 3.19 es mostren els càlculs realitzats per a una potència de 5KWp. La resta de càlculs es troben a l'Annex, apartat 1.8. Per a cada estació de l'any es realitzen les següents operacions:

- (Consum diari) \* (Dies Laborables d'una estació)
- (Producció Solar Útil diària) \* (Dies Solejats d'una estació)
- (Producció Solar Aprofitada) \* (Dies producció solar aprofitada)
- Consum Xarxa Elèctrica = Consum – Producció Solar Aprofitada
- Excedent = (Producció Solar Útil) – (Producció Solar Aprofitada)

D'aquests resultats s'extreu la Taula 3.4, amb resultats parcials i globals per a cada escenari. El preu del KWh s'ha valorat en 0,16€/KWh. S'ha suposat un preu de KWh lleugerament superior a l'actual en el mercat, però no s'han calculat les més que provables pujades en el preu de l'energia durant els anys de funcionament de la ISF.

		5KWp				TOTAL ANY
		Primavera	Estiu	Tardor	Hivern	
KWh	Consum	3376,49	4801,23	3799,79	6848,16	18825,66
	Producció Solar Útil	2273,83	2734,93	1243,19	1207,61	7459,56
	Producció Solar Aprofitada	1610,27	1935,50	911,67	885,58	5343,03
	Consum Xarxa Elèctrica	1766,21	2865,73	2888,12	5962,58	13482,63
	Excedent	96,98	111,29	0,00	0,00	208,27
€/mes	Consum	540,24 €	768,20 €	607,97 €	1.095,71 €	3.012,11 €
	Producció Solar Útil	363,81 €	437,59 €	198,91 €	193,22 €	1.193,53 €
	Producció Solar Aprofitada	257,64 €	309,68 €	145,87 €	141,69 €	854,88 €
	Consum Xarxa Elèctrica	282,59 €	458,52 €	462,10 €	954,01 €	2.157,22 €
	Excedent	15,52 €	17,81 €	- €	- €	33,32 €

Taula 3.4. Resum Final Consums i Produccions per Estacions

En la Fig. 3.19 es pot observar comen el cas de la ISF de 5KWp, del total del consum de la instal·lació elèctrica, el 30% es produeix amb Energia Solar.

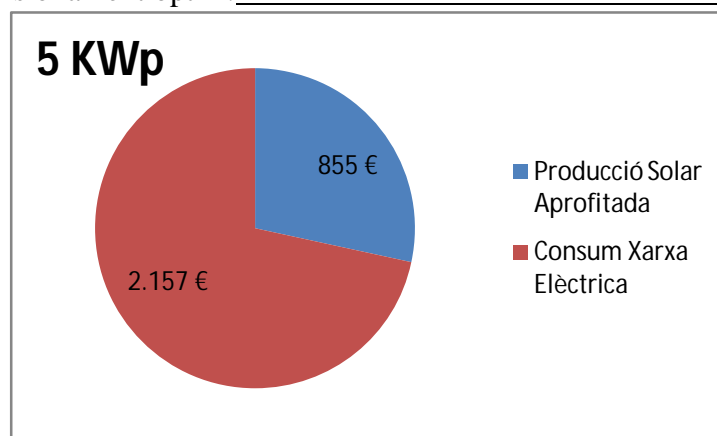


Fig. 3.19 Aprofitament de la PSF respecte el consum global de la instal·lació

Finalment, per a veure quina potència cal instal·lar per fer més rendible la instal·lació, és necessari posar tots els valors en una taula, calculant la inversió a realitzar, tant en materials com en ma d'obra, i calculant any a any quin és l'estalvi econòmic obtingut amb la ISF. La Fig. 3.20 compara l'evolució de cada escenari gràficament, durant un període de 15 anys. En l'Annex 1.9 es poden trobar els càlculs realitzats per arribar a aquest resultat gràfic.

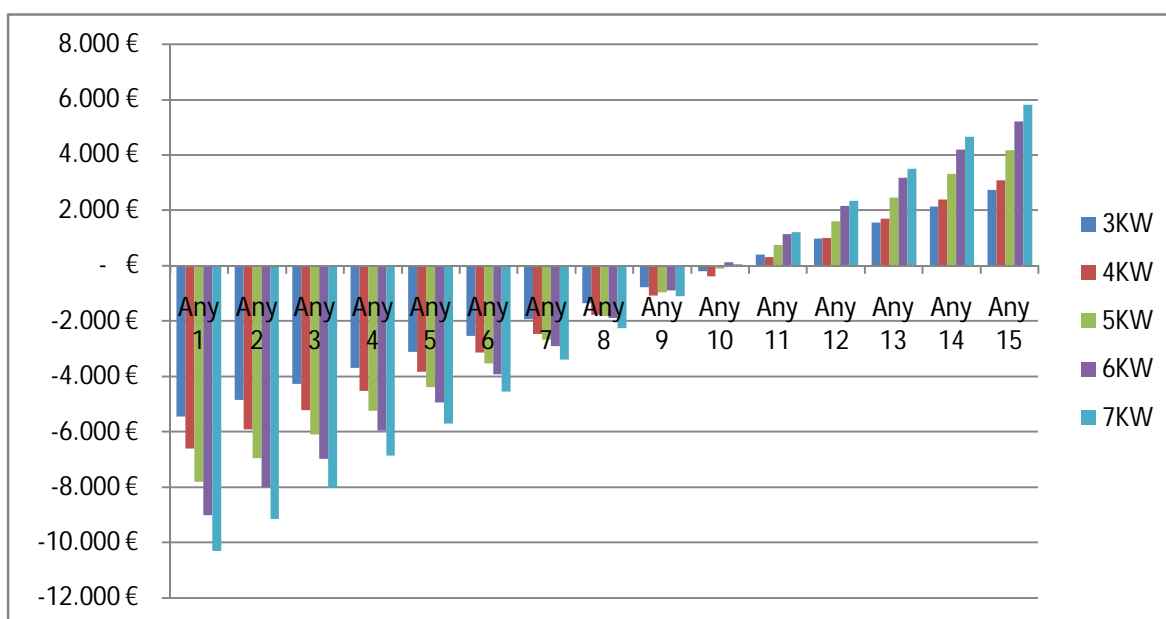


Fig. 3.20 Gràfica de Retorn de la Inversió de 3KWp a 7KWp (Trifàsic)

Les gràfiques de cada ISF es comporten d'una manera molt semblant. Quanta més potència s'instal·la, major és el cost d'inversió, però també es maximitza l'estalvi a llarg termini. Tots els escenaris calculats tenen un retorn d'inversió igual a 10 anys. Arribats a aquests 10 anys la inversió està amortitzada, i es comença a obtenir rendiments econòmics positius.

Analitzant tots els escenaris possibles, segurament la ISF de 5KWp és la més apropiada per a realitzar la inversió, ja que a llarg termini marca una diferència econòmica important respecte la ISF de 4KWp. En canvi, respecte la ISF de 6KWp el benefici obtingut no justifica la inversió addicional que s'ha de fer. No obstant, depenent de la disponibilitat de capital econòmic client final i de les expectatives a llarg termini, qualsevol de les opcions pot ser vàlida, ja que es comporten d'una manera molt semblant.

### 3.3.2. Instal·lació Monofàsica (2 grups entre 1,5KWp i 4KWp)

De la mateixa manera que s'han fet els càlculs per a la ISF trifàsica, s'han de realitzar per a les 2 ISF monofàsiques. Tal i com s'ha indicat en apartats anteriors, l'estratègia és compensar el consum energètic de cada fase amb una ISF monofàsica independent. Per tant, s'han de calcular les 2 instal·lacions de manera totalment separada, ja que cadascuna pot donar inversions i períodes de retorn completament diferents.

Primerament s'han realitzat els càlculs per a tots els escenaris possibles de la Fase 2. Els resultats dels mateixos es mostren en la Fig.3.21.

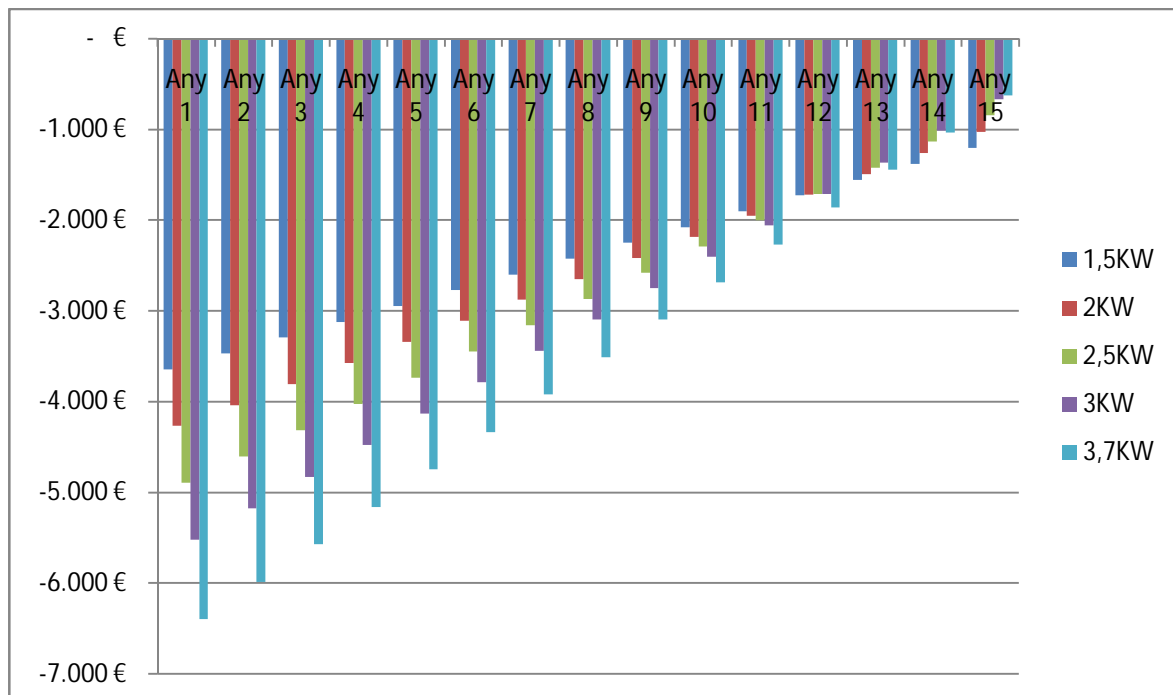


Fig. 3.21 Gràfica de Retorn de la Inversió de 1,5KWp a 4KWp (2 Monofàsics)

En aquest cas, l'amortització de la inversió es superior als 15 anys. Si 10 anys ja és un termini de retorn de la inversió elevat, més de 15 anys es presenta del tot inapropiat per aquest tipus d'inversió. Per l'estudi de la Fase 3, els resultats són molt semblants als de la Fase 2, amb terminis de retorn de la inversió superiors als 15 anys. Vistes les dues opcions (Monofàsica i Trifàsica), és evident que la opció més viable és la ISF Trifàsica.

### **3.4. Comprovació de resultats**

Els càlculs realitzats es basen en dades extretes de corbes de producció Standard per a una ISF [1], tenint en compte dades meteorològiques de la província de Barcelona [4]. Per a validar aquestes dades s'han de contrastar amb les dades de PSF que marquen entitats de prestigi, o el propi fabricant de panells solars fotovoltaics.

En el cas d'una ISF trifàsica de 6KWp, es pot extreure un càlcul a través de la web de la Comissió Europea JRC [2]. El resultat de la PSF anual d'una ISF de 6KWp és de 8840KWh. Segons els càlculs realitzats en aquest projecte, una ISF de 6KWp produeix un total de 8951KWh. L'error de càlcul és inferior al 2%, pràcticament inapreciable tenint en compte el tipus de dades que s'estan tractant.

Per a una ISF monofàsica de 3KWp, el fabricant d'inversors PowerRouter calcula una PSF de 3.956KWh. En els càlculs d'aquest projecte, per a una ISF de 3KWp, és de 3449KWh, el que representat un 13% de diferència entre ambdós càlculs. Aquesta diferència pot ser causada per tenir en compte diferents fonts de dades meteorològiques, o petites diferències en el rendiment dels panells solars.

En tot cas, es pot considerar que els resultats obtinguts en el estudi són apropiats i coincideixen amb una notable exactitud amb dades de fonts externes a aquest projecte.



## 4. Dimensionat de la instal·lació

Tal i com s'ha vist en apartats anteriors, de totes les possibles alternatives estudiades, la més adequada en aquest projecte, dades les característiques de la instal·lació i la rendibilitat resultant, és la ISF trifàsica de 5KWp.

S'han de considerar diferents aspectes claus en el disseny i dimensionat de la instal·lació:

- La ISF és única, tots els panells han d'anar connectats a un únic inversor.
- L'inversor s'encarregarà de transformar l'energia en forma de corrent continu dels panells solars, en energia útil per la xarxa elèctrica, a 400 V en corrent altern.
- S'ha d'assegurar que no hi hagi injecció de potència activa a la xarxa elèctrica en cap moment. És a dir, que la ISF no injecti energia sobrant cap a la xarxa elèctrica pública.
- S'ha de modificar de manera continuada i dinàmica el punt de treball dels panells solars per tal d'adequar la PSF al consum de les càrregues connectades a la instal·lació.
- És necessari monitoritzar la ISF i el consum de les càrregues connectades a la xarxa. D'aquesta manera l'usuari serà capaç de saber si la seva ISF està funcionant com s'esperava i que, per tant, té un rendiment òptim.

Donades aquestes premisses hi ha diferents productes al mercat que poden donar resposta a les necessitats plantejades. Un d'aquest productes, i en aquest cas l'escollit, és el kit CPD del fabricant CIRCUTOR. El kit inclou els elements bàsics necessaris per a realitzar la ISF:

- Panells solars fotovoltaics
- Estructura d'alumini per a panells solars fotovoltaics
- Inversor
- Controlador Dinàmic de Potència, incorpora webserver monitor energètic
- Protector sobretensions DC i AC

L'esquema bàsic de la ISF es pot veure en la Fig.4.1. Cada element del sistema té una funció determinada. A continuació es descriu breument la seva funcionalitat:

- Els panells solars fotovoltaics capten l'energia del sol per transformar-la en energia elèctrica, en forma de corrent continu.
- L'inversor és l'encarregat de transformar el corrent continu dels panells solars, en una senyal sinusoidal apta pel consum a la xarxa elèctrica convencional. A més a més, l'inversor ha de ser capaç de modular la seva corba de treball per entregar l'energia necessària a la instal·lació, independentment de la producció dels panells solars fotovoltaics.
- El (Controlador Dinàmic de Potència (CPD) llegeix l'energia que consumeix la instal·lació i permet regular el nivell de generació de l'inversor en funció del consum de la xarxa, determinant el punt de treball on s'ha de situar l'inversor en cada moment. Addicionalment, incorpora un servidor web des d'on l'usuari pot veure el rendiment de la ISF, mitjançant la monitorització de la instal·lació.
- Els 2 CVM MINI son 2 monitors energètics amb comunicació MODBUS. Mitjançant un transformador toroidal llegeixen la corrent que circula pel circuit i envien cap al CDP la informació relativa a l'energia que produeix la ISF i la que ve de la xarxa.
- El relè de corrent inversa desconnecta la generació fotovoltaica en cas que s'estigui entregant energia a la xarxa en sentit invers. Aquest és un element redundat de seguretat per assegurar la injecció 0 d'energia a la xarxa.

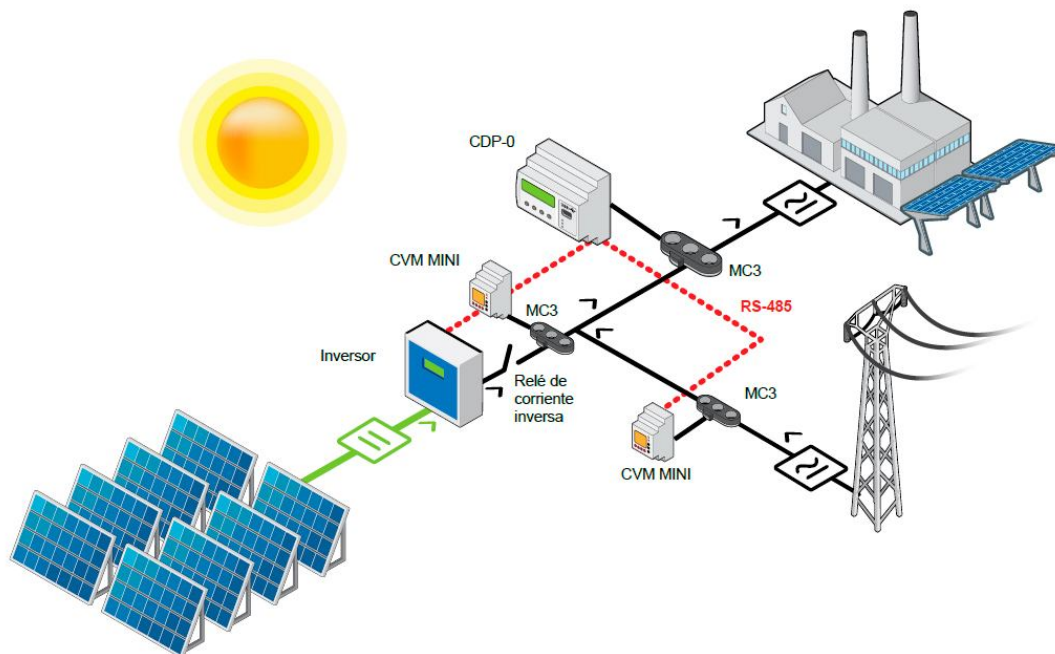


Fig. 4.1 Esquema d'ISF per autoconsum.



## 4.1. Càlculs elèctrics

Com s'ha comentat en apartats anteriors, en aquest projecte es vol instal·lar una potència de 5KWp en la ISF. Per tant, seran necessaris 42 panells de 120Wp per a cobrir les necessitats. Tot i que la potència total dels panells sigui igual a 5040Wp, serà l'inversor qui delimiti la potència actual que entrega la ISF per ser consumida per la instal·lació.

En la Fig. 4.2 es defineix l'esquema unifilar de la ISF. Amb aquest esquema queda definit el disseny i dimensionat de la instal·lació, tant en la part de PSF, com en la instal·lació interior. A aquest esquema li segueix l'esquema unifilar de la instal·lació interior, el qual s'adjunta als plànols, document A-01, però que no implica cap tipus de condicionant per la ISF.

En la Taula 4.1 es defineixen totes les seccions dels conductors elèctrics de la ISF, fent referència a les anotacions de la Fig.4.2. Els càlculs realitzats s'han portat a terme seguint els criteris del Reglament Electrotècnic de Baixa Tensió (REBT), i la seva norma UNE 20460-5-523.

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I}{G \cdot \Delta V}$$

Fig. 4.2 Fórmula del càlcul de la secció dels conductors.

S: Secció del conductor (mm<sup>2</sup>)

L: Longitud del conductor (m)

I: Intensitat que passa pel conductor (A)

G: Conductivitat del conductor (S) => Pel coure: 56 S

$\Delta V$ : Caiguda de Tensió màxima (segons normativa)

La secció del conductor resultant és una limitació que s'ha de tenir en compte com a secció mínima a instal·lar per motius de la caiguda de tensió. No obstant, s'ha de revisar la Taula 4.2 per tal de comprovar si és necessari instal·lar un conductor de més secció per motius de

la Intensitat que hi passa pel conductor. En tram de continua el paràmetre més restrictiu és la caiguda de tensió, que és el que defineix la secció del cable. En canvi, en el tram que va després de l'inversor (corrent altern), la Taula 4.2 indica que per una intensitat de 25A la secció del conductor ha de ser de 6mm<sup>2</sup>, tot i que per caiguda de tensió amb un conductor de 2,5 fos suficient.

En la Taula 4.1 també s'indiquen els diàmetres dels tubs que s'utilitzaran com a canalització per a passar el cablejat elèctric. Aquests diàmetres s'han seleccionat segons els criteris de la Taula 4.3, referent al REBT.

TRAM	Tensió Pmàx	Intens Pmàx	Potència W	Secció per conductor mm2		Long. M	W · m	Caiguda de Tensió		Caract. Canalització Diàm. Tub
				Teòric	Aplicat			%	Total	
A-A'	44,90	2,68	120	1,066	2,5	5	225	1%	0,449	16
B-B'	44,90	2,68	120	1,066	2,5	5	225	1%	0,449	16
C-C'	44,90	2,68	120	1,066	2,5	5	225	1%	0,449	16
D-D'	44,90	2,68	120	1,066	2,5	5	225	1%	0,449	16
E-E'	44,90	2,68	120	1,066	2,5	5	225	1%	0,449	16
F-F'	44,90	2,68	120	1,066	2,5	5	225	1%	0,449	16
A-G	314,30	16,1	5.054	14,62	25	80	25.144	1%	3,143	32
G-H	230,00	25	5.750,00	7,764	10	20	4.600	1%	2,3	25

Taula 4.1 Càlcul de seccions dels conductors de la ISF

Sección del cable	Intensidad máxima	Potencia máxima en 12 Vcc	Potencia máxima en 24 Vcc	Potencia máxima en 48 Vcc	Potencia máxima en 220 Vac
1,5 mm2	11 A	132 W	264 W	528 W	2.420 W
2,5 mm2	15 A	180 W	360 W	720 W	3.300 W
4 mm2	20 A	240 W	480 W	960 W	4.400 W
6 mm2	25 A	300 W	600 W	1.200 W	5.500 W
10 mm2	34 A	408 W	816 W	1.632 W	7.480 W
16 mm2	45 A	540 W	1.080 W	2.160 W	9.900 W
25 mm2	59 A	708 W	1.416 W	2.832 W	12.980 W

Taula 4.2 Llistat de seccions reglamentàries segons intensitat màxima

Sección nominal de los conductores unipolares (mm <sup>2</sup> )	Diámetro exterior de los tubos (mm)				
	Número de conductores				
	1	2	3	4	5
1,5	12	12	16	16	16
2,5	12	12	16	16	20
4	12	16	20	20	20
6	12	16	20	20	25
10	16	20	25	32	32
16	16	25	32	32	32
25	20	32	32	40	40
35	25	32	40	40	50
50	25	40	50	50	50
70	32	40	50	63	63
95	32	50	63	63	75
120	40	50	63	75	75
150	40	63	75	75	--
185	50	63	75	--	--
240	50	75	--	--	--

Taula 4.3 Llistat de seccions reglamentàries segons intensitat màxima

El rendiment i els valors de tensió i intensitat de la ISF dependran de l'energia que aporti el Sol en cada moment. El fabricant marca els següents paràmetres com a valors màxims en el punt òptim de màxima generació solar:

- Tensió en el punt de màxima potència: 44,9V
- Intensitat en el punt de màxima potència: 2,68A

Seguint la distribució de plaques de la Fig. 4.3 es pot arribar a la següent conclusió:

$$V_t = V_p * 7 = 44,9 * 7 = 314,3 \text{ V} \rightarrow \text{Tensió de cada fila de panells solars.}$$

$$i_T = i_P * 6 = 2,68 * 6 = 16,08 \text{ A} \rightarrow \text{Intensitat total del conductor que arriba a l'inversor.}$$

$$V_t * i_T = 5.053,94 \text{ W}$$

Aquests valors de tensió i intensitat marquen el punt de màxima generació solar. Sobre aquests valors s'han calculat les seccions dels conductors del circuit de corrent continu.

Per al càlcul del tram de corrent altern, únicament s'ha tingut en compte la potència contractada, que és la màxima potència que hi circularà pel conductor. En aquest cas hi ha una potència contractada de 17,3KW, el que pertany a una intensitat de 25A per fase.

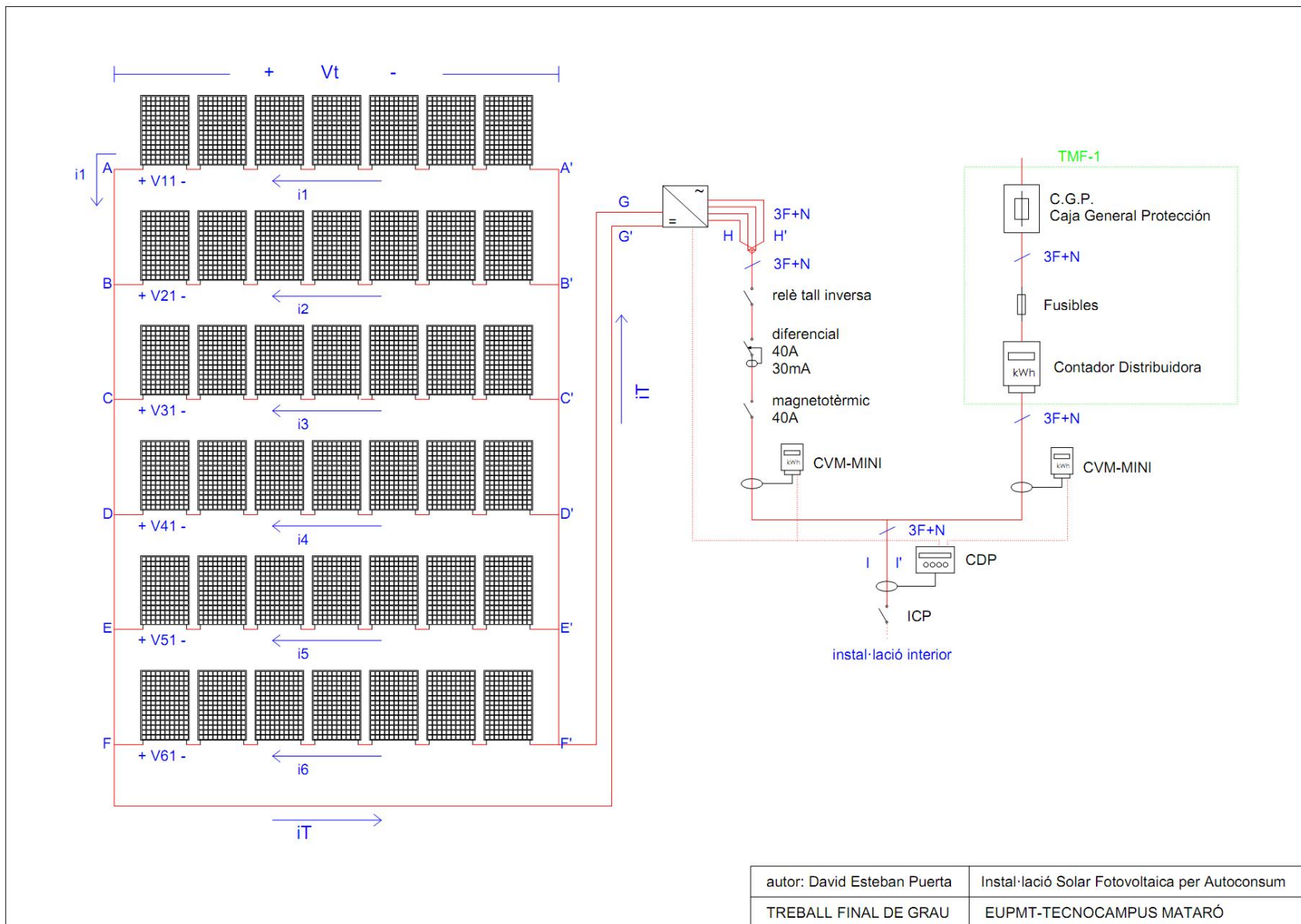


Fig. 4.3 Esquema unifilar de la ISF

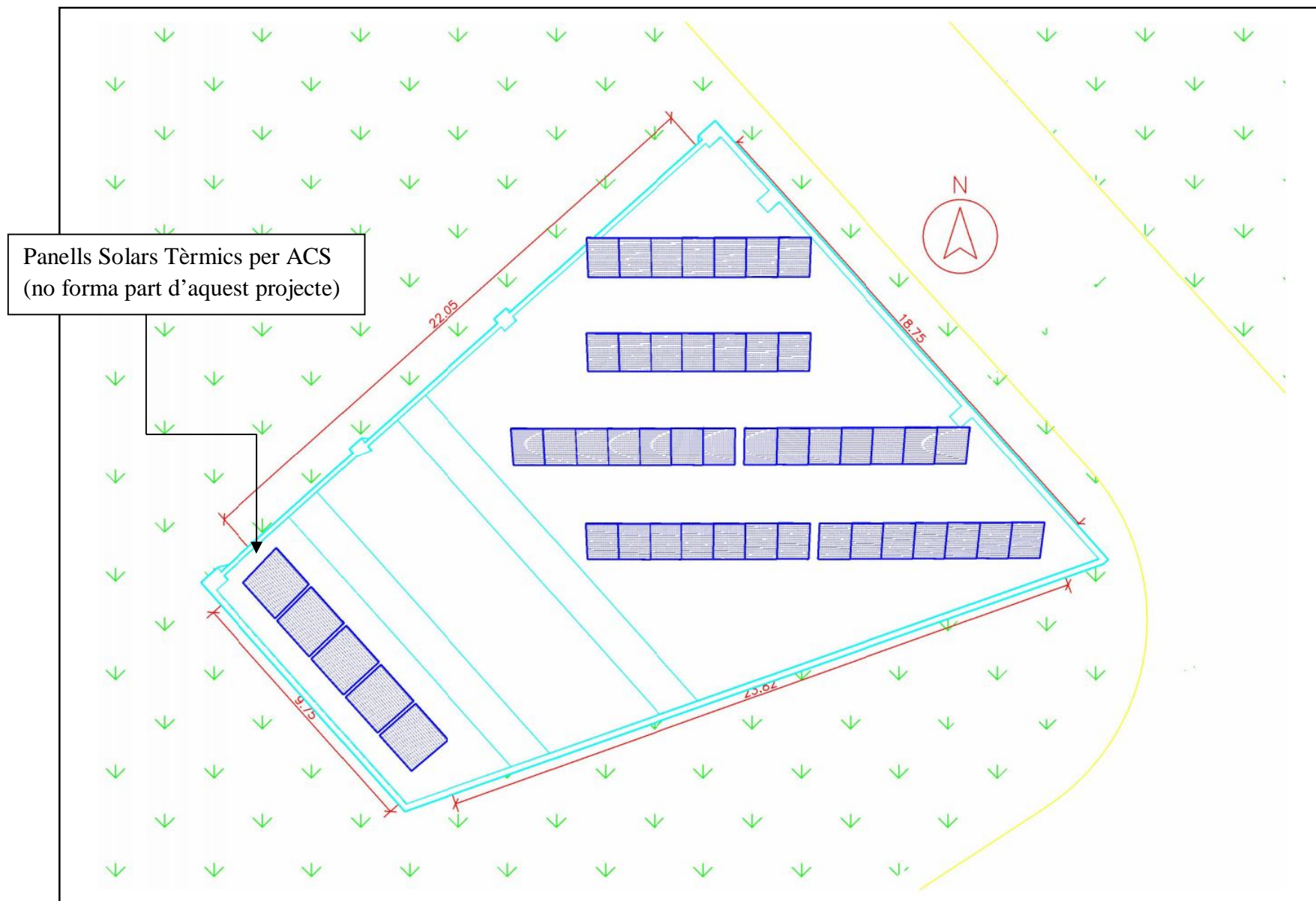


Fig. 4.4 Distribució dels Panells Solars

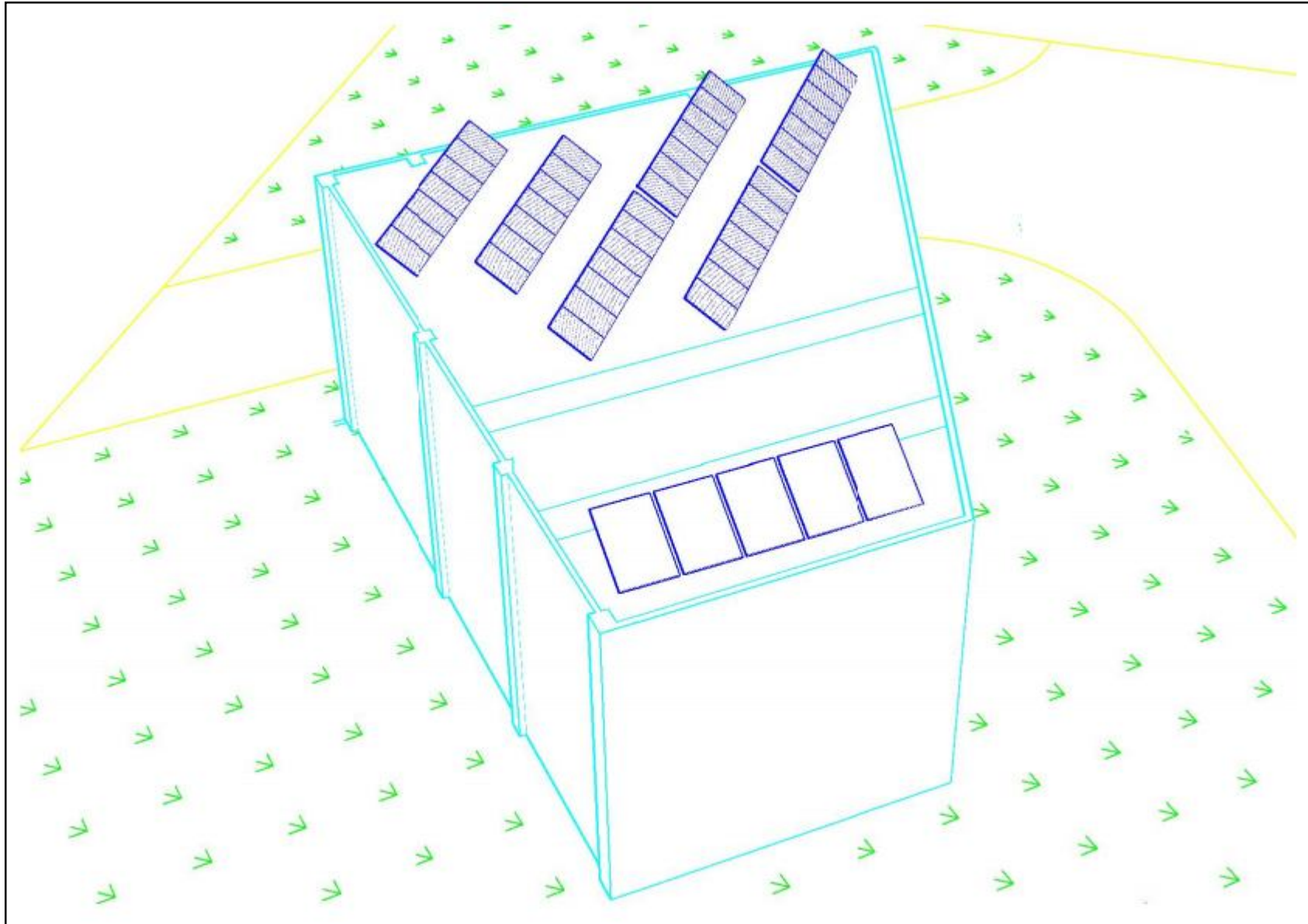


Fig. 4.5 Simulació 3D de la coberta de l'edifici





Fig. 4.6 Foto Aèrea de la teulada



Fig. 4.7 Foto de la coberta on aniran les plaques solars fotovoltaiques

En les Fig. 4.4 i Fig. 4.5 es pot veure la distribució de les plaques solars a la coberta de l'edifici. La distribució és de 4 files, 2 d'elles amb 2 grups de 7 plaques i les altres 2 amb 1 grup de 7 plaques cadascuna. La distància entre les 4 files és de 3 metres, de placa a placa. S'ha agafat aquesta distància per a poder repartir correctament totes les plaques en la superfície disponible a coberta, sabent que s'han d'orientar cap al Sud. S'ha de contemplar, segons es veu a la Fig. 4.5, que hi ha 2 lluernaris que limiten la ubicació de les plaques solars.

A la Fig. 4.8 es calcula l'angle mínim en el qual el Sol comença a fer ombra a la següent fila de panells. Segons aquest càlcul, a partir d'un angle solar de  $25^\circ$  comença a fer ombra els panells d'una fila cap a l'altre. No obstant, amb un angle de  $25^\circ$  el Sol està pràcticament a l'ocàs i, per tant, no hi ha pràcticament aportació solar a partir d'aquestes hores. Quan l'angle solar és de  $15^\circ$  els panells encara reben els rajos del Sol en un 70% de la seva superfície. Per tant, es pot considerar com a bona la distància de 3 metres entre files.

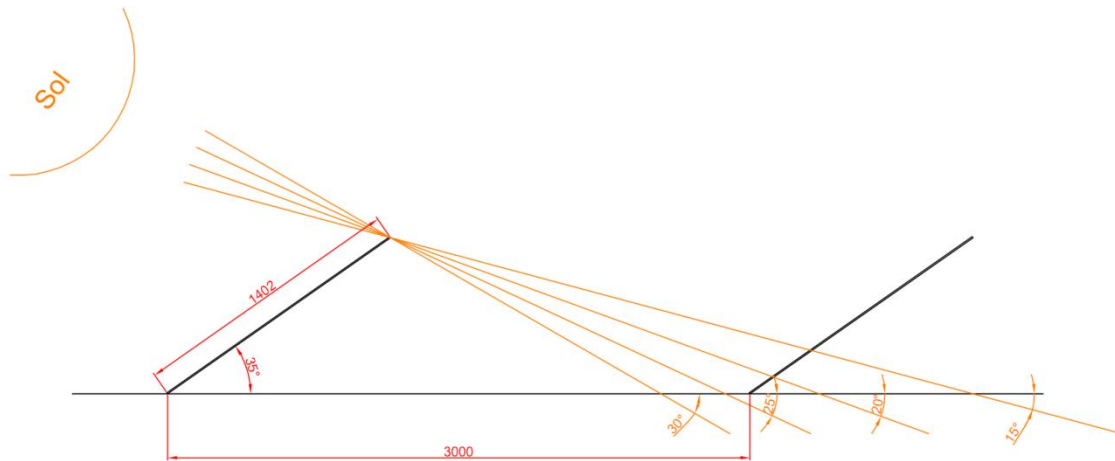


Fig. 4.8 Ombrejat de les files de plaques solars



## 4.2. Selecció dels materials

### 4.2.1. Panells Solars Fotovoltaics

La tecnologia dels panells solars fotovoltaics està en constant evolució. La millora tecnològica és continua i els preus dels materials estan baixant de manera molt important. Per a fer rentable la inversió és necessari escollir un panell amb un bon rendiment i a un preu baix. No és tan important seleccionar el panell tecnològicament més avançat, doncs segurament no pagarà la pena el seu cost.

Per les òptimes prestacions i el preu que ofereix, s'ha seleccionat un panell fotovoltaic Sharp de capa fina de 120Wp, model NA-E120G5. En el document A-01 de l'Annex es poden trobar les característiques i la informació detallada del panell. Les característiques més importants d'aquest panell són les següents:

- Potència Nominal: 120W
- Tensió en Circuit Obert (co): 59,1V
- Intensitat en Curtcircuit (cc): 3,33A
- Tensió en el punt de màxima potència: 44,9V
- Intensitat en el punt de màxima potència: 2,68A
- Coeficient de rendiment del mòdul: 8,6%

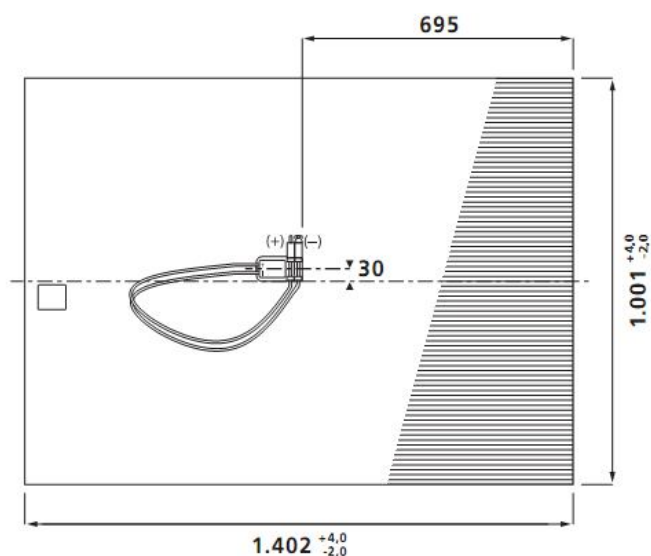


Fig. 4.9 Vista posterior panell Sharp NA-E120G5

#### 4.2.2. Inversor

L'inversor és un dels elements clau de la ISF. Un inversor de qualitat determina una bona gestió de la ISF i, per tant, un bon rendiment de la instal·lació. Aquest element treballa amb electrònica de potència sensible a possibles averies al llarg del temps. Per tant, és important seleccionar un fabricant amb garanties i reconegut al mercat. En aquest cas s'ha seleccionat el Inversor model IG PLUS 55 V-3 del fabricant FRONIUS. Les característiques més importants es detallen a continuació:

- Potència Màxima de sortida: 5.000W
- Intensitat Màxima de sortida: 7,3A
- Tensió de Sortida: 3 NPE 400V / 230V
- Potència Màxima d'entrada: 5.250W
- Intensitat Màxima d'entrada: 22,8A
- Intensitat Màxima de Curtcircuit: 34,2A
- Tensió Màxima d'entrada: 600V

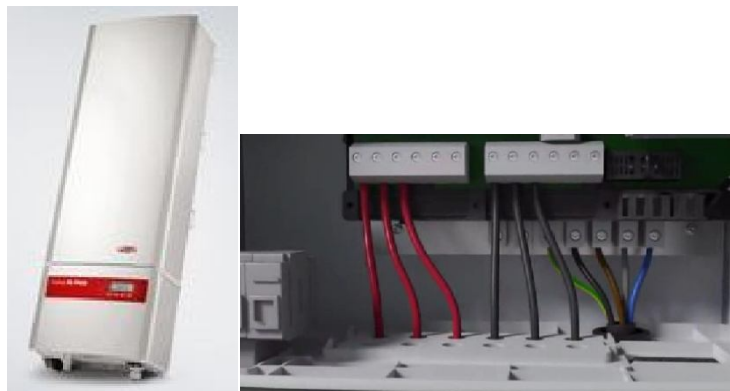


Fig. 4.10 Foto de l'inversor (esquerra) i les seves connexions elèctriques (dreta)

En la Fig. 4.10 i en la Fig. 4.11 es poden observar les connexions que s'han de realitzar a l'inversor. D'una banda s'han de connectar els connectors del pol positiu en un terminal i els del pol negatiu a l'altre terminal. D'altra banda, s'ha de connectar la xarxa elèctrica al terminal situat a la part inferior dreta de l'equip. Aquest equip ve equipat amb 6 terminals per a circuits DC. Això significa que s'hi poden connectar 6 grups de plaques fotovoltaïques de manera independent. En el cas d'aquest projecte s'ha dissenyat per a 1 únic circuit, de manera que es simplifiqui el cablejat. No obstant, si s'hagués plantejat fer

anar les 6 fileres de plaques de manera independent es podrien haver connectat als 6 circuits del inversor.

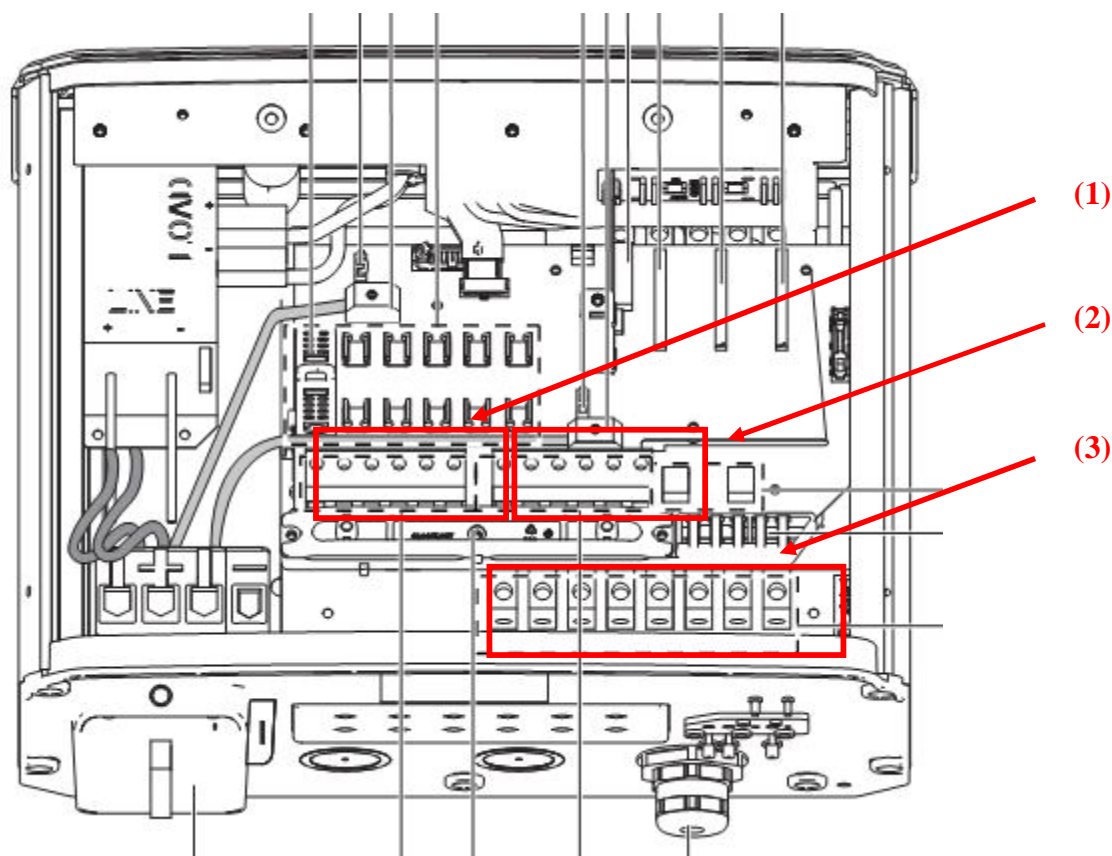


Fig. 4.11 Esquema de connexió de l'inversor

- (1) Terminals DC+: Connexió al pol positiu dels panells solars
- (2) Terminals DC-: Connexió al pol negatiu dels panells solars
- (3) Terminals AC: Connexió a la xarxa elèctrica

#### 4.2.3. Controlador Dinàmic de Potència

El fabricant Circutor ha dissenyat aquest element amb l'objectiu de simplificar la gestió de les ISF per autoconsum. És un producte innovador, que vol donar un valor afegit respecte el control que es portava fins ara mitjançant elements de control més rudimentaris.

Aquest és l'element que governa a l'inversor, es pot dir que és el director de la ISF, qui pren les decisions i marca les ordres de treball. Per a poder prendre les decisions encertades rep la màxima informació del que està passant a la ISF. Tècnicament parlant, el CDP rep la informació relativa al consum de la instal·lació elèctrica i la PSF en cada moment. A partir

d'aquests 2 paràmetres realitza els càlculs adequats per a ordenar al inversor que es posi a treballar en un rang de modulació determinat, que serà el més òptim en cada moment segons l'algorisme que tingui dissenyat el CDP. En el cas que el CDP vegi que hi ha la possibilitat de entregar energia solar cap a la xarxa elèctrica (venda energia), s'activarà el relè adequat per a accionar el relè de corrent inversa, assegurant així que no s'injecta corrent a la xarxa pública.

Adicionalment, el CDP té integrat un Servidor Web que permet a l'usuari, treure tota la informació relativa a l'històric de consums, produccions, aprofitament solar i rendiment de la ISF. Evidentment tota aquesta informació es guarda en una base de dades en la memòria de l'equip, que és accessible remotament en qualsevol moment.

Les característiques tècniques més rellevants del CDP són les següents:

- Alimentació alterna: 230V
- Alimentació continua: 12V
- Comunicació Webserver: Ethernet
- Comunicació amb Inversor: RS-232 / RS-485 / RS-422
- Comunicació amb monitors energètics: RS-485
- Sortides control auxiliars: 4 relès lliures de potencial, 6A

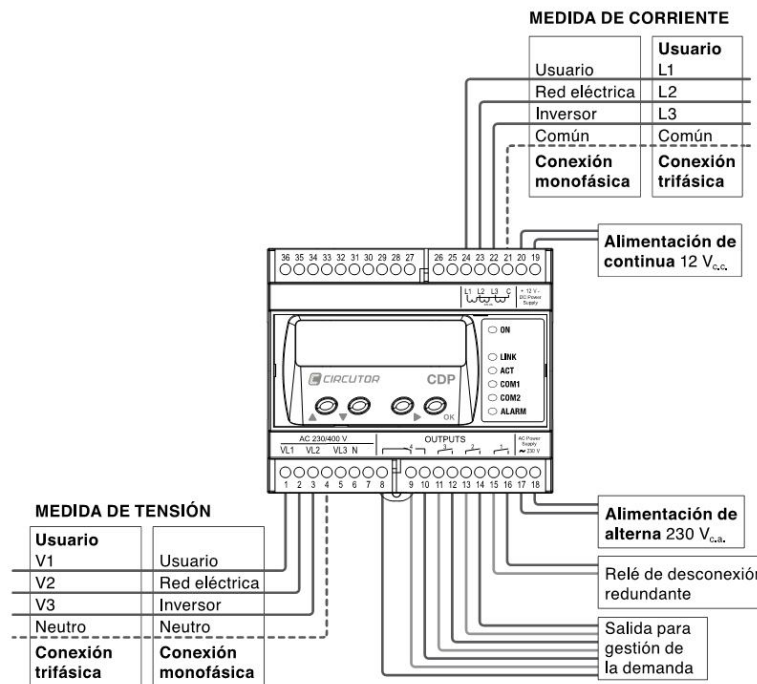


Fig. 4.12 Esquema de connexió del CDP

#### 4.2.4. Comptador Energia

S'han de instal·lar 3 comptadors d'energia, 1 per a conèixer la PSF, 1 per a conèixer el consum de la instal·lació, i 1 per a conèixer el que es consumeix de la xarxa pública. Per a obtenir informació sobre l'energia que es consumeix (Potència · unitat de temps), és necessari conèixer la tensió del circuit i la intensitat que hi circula. Per tant, l'equip disposa de 2 elements de mesura:

- Transformador toroïdal per a mesurar el corrent.
- Terminals per a mesurar la tensió.

Al ser una instal·lació trifàsica fan falta 3 mesures de corrent i 3 mesures de tensió, i la connexió amb l'equip s'ha de fer de forma correlativa, sense creuar fases (Fig. 4.13).

L'equip és capaç d'obtenir totes les dades relatives a l'energia que hi circula i guardar-les en una base de dades interna. L'equip disposa d'un panell de control per a que l'usuari pugui consultar ràpidament els paràmetres que necessiti. Per a la connexió amb el CDP l'equip disposa de comunicació RS-485 mitjançant el protocol MODBUS.

S'ha seleccionat el model CVM-MINI de CIRCUTOR. Aquest monitor es troba en el mercat molt fàcilment amb gran disponibilitat. Tot i que hi hagin equips més econòmics al mercat, la relació qualitat-preu d'aquest equip és bona, i la facilitat d'integrar en un únic fabricant la monitorització i el control permet tenir un únic interlocutor i evitar problemes de configuració i compatibilitat d'equips.

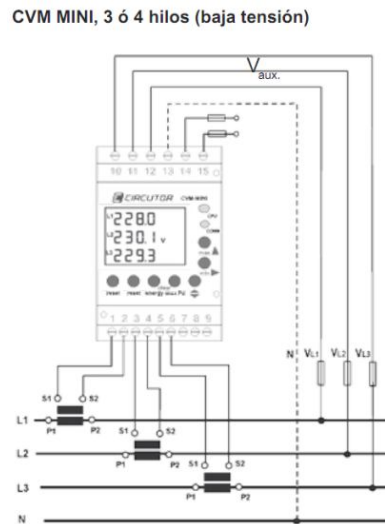


Fig. 4.13 Esquema de connexió del comptador CVM-MINI

## 5. Impacte Mediambiental

Aquest és un projecte de producció d'energia a través d'una font renovable, i per tant, beneficiós pel medi ambient. Segons els càlculs realitzats, en un any la ISF produeix un total de 7459KWh, dels quals 5343KWh s'aprofiten pel consum de les càrregues connectades a la instal·lació. Segons un informe de la Generalitat de Catalunya [7], per cada KWh consumit es generen 181g de CO<sub>2</sub> que s'alliberen a l'atmosfera. Fent un càlcul ràpid, la ISF del projecte estalviaria cada any l'alliberament de 967Kg de CO<sub>2</sub> cap a l'atmosfera, pràcticament 1 tona de CO<sub>2</sub>, degut a la no producció d'energia des de centrals tèrmiques, nuclears o d'altres energies no renovables.

Tret d'aquest fet tan obvi, com és la producció d'energia "neta", hi ha altres factors positius pel medi ambient i la sostenibilitat. Un aspecte important és que la producció d'Energia Solar Fotovoltaica és totalment silenciosa, per tant no produeix contaminació acústica. També és un element que s'integra perfectament en l'edificació actual, ubicant-los a les cobertes dels edificis. Gràcies a aquesta integració, a diferència d'altres energies alternatives, com la eòlica, l'energia solar fotovoltaica no afecta a les migracions d'algunes espècies d'aus. Un altre característica important de la PSF per autoconsum, és la descentralització de la producció. Amb un producció distribuïda s'alliberen recursos energètics de les grans centrals productores, i es disminueix la necessitat de distribució. Per tant, es redueix l'estesa del cablejat elèctric d'alta i mitja tensió, amb els grans problemes mediambientals que comporta.

Tot i aquesta sèrie d'avantatges inqüestionables, l'Energia Solar Fotovoltaica també té aspectes negatius mediambientalment. L'extracció del Silici és el menys preocupant, ja que es disposa de manera molt abundant al planeta Terra. Més perillosa és la utilització de productes tòxics i cancerígens com és el arsènic i el cadmi, elements utilitzats per a la fabricació dels panells solars. Per a la fabricació dels panells solars es fabrica un material anomenat polysilici, que genera desfets líquids que es poden transformar en àcids i gasos contaminants. El residu que queda després de la vida útil d'un panell solar és altament contaminant. Es calcula que avui en dia es pot reciclar un 95% dels elements del panell solar, i possiblement, quan sigui necessari reciclar-ho, la tecnologia haurà avançat suficient com per a ampliar aquest rati.

El problema es troba en com assegurar la qualitat mediambiental del procés de producció i de reciclatge dels panells solars. Països subdesenvolupats són actualment abocadors d'elements elèctrics i electrònics altament contaminants, i la gestió del residu que es fa és totalment injusta, posant en perill la salut i el medi ambient de la seva població.



## 6. Conclusions.

Aquesta memòria resumeix el treball realitzat durant tot el projecte.

S'han estudiat diferents escenaris d'instal·lacions, realitzant càlculs de les produccions per a cadascun d'ells. S'ha estudiat la viabilitat de tots ells i l'amortització i període de retorn. Finalment s'ha escollit una de les solucions i s'ha dimensionat la instal·lació amb gran detall per a poder portar la instal·lació a terme.

El període de retorn de la inversió no és massa favorable. Si els motius de fer la inversió són purament econòmics no es pot dir que sigui un gran negoci. El fet que el cap de setmana no es treballi resta rendiment al sistema, que està deixant de produir energia quan té capacitat de fer-ho. Tot i això, s'estima que cada any el preu dels panells baixa un 20%. Per tant, en 2 o 3 anys l'amortització de la inversió ja pot ser força interessant.

El futur proper del sector actualment és incert. La tecnologia ja és suficientment robusta, i té grans possibilitats de millora, amb el continu abaratiment dels costos i la millora de l'eficiència dels panells. A més a més, apareixen noves oportunitats com són el vehicle elèctric, que combinen molt bé amb aquesta tecnologia. Només falta que l'administració central no posi més pals a les rodes d'aquest nou escenari energètic. Certament, el futur de la producció energètica del país té molt a veure amb l'energia solar, i aquest projecte és una mostra de la seva viabilitat tècnica i econòmica.



## 7. Referències.

- [1] Reconsidering the Economics of Photovoltaic Power - Bloomberg New Energy Finance
- [2] Solar Photovoltaics Competing in the Energy Sector, W. Hoffmann (EPIA), PVSEC Hamburg, September 2011
- [3] Producción Solar Fotovoltaica por Estaciones. UNEF 2012. Curso Energía Solar Fotovoltaica. Ambientum
- [4] Photovoltaic Geographical Information System. European Commission Joint Research Center Ispra, Italia.
- [5] Servicio de Banco Nacional de Datos Climatológicos. Agencia Estatal de Meteorología. Departamento de Producción
- [6] Reglament Electrotècnic de Baixa Tensió. RD 842/2002
- [7] Guia pràctica pel càlcul de l'efecte hivernacle. Oficina Catalana del Canvi Climàtic. Generalitat de Catalunya