

Treball Final de Grau

Estudi: Doble titulació GETI - ADE

Títol: Instal·lació fotovoltaica d'autoconsum per a l'Escola Politècnica Superior

Document: 1-Memòria i Annexos

Alumne: Nicolas Masset Fabian

Tutor: Albert Figueras Coma

Departament: Enginyeria elèctrica, electrònica i automàtica

Àrea: Enginyeria de sistemes i automàtica

Convocatòria: Setembre 2020

Índex

1	Introducció	1
1.1	Antecedents.....	1
1.2	Objecte.....	1
1.3	Especificacions i abast.....	2
1.3.1	Especificacions.....	2
1.3.2	Abast	2
2	Estat de l'art.....	3
2.1	Necessitats energètiques	3
2.2	Transició energètica	6
2.3	Evolució tecnològica del fotovoltaic.....	8
2.3.1	Evolució dels rendiments de les plaques fotovoltaïques	8
2.3.2	Economia d'escala del fotovoltaic.....	9
2.4	L'energia fotovoltaica a Espanya.....	9
3	Dades bàsiques de la instal·lació	11
3.1	Introducció	11
3.2	Localització i ubicació	11
3.3	Dimensionament.....	12
4	Memòria tècnica	13
4.1	Orientació i inclinació	13
4.1.1	Orientació	13
4.1.2	Inclinació	13
4.2	Descripció de la solució.....	14
4.3	Elements de la instal·lació.....	15
4.3.1	Panells fotovoltaïcs	15
4.3.2	Inversor.....	17
4.3.3	Estructura de suport i ancoratge	19
4.3.4	Cablejat	19
4.3.5	Aparells elèctrics de protecció	20

4.3.6	Instal·lació posada a terra.....	20
5	Termini d'execució	21
5.1	Tasques.....	21
5.2	Esquema de Gantt	22
5.3	Beneficis de la planificació	23
6	Resum del pressupost.....	25
7	Justificació de preu.....	27
8	Conclusions	29
9	Llistat dels documents del projecte.....	31
10	Webgrafia.....	33

TAULA DE FIGURES

Figura 1:	Consum energètic espanyol	4
Figura 2:	Evolució del preu del panell solar fotovoltaic	9
Figura 3:	Inclinació i orientació de les plaques	14
Figura 4:	Diagrama de Gantt	22

INDEX DE TAULES

Taula 1:	Consum energètic mundial (CM) i Espanyol (CE).....	4
Taula 2:	Importació de combustibles fòssils	5
Taula 3:	Localització geogràfica.....	11
Taula 4:	Criteris per escollir ubicació	11
Taula 5:	Potència per instal·lar sense excedent.....	12
Taula 6:	Elements dels subcamps.....	14
Taula 7:	Especificacions estàndards de la placa fotovoltaica (25°)	15
Taula 8:	Especificacions mecàniques de la placa.....	16
Taula 9:	Característiques tèrmiques de la placa	16
Taula 10:	Certificacions i garanties de les plaques.	17
Taula 11:	Característiques d'entrada inversor (CC)	17
Taula 12:	Característiques de sortida inversor (AC).....	18
Taula 13:	Característiques mecàniques de l'inversor	18
Taula 14:	Característiques tèrmiques i sonores del inversor.....	18
Taula 15:	Certificacions i garanties de l'inversor	19
Taula 16:	Tasca 1 Operacions a realitzar.....	21

Instal·lació fotovoltaica d'autoconsum per a l'Escola Politècnica Superior

Taula 17: Tasques 2-11 operacions a realitzar.....	21
Taula 18: temps de muntatge tasques	22
Taula 19: Previsió final d'obra subcamps	23
Taula 20: Producció deguda a planificació.....	24
Taula 21: Justificació de preus.....	27

1 INTRODUCCIÓ

1.1 Antecedents

Avui en dia tots els particulars, empreses i entitats públiques són consumidors d'energia elèctrica, amb la qual cosa tots tenen un impacte mediambiental i una despesa energètica que, idealment, s'haurien de reduir. En la dècada del 2010, els efectes del canvi climàtic han incrementat considerablement i, com a conseqüència, la preocupació de la societat al respecte. En els pròxims anys, només es pot esperar que moviments, com el de la Greta Thunberg, agafin més importància en la societat i que a més a més, la Unió Europea endureixi les seves polítiques mediambientals forçant així les entitats públiques o privades a ser totalment sostenibles.

Una de les solucions per reduir aquest impacte mediambiental és consumint energia d'origen renovable, com per exemple, l'energia fotovoltaica. Únicament poden fer aquestes instal·lacions fotovoltaiques entitats que disposin de superfície disponible i lliure d'ombres. Durant els últims anys, ni aquells que tenien aquesta superfície disponible ho contemplaven, ja que l'elevat preu de les plaques i, sobretot, les polítiques vigents imposaven un impost que impossibilitava la rendibilitat de la instal·lació.

Avui en dia, per qüestions de tecnologia i economies d'escala, el preu de les plaques fotovoltaiques s'ha reduït més d'un 80% en la última decada i, a més a més, el 5 d'abril de 2018 es va derogar l'impost al Sol (Reial Decret 244/2019), amb la qual cosa, avui en dia, a més de reduir l'impacte mediambiental, instal·lar plaques fotovoltaiques és una inversió amb una rendibilitat econòmica considerable.

A l'EPS ja existeixen dues instal·lacions fotovoltaiques: la primera de 15kWp instal·lada l'any 2003 a l'edifici del departament d'Enginyeria Química finançada pel projecte Universol, i l'altre instal·lació de 3 kWp feta l'any 2017 amb motius de recerca pel grup de recerca EXIT i ubicada a la coberta l'edifici PIV.

1.2 Objecte

El present projecte té per objecte el disseny tècnic d'una instal·lació fotovoltaica per l'Escola Politècnica Superior, analitzar-ne la viabilitat econòmica i avaluar la reducció de la petjada mediambiental que suposa.

Per fer el dimensionament de la instal·lació es fa un estudi previ analitzant diferents opcions d'instal·lacions fotovoltaiques segons la tecnologia de plaques, potència instal·lada, ubicació, orientació i inclinació.

1.3 Especificacions i abast

1.3.1 Especificacions

La instal·lació fotovoltaica dissenyada ha de maximitzar la seva rendibilitat i ha de tenir una garantia de mínima de 20 anys. L'estructura que subjecta les plaques ha de ser lleugera i d'inclinació que maximitzi la capacitat productiva de la superfície disponible en coberta.

1.3.2 Abast

En aquest projecte s'inclou:

- Comparativa de les diferents tecnologies de plaques i de transformació disponibles al mercat.
- Comparativa de diferents inclinacions per tal de maximitzar la capacitat productiva de la coberta disponible.
- El disseny i dimensionament de la instal·lació fotovoltaica per tal que compleixi la normativa vigent.
- Anàlisi d'ombres.
- Anàlisi econòmic de la instal·lació.
- Quantificació anual de la reducció d'emissions de CO₂ degudes al consum d'energia renovable.

Aquest projecte exclou:

- L'anàlisi mecànic de l'estructura metàl·lica que subjecta les plaques fotovoltaïques.
- Anàlisi de cicle de vida de la instal·lació

2 ESTAT DE L'ART

En aquest capítol s'exposen:

- Les necessitats energètiques creixents al planeta i a Espanya, l'urgència d'una transició energètica per tal de deixar enrere el consum de combustibles fòssils i el seu nefast impacte sobre el medi ambient.
- L'evolució i les millores tecnològiques del fotovoltaic en els últims 10 anys
- El recorregut del fotovoltaic a Espanya.

2.1 Necessitats energètiques

L'ésser humà, arreu del planeta, per desenvolupar la seva activitat, necessita energia majoritàriament en dues formes: elèctrica i calorífica. Des de la Revolució Industrial, l'energia emprada ha sigut, majoritàriament, obtinguda a partir de combustibles fòssils. La combustió d'aquests combustibles emet diversos gasos nocius per la salut humana, un d'ells el CO₂, que a més de ser perjudicial per la salut és un dels gasos responsable de l'efecte hivernacle.

Les investigacions i dades que proporcionen els científics sobre les emissions de CO₂ i l'efecte hivernacle han conduït a les Nacions Unides a interessar-se'n. Segons la Convenció Marc de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic (CMNUCC), el canvi climàtic es defineix com "una variació en el clima atribuït directe o indirectament a l'activitat humana, que altera la composició de l'atmosfera mundial i que es suma a la variabilitat natural del clima observada durant períodes de temps comparables".

El mal ús dels recursos naturals, la falta d'una política ambiental i l'ús irresponsable que l'ésser humà fa de la natura l'ha portat a encarar-se a diferents escenaris, com el desglaç de l'Àrtic, la pujada del nivell del mar, fenòmens meteorològics extrems, precipitacions torrencials, sequeres i danys en les collites, riscos en la nostra salut... Totes aquestes situacions ja s'estan vivint. Segons el Grup Intergovernamental sobre el Canvi Climàtic de l'Organització de les Nacions Unides (GIECC), els pròxims anys, la situació anirà empitjorant, ja que si no es posa fre a les emissions de CO₂, la temperatura mitjana global anirà augmentant ràpidament.

Per tal de posar fre a les emissions de CO₂ s'ha de fer una urgent transició energètica reduint el consum d'energies fòssils i orientant-lo en consum d'energia verda. Per tal de fer-ho és imprescindible que l'energia consumida sigui elèctrica, ja que és clau per ser transportada des de la seva producció fins al seu lloc de consum.

En la Taula 1 es representa el consum energètic d'Espanya (CE) i el consum mundial (CM) en TWh. Aquest consum és total, és a dir, agrupa el consum d'energia elèctrica i calorífica.

Any	CE	CM	Any	CE	CM
2000	1.417	116.473	2010	1.488	149.363
2001	1.454	117.499	2011	1.465	151.650
2002	1.498	120.038	2012	1.462	154.034
2003	1.549	124.268	2013	1.365	156.025
2004	1.620	129.870	2014	1.335	158.115
2005	1.656	133.402	2015	1.386	158.601
2006	1.650	137.385	2016	1.397	159.567
2007	1.673	141.094	2017	1.469	162.471
2008	1.618	142.809	2018	1.469	166.159
2009	1.487	141.613	2019	1.451	167.219

Taula 1: Consum energètic mundial (CM) i Espanyol (CE)

Tal com podem observar en els últims 20 anys, el consum energètic mundial incrementa en mitjana 1.84% anualment, entre l'any 2010 i el 2019 augmentat un total de 43.56%. En canvi, a Espanya, podem veure que el consum energètic no té un creixement constant sinó que té alts i baixos, però dintre d'uns marges (1400-1700)TWh/any.

L'any 2019 el consum energètic d'Espanya representa únicament 0.87% del consum energètic mundial i aquesta és la raó per la qual s'han representat aquestes dades en la Taula 1 i no en gràfic.

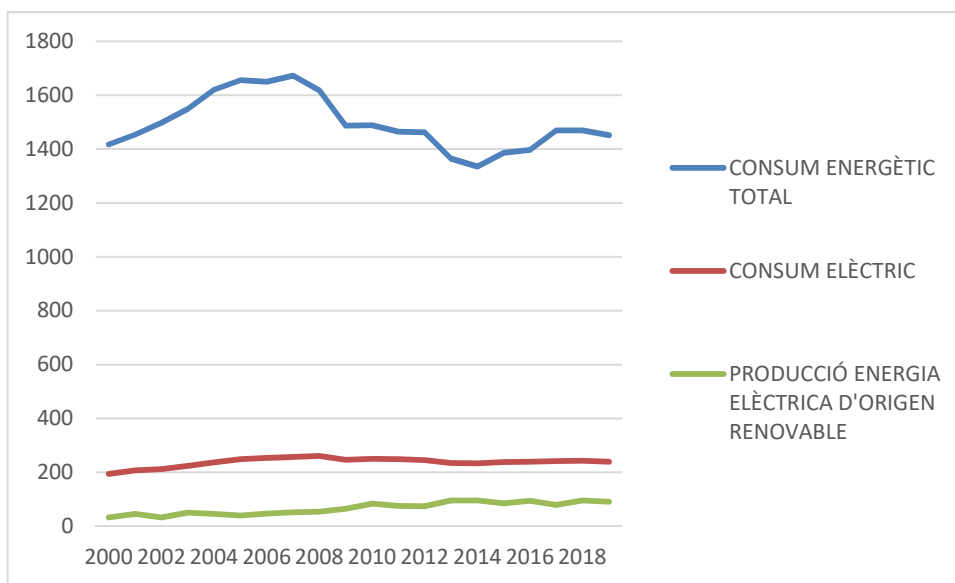


Figura 1: Consum energètic espanyol (TWh)

En la Figura 1 es pot observar l'evolució del consum energètic espanyol al llarg dels anys, però també es pot observar quina quantitat de l'energia consumida a Espanya és elèctrica i quina quantitat d'aquesta energia és d'origen renovable. En aquest gràfic, s'observa que Espanya, durant els últims 20 anys, ha augmentat considerablement la seva producció d'energia elèctrica d'origen renovable: que l'any 2019 representa un 38% de l'energia elèctrica

produïda en front a un 17% l'any 2000. També queda en evidència que l'energia elèctrica consumida és gairebé constant durant els últims 20 anys, el que significa que únicament el sector de la producció elèctrica està fent la transició energètica, a més, l'energia elèctrica representa ser entre 13.7 i 17.47% del total d'energia consumida. L'energia elèctrica consumida a Espanya, únicament, representa un 16.5% de l'energia total consumida; considerant que el 38% d'aquesta energia elèctrica prové de fonts renovables, el consum d'energia renovable a Espanya representa tant sols un 6.27% del consum energètic total.

Un cop posada aquesta dada en evidència queda clar que és impossible reduir les emissions de CO₂ i l'ús de l'energia d'origen fòssil únicament amb una transició energètica i que per tant, s'ha d'acompanyar la transició energètica amb una transició cultural que faci disminuir el consum i l'optimització d'aquest per tal que minimitzi les emissions de CO₂ que comporta.

El fet que el consum d'energia a Espanya sigui principalment d'origen fòssil també comporta un inconvenient del qual no es sol parlar i aquest és econòmic. Espanya no és un territori en el qual els combustibles fòssils abundin com a matèria primera, i com a conseqüència és extremadament dependent d'altres països i dels preus que imposen. Com es pot observar en la Taula 2, Espanya, al 2019 és el segon importador de cru de petroli i el cinquè de gas natural a Europa, aquest fet és un incentiu addicional per portar a terme una transició energètica i disminuir així la dependència energètica i per tant econòmica.

	Cru de petroli(Mt)	Gas Natural(Bcm)
Bèlgica	33,4	19,1
República Txeca	7,7	9,5
França	48,8	44,0
Alemanya	86,0	89,3
Itàlia	64,7	70,6
Països Baixos	64,4	2,7
Polònia	26,9	15,0
Portugal	12,6	6,2
Romania	9,7	3,2
Espanya	66,3	36,0
Suècia	16,0	1,1
Regne Unit	7,4	39,3
Noruega	-63,5	-113,3
Turquia	30,8	44,7

Taula 2: Importació de combustibles fòssils

2.2 Transició energètica

En el subcapítol anterior queda clar que la transició energètica ja no és una opció, sinó una obligació i que la verdadera pregunta és com s'ha de dur a terme i quina tecnologia utilitzar.

Tal com hem vist anteriorment, la transició energètica ha d'anar acompanyada d'una transició cultural de reducció del consum. Tot i així, a més de reduir el consum, s'ha de canviar la seva naturalesa. La transició energètica a més de contemplar incrementar la producció d'energia verda, també ha de fomentar l'ús d'energia elèctrica com a energia principal per deixar de consumir altres energies i fomentar l'ús de les noves tecnologies, com per exemple: el vehicle elèctric o el de pila d'hidrogen, vitroceràmica, bombes de calor, aerotermia, etc...

Les energies renovables que poden substituir a les tradicionals per generar energia elèctrica són les següents:

- **Energia eòlica:** és l'energia obtinguda del vent, és a dir, l'energia cinètica generada per l'efecte dels corrents d'aire. Actualment, l'energia eòlica és utilitzada principalment per a produir energia elèctrica mitjançant aerogeneradors amb aspes. Aquest fet és la desavantatge més notable de l'energia eòlica, les aspes tenen un component visual i sonor que no és acceptat, a més de la necessitat d'un espai considerable necessari per poder instal·lar un aerogenerador. Aquests últims punts estan en camí de ser solucionats per una empresa espanyola anomenada VORTEX, que està desenvolupant un model d'aerogenerador sense aspes. Aquest captura l'energia del vent quan entra en ressonància a causa d'un efecte aerodinàmic denominat despreniment de vòrtex. En la mecànica de fluids, quan el vent passa a través d'un cos rom, el flux es modifica i genera un patrocini cíclic de vòrtex. Una vegada que la freqüència d'aquestes forces és prou propera a la freqüència estructural del cos, aquest comença a oscil·lar i a entrar en ressonància. Això també es coneix en anglès com Vortex Induced Vibration (VIV). Aquesta oscil·lació és aprofitada per un alternador que transforma l'energia mecànica en energia elèctrica.
- **Energia hidràulica:** és una font d'energia que s'obté a partir de corrents d'aigua, es pot aprofitar l'energia mecànica del moviment de l'aigua de corrents horitzontals, o també en caigudes d'aigua, en vertical. L'energia mecànica de l'aigua es transforma en energia elèctrica mitjançant una turbina. Les centrals hidràuliques que es construeixen per tal d'aprofitar aquesta energia tenen moltes avantatges, com per exemple, la seva durada de vida. Una central hidràulica pot ser de bombeig i, així, a més de ser una font d'energia pot ser una reserva, fent la mateixa funció que una bateria. Les centrals hidràuliques també tenen inconvenients, un dels quals és que pot provocar danys al medi ambient a la seva construcció i pertorbar els ecosistemes aquàtics. A més, les dimensions d'una central hidràulica són considerables i han

d'estar situades geogràficament en un punt clau on hi hagi un flux d'aigua. Em aquest apartat, també es pot incloure l'energia mareomotriu, aquesta aprofita l'energia de l'aigua en les mareas, però és poc utilitzada degut al seu alt cost i dificultat d'implementació.

- **Energia geotèrmica:** és l'energia calorífica emmagatzemada a l'interior de la Terra. Es divideix en dues maneres de treballar: baixa temperatura i alta temperatura. La geotèrmia de baixa temperatura aprofita l'energia acumulada a una profunditat propera a 150m per obtenir unes temperatures entre 30 i 90°C; s'utilitza generalment per cobrir climatització/calefacció o, fins i tot, aigua calenta sanitària. En canvi, la geotèrmia d'alta temperatura, aprofita l'energia acumulada a més profunditat per assolir unes temperatures superiors a 150°C, utilitza aquesta energia calorífica per transformar-la en energia elèctrica mitjançant una turbina.
- **Energia solar:** pot ser aprofitada de dues maneres, una per escalfar i l'altre per produir electricitat. La primera utilitza plaques que anomenem plaques tèrmiques usades per escalfar aigua. També es pot aprofitar la calor solar per assolir temperatures més elevades, s'anomena energia solar tèrmica d'alta temperatura. utilitza superfícies més elevades i/o incurvades per captar la calor i concentrar-la en un punt, aquesta tecnologia sol arribar a temperatures superiors a 500°C. La segona manera d'aprofitar l'energia del Sol és amb plaques fotovoltaïques, que mitjançant l'efecte fotoelèctric transformen la lluminositat que hi incideix en energia elèctrica de corrent continu, que llavors és transformada en corrent altern per la seva utilització. L'avantatge de l'energia fotovoltaica és que la distància entre productor d'energia i consumidor pot ser zero, ja que el mateix consumidor pot instal·lar plaques fotovoltaïques a la seva coberta i tenir un inversor per transformar l'energia i fer-la servir.
- **Energia de fusió nuclear:** consisteix en l'energia després d'una reacció en la qual dos nuclis atòmics es converteixen en un nucli més pesant. Aquesta reacció va acompanyada de l'emissió de partícules i produeix una gran emissió d'energia en forma de rajos gamma i d'energia cinètica de les partícules emeses. Aquesta emissió d'energia és apreciable amb la disminució de massa per la fórmula d'Einstein $E=mc^2$. Aquesta tecnologia encara està en estudi, el projecte que més avançat està és el projecte del ITER en el qual s'associen 35 països, nombrosos països europeus, Japó, Corea del sud, Rússia, Xina, Índia i Estats Units.

És de vital importància, a l'hora de triar quina energia renovable aprofitar, tenir en compte quines són les predilectes en funció de la ubicació. Per exemple, un país que aprofita molt bé els recursos dels quals disposa és Islàndia, al tenir un territori amb activitat volcànica té, a relativa poca profunditat, unes temperatures de subsol que permeten realitzar centrals

geotèrmiques d'alta temperatura i així produir quantitats importants d'energia elèctrica. També és un país on els recursos hidràulics són molt abundants i aprofitats pels islandesos mitjançant instal·lacions hidràuliques. L'any 2018 produïen prop d'un 70% de l'energia elèctrica mitjançant centrals hidràuliques i, el 30 %, restant amb centrals geotèrmiques d'alta temperatura, essent així 100% de l'electricitat islandesa renovable.

Espanya és un país en el qual abunden determinats recursos, principalment solars i eòlics, que es poden aprofitar mitjançant les tecnologies explicades anteriorment. Malauradament, tal com s'explica més endavant, els diferents governs que hi ha hagut al poder han dut a terme polítiques i lleis que, en comptes ves d'incentivar l'ús d'aquestes energies les ha penalitzat amb lleis impositives que anul·laven la seva rendibilitat.

2.3 Evolució tecnològica del fotovoltaic

En l'evolució tecnològica del fotovoltaic es poden diferenciar dos àmbits: l'evolució dels rendiments de les plaques i l'evolució del procediment de fabricació d'aquestes gràcies a economies d'escala.

2.3.1 Evolució dels rendiments de les plaques fotovoltaiques

En l'Annex L es pot veure un gràfic realitzat per *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) en el qual surten representats els rendiments assolits per diferents tecnologies fotovoltaiques al llarg dels anys. S'ha de posar especial atenció sobre les cel·les anomenades *multicrystalyne* (policristal·lines en català), ja que aquestes són les escollides per realitzar aquest projecte, decisió justificada en l'Annex A. En el gràfic podem apreciar que, des de l'any 1983 fins al 2004, s'han dut a terme nombroses investigacions millorant el rendiment de les plaques de 13 fins a 18% i, que entre el 2005 i el 2014, no s'han realitzat més avenços. En canvi, durant els últims anys s'ha arribat a assolir un rendiment de 23% en plaques policristal·lines. Amb aquestes dades es pot suposar que les investigacions seguiran realitzant millores i que en els pròxims anys.

2.3.2 Economia d'escala del fotovoltaic

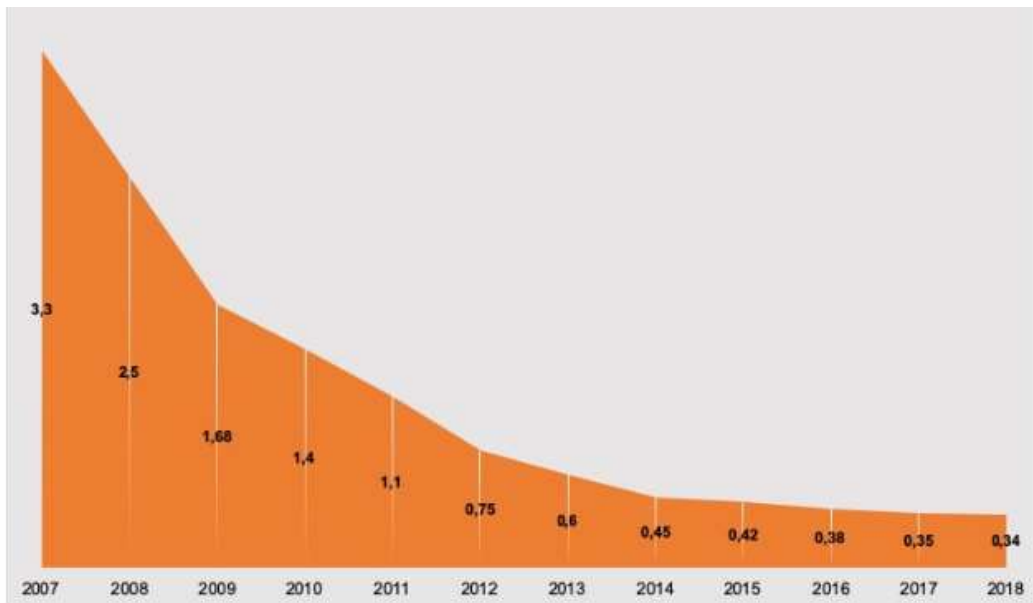


Figura 2: Evolució del preu del panell solar fotovoltaic

Com es pot observar en la Figura 2, la disminució del preu de les plaques fotovoltaïques ha sigut molt considerable, entre els anys 2007 i 2018, el preu per Wp ha passat de 3,3 a 0,34€, és a dir, una disminució de 89,6%; tot això gràcies a l'avenç tecnològic de l'extracció del material primari i, sobretot, a l'economia d'escala. A l'abril del 2020, el Wp de material provinent de Xina està a preu de 0,22€, així doncs, podem observar que els preus segueixen baixant, tot i que aquestes últimes davallades són, en part, a causa de lluites comercials entre proveïdors que, des de l'eliminació de mesures europees antidúmping, lluiten en preus com mai ho havien fet abans.

2.4 L'energia fotovoltaica a Espanya

Tal com s'ha esmentat anteriorment, Espanya és un país en el qual un dels recursos més abundants és la irradiació solar i que aquest s'ha d'aprofitar degudament. Espanya sempre ha sigut un bon candidat per a la construcció i desenvolupament d'instal·lacions d'energia solar fotovoltaica. El nostre país va ser un dels primers països del món en investigació i desenvolupament d'energia solar (fotovoltaica i termosolar) i, com a conseqüència, moltes empreses espanyoles són constructores i tecnòlogues que treballen arreu del món.

Malauradament, l'avenç de l'energia solar fotovoltaica ha sigut molt alentit a la península els darrers anys. Per tal de saber per què, s'ha de fer un breu repàs del Reial Decret 900/2015 aprovat el 10 d'octubre, comunament anomenat impost al Sol, que ha jugat un paper fonamental en el desenvolupament d'aquesta indústria a Espanya.

El Reial Decret 900/2015 imposava un impost al propietari i usuari d'una instal·lació fotovoltaica. Aquest impost estava dividit en dues parts una fixa i una variable. La fixa depenia de les dimensions de la instal·lació fotovoltaica instal·lada, de la potència contractada i de la tarifa escollida. La variable depenia de la quantitat d'energia produïda per la instal·lació fotovoltaica amb un preu €/kWh que també depenia de la potència contractada i de la tarifa. Determinats propietaris i usuaris podien ser exemptes de l'impost, més precisament els que tenien potència contractada inferior a 10kW o bé estaven ubicats en zones estratègiques en el mercat de l'energia com venen a ser les illes Balears, illes Canàries, Ceuta i Melilla. Això últim avantatjava els particulars respecte els grans consumidors però anul·lava la rendibilitat dels inversors i consumidors més importants. Per tal de conscienciar l'impacte del Reial Decret en l'Annex H es duu a terme el càlcul de la rendibilitat que hagués tingut la instal·lació ideada en aquest projecte l'any 2016, amb els costos impositius del Reial Decret.

El dia 5 d'octubre del 2018 mitjançant el Reial Decret 15/2018 , la nova regulació impulsada per l'executiu es basa en tres principis: es simplifiquen els tràmits burocràtics i tècnics requerits, com la inscripció en un registre per a aquelles instal·lacions no superiors a 100 quilowatts; es reconeix el dret a l'autoconsum compartit per part d'un o diversos consumidors, la qual cosa permet aprofitar les economies d'escala; i es reconeix el dret a autoconsumir energia elèctrica sense peatges ni càrrecs i queda, per tant, derogat el càrrec que imposava a l'autoconsumidor per l'energia generada i consumida en la seva pròpia instal·lació, l'anomenat "Impost al Sol".

Els documents a entregar per tal de portar a terme els tràmits burocràtics i tècnics s'adjunten a l'Annex O en funció de quin règim vol escollir la EPS.

3 DADES BÀSIQUES DE LA INSTAL·LACIÓ

3.1 Introducció

La planta solar fotovoltaica que es dissenya en aquest projecte té com a objectiu generar energia elèctrica d'origen renovable per autoconsum, i així reduir tant la petjada mediambiental com despesa energètica de l'Escola Politècnica Superior.

3.2 Localització i ubicació

La instal·lació projectada es localitza en l'Escola Politècnica Superior de la Universitat de Girona, a la Taula 3 es detallen les dades de la localització.

Ciutat	Girona
Codi Postal	17003
Carrer	C/ de la Universitat de Girona, n°6
Coordenades geogràfiques	Longitud = 2° 49' 54" Latitud 41° 57' 47"

Taula 3: Localització geogràfica

L'Escola Politècnica Superior consta de 5 edificis : PI,PII,PIII,PIV i Tallers

Edifici	Lliure d'ombres	Facilitat d'instal·lació	Espai disponible en coberta
PI	parcialment	no	Parcialment
PII	parcialment	relatiu	sí
PIII	parcialment	sí	sí
PIV	sí	sí	majoritàriament
Tallers	no	no	no

Taula 4: Criteris per escollir ubicació

Tal com es pot observar en la Taula 4, els criteris que s'han tingut en compte per seleccionar en quina coberta ubicar la instal·lació són els següents:

- Les ombres existents en la coberta per tal de maximitzar la producció energètica de la instal·lació.
- La facilitat d'instal·lació, per reduir els costos de construcció.
- L'espai disponible en la coberta per fer possible la instal·lació.

L'edifici de Tallers queda completament descartat degut a les ombres que li projecten els arbres del bosc Montilivi. En la mateixa situació es troba l'edifici PIII, que queda descartat per les ombres que li projecta l'edifici PI. Aquest últim edifici, en canvi, queda descartat per les dificultats d'instal·lació, ja que té la coberta de fàcil accessibilitat ocupada pel projecte fotovoltaic d'Universol. Per tant, a l'hora d'escollir en quina de les cobertes s'ubica la instal·lació, s'han contraposat les ombres en les cobertes dels dos edificis restants (PII i PIV), mitjançant el programari PVsyst.

Aquest anàlisi d'ombres, que es pot consultar a l'Annex K, conclou que la coberta de l'edifici PIV és la més ideal per ubicar la instal·lació fotovoltaica que s'estudia en aquest projecte.

3.3 Dimensionament

El factor al que s'ha donat més importància a l'hora de dimensionar la instal·lació és la rendibilitat econòmica de la instal·lació. Per maximitzar la rendibilitat s'ha de dimensionar una instal·lació que no produeixi més energia de la que es consumeix a l'instant; degut a l'excessiu preu de les bateries i al baix preu de compensació que ofereixen les comercialitzadores energètiques per l'energia reinjectada a la xarxa. A diferència de la immensa majoria dels consumidors d'energia, l'Escola Politècnica Superior té dades molt precises del seu consum, gràcies als seus comptadors Schneider que prenen dades cada 15 minuts. Creuant aquestes amb les dades de producció fotovoltaica mesurades per comptadors SMA d'una instal·lació de Palau-Saverdera (Alt Empordà, Girona) amb una orientació similar a la del edifici PIV, s'ha dut a terme un càlcul iteratiu per mesurar quina potència màxima es pot instal·lar sense que aquesta produeixi cap kWh excedent.

Com es pot observar en la Taula 5, els edificis que més potència poden instal·lar sense tenir excedent són els edificis PII i PIV, podent instal·lar 36,75 i 25,75 kW respectivament. Considerant que els dos edificis són alimentats pel mateix quadre general, s'ha escollit fer el disseny d'una instal·lació de 62.5kW.

Potència per instal·lar sense excedents					
Edifici	PI	PII	PIII	PIV	Tallers
Potència	10	36,75	3	25,75	5

Taula 5: Potència per instal·lar sense excedent

La Taula 5 representa els resultats del càlcul iteratiu mencionat anteriorment, aquest càlcul s'adjunta amb el projecte en un document XLS degut a la seva mida (35.000 files).

4 MEMÒRIA TÈCNICA

4.1 Orientació i inclinació

4.1.1 Orientació

L'edifici PIV com es pot observar en el plànol 02-emplaçament, té una orientació de 29° sud-oest, per tal de facilitar la instal·lació i optimitzar l'espai de la coberta, les plaques s'orientaran segons la lineal descrita per l'edificació (29°sud-oest).

4.1.2 Inclinació

A l'hora de triar la inclinació per les plaques s'han tingut en compte tres factors:

- Ombres entre plaques: per tal de minimitzar les ombres que produeixen les plaques fotovoltaïques entre elles, s'ha de triar l'angle d'inclinació més baix possible.
- Producció d'energia: la producció d'energia de les plaques depèn de la inclinació, tal com es pot observar en les taules de l'Annex E obtingudes de l'Atlas de Radiació Solar de Catalunya de ICAEN.
- El preu de l'estructura depèn de la inclinació, depenent de si aquesta última és estàndard o s'ha de personalitzar.

La EPS té un consum d'energia molt elevat (1.677.100kWh l'any 2018) els dos principals consumidors són els edificis PII i PIV, els quals l'any 2018 sumaven 1.003.269 kWh i, per tant, gairebé 60% del consum total de la EPS.

És cert que la EPS té el consum d'energia més elevat durant la seva activitat en les estacions de tardor, hivern i primavera, per tant, per fer coincidir un màxim el consum amb la producció, s'hauria de triar una inclinació d'entre 20 i 45°. Pel que fa el factor estructural, avui en dia, estan estandarditzades les inclinacions següents 5,10,15,20,25,30,35,40,45°, qualsevol inclinació que no sigui una d'aquestes suposa un cost addicional considerable. La idea de la instal·lació és que, en un futur, la Universitat de Girona la pugui ampliar, amb la qual cosa s'ha donat més importància a maximitzar la capacitat productiva de la coberta, decidint inclinar les plaques a 5°, que a més de ser el mínim que imposa el CTE HE5, és la inclinació que maximitza la capacitat productiva de la coberta, tal com es demostra en els càlculs de l'Annex D.

En la Figura 3 es pot observar la representació gràfica de la inclinació i l'orientació.

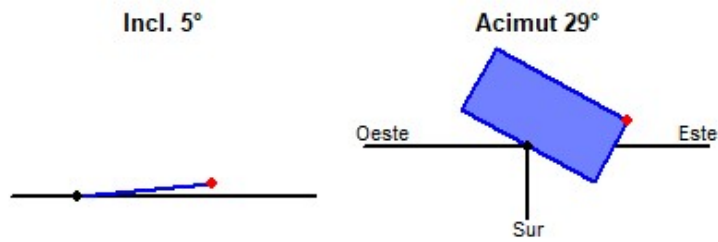


Figura 3: Inclinació i orientació de les plaques

4.2 Descripció de la solució

La instal·lació fotovoltaica es realitza a la coberta de l'edifici PIV. S'instal·len un total de 183 plaques fotovoltaiques PESC340W, s'agrupen en 10 subcamps, tal com és pot observar en el plànol 06-Esquema de principi.

Subcamp	Nº plaques(U.)	Secció (mm ²)	Longitud (m)	9V(5 Mòduls)	9V(6 Mòduls)
A	19	25	70,7	1,4	2
B	19	16	40	2,6	1
C	18	25	70,7	3,6	0
D	19	16	40	1,4	2
E	18	16	43,5	0	3
F	18	10	30	0	3
G	18	16	47	0	3
H	18	25	68	0	3
I	18	35	87	0	3
J	18	16	45	0	3

Taula 6: Elements dels subcamps

En la Taula 6, es pot consultar quantes plaques fotovoltaiques té cada subcamp, quina és la secció del cable que l'uneix amb l'inversor, la longitud d'aquest i, finalment, quins models d'estructura subjecten els panells fotovoltaics. Tant els subcamps A i B, com el C i el D, són contigus i aquesta és la raó per la qual, en la taula, al nombre d'estructures de 5 mòduls no és enter. Les estructures contigües es col·loca un kit SUNFER s15 d'unió. Les estructures de 5 mòduls van subjectades per 12 ancoratges químics i les estructures de 6 van subjectades per 14. Les estructures s'ubiquen a 10 cm del límit de la coberta, formen una inclinació de 5° i, per tal de es separen de 60 cm entre files. Tal com es pot observar en el plànol 08-Connexionat entre mòduls, en l'extrem positiu i negatiu de cada subcamp, s'ubica un connector mc4 per fer la unió amb el cablejat que ajunta el subcamp amb l'inversor. A l'inversor entren les 10 *strings* dels subcamps amb el cablejat que precisa la Taula 6 i en surt el cablejat tetrapolar de secció 120mm². Aquest cablejat porta fins al cofret de proteccions ubicat en la mateixa coberta. Cal mencionar, que la ubicació precisa del cofret a la coberta no està definida en el projecte deguda

la impossibilitat d'accedir a la coberta. En el cofret hi ha un magnetotèrmic i un diferencial tal com mostra el plànol 09-Esquema de proteccions. Del cofret surt el cablejat tetrapolar de 120mm² de secció que porta fins a la sala de quadres de l'edifici PII, en tot el recorregut està protegit per una safata de PVC de dimensions 100x60mm. El cablejat es connecta QGP.

4.3 Elements de la instal·lació

En aquest apartat es defineixen els elements usats en aquest projecte. Es dona més importància als elements principals elèctrics de les instal·lacions fotovoltaïques, és a dir els panells fotovoltaïcs i l'inversor dels quals s'exposen dades tècniques. D'aquests dos elements també s'adjunta la fitxa tècnica en el Annex N.

4.3.1 Panells fotovoltaïcs

Un cop s'ha fet la comparació entre diferents panells, que es poden consultar a l'Annex A s'ha seleccionat la placa fotovoltaïca de cel·les policristal·lines SUNPRO POWER SP340-72P. A continuació, s'exposen algunes característiques de la placa.

Especificacions estàndards (25°C)	
Potència pic màxima	340W
Tolerància potència	±3%
Tensió màxima del sistema	1000 V
Tensió circuit obert	46,5V
Intensitat de curtcircuit	9,42A
Eficiència cel·la	19,70%
Eficiència mòdul	17,50%

Taula 7: Especificacions estàndards de la placa fotovoltaïca (25°)

La potència pic de la placa és de 340 W. Per tant, per arribar a la potència de la instal·lació dimensionada en el subcapítol 3.3 (62.500W) es necessiten un total de 183 plaques que sumen una potència total de 62.220W.

La instal·lació de plaques fotovoltaïques es connecten en sèrie. Aquestes connexions s'anomenen *strings*, de l'anglès, files. Per saber quina quantitat màxima de plaques es poden connectar en sèrie i, per tant, com de llarg seran les *strings*, es fan servir dues dades de la Taula 7: la tensió màxima del sistema i la tensió de circuit obert; i una dada de la Taula 9: la variància del voltatge per temperatura (§). Si la instal·lació fos en paral·lel, també s'hauria de verificar que les intensitats sumades no sobrepassin la que admet l'inversor, al ser en sèrie, la intensitat màxima és de 9,42A i molt inferior als 20A màxims que permeten les entrades de l'inversor. Mitjançant la equació [I] es calcula el voltatge a la temperatura més desfavorable (Vdes) (-10°C). El resultat és 51,55V. Mitjançant l'equació [II] es calcula el nombre màxim de plaques

per *string* i aquest truncat és 19, per tant necessitarem un mínim de 10 *strings* per connectar les 183 plaques.

$$V_{des} = T_{co} \times \left(1 + \frac{\xi \times \Delta T}{100} \right) = 46,5 \times \left(1 + \frac{0,31 \times (25 - -10)}{100} \right) = 51,55V \quad [I]$$

$$\frac{\text{plaques}}{\text{string}} = \frac{\text{tensió màxima}}{\text{tensió circuit obert}} = \frac{1000V}{51,55V/\text{placa}} = 19,4 \quad [II]$$

Especificacions mecàniques	
Dimensions	1956mmx992mmx40mm
Pes	22 kg
Gruix del vidre	3,2 mm
Secció del cablejat incorporat	4 mm ²
Longitud del cablejat incorporat	0,9 m
Tipologia de cel·la	Policristal·lina
Dimensions de cel·la	156,75mmx156,75mm
Nº de cel·les	72

Taula 8: Especificacions mecàniques de la placa

Les dimensions de la placa fotovoltaica que importen són l'amplada i la llargària, que determinen la seva superfície. La placa seleccionada, tal com es pot observar en la Taula 8, és de 1956mm x 992mm, amb una superfície de 1,94 m². Si tenim en compte la inclinació de la placa (5°), escollida en l'Annex D, la superfície que ocupa una placa en planta és de 1,9329m², essent la diferència tant petita que la negligirem i considerarem que una placa ocupa 1.94m². Mitjançant aquestes dades de superfície i de pes podem calcular la càrrega per metre quadrat que suposa per a l'estructura de l'edifici.

$$\text{càrrega} = \frac{\text{massa}}{\text{àrea}} = \frac{22 \text{ kg}}{1.94\text{m}^2} = \frac{11.34\text{kg}}{\text{m}^2} \quad [III]$$

Com podem observar en l'equació [III] la càrrega per superfície que suposa la instal·lació d'una placa és de 11.34 kg per metre quadrat. Podem afirmar que la decisió presa en el subapartat 1.3.2 de no considerar les sol·licitacions que suposa la instal·lació fotovoltaica per l'estructura de la coberta, és acurada, ja que la càrrega que suposa és mínima.

Les dades de secció i longitud dels cables incorporats es fan servir per càlculs de caiguda de tensió en el Annex F.

Característiques tèrmiques	
Temperatura	45±2°C
Rang de temperatures	-40~85°C
Variància del voltatge amb la temperatura(ξ)	-0.31%/°C

Taula 9: Característiques tèrmiques de la placa

Instal·lació fotovoltaica d'autoconsum per a l'Escola Politècnica Superior

Les característiques de la Taula 9 són per comprovar que el rang de temperatures a les quals poden funcionar les plaques és suficient pel clima en el qual s'instal·la i, com podem veure, el rang és àmpliament suficient. També s'utilitza la dada de la variància de voltatge respecte la temperatura per realitzar els càlculs efectuats anteriorment en l'equació [I]

Certificacions i garanties	
Certificacions	ISO 9001,ISO 14001
Protecció	IP 67
Garantia	10 anys
Garantia de potència (10 anys)	Lineal 90,7%
Garantia de potència (25 anys)	Lineal 80,2%

Taula 10: Certificacions i garanties de les plaques.

Tal com es pot observar en la Taula 10, la placa escollida té la qualitat certificada pel ISO 9001 això és molt important per assegurar que la instal·lació sigui duradora. També està certificada per la gestió mediambiental (ISO 14001), això també és essencial, ja que una entitat, no únicament instal·la plaques fotovoltaïques per reduir les seves despeses energètiques, sinó també per reduir la seva petjada mediambiental. No té sentit instal·lar plaques fotovoltaïques que per ser construïdes han suposat una emissió de CO₂ més elevada que la que poden estalviar durant la seva vida útil.

4.3.2 Inversor

A continuació es presentaran les dades de l'inversor de la marca SMA model SUNNY TRIPOWER CORE1 STP 50-40 escollit en l'Annex B , ja que té millor aplicació en aquesta instal·lació i millor rendibilitat.

Característiques entrada (CC)	
Màxima potència	75000 Wp
Màxim voltatge d'entrada	1000 V
Nombre de MPPT entrada	6
Strings per MPPT	2

Taula 11: Característiques d'entrada inversor (CC)

A la Taula 11 podem veure que l'inversor, tot i ser de potència 50kW, té com a màxima entrada de potència 75.000Wp, tot i així, segons el CTE_DB_HE, la potència de l'inversor ha de ser, com a mínim 80% de la potència pic instal·lada. Per tant, tot i tenir aquesta potència màxima de 75kWp, per normativa, únicament es podrà instal·lar fins a 62.5kWp connectats a aquest inversor. Si canviés la normativa la EPS ha de ser conscient que amb el mateix inversor pot instal·lar 12,5 kWp més.

Característiques sortida (AC)	
Voltatge nominal	230-400 V
Freqüència	50
Intensitat	72,5
Fases	3+N
THD	3%
Eficiència	98,10%

Taula 12: Característiques de sortida inversor (AC)

Tal com es pot observar en la Taula 12, l'inversor proporciona voltatge i freqüència en acord amb els que s'utilitzen a Espanya. També ens dona l'eficiència de l'inversor. El THD (*Total Harmonic Distortion*) és baix i, amb això s'assegura que la corrent proporcionada per l'inversor no afecti als aparells alimentats pel mateix. Finalment, la intensitat de sortida de l'inversor 72,5A ens permet calcular la caiguda de tensió en corrent altern a l'Annex F.

Característiques mecàniques	
Dimensions	569mmx733mmx621mm
Pes	84 kg

Taula 13: Característiques mecàniques de l'inversor

Mitjançant les dades que ens proporciona la Taula 13, podem calcular la càrrega que suposa l'inversor i comprovar que també és menyspreable. La superfície que ocupa l'inversor és de 0.35m² i el pes de l'inversor és de 84 kg.

$$càrrega = \frac{massa}{àrea} = \frac{84 \text{ kg}}{0.35 \text{ m}^2} = \frac{237.72 \text{ kg}}{\text{m}^2} \quad [IV]$$

Aquesta càrrega és considerablement més elevada, però segueix essent insignificant per l'estructura de l'edifici. A més, únicament s'ubica un inversor i, per tant, aquesta càrrega serà única i puntual.

Característiques tèrmiques i sonores	
Valor màxim de humitat relativa	100%
Rang de temperatures	-25~60
Emissió sonora	<65 dB

Taula 14: Característiques tèrmiques i sonores del inversor

Tal com es pot veure en la Taula 14, l'inversor pot treballar sense problemes a les condicions climàtiques de l'emplaçament de la instal·lació. Si és cert que l'inversor té una emissió sonora que sobrepassa el límit establert per la zona de Campus Montilivi, per l'ordenança del Butlletí Oficial de la Província de Girona Núm. 2022. Tot i així, la dispersió sonora de l'element requereix un estudi acústic per una empresa professionalitzada degut a que l'emissió del so i les direccions d'aquesta són relativament complicades. I, per tant, es negligeix que l'emissió

sonora de l'inversor és prou rellevant com per preveure un aïllament sonor, encara més, quan es considera que és un dispositiu que únicament treballa durant les hores de sol.

Certificacions i garanties	
Certificacions	ISO 9001,ISO 14001,...
Protecció	IP 65
Garantia	5 anys

Taula 15: Certificacions i garanties de l'inversor

La Taula 15 podem comprovar que l'empresa SMA també compleix els ISO 9001 i 14001. S'adjunten aquestes certificacions en l'Annex M.

L'inversor compleix amb la protecció IP 65 i ha sigut triat així per reduir costos a l'hora de fabricar una caseta per ubicar i protegir l'inversor. És cert que si comparem la garantia de l'inversor amb la de les plaques fotovoltaïques observem que és molt inferior. Tot i així, SMA és una empresa amb una reputació excel·lent i ja té diversos dels seus inversors que amb més de 20 anys de funcionament segueixen operant. Per tant, no considerarem aquesta garantia de només 5 anys com a problemàtic.

4.3.3 Estructura de suport i ancoratge

L'estructura triada en el Annex C és el model 09V de la marca SUNFER, el qual és adient per les dimensions de la placa triada 72 cel·les. Aquest model té dos variants: un que pot subjectar 5 mòduls i un altre que en pot subjectar 6. Està adaptat per fer inclinacions estàndards 15 i 30°, però tot així pot agafar la inclinació escollida 5°. Per collar-la s'ha escollit l'ancoratge químic estructural realitzat sobre formigó de 12 mm de diàmetre i 105 mm de mm de longitud. S'adjunta el full d'informació d'aquestes estructures en l'Annex N

4.3.4 Cablejat

El material utilitzat per la transmissió de l'energia elèctrica en l'àmbit fotovoltaic sol ser de coure. Aquest medi transmissor acostuma a trobar-se en format de fils trenats anomenats cables. S'ha de dimensionar la secció del cablejat per tal de complir amb el màxim de caiguda de tensió (1,5%) admès per el reglament bt-40.

Es pot classificar el cablejat de la instal·lació en tres parts:

1. El cablejat de 0,9m de longitud i 4mm² de secció que ve incorporat amb la placa fotovoltaica.
2. El cablejat que uneix els diferents subcamps amb l'inversor.
3. El cablejat que uneix l'inversor amb el quadre general de protecció.

Els dos primers són cables RV-K de secció reduïda i de 0.6/1kV amb aïllament de polietilè reticulat. En canvi, el cablejat que uneix l'inversor amb el quadre general solen ser RZ1-K i de secció significativament més important, però també aïllat per polietilè reticulat.

Tots els cablejats s'ubicaran dintre d'una safata de dimensions 100x60mm de PVC per tal d'estar més protegits.

En l'Annex F es realitza el dimensionament del cablejat per tal de minimitzar el preu d'aquest, sense deixar de complir amb el reglament.

4.3.5 Aparells elèctrics de protecció

Tal com s'ha esmentat en l'Annex B un dels motius de selecció de l'inversor és que aquest inclou les proteccions de sobretensió en corrent continu i altern. No són necessaris, ni fusibles en CC, ni seccionadors, ja que l'inversor, al igual que uns desconectors de corrent continu els porta incorporats. El fet que l'inversor inclogui tots aquests components simplifica significativament les proteccions necessàries en aquesta instal·lació fotovoltaica.

Aquestes proteccions són les següents: un interruptor diferencial de 80A i un interruptor automàtic magneto tèrmic de 80A i un cofret de protecció certificat IP 65 per poder ubicar les proteccions a la intempèrie.

4.3.6 Instal·lació posada a terra

En la instal·lació, tal com es pot observar en el plànol 06-esquema de principi s'han de realitzar dues instal·lacions de posada a terra. La primera que connecti al terra totes les plaques fotovoltaïques i la segona que connecti l'inversor amb el terra general de l'edifici.

Ambdues instal·lacions es realitzen amb cablejat de coure despulat de 35mm² de secció.

Les estructures que subjecten les plaques serveixen de terra per aquestes i, per tant, no és necessari connectar totes i cada una de les plaques amb el cablejat de terra sinó únicament totes les estructures. Aquest cablejat que uneix totes les estructures en coberta es porta fins a la piqueta de terra utilitzada en la instal·lació fotovoltaica existent utilitzada pel grup d'Enginyeria de Control i Sistemes Intel·ligents.

Pel que fa la instal·lació de terra de l'inversor es connecta el cable de terra directament al subquadre de l'edifici PIV.

5 TERMINI D'EXECUCIÓ

La planificació explicada en aquest capítol té com a objectiu que, tant aviat com es munti un subcamp, es pugui aprofitar l'energia que produeix i, això, perquè el subcamp pugui començar la seva amortització abans que acabi l'obra. Aquest objectiu influeix en l'ordre de muntatge, que s'ha dividit en onze tasques que s'explicaran en aquest capítol. Per tal de representar la planificació, s'exposa un diagrama de Gantt amb les onze tasques en el 5.2. Aquest ordre de muntatge suposa l'aprofitament d'una determinada quantitat d'energia que, seguint un altre ordre d'execució no existiria i, per tant, suposa un benefici.

5.1 Tasques

La planificació compta d'onze tasques, la primera tasca és la de realitzar la instal·lació de tots els components necessaris per tal que, un cop acabada aquesta primera tasca, es pugui connectar qualsevol subcamp a l'inversor i aprofitar l'energia produïda per aquest. És molt important que l'ordre de les tasques, per tal de maximitzar la producció d'energia durant la construcció, sigui factible. En aquesta tasca, s'ha de realitzar les següents partides d'obra presentades en la Taula 16.

TASCA 1 (PREMUNTATGE)			
1	Instal·lar inversor	6	Instal·lar diferencial
2	Instal·lar cablejat de terra de l'inversor	7	Instal·lar safata corrent altern
3	Preparar connectors mc4	8	Instal·lar cablejat corrent altern
4	Instal·lar cofret de proteccions IP65	9	Instal·lar safata corrent continu
5	Instal·lar magnetotèrmic	10	Instal·lar cablejat de terra per estructures

Taula 16: Tasca 1 Operacions a realitzar

Un cop realitzada aquesta tasca de premuntatge queden deu tasques. Aquestes són molt similars entre elles, cada tasca representa el muntatge d'un dels deu subcamps. En la Taula 17 es presenten les operacions a realitzar en una tasca tipus, no tots els subcamps necessiten la instal·lació dels kits S15, també és important precisar que no tots els subcamps són iguals en mòduls d'estructura, nombre de plaques o bé longitud i secció de cablejat i, que per tant, les deu tasques de muntatge no tenen la mateixa duració.

TASQUES 2-11 (INSTAL·LACIÓ SUBCAMPS)	
1	Instal·lar estructures i ancoratge químic
2	Instal·lar plaques fotovoltaïques i kit S15
3	Instal·lar cablejat de CC

Taula 17: Tasques 2-11 operacions a realitzar

5.2 Esquema de Gantt

En la Taula 18 es pot consultar el temps d'execució de les tasques presentades anteriorment, es consideren que les jornades laborals de 8h sense així superar el límit d'hores setmanals establert a 40h amb l'article 34 del BOE-A-2015-11430. Cal destacar que es contempla que la instal·lació la realitzi una petita empresa, que únicament, disposi d'un oficial electricista i un ajudant electricista.

Tasques	Temps (h)	Temps (dies laborals)
PREMUNTATGE	85,8	10,7
SUBCAMP A	28,8	3,6
SUBCAMP B	21,8	2,7
SUBCAMP C	21,8	2,7
SUBCAMP D	26,7	3,3
SUBCAMP E	23,1	2,9
SUBCAMP F	23,5	2,9
SUBCAMP G	22,4	2,8
SUBCAMP H	23,7	3,0
SUBCAMP I	24,6	3,1
SUBCAMP J	27,1	3,4

Taula 18: Temps de muntatge tasques

Mitjançant la Taula 18 s'ha realitzat el diagrama de Gantt, tal com es pot observar en la Figura 4.

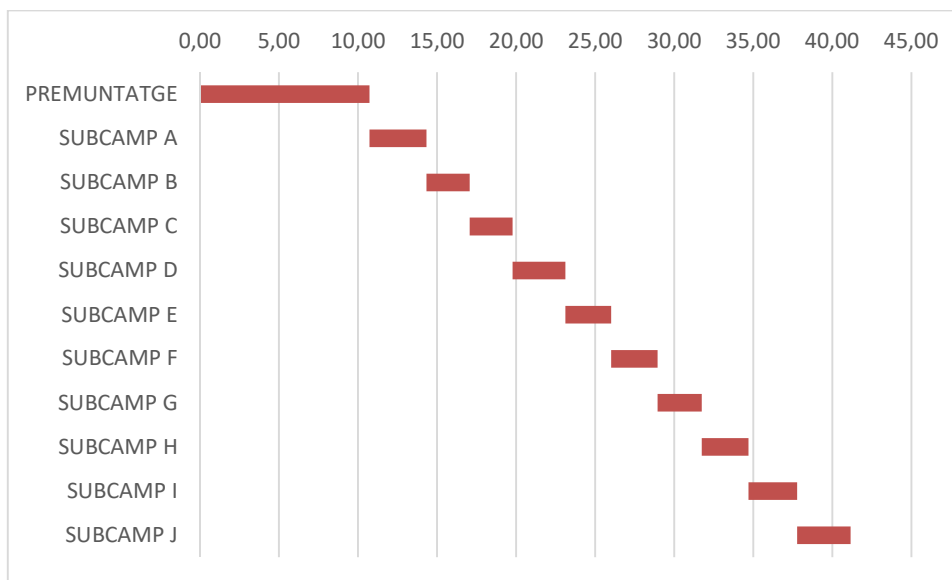


Figura 4: Diagrama de Gantt

5.3 Beneficis de la planificació

Per tal de calcular el benefici que suposa la planificació esmentada anteriorment es parteix de les següents hipòtesis.

La producció fotovoltaica de cada subcamp està valorada diàriament fent servir dades de producció diàries de mitjana. Es fa d'aquesta manera perquè la radiació solar té molta variabilitat en funció del mes en el qual produeix i, deguda la incertesa provocada per la crisi COVID19, no existeix cap seguretat de quina data començarà l'obra.

Es considera que l'obra comença un dilluns i que no hi ha cap dia festiu que interrompi la instal·lació. Tot i així, si n'hi hagués algun, no faria més que augmentar el benefici d'aquesta planificació, ja que en aquest dia festiu s'aprofitaria un dia més la producció d'energia realitzada pels subcamps muntats. Es comptabilitza l'energia produïda d'un subcamp a partir de l'endemà de la finalització de la seva instal·lació.

Setmana	Dl.	Dt.	Dc.	Dj.	Dv.	Ds.	Dm.
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	A	-
4	-	-	-	B	-	C	-
5	-	-	-	D	-	-	-
6	-	E	-	-	F	-	-
7	-	-	G	-	-	H	-
8	-	-	-	I	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-

Taula 19: Previsió final d'obra subcamps

S'ha realitzat la Taula 19 per tal de poder visualitzar quants dies de producció pot tenir cada subcamp un cop muntats, tenint en compte els caps de setmana. Les lletres representades en la taula representen el primer dia a partir del qual es pot aprofitar l'energia que produeix el subcamp identificat.

Tasques	Plaques(U.)	Potència(W)	Producció(dies)	Producció(kWh)
PREMUNTATGE	0	0	0	0
SUBCAMP A	19	6.460	39	914
SUBCAMP B	19	6.460	34	797
SUBCAMP C	18	6.120	31	688
SUBCAMP D	19	6.460	27	633
SUBCAMP E	18	6.120	22	488
SUBCAMP F	18	6.120	19	422
SUBCAMP G	18	6.120	14	311
SUBCAMP H	18	6.120	11	244
SUBCAMP I	18	6.120	6	133
SUBCAMP J	18	6.120	0	0
Total	183	62.220	-	4.630

Taula 20: Producció deguda a planificació

Tal com podem observar en la Taula 20, gràcies a aquesta planificació, els edificis PIV i PII podrien consumir 4630 kWh que representa la producció fotovoltaica d'una instal·lació de 3.5kW durant un any i, per tant, no es considerarà menyspreable.

6 RESUM DEL PRESSUPOST

En conseqüència, el pressupost per poder desenvolupar el projecte ascendeix a seixanta-quatre mil tres-cents un euros amb setanta cèntims sense IVA (64.301,70 €).

El preu donat per la potència instal·lada és d'un euro amb quatre cèntims el watt-pic, preu similar al preu de mercat per realitzar una instal·lació d'aquestes característiques.

La validesa de la xifra del pressupost serà de 60 dies d'ençà de la seva entrega. Un cop transcorregut aquest temps serà necessari una reactualització dels preus de tots els components que l'integren.

7 JUSTIFICACIÓ DE PREU

Per tal de fer un pressupost representatiu s'ha escollit utilitzar dades de dues fonts fiables: comercials de proveïdors i la pàgina web "<http://www.generadordeprecios.info/#gsc.tab=0>".

Les dues empreses que han contestat amb més rapidesa i fiabilitat són les següents:

- ELEKTRA CATALUNYA, comercialitzadora d'estructures SUNFER, on s'ha contactat amb el comercial Javier Romero.
- SUNFIELDS, distribuïdora de material fotovoltaic, on s'ha pres contacte amb el comercial tècnic Raul German.

Aquest projecte consta de 17 unitats d'obra, en la Taula 21 s'especifica on s'ha obtingut el preu de cada una de elles.

NUM	CODI	UA	DESCRIPCIÓ	Obtenció del preu
1	IE_SF_MO_1	U.	Mòdul solar fotovoltaic (SUNPRO SP340-72P)	Empresa SUNFIELDS
2	IE_SF_MO_2	U.	Connector MC4	Empresa SUNFIELDS
3	IE_SF_ST_1	U.	Estructura de suport SUNFER model 9V per subjectar 5 mòdul fotovoltaics.	Elektra Catalunya
4	IE_SF_ST_2	U.	Estructura de suport SUNFER model 9V per subjectar 6 mòdul fotovoltaics	Elektra Catalunya
5	IE_SF_ST_3	U.	Kit d'unió SUNFER s15 d'alumini	Elektra Catalunya
6	IE_SF_ST_4	U.	Ancoratge químic estructural realitzat sobre formigó de 12 mm de diàmetre i 105 mm de mm de longitud.	Generador de precios
7	IE_SF_INV	U.	Inversor trifàsic 50kW	Generador de precios
8	IE_SF_PR_1	U.	Interruptor diferencial selectiu, de 4 mòduls, tetrapolar (4P), intensitat nominal 80 A	Generador de precios
9	IE_SF_PR_2	U.	Interruptor automàtic magnetotèrmic, tetrapolar (4P), intensitat nominal 80 A.	Generador de precios
10	IE_SF_PR_3	U.	Cofret de Superfície EFECTO LED IP65.	Generador de precios
11	IE_SF_CA_1	ml.	Cable unipolar RV-K, tensió assignada de 0,6/1 kV, amb conductor de coure classe 5 (-K) de 10mm ² .	Generador de precios
12	IE_SF_CA_2	ml.	Cable unipolar RV-K, tensió assignada de 0,6/1 kV, amb conductor de coure classe 5 (-K) de 16mm ² .	Generador de precios
13	IE_SF_CA_3	ml.	Cable unipolar RV-K, tensió assignada de 0,6/1 kV, amb conductor de coure classe 5 (-K) de 25mm ² .	Generador de precios
14	IE_SF_CA_4	ml.	Cable unipolar RV-K, tensió assignada de 0,6/1 kV, , amb conductor de coure classe 5 (-K) de 35mm ²	Generador de precios
15	IE_SF_CA_5	ml.	Línia general d'alimentació fixa en superfície formada per cables unipolars amb conductors de coure, RZ1-K (AS) 3x120+1G370	Generador de precios
16	IE_SF_CA_6	ml.	Canal protector de PVC, color gris RAL 7035, de 100x60mm.	Generador de precios
17	IE_SF_CA_7	ml.	Conductor de terra format per cable rígid despul·lat de coure trenat de 35 mm ² de secció.	Generador de precios

Taula 21: Justificació de preus

8 CONCLUSIONS

Un cop analitzats els efectes de l'activitat humana sobre el clima del planeta Terra i sobre el medi ambient és evident la urgència d'una transició energètica cap a energies renovables. També ha quedat clarificat que Espanya és un país amb elevada dependència energètica, ja que fa grans importacions de combustibles fòssils. A més, és un país que a diferència de recursos fòssils, té recursos naturals abundants en el territori, com és ara la radiació solar i l'eòlica. També queda remarcat que ara és el millor moment per realitzar una instal·lació fotovoltaica deguda a la baixada del preu dels materials fotovoltaics i la supressió del l'Impost al Sol.

Els objectius per realitzar aquesta instal·lació fotovoltaica eren clars (1) fer una instal·lació fotovoltaica el més gran possible sense que aquest dimensionament porti com a conseqüència la producció d'energia no consumida en el moment, (2) fer una instal·lació lliure d'ombres per tal de maximitzar el rendiment de les plaques, (3) minimitzar el preu de la instal·lació sense negligir la qualitat d'aquesta i (4) fer el disseny de la instal·lació pensant en la seva possible futura ampliació.

Gairebé la totalitat dels objectius s'han complert:

- ✓ S'ha fet una instal·lació de 62.22kWp sense que això produeixi excedents.
- ✓ S'ha seleccionat el millor inversor en termes de qualitat-preu.
- ✓ S'ha escollit la placa que maximitza la potència per preu i garantia.
- ✓ S'ha fet la selecció de la ubicació per tal que les plaques estiguin lliures d'ombres i maximitzin la seva productivitat.
- ✓ S'ha escollit la inclinació de les plaques per tal que aquestes maximitzin la productivitat per metre quadrat de la coberta.

El que no s'ha acabat de complir és l'objectiu de minimitzar el cost de la instal·lació, ja que el recorregut de cablejat tetrapolar entre l'inversor i el quadre general de la PII és de 165 metres; això suposa haver de dimensionar-lo amb una secció més elevada que si el cablejat fos més curt. És a dir, s'incrementa el cost de la instal·lació per dos cantons; perquè el cablejat ha de ser més gruixut i, per tant, més car per metre lineal i, a més a més, la quantitat de metres lineals que s'han de comprar per fer la instal·lació és més elevada.

Això últim té més d'una solució, una d'elles és realitzar un disseny més petit per alimentar exclusivament la PIV i així no haver de portar el cablejat de l'inversor fins al CDG de la PII, sinó únicament fins al subquadre de la PIV. Així es reduiria el cost considerablement i, a la vegada, augmentar significativament la rendibilitat de la instal·lació.

Tot i així, el preu de la instal·lació, tal com es comenta en el resum del pressupost, està dintre dels preus del mercat. Per tant, aquest objectiu no complert no és considerat excessivament greu.

A més a més de complir amb els objectius inicials, se n'han complert d'altres que, inicialment, no s'havien ni planejat com, per exemple, el disseny d'una planificació que maximitza la producció de la instal·lació fotovoltaica durant la seva construcció.

El resultat de rendibilitat és de 7.45% calculat en el Annex G, sense comptar l'amortització, i aquest és acceptable. Com a referència es poden comparar a les rendibilitats que ofereix l'immobiliari a Girona entre 5 i 9%.

També s'ha pogut aportar el doble punt de vista d'un estudiant de doble titulació, a l'hora de realitzar el disseny de la instal·lació fotovoltaica projectada, combinant així els coneixements d'enginyeria i d'administració i direcció d'empreses.

Per finalitzar, cal mencionar que el TFG realitzat l'any 2010 per l'estudiant Albert Juan Casademont anomenat "Projecte per la realització d'una instal·lació solar fotovoltaica en règim especial als edificis de l'Escola Politècnica Superior de la UdG" va estar a punt de passar a ser projecte executiu i ser construït. Malauradament, va ser descartat per les dificultats econòmiques del moment. Però ara, observem a l'Annex J, en el qual es comparen els dos projectes, que avui dia el projecte és 83% més barat que el projecte de l'any 2010 i aquest va estar a punt de ser construït. Aquest fet, deixa en mans de la Direcció de la EPS que es plantegi seriosament fer un pas endavant cap a la transició energètica. Tal com s'observa en l'Annex I, la instal·lació d'aquest projecte reduiria únicament en 4,38% l'emissió de CO₂ que comporta el consum elèctric de la EPS, tot i ser un petit pas, és urgent de duu a terme per començar la transició cap a una EPS d'emissions zero.

Amb aquest Projecte Final de Grau, he observat que existeix una real urgència per passar al consum d'energies renovables i que és imprescindible que un organisme de magistrats, com és l'Escola Politècnica Superior, estudiï seriosament un projecte que, a més de ser necessari pel bé del nostre ecosistema ha demostrat tenir rendibilitat econòmica similar a la d'altres sectors.

9 LLISTAT DELS DOCUMENTS DEL PROJECTE

En aquest projecte s'adjunten 6 documents en els formats següents:

1. Memòria i Annexos (PDF)
2. Plànols (PDF)
3. Plec de condicions (PDF)
4. Estat d'amidaments (PDF)
5. Pressupost (PDF)
6. Document de càlcul (XLS)

10 WEBGRAFIA

Elektra Catalunya. (2020). *Elektra Catalunya*. Consultat el 1 / juliol / 2020, a <https://www.grupoelektra.es/es/el-grupo/empresa/elektra-catalunya>

enerdata. (s.d.). *enerdata*. Consultat el 30 / juliol / 2020, a [enerdata: https://datos.enerdata.net/](https://datos.enerdata.net/)

Gobierno de España. (2015). *CTE*. Consultat el 28 / juny / 2020, a [CTE: https://www.codigotecnico.org/](https://www.codigotecnico.org/)

Gobierno de España. (2020). *BOE*. Consultat el 28 / juny / 2020, a <https://www.boe.es/>

Gobierno de España. (2020). *IDAE*. Consultat el 30 / juny / 2020, a [IDAE: https://www.idae.es/](https://www.idae.es/)

ICAEN. (2020). *ICAEN*. Consultat el 20 / juliol / 2020, a [ICAEN: http://icaen.gencat.cat/](http://icaen.gencat.cat/)

Ingenieros CYPE. (s.d.). *generador de precios*. Consultat el 14 / juliol / 2020, a <http://www.generadordeprecios.info/#gsc.tab=0>

Schneider Electric. (2020). *Schneider Electric*. Consultat el 17 / juliol / 2020, a <https://www.se.com/es/es/>

Sunfield Europe. (2015). *SFE-SOLAR*. Consultat el 17 / juliol / 2020, a <https://www.sfe-solar.com/>

Wikipedia. (s.d.). Recollit de <https://es.wikipedia.org/>

ANNEX A: SELECCIÓ PLACA SOLAR

Un cop començat el projecte, s'ha contactat per correu electrònic amb diversos proveïdors de plaques fotovoltaïques per tal de contraposar preus de diversos productes a l'engròs. Malauradament, únicament ha respòs amb rapidesa una sola empresa SUNFIELDS EUROPE i, per tant, s'ha fet la selecció de la placa a instal·lar dintre del seu catàleg.

Tal com es comenta en el capítol 4.1, també és de vital importància per la EPS maximitzar la potència instal·lada per metre quadrat, però degudes les dificultats financeres conseqüents a la crisi COVID19, s'ha escollit fer prevaldre per aquesta decisió el criteri econòmic, sempre i quan els components escollits compleixin unes mínimes garanties de qualitat.

Per contraposar els elements escollits en el catàleg es calcula quin preu té cada placa per watt pic de potència en la taula següent.

MODEL	POTÈNCIA	PREU	Referència	Preu/potència pic(€/W)
MESC 375	375	191,26	P1	0,51
PESC 340	340	149,6	P1	0,44
MESC 300	300	153	P1	0,51
PESC 280	280	128,8	P1	0,46

Taula 22: Comparació de diferents plaques fotovoltaïques

Com es pot observar en Taula 22, la placa que té el w pic de potència més baix de preu i per tant la que s'amortitzarà més ràpid és la PESC 340W. Com era d'esperar, a l'utilitzar el criteri econòmic per triar la placa fotovoltaica, ha sortit afavorida la placa policristal·lina, aquesta última maximitza la rendibilitat, però no la potència per metre quadrat.

ANNEX B: SELECCIÓ DE L'INVERSOR

La potència a instal·lar, segons el predimensionament, és de 62.5 kW, amb la qual cosa, s'ha d'instal·lar un o més inversors, sempre i quan el conjunt sumin 80% de la potència pic, és a dir 50kW. Per seleccionar la marca de l'inversor s'ha triat avaluar com a primer factor de màxima importància la qualitat del producte i, per tant comparar els dos productors amb més renom a Europa: Fronius i SMA. Fronius és una empresa d'origen austríaca, en canvi, SMA és d'origen alemany. Realment són dues empreses amb gairebé la mateixa reputació, amb una lleugera avantatge per SMA. A més Fornius proporciona inversors de menys potència pic i el seu inversor més potent és de 27Kw. Un cop recollides aquestes informacions es tria l'empresa SMA per seleccionar quin inversor agafar dintre del seu catàleg.

En la Taula 23 es pot observar els diferents models contraposats:

Inversor	Potència(W)	Preu(€)	Preu/w pic(€/W)
15000TL	15000	2812,23	0,187482
20000TL	20000	3025,38	0,151269
25000TL	25000	3061,97	0,1224788
SUNNY TRIPOWER CORE1	50000	5667,2	0,113344

Taula 23: Comparació d'inversors

Tal com es pot observar en la Taula 23, l'inversor TRIPOWER CORE 1 és el que té el preu més baix per watt pic de potència i, a més a més, comporta l'avantatge de portar incorporat proteccions de sobretensió, desconectors de corrent continu i no necessitar fusibles, la qual cosa simplifica l'elaboració de les proteccions. A més, també està certificat IP65 amb la qual cosa pot anar ubicat a la intempèrie en la coberta.

ANNEX C: SELECCIÓ DE L'ESTRUCTURA

Un cop escollit el model de les plaques, la inclinació, el nombre de *strings* i l'espai disponible a la coberta de l'edifici PIV, s'ha contactat amb l'empresa ELEKTRA CATALUNYA del grup ELEKTRA, per contemplar quins preus comportava la instal·lació ideada inicialment. La resposta de l'empresa va ser molt clara: els models ideals que s'havien d'escollir eren de la marca SUNFER i com que la disposició inicial de les plaques era molt costosa, aconsellaven ubicar els mòduls fotovoltaics verticalment i no horitzontalment, tal com preveia el disseny inicial, per tal de reduir els costos de estructura.

Tot seguit, s'ha tingut en compte les recomanacions d'ELEKTRA i s'ha refet un disseny d'ubicació de les plaques en planta i demanat pressupost per la nova ubicació. Els models d'estructura elegits han sigut dues variants del model SUNFER 9V, una per subjectar 5 mòduls i l'altre per subjectar-ne 6. Ambdós models preparats per tindre la inclinació escollida (5°). També s'ha escollit un element per fer la unió de dues estructures, aquest element és el kit S15

ANNEX D: SELECCIÓ D'INCLINACIÓ

La EPS té un consum d'energia molt elevat (1.677.100kWh l'any 2018). Els dos principals consumidors són els edificis PII i PIV, els quals l'any 2018 sumaven 1.003.269 kWh i, per tant, gairebé 60% del consum total de la EPS. Amb la instal·lació ideada de 62.22 kW inclinada amb el pendent que maximitza la producció (35°), la instal·lació produiria aproximadament 91.810 kWh, és a dir, menys de 10% del consum anual de la PIV i la PII.

Aquesta instal·lació s'ha volgut dissenyar amb un ull al futur, en el qual és molt probable que el preu de les bateries disminueixi i es pugui fer un balanç net d'energia vesant els excedents a la xarxa per poder consumir-los en una altra hora. Un altre fet és que la superfície lliure d'ombres, de la qual disposa l'Escola Politècnica Superior per ubicar plaques fotovoltaïques, és limitada i, per tant, a l'hora de triar quina inclinació seleccionar per fer aquesta instal·lació s'ha triat la inclinació que maximitzi la producció per superfície instal·lada.

Entre dues files de plaques fotovoltaïques s'ha de deixar un espai per tal que la primera fila no faci ombra a la segona i, per tant, no anul·li la producció d'electricitat d'aquesta. Per tal de saber quina inclinació s'ha de deixar entre dues plaques, el IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) proporciona la Figura 5 i les fòrmules que s'esmentaran a continuació :

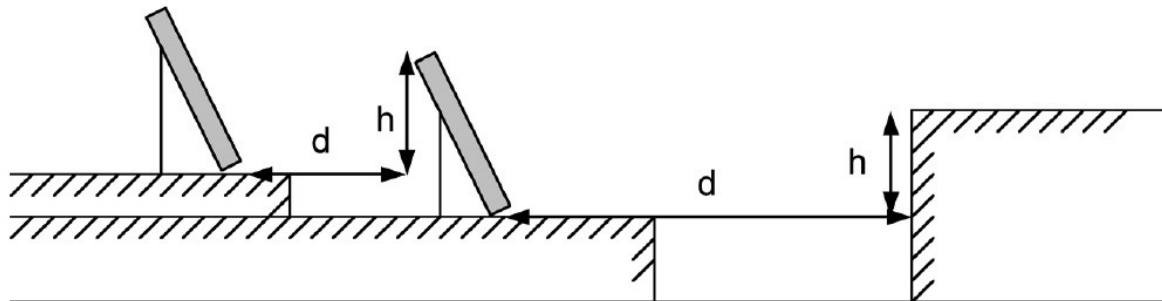


Figura 5: Ombres segons IDAE

$$d = h * k$$

$$k = \frac{1}{\tan(61 - \text{latitud})}$$

Per tal de realitzar els càlculs d'ombres s'utilitzen les dades de latitud de la ubicació de la instal·lació i les dades mecàniques de la placa escollida en l'Annex A.

Latitud (°)	42
Longitud placa (m)	1,956
Amplitud (m)	0,992
Àrea placa (m ²)	1,940

Taula 24: Dades per càlcul d'ombres

Mitjançant les dades de la Taula 24 i les formules anteriors obtenim la K, que serà el valor proporcional entre l'alçada de la placa i la separació necessària entre files de plaques.

$$K = \frac{1}{\tan(61 - 42)} = 2,904$$

I ara mitjançant la K s'ha realitzat la taula

Incl.(°)	h (m)	l (m)	d	L (m)	MO (U.)	Radiació solar	P (MJ/dia/m)	Pèrdues
5	0,170	1,95	0,50	2,55	39	14,3	557,7	0,0%
10	0,340	1,93	0,99	2,91	34	14,87	505,58	9,3%
15	0,506	1,89	1,47	3,36	29	15,37	445,73	20,1%
20	0,669	1,84	1,94	3,78	26	15,78	410,28	26,4%
25	0,827	1,77	2,40	4,17	23	16,11	370,53	33,6%
30	0,978	1,69	2,84	4,53	22	16,35	359,7	35,5%
35	1,122	1,60	3,26	4,86	20	16,5	330	40,8%
40	1,257	1,50	3,65	5,15	19	16,57	314,83	43,5%
45	1,383	1,38	4,02	5,40	18	16,9	304,2	45,5%

Taula 25: Càlcul ombres

En aquesta taula es troben les dades següents en funció de la inclinació:

h: distància vertical ocupada per la placa inclinada. $h = \sin(\text{Incl}) \times \text{longitud de placa}$

l: distància horitzontal ocupada per la placa inclinada. $l = \cos(\text{Incl}) \times \text{longitud de placa}$

d: distància entre files per no tenir ombres. $d = k * h$

L: distància total ocupada per una placa. $L = d + l$

Mo: el nombre de files que es poden col·locar en una longitud de 100 m. $Mo = \text{Truncar} \left(\frac{100}{L} \right)$

Radiació solar: és la quantitat d'energia solar que incideix diàriament en un metre quadrat de superfície. S'extreu de la taula de radiació solar de l'Atlas de Catalunya presentat a l'Annex E.

P: energia incident en les files definides per Mo i considerant l'amplada igual a un metre
 $P = \text{Radiació solar} \times Mo$

Pèrdues: pèrdues d'energia incidents respecte l'òptim de la taula.

En aquesta taula queda clar que la inclinació que optimitza la quantitat d'energia màxima incident en una determinada superfície rectangular orientada a 30°sud oest/est és la inclinació de 5°. Tot i així, aquest càlcul és aproximatiu, ja que no totes les cobertes estan

Instal·lació fotovoltaica d'autoconsum per a l'Escola Politècnica Superior

lliures d'obstacles. Per tal d'assegurar que en aquest cas s'estigui maximitzant la capacitat màxima de producció de la coberta PIV, s'ha realitzat un estudi empíric, del qual es poden observar resultats en la Taula 26

Inclinació (°)	Capacitat P4 (U.)	Radiació solar (MJ/m ² /dia)	Radiació P4 (MJ/dia)	Pèrdues
5	351	14,96	10397,07	0,0%
10	303	15,53	9317,22	10,4%
15	297	16,02	9420,87	9,4%
20	281	16,4	9124,78	12,2%
25	275	16,7	9093,30	12,5%
30	257	16,9	8599,87	17,3%
35	235	17	7910,23	23,9%
40	169	17	5688,63	45,3%

Taula 26: capacitat màxima de plaques coberta PIV

La Taula 26 exposa la quantitat màxima de plaques fotovoltaïques PESC340 que es poden ubicar en la coberta de l'edifici PIV depenent de la inclinació i la radiació solar que poden captar aquestes, queda remarcant i confirmat que la inclinació que maximitza la captació solar de la coberta és de 5 °.

ANNEX E: TAULES DE RADIACIÓ SOLAR

En la Taula 27 obtinguda de l'Atlas de Radiació Solar de Catalunya, es pot observar la radiació solar detallada per mesos i any a la ciutat de Girona en funció de l'orientació i inclinació. L'orientació de 30° és la desviació respecte el sud, indiferentment de si la desviació és cap a oest o cap a est i és molt proper amb la orientació de l'edifici PIV (29° oest). En aquesta taula, s'ha afegit una columna que representa les pèrdues de cada inclinació respecte la inclinació òptima per aquesta orientació. Les dades de radiació solar estan en MJ/m²/dia.

Comparativa inclinació amb orientació 30°														
Incl.	Gen	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Des	Anual	Perdues
0°	6,79	9,52	13,48	17,77	21,12	22,64	21,91	19,07	14,98	10,71	7,4	5,95	14,3	13,7%
5°	7,6	10,32	14,19	18,3	21,4	22,8	22,13	19,48	15,62	11,46	8,18	6,75	14,87	10,3%
10°	8,37	11,05	14,82	18,75	21,56	22,82	22,21	19,83	16,17	12,14	8,92	7,5	15,37	7,2%
15°	9,09	11,72	15,4	19,08	21,66	22,75	22,22	20,07	16,62	12,75	9,6	8,22	15,78	4,8%
20°	9,75	12,32	15,88	19,3	21,62	22,58	22,12	20,18	17,01	13,28	10,23	8,88	16,11	2,8%
25°	10,35	12,85	16,27	19,43	21,46	22,28	21,88	20,19	17,3	13,73	10,8	9,49	16,35	1,3%
30°	10,89	13,29	16,55	19,47	21,21	21,87	21,54	20,13	17,48	14,1	11,3	10,03	16,5	0,4%
35°	11,36	13,65	16,74	19,4	20,87	21,39	21,13	19,94	17,56	14,38	11,72	10,52	16,57	0,0%
40°	11,76	13,93	16,83	19,2	20,41	20,79	20,59	19,64	17,54	14,58	12,08	10,93	16,54	0,2%
45°	12,08	14,12	16,81	18,89	19,83	20,07	19,94	19,22	17,4	14,68	12,35	11,28	16,4	1,0%
50°	12,32	14,22	16,69	18,49	19,16	19,27	19,2	18,72	17,17	14,69	12,55	11,55	16,18	2,4%
55°	12,48	14,23	16,5	18,02	18,45	18,43	18,41	18,15	16,88	14,62	12,67	11,74	15,89	4,1%
60°	12,57	14,17	16,21	17,45	17,62	17,48	17,52	17,48	16,48	14,47	12,7	11,86	15,51	6,4%
65°	12,56	14,01	15,83	16,78	16,7	16,43	16,53	16,7	15,98	14,23	12,66	11,9	15,03	9,3%
70°	12,48	13,77	15,34	16,01	15,71	15,38	15,51	15,84	15,39	13,91	12,53	11,86	14,48	12,6%
75°	12,32	13,44	14,77	15,15	14,72	14,28	14,46	14,94	14,72	13,5	12,33	11,75	13,87	16,3%
80°	12,07	13,03	14,11	14,29	13,65	13,12	13,34	14	13,95	13	12,04	11,55	13,18	20,5%
85°	11,75	12,54	13,37	13,35	12,52	11,97	12,19	12,98	13,16	12,43	11,68	11,28	12,43	25,0%
90°	11,36	11,97	12,58	12,34	11,45	10,83	11,09	11,9	12,31	11,78	11,25	10,94	11,65	29,7%

Taula 27: Taula de radiació solar Girona orientació 30°

ANNEX F: CAIGUDA DE TENSIÓ

En aquest annex s'exposen els càlculs realitzats per tal de seleccionar una secció de cablejat. La caiguda de tensió total entre el generador (placa fotovoltaica) i la xarxa de distribució pública sigui inferior a 1,5 %. Es pot dividir la caiguda de tensió d'aquesta instal·lació en tres parts, tal com s'esmenta en el subcapítol 4.3.4. La caiguda de tensió generada pels cables de 0.9m de longitud que porten incorporades les plaques fotovoltaïques que és una constant, degut a que no es pot redimensionar aquest cablejat. El cablejat que interconnexiona els subcamps amb l'inversor i el cablejat que uneix l'inversor amb el CGD de la PII sí es poden dimensionar per tal de complir l'1,5% de caiguda de tensió. S'ha fet el dimensionament del cablejat per tal de minimitzar el cost d'aquest. En la Taula 28, s'exposen els preus per metre lineal dels diferents cablejats segons la seva secció.

Cablejat unipolar		Cablejat tetrapolar	
Secció (mm ²)	Preu (€/ml)	Secció (mm ²)	Preu (€/ml)
6	2,68	70	50,94
10	3,42	95	64,94
16	4,84	120	82,95
25	6,3	150	98,19
35	8,59	185	118,82
50	11,48	240	143,99

Taula 28: Preus del cablejat segons secció

La caiguda de tensió en corrent continu es calcula mitjançant l'equació presentada a continuació:

$$\Delta U = \frac{2 \times L \times \gamma \times I}{S}$$

On: L és la longitud del cablejat, I és la intensitat, S la secció del cablejat i γ la resistivitat del coure. Aquesta resistivitat s'agafa a la seva temperatura de funcionament i té com a valor 0.20657 Ωm .

Mitjançant aquesta dada de resistivitat es calcula en la Taula 29 la caiguda de tensió, que suposa el cablejat incorporat en les plaques fotovoltaïques, i això, per cada un dels subcamps.

En els diferents subcamps, les plaques fotovoltaïques estan connectades en sèrie amb la qual cosa la intensitat de cada circuit serà igual a la d'una placa (8.99A) i el voltatge és igual al nombre de plaques multiplicat pel voltatge de funcionament d'aquestes (37.8V). Totes les plaques tenen incorporades dos cables de 0.9m de llargària i 4mm² de secció.

Caiguda de tensió entre plaques						
Subcamp	Nº plaques (U.)	Tensió total (V)	Secció (mm ²)	Longitud (m)	cdt (V)	cdt (%)
A	19	718,2	4	34,2	3,18	0,44
B	19	718,2	4	34,2	3,176	0,44
C	18	680,4	4	32,4	3,01	0,44
D	19	718,2	4	34,2	3,176	0,44
E	18	680,4	4	32,4	3,01	0,44
F	18	680,4	4	32,4	3,008	0,44
G	18	680,4	4	32,4	3,01	0,44
H	18	680,4	4	32,4	3,008	0,44
I	18	680,4	4	32,4	3,01	0,44
J	18	680,4	4	32,4	3,008	0,44

Taula 29: Caiguda de tensió entre plaques

Podem veure en la Taula 29, la caiguda de tensió provocada pels cables que venen de sèrie amb les plaques. D'aquestes caigudes de tensió es conserva el valor més elevat (0.44%). Aquestes caigudes de tensió són inevitables i impossibles de reduir, amb la qual cosa el dimensionat del cablejat restant no pot superar 1.06 % de pèrdua de càrrega.

El cablejat entre l'inversor i el CGD de la PII és tetrapolar i porta corrent altern trifàsic. Per calcular la pèrdua de càrrega en corrent altern trifàsic la fórmula a fer servir és la següent:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \times \gamma \times L \times I}{S}$$

Per tal de calcular la pèrdua de càrrega total, s'ha de calcular el valor de pèrdua de càrrega del cablejat que uneix cada un dels subcamps amb l'inversor; seleccionar el més desfavorable d'aquests i sumar-lo a la pèrdua de càrrega del cable tetrapolar esmentat anteriorment. Per tant, existeix més d'un dimensionat que no sobrepassi el límit establert per la normativa. La instal·lació que minimitza el preu i compleix el màxim de caiguda de tensió és la que es presenta en la Taula 30 i la Taula 31.

Instal·lació fotovoltaica d'autoconsum per a l'Escola Politècnica Superior

Caiguda de tensió entre plaques i inversor							
Subcamp	Nº plaques (U)	Tensió total (V)	Secció (mm ²)	Longitud (m)	Cdt (V)	Cdt (%)	Preu (€)
A	19	718,2	25	70,7	1,05	0,15	445,41
B	19	718,2	16	40	0,93	0,13	193,60
C	18	680,4	25	70,7	1,05	0,15	445,41
D	19	718,2	16	40	0,93	0,13	193,60
E	18	680,4	16	43,5	1,01	0,15	210,54
F	18	680,4	10	30	1,11	0,16	102,60
G	18	680,4	16	47	1,09	0,16	227,48
H	18	680,4	25	68	1,01	0,15	428,40
I	18	680,4	35	87	0,92	0,14	747,33
J	18	680,4	16	45	1,04	0,15	217,80
					Total	0,16	3212,17

Taula 30: Caiguda de tensió entre plaques i inversor

Caiguda de tensió entre inversor i CGD					
Tensió (V)	Secció (mm ²)	Longitud (m)	cdt (V)	cdt (%)	preu (€)
400	120	165	3,566716424	0,89167911	13686,75

Taula 31: caiguda de tensió entre inversor i CDG

Primer de tot, s'ha intentat resoldre aquest problema de delimitació mitjançant l'Excel, plantejant el següent solver:

Minimitzar el sumatori del preu de tot el cablejat forçant que el sumatori de caiguda de tensió sigui inferior a 1.5%, definint com a variables per modificar les seccions dels cablejats.

Aquesta resolució no ha funcionat perquè és un problema de programació entera i l'Excel no ha d'agafar valors de secció que no es trobin en la Taula 28 perquè ni existeixen ni tenen preu. Fins i tot, s'ha provat de resoldre de manera més complexa amb la utilització de binaris, però no ha sigut efectiu.

Per tant, i malauradament, s'ha resolt de manera empírica, seguint els següents passos per tal de minimitzar les iteracions a realitzar:

-S'ha calculat la caiguda de tensió del tram inversor CDG amb 70 i 90 mm² de secció. Els resultats donaven respectivament 1.13 i 1.53%. Aquests valors per si sols ja superen el màxim de 1.06%. A més, s'hi hauria de sumar el valor de caiguda del tram restant (plaques-inversor). Amb això queda acotat que, el rang de seccions pel cable tetrapolar que poden complir la normativa són entre 120 i 240mm².

-S'ha calculat la caiguda de tensió del tetrapolar amb les seccions de 120 i 150 mm², que donaven 0,89 i 0,71%, deixant així 0.17 i 0.35 % la màxima caiguda de tensió per l'últim tram a dissenyar (plaques inversor).

- Per tal de dimensionar aquest tram, s'ha partit d'un diàmetre de 6mm² per el cablejat de tots els subcamps i s'ha anat incrementant fins que la seva caiguda de tensió sigui la més propera a l'establerta en el punt anterior assignant així un cablejat de diferent secció per cada subcamp.

-Un cop feta aquesta iteració s'ha obtingut un preu de 17.067,59€ per la instal·lació amb el cablejat tetrapolar de 120mm² i 18.396.82€ pel dimensionat amb la secció de 150mm².

-No s'ha iterat amb seccions més elevades de cablejat tetrapolar perquè a la següent iteració (cablejat de 185mm²) el preu del cablejat multipolar per si sol (19.605€) ja és superior a l'optimització obtinguda anteriorment.

ANNEX G: RENDIBILITAT

A l'hora de calcular la rendibilitat econòmica de la instal·lació i veure en quants anys es recupera la inversió, s'han realitzat diversos passos: de quantificar la producció anual en kWh, comparar amb el consum per tal de verificar si l'objectiu de no reinjectar energia es compleix, avaluar el valor del kWh produït (al preu que s'hauria de comprar si no es produís) i, finalment, fer una comparativa entre el cost de la instal·lació i les dades d'estalvi calculades en el punt anterior. És molt important considerar la EPS una empresa/organisme públic que degudament es pot desgravar impostos.

Primerament es fa una estimació de quina producció realitzarà la instal·lació fotovoltaica. Per a fer-ho s'ha utilitzat la base de dades d'una instal·lació ubicada al poble de Palau Saverdera (Alt Empordà). Aquesta base de dades té tres avantatges:

- La instal·lació està ubicada en un poble proper a Girona i, per tant, podem estimar que la diferència de latitud entre aquest poble i Girona és menyspreable.
- La instal·lació està orientada a 30° sud-oest, tal com la instal·lació que s'idea al projecte.
- I sobretot, les dades de producció estan mesurades cada quart d'hora, igual que les dades de consum que es disposen de la EPS.

Tot i tenir aquestes avantatges, aquesta base de dades té un inconvenient i és que la inclinació de la instal·lació de Palau Saverdera no és igual a la instal·lació ideada en aquest projecte. Per tal de posar remei a aquest defecte s'utilitza un factor de correcció (λ) calculat a partir de les dades d'irradiació solar presentades en l'Annex E. És pot consultar el factor de correcció de cada mes a la Taula 32.

	5°	25°	λ
Gen	7,6	10,35	0,734
Feb	10,32	12,85	0,803
Mar	14,19	16,27	0,872
Abr	18,3	19,43	0,942
Mai	21,4	21,46	0,997
Jun	22,8	22,28	1,023
Jul	22,13	21,88	1,011
Ago	19,48	20,19	0,965
Set	15,62	17,3	0,903
Oct	11,46	13,73	0,835
Nov	8,18	10,8	0,757
Des	6,75	9,49	0,711
Anual	14,87	16,35	0,909

Taula 32: Comparació d'irradiació solar i factor de correcció

No es pot presentar la taula de dades de càlcul sencera en aquest document de Memòria i Annexos deguda la seva mida (35.000 files de dades). S'adjuntarà com a fitxer addicional amb el projecte. En aquest Annex és presenten taules que sintetitzen els resultats d'aquests càlculs. Mitjançant el factor de correcció, les dades de producció i les dades de consum es pot avaluar quina quantitat d'energia es produirà en cada instant i si aquesta es consumeix d'immediat o si s'ha de reinjectar a la xarxa. Tal com es pot observar en la Taula 33, es compleix l'objectiu de no reinjectar a la xarxa malgrat el canvi d'inclinació de la instal·lació.

	Producció	Reinjecció
Gen	3706,832	0
Feb	4938,945	0
Mar	7926,939	0
Abr	7917,428	0
Mai	9943,114	0
Jun	11004,335	0
Jul	10821,394	0
Ago	9218,709	0
Set	7035,511	0
Oct	4432,858	0
Nov	2786,499	0
Des	2943,114	0
Anual	82675,677	0

Taula 33: Previsió de producció primer any

No és correcte agafar aquest valor de producció com a constant durant la vida útil de la instal·lació, el mateix fabricant dona la informació que, després del primer any, la producció baixa a 97%, però assegura que a 10 anys la producció no baixa de 90.7% i, en 25 anys de 80.2%. Aquesta informació s'obté en la Figura 6 extreta de la fitxa tècnica del producte. Després del primer any, es considera la caiguda lineal al llarg dels anys. Per tant, després del primer any, la producció decau 3 % i els següents anys decau 0.7% cada any.

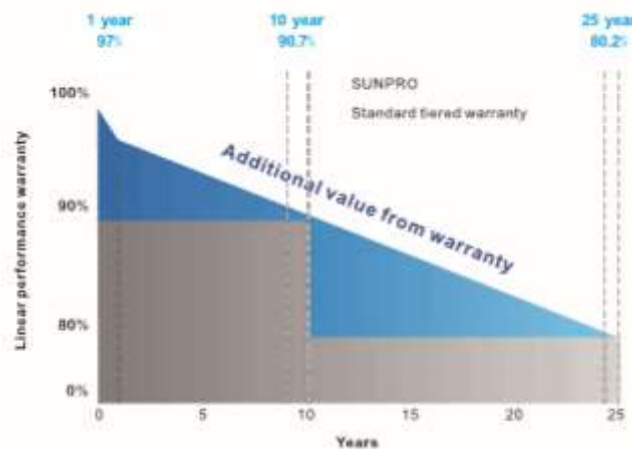


Figura 6: rendiment de la placa al llarg dels anys

Instal·lació fotovoltaica d'autoconsum per a l'Escola Politècnica Superior

El següent pas és avaluar el valor econòmic de cada kWh produït per la instal·lació fotovoltaica. Per tal de fer això, s'ha fet servir dades proporcionades pel SOTIM. Al valor del kWh es té en compte el cost diari de l'energia i el component variable del ATR i l'impost sobre l'electricitat que no es deduïble.

	Preu(€/kWh)
Gen	0,066
Feb	0,071
Mar	0,048
Abr	0,047
Mai	0,059
Jun	0,069
Jul	0,078
Ago	0,068
Set	0,078
Oct	0,071
Nov	0,070
Des	0,078
Anual	-

Taula 34: valor econòmic del kWh

En la Taula 34 s'exposa el valor del kWh que s'utilitza per calcular la rendibilitat. Aquest valor, a la realitat, és variable però per facilitar el càlcul s'ha considerat constant.

Ara que s'han presentat les dades de consum i el valor de cada kWh, es pot calcular la rendibilitat i el temps de recuperació de la inversió.

Per tal de calcular la rendibilitat és important imputar com a cost l'amortització de la instal·lació fotovoltaica que es calcula en la Taula 35.

Valor de la instal·lació (€)	64.301,70
Valor residual (€)	0,00
Vida útil (anys)	20
Amortització anual (€)	3215,09

Taula 35: amortització de la instal·lació fotovoltaica

En la Taula 36, es pot veure el valor de producció que baixa anualment 0.7% , el valor de l'amortització anual, l'estalvi net i el percentatge que representa aquest respecte a la inversió inicial (64.301,70€)

Any	Valor de producció	Amortització	Estalvi net	Rendibilitat
1	5.459,55	3.215,09	2.244,46	3,49%
2	5.295,76	3.215,09	2.080,67	3,24%
3	5.257,55	3.215,09	2.042,46	3,18%
4	5.219,33	3.215,09	2.004,24	3,12%
5	5.181,11	3.215,09	1.966,02	3,06%
6	5.142,90	3.215,09	1.927,81	3,00%
7	5.104,68	3.215,09	1.889,59	2,94%
8	5.066,46	3.215,09	1.851,37	2,88%
9	5.028,25	3.215,09	1.813,16	2,82%
10	4.990,03	3.215,09	1.774,94	2,76%
11	4.951,81	3.215,09	1.736,72	2,70%
12	4.913,60	3.215,09	1.698,51	2,64%
13	4.875,38	3.215,09	1.660,29	2,58%
14	4.837,16	3.215,09	1.622,07	2,52%
15	4.798,94	3.215,09	1.583,85	2,46%
16	4.760,73	3.215,09	1.545,64	2,40%
17	4.722,51	3.215,09	1.507,42	2,34%
18	4.684,29	3.215,09	1.469,20	2,28%
19	4.646,08	3.215,09	1.430,99	2,23%
20	4.607,86	3.215,09	1.392,77	2,17%

Taula 36: Rendibilitat econòmica de la instal·lació al llarg dels anys

Per calcular el temps de retorn del capital no s'ha de tenir en compte l'amortització. En quan al sumatori del valor de producció sumi el valor de la instal·lació, la inversió ja s'haurà recuperat i això passa al maig del tretzè any. Si no s'imputa l'amortització com a cost, la rendibilitat de la instal·lació és, per tant, de 7,45%.

ANNEX H: RENDIBILITAT AMB L'IMPOST AL SOL

En aquest Annex es realitza el càlcul de la rendibilitat que hagués tingut la instal·lació fotovoltaica ideada en aquest projecte si s'hagués construït l'any 2015 amb l'Impost al Sol vigent.

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Cost fix(€/kWp/any)	22,648982	8,17672	9,919358	11,994595	14,279706	4,929022
Cost variable (€/kWh)	0,018849	0,016196	0,011534	0,012519	0,013267	0,008879

Taula 37: Component fix i variable impost al sol per tarifa 6.1 a

En la Taula 37, extreta del Reial Decret del 10 d'octubre de 2015 es pot contemplar el valor dels components fixos i variables per la tarifa que té contractada la EPS. S'estimarà el cost imputat al consum com una mitjana del cost dels 6 períodes ,que és igual a 0.01354€/kWh per tal de facilitar el càlcul de la rendibilitat.

Tal com es pot observar en la Figura 2, el preu del mòdul fotovoltaic en el 2015 era de 0.42 €/Wp i, per tant, significativament més elevat que el de 2020 proposat en aquest projecte (0.22€/Wp) i, per tant, la inversió a fer no seria de 64.300€ sinó més elevada.

Tot i així, no és necessari calcular el preu que hagués suposat construir la instal·lació l'any 2015 perquè la rendibilitat pagant l'Impost al Sol no és positiva, tal com es pot observar en la Taula 38.

Any	Valor de producció	Terme fix	Terme variable	Estalvi net
1	5459,55	4476,63	1119,48	-136,56
2	5295,76	4476,63	1085,90	-266,76
3	5257,55	4476,63	1078,06	-297,14
4	5219,33	4476,63	1070,23	-327,52
5	5181,11	4476,63	1062,39	-357,91
6	5142,90	4476,63	1054,55	-388,29
7	5104,68	4476,63	1046,72	-418,67
8	5066,46	4476,63	1038,88	-449,05
9	5028,25	4476,63	1031,04	-479,43
10	4990,03	4476,63	1023,21	-509,81

Taula 38: rendibilitat contemplant Impost al Sol

L'estalvi net negatiu significa que, realitzant la instal·lació fotovoltaica en qüestió, es pagaria més cara la factura energètica que sense dita instal·lació. I, per tant, el capital invertit no s'hagués recuperat mai.

ANNEX I: REDUCCIÓ D'EMISSIONS DE CO₂ I RESIDUS RADIOACTIUS

La EPS té contracte amb la distribuïdora Endesa, que en les seves factures adjunta la Figura 7, en la qual és pot consultar l'impacte mediambiental del consum de cada kWh.

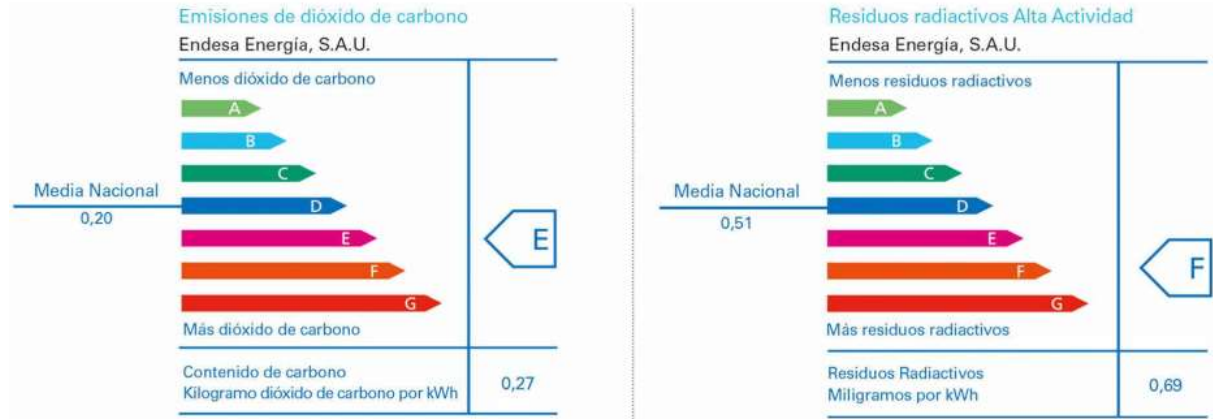


Figura 7: Emissions de CO₂ i residus radioactius Endesa

Consumir energia d'una central fotovoltaica, tot i ser energia renovable, té un impacte mediambiental i, això, degut al cicle de vida del material emprat per realitzar la instal·lació fotovoltaica. Aquesta emissió de CO₂ s'estima entre 25 i 32g/kWh produït, en aquest anàlisi s'utilitza la mitjana entre aquests dos valors 28.5g.

En la Taula 39 es pot observar que la reducció de CO₂ que suposa el consum de l'energia renovable és important, disminueix un 89% i la reducció de residus radioactius és de 100%.

	Consum (kWh)	Emissió CO ₂ (Kg)	Residus radioactius(mg)
Endesa	82.675	22.322,25	57.046
Fotovoltaic	82.675	2.356,24	0

Taula 39: Reduccions de les emissions i residus radioactius (producció fotovoltaica)

S'ha de remarcar que aquests resultats no representen la disminució del consum elèctric total de la EPS, sinó únicament sobre el consum del que produiria la instal·lació fotovoltaica.

Considerant que de mitjana la EPS consumeix 1.677.100kWh, la reducció d'emissions de CO₂ representen una disminució de 4.38% de l'emissió total de CO₂ i una reducció de 4.93% l'emissió de residus radioactius.

ANNEX J: COMPARACIÓ AMB EL TFG DE L'ALBERT JUAN CASADEMONT

L'any 2010, un alumne d'enginyeria industrial a la EPS, Albert Juan Casademont, va realitzar el TFG anomenat "Projecte per la realització d'una instal·lació solar fotovoltaica en règim especial als edificis de l'Escola Politècnica Superior de la UdG", tutoritzat per Josep Maria Corretger Canós. En aquest projecte, Casademont, realitza una instal·lació fotovoltaica de 66 kW al solar de la Politècnica III, aquest projecte va estar a punt de néixer, però per qüestions econòmiques al final no es va realitzar. Han passat ja deu anys d'això i, tal com s'ha esmentat en l'estat de l'art d'aquest projecte, el sector fotovoltaic ha evolucionat moltíssim en preus, rendiments i normativa durant aquest temps. En aquest Annex es realitza una resumida comparació dels dos projectes.

	PFG 2010	PFG 2020	Reducció
Potència instal·lada(kWp)	66	62,22	5,73%
Nombre de panells (U.)	300	183	39,00%
Superfície de la instal·lació (m ²)	492	355,02	27,84%
Rendiment (W/m ²)	134,15	175,26	30,65%
Preu del mòdul per kWp(€/kWp)	3230,00	247,24	92,35%
Potència inversor (kW)	57	50	12,28%
Preu inversor (€)	37.493,40	5.668,43	84,88%
Preu proteccions (€)	4.527,14	1.257,24	72,23%
Preu monitorització (€)	7.683,93	-	100,00%
Preu total de la instal·lació (€)	382.956,26	64.301,70	83,21%

Taula 40: Comparació amb el projecte de l'Albert Juan Casademont

Es pot observar en la Taula 40 que les potències instal·lades en els dos projectes són molt similars, amb únicament una diferència de 5.73%. S'aprecia que, per tal d'obtenir gairebé la mateixa potència, avui en dia es necessita 27.84% menys superfície que fa 10 anys. És important destacar que en ambdós projectes s'utilitzen plaques policristal·lines i, per tant, en aquesta dada es pot apreciar l'evolució del rendiment d'aquesta: podem veure que la placa policristal·lina és 30% més eficient que les de fa 10 anys. Sense dubte, una de les dades més interessants d'aquesta taula és la diferència entre el preu dels panells fotovoltaics que, en 10 anys, ha baixat 92.35%, en part, degut a les operacions de dúmping xineses. Durant aquesta dècada, també hi ha hagut una evolució molt pronunciada de l'electrònica i això és pot apreciar comparant el preu dels inversors. Ambdós inversors són de potència similar, però, no obstant, l'inversor escollit en aquest projecte surt 84.88% més econòmic que el de fa 10 anys, i això sense contemplar que l'inversor de 2020 ja incorpora moltes proteccions que redueix en 72% el preu d'aquestes i que ja porta incorporat tot el necessari per fer la monitorització en qualsevol dispositiu que disposi de internet.

Quan es compara el preu final de la instal·lació, s'observa que, avui dia, el projecte és 83% més barat que el projecte de l'any 2010, i que aquest va estar a punt de ser construït. Aquest fet planteja que aquest projecte té números per passar a ser un projecte final de grau a un projecte executiu o, com a mínim, que la Direcció de la EPS es plantegi seriosament fer un pas endavant cap a la transició energètica.

ANNEX K: ANÀLISI D'OMBRES PVSYST

En aquest Annex es fa un breu anàlisi de quina coberta està més lliure d'ombres, s'utilitza el programari PVsyst i la llicència de prova gratuïta d'un mes.

Per tal d'obtenir resultats d'ombregat al PVSYST, primerament, s'ha de modelar l'edifici en 3D i ubicar la longitud i latitud. Un cop ubicat l'emplaçament, s'ha de modelar el camp fotovoltaic en les cobertes que es volen analitzar.

Dels edificis de la politècnica, malauradament, el SOTIM únicament disposa de plànols en paper i plànols en CAD 2d. Per tal de simplificar el modelatge, els edificis s'han simplificat, aquests com a conjunt de cubs, tal com es pot observar en la Figura 8

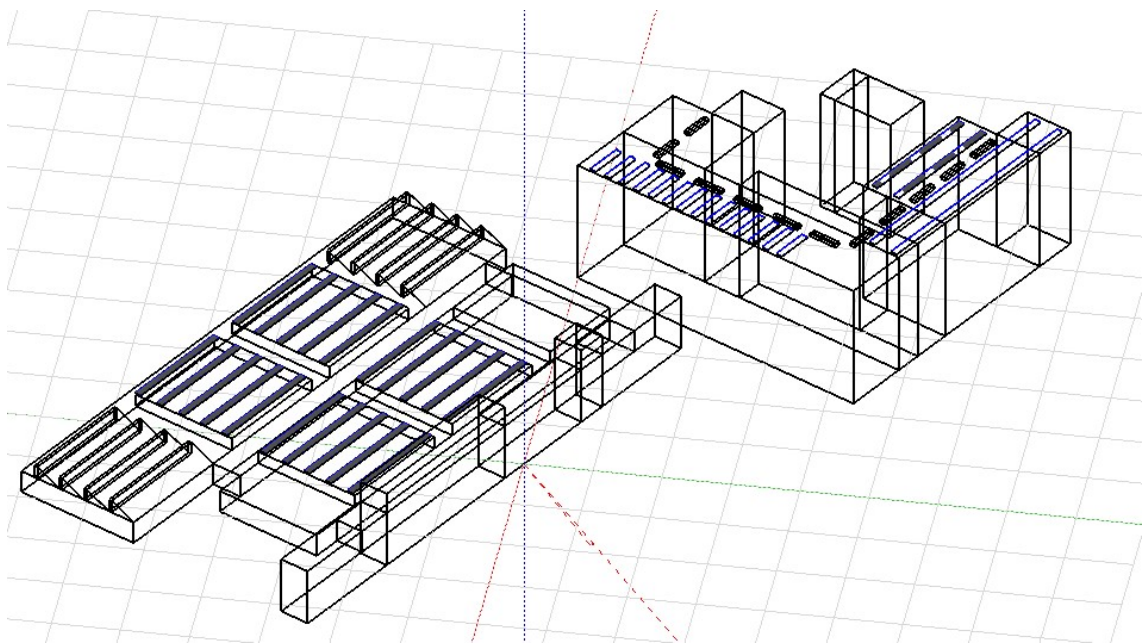


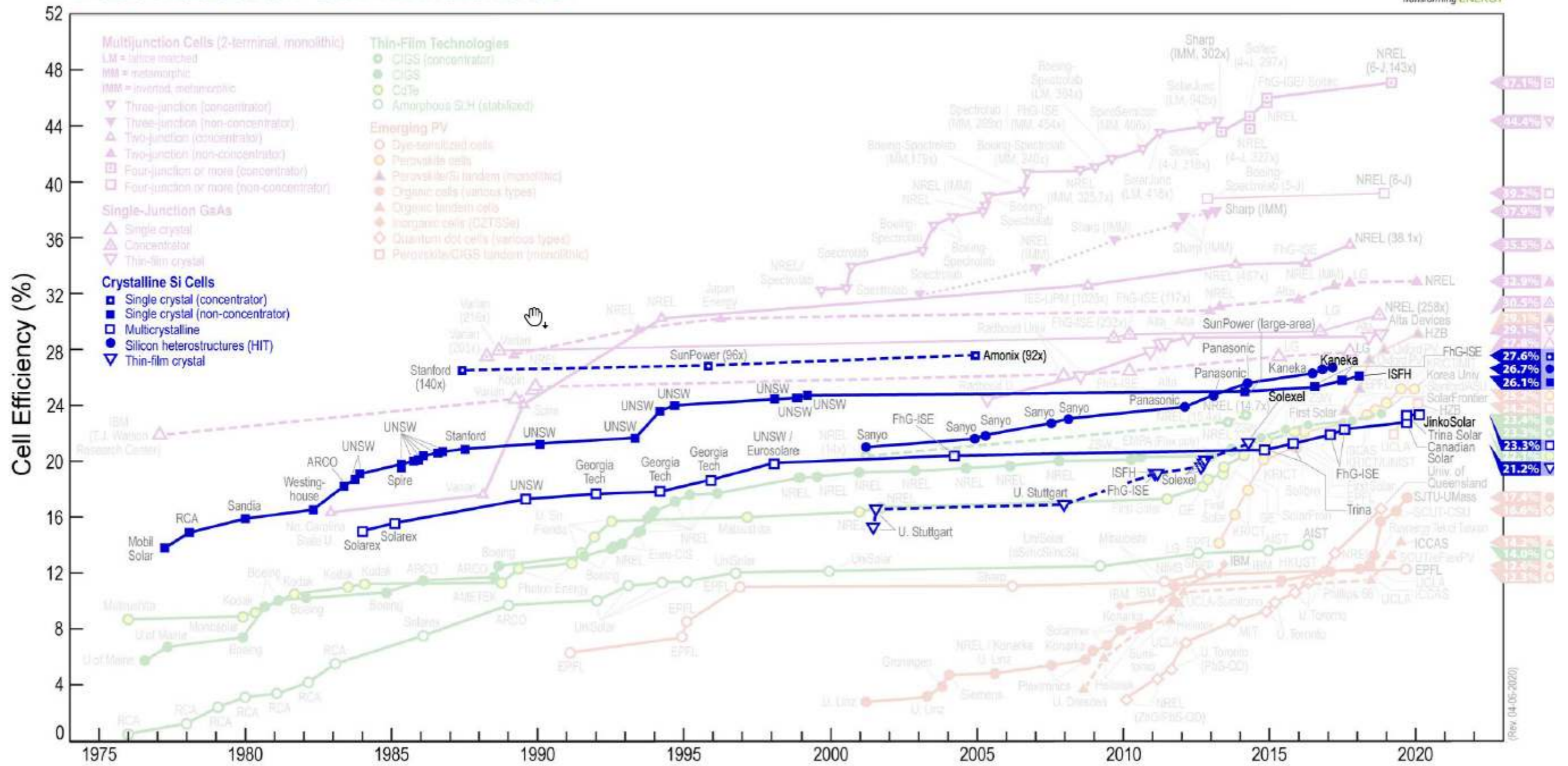
Figura 8: Estudi ombres PIV-PII

En la Figura 8 s'aprecia l'anàlisi d'ombres del dia amb el Sol més baix (21 de desembre) i, per tant, el dia amb més ombres. En la figura queda marcat clarament que hi ha moltes més ombres a la coberta de l'edifici PII que a l'edifici PIV i, per tant, es selecciona aquest últim per realitzar la instal·lació.

ANNEX L: EVOLUCIÓ DEL RENDIMENT FOTOVOLTAIC



Best Research-Cell Efficiencies



(Rev. 04-05-2020)

ANNEX M: CERTIFICACIONES SMA

CERTIFICATE

Management system as per
DIN EN ISO 9001 : 2015

In accordance with TÜV NORD CERT procedures, it is hereby certified that

SMA Solar Technology AG
Sonnenallee 1
34266 Niestetal
Germany



applies a management system in line with the above standard for the following scope

The realization of tasks as well as the production and the distribution of products in the areas of Common Measurement and Close Loop Control Technology, the Microprocessor Technology, the power electronics, the electrical energy power supply as well as the Data System Technology, in particular, in the area of photovoltaic industry. All these activities involve consulting, development, sales and production of software and hardware.

Certificate Registration No. 08 100 971814
Audit Report No. 3518 2303

Valid from 2015-10-01
Valid until 2018-09-30
Initial certification 1997


Certification Body
at TÜV NORD CERT GmbH

Essen, 2016-08-04

This certification was conducted in accordance with the TÜV NORD CERT auditing and certification procedures and is subject to regular surveillance audits.

TÜV NORD CERT GmbH

Langemarckstraße 20

45141 Essen

www.tuev-nord-cert.com



CERTIFICATE

Management system as per
DIN EN ISO 14001 : 2015

In accordance with TÜV NORD CERT procedures, it is hereby certified that

SMA Solar Technology AG
Sonnenallee 1
34266 Niestetal
Germany



with the location
- SMA Railway Technology GmbH, Miramstraße 87, 34123 Kassel, Germany

applies a management system in line with the above standard for the following scope

The realization of tasks as well as the production and the distribution of products in the areas of Common Measurement and Close Loop Control Technology, the Microprocessor Technology, the power electronics, the electrical energy power supply as well as the Data System Technology, in particular, in the area of photovoltaic industry. All these activities involve consulting, development, sales and production of software and hardware.

Certificate Registration No. 08 104 971814
Audit Report No. 3518 2305

Valid from 2016-09-01
Valid until 2019-08-31
Initial certification 2010


Certification Body
at TÜV NORD CERT GmbH

Essen, 2016-08-04

This certification was conducted in accordance with the TÜV NORD CERT auditing and certification procedures and is subject to regular surveillance audits.

TÜV NORD CERT GmbH

Langemarckstraße 20

45141 Essen

www.tuev-nord-cert.com



ANNEX N: FITXES TÈCNIQUES

SUNNY TRIPOWER CORE1

STP 50-40



STP 50-40



World's first free standing inverter

Up to 60 % faster installation for commercial PV systems

Cost-Effective

- Floor-mounted device easy to install
- No DC fuses required
- Integrated DC disconnect

Highly Integrated

- Integrated Wi-Fi access with any mobile device
- 12 direct string inputs reduce labor and material costs
- AC/DC overvoltage protection (optional)

Fastest Installation

- Fast grid connection due to easy inverter configuration and commissioning
- Completely accessible connection areas

Maximum Yields

- Up to 150% DC:AC ratio
- Yield increase without installation effort due to integrated shade management SMA ShadeFix

SUNNY TRIPOWER CORE1

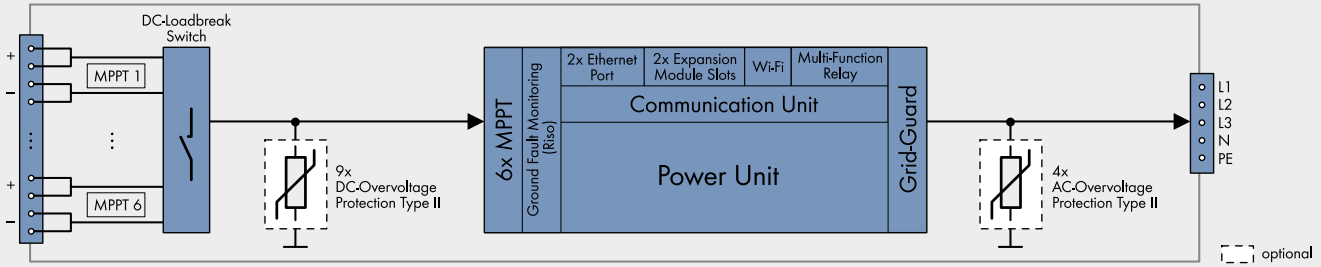
Stands on its own

The Sunny Tripower CORE1 is the world's first free-standing string inverter for decentralized rooftop and ground-based PV systems as well as covered parking spaces. The CORE1 is the third generation in the successful Sunny Tripower product family and is revolutionizing the world of commercial inverters with its innovative design. SMA engineers developed an inverter that combines a unique design with an innovative installation method to significantly reduce installation time and provide all target groups with a maximum return on investment.

From delivery and installation to operation, the Sunny Tripower CORE1 generates widespread savings in logistics, labor, materials and services. Commercial PV installations are now quicker and easier to complete than ever before.

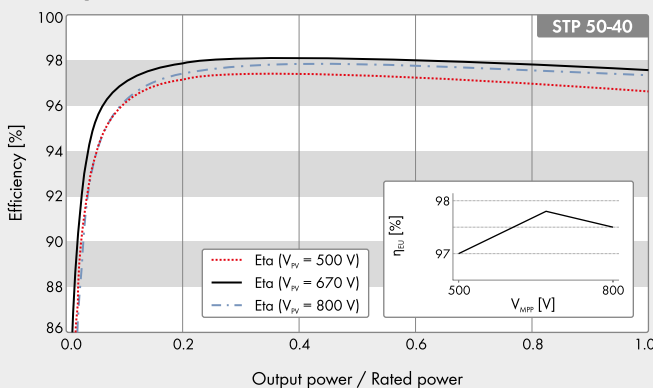
BLOCK DIAGRAM

STP 50-40








Technical Data	Sunny Tripower CORE1	Technical Data	Sunny Tripower CORE1
Input (DC)		Efficiency	
Max. generator power	75000 Wp STC	Max. efficiency / European efficiency	98.1% / 97.8%
Max. input voltage	1000 V	General data	
MPP voltage range / rated input voltage	500 V to 800 V / 670 V	Dimensions (W/H/D) without feet or DC load break switch	569 mm / 733 mm / 621 mm (22.4 in / 28.8 in / 24.4 in)
Min. input voltage / start input voltage	150 V / 188 V	Weight	84 kg (185 lb)
Max. operating input current / per MPPT	120 A / 20 A	Operating temperature range	-25°C to +60°C (-13°F to +140°F)
Max. short circuit current per MPPT / per string input	30A / 30A	Noise emission (typical)	< 65 dB(A)
Number of independent MPPT inputs / strings per MPP input	6 / 2	Self-consumption (at night)	4.8 W
Output (AC)		Topology / Cooling concept	Transformerless / OptiCool
Rated power (at 230 V, 50 Hz)	50000 W	Degree of protection (as per IEC 60529)	IP65
Max. apparent AC power	50000 VA	Climatic category (according to IEC 60721-3-4)	4K4H
AC nominal voltage	220 V / 380 V 230 V / 400 V 240 V / 415 V	Max. permissible value for relative humidity (non-condensing)	100%
AC voltage range	202 V to 305 V	Features / functions / accessories	
AC grid frequency / range	50 Hz / 44 Hz to 55 Hz 60 Hz / 54 Hz to 65 Hz	DC connection / AC connection	SUNCLIX / screw terminal
Rated power frequency / rated grid voltage	50 Hz / 230 V	Mounting feet	●
Max. output current / Rated output current	72.5 A / 72.5 A	LED indicators (status / fault / communication)	●
Output phases / AC connection	3 / 3-(N)-PE	LC display	○
Power factor at rated power / Adjustable displacement power factor	1 / 0.0 leading to 0.0 lagging	Interface: Ethernet / WLAN / RS485	● (2 ports) / ● / ○
THD	< 3%	Data interface: SMA Modbus / SunSpec Modbus / Speedwire, Webconnect	● / ● / ●
Protective devices		Multi-Function relay / Expansion Module Slots	● / ● (2 ports)
Input-side disconnection device	●	Shade management SMA ShadeFix / Integrated Plant Control / Q on Demand 24/7	● / ● / ●
Ground fault monitoring / grid monitoring	● / ●	Off-grid capable / SMA Fuel Save Controller compatible	● / ●
DC reverse polarity protection / AC short-circuit current capability / galvanically isolated	● / ● / -	Guarantee: 5/10/15/20 years	● / ○ / ○ / ○
All-pole sensitive residual-current monitoring unit	●	Certificates and permits (more available on request)	ANRE 30, AS 4777, BDEW 2008, C10/11:2012, CE, CEI 0-16, CEI 0-21, EN 50438:2013*, G59/3, IEC 60068-2-x, IEC 61727, IEC 62109-1/2, IEC 62116, MEA 2016, NBR 16149, NEN EN 50438, NRS 097-2-1, PEA 2016, PPC, RD 1699/413, RD 661/2007, Res. n°7:2013, SI4777, TOR D4, TR 3.2.2, UTE C15-712-1, VDE 0126-1-1, VDE-ARN 4105, VFR 2014, P.O.12.3, NTCO-NTCvS, GC 8.9H, PR20, DEWA
Protection class (according to IEC 62109-1) / overvoltage category (according to IEC 62109-1)	I / AC: III; DC: II	* Does not apply to all national appendices of EN 50438	
AC/DC surge arrester (type 2, type 1/2)	○	● Standard features ○ Optional - Not available	
		Data at nominal conditions - status: 02/2020	
		Type designation	STP 50-40

Efficiency Curve



Assessories

- 
SMA Sensor Module MD.SEN-40
- 
SMA IO-Module MD.IO-40
- 
SMA RS485 Module MD.485-40
- 
Universal Mounting System UMS_KIT-10
- 
AC Surge Protection Module Kit type 2, type 1/2
AC_SPD_Kit1-10, AC_SPD_KIT2_T1T2
DC Surge Protection Module Kit type 2, type 1/2
DC_SPD_Kit4-10, DC_SPD_KIT5_T1T2

SP340-72P

340W/330W/325W/320W/315W/310W/300W

Poly-Crystalline Photovoltaic Module



Power tolerance
0~±3%



Withstand strong snow load
5400 Pa / wind load 2400 Pa



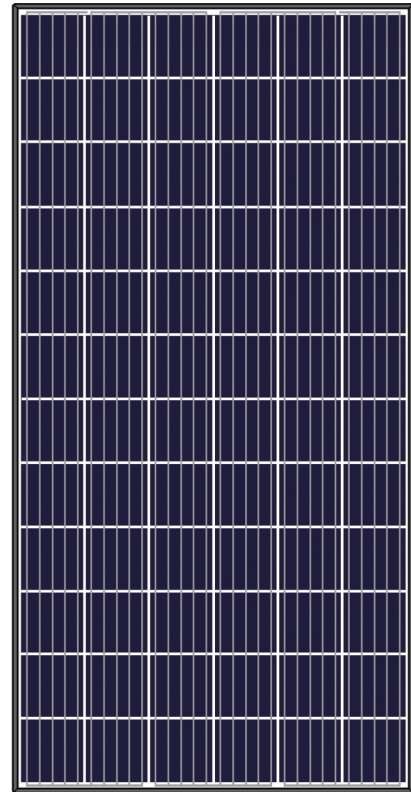
Excellent low light performance
3.5% relative eff.reduction at low-irradiance(200W/m²)



100% EL online Inspection
Better module reliability



AMMONIA & SALT RESISTANCE
PID FREE



Reliability & Certification

Product Guarantee: 10-year

Linear Performance Warranty

10-year : 90.7% power output

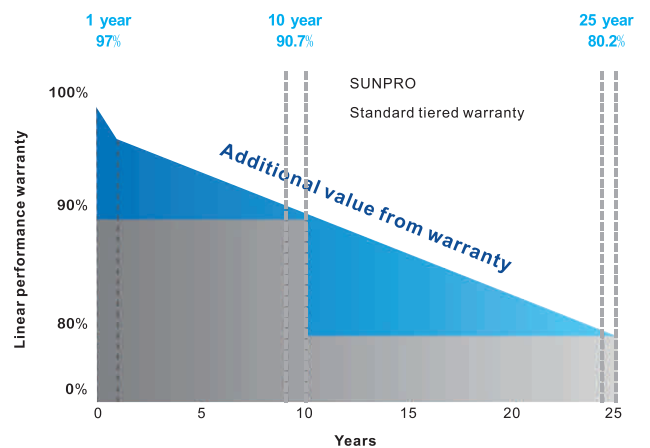
25-year : 80.2% power output



ISO 14001

ISO 9001

OHSAS 18001



Product Specification

Electrical parameters at standard test conditions
(STC:AM=1.5,1000W/m²,Cells Temperature 25°C)

Typical type	340W	330W	325W	320W	315W	310W	300W
Max power(Pmax)	340	330	325	320	315	310	300
Max power voltage(Vmp)	37.8	38.6	37.84	37.7	37.3	37.45	37.18
Max power current(Imp)	8.99	8.56	8.59	8.49	8.45	8.28	8.07
Open circuit voltage(Voc)	46.5	47.1	45.54	46.3	45.9	44.91	44.57
Short circuit current(Isc)	9.42	9.12	9.13	9.03	8.98	8.77	8.54
Cell efficiency(%)	19.70	19.39	19.11	18.82	18.50	18.20	17.60
Module Efficiency(%)	17.5	17.0	16.74	16.5	16.2	15.97	15.46
Max system voltage	DC 1500V(TUV) / DC 1000V(TUV)						
Maximum Series Fuse Rating	15A						

Mechanical Data

Item	Specification
Dimensions	1956x992x40mm
Weight	22kgs
Front glass	3.2mm tempered glass
Output cables	4mm ² symmetrical lengths 900mm
Connectors	MC4 compatible IP67
Cell type	Poly Crystalline Silicon 156.75mm x 156.75mm
Number of cells	72 cells in series

Temperature Characteristics

Item	Specification
Temp.Coeff.of Isc(TK Isc)	0.046%/°C
Temp.Coeff.of Voc(TK Voc)	-0.31%/ °C
Temp.Coeff.of Pmax(TK Pmax)	-0.43%/°C
Operating temperature	-40~+85°C
Normal operating cell temperature	45±2°C

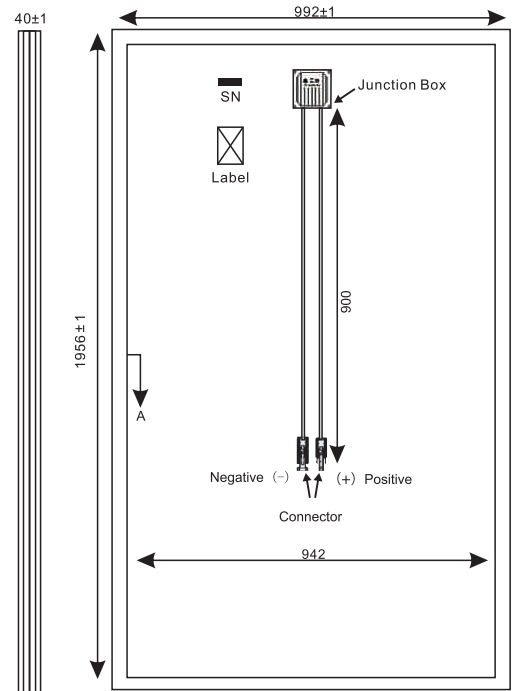
Packing Configuration

Item	Specification		
Container	20'GP	40'GP	40'HQ
Pieces per pallet	52	48	58
Pallets per container	5	11	12
Pieces per container	260	528	696

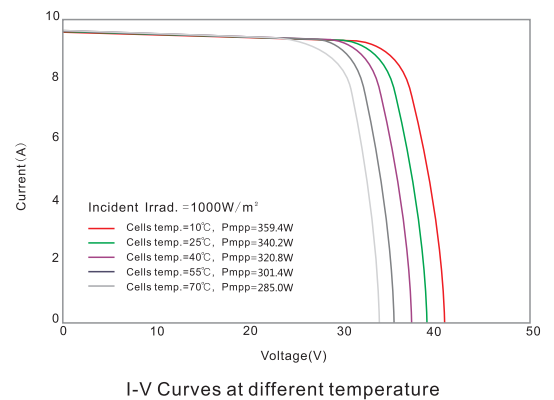
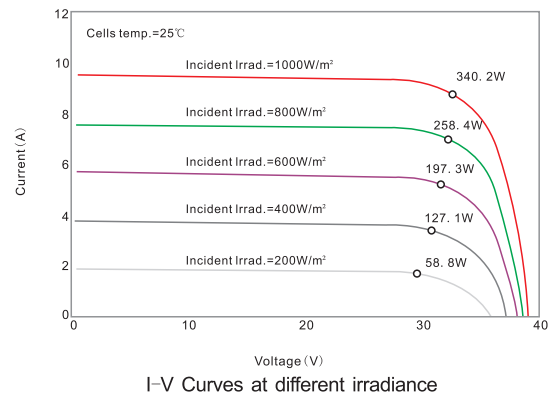
Tests, Certifications and Warranties

Item	Specification
Standard tests	IEC 61215, IEC 61730
System certs	ISO 9001, ISO14001, OHSAS 18001
Certifications	TUV, AMMONIA AND SALT MIST CORROSION, ANTI-PID, CE, WEEE, INMERTRO
Extreme wind and snow loads testing	Withstand extreme wind(2400 Pascal) and snow loads(5400 Pascal)
Power tolerance	0~±3%
Junction box	IP67
Warranties	10 years product warranty and 25 years 80% of power

Dimensions and Structure



I-V Curve



08V/09V

Soporte inclinado abierto para cubierta plana, vertical

Volver al índice
Tipos de cubierta

Volver al índice
Principal



Válido para:

- Cubierta plana de hormigón, subestructura y suelo.
- Anclaje a hormigón.
- Soporte premontado.
- Tornillería de anclaje Máx. Ø10 NO incluida

Disponibilidad de tuercas antirrobo.
Material 100% reciclable.
Cómoda instalación.

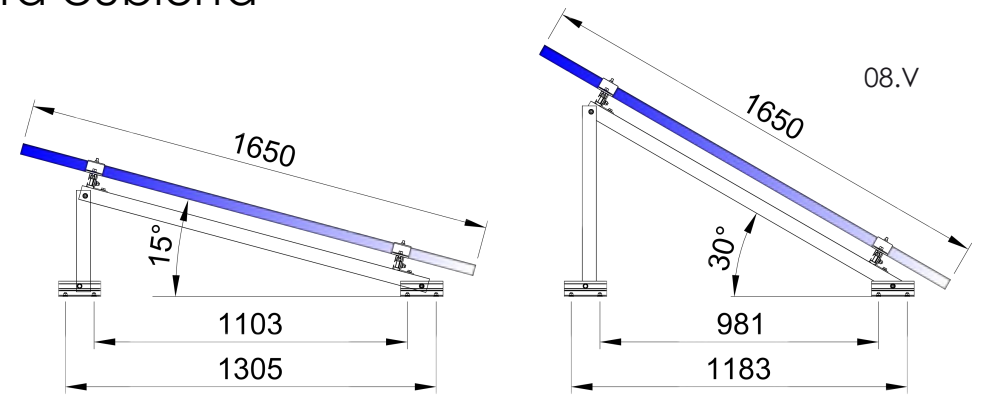
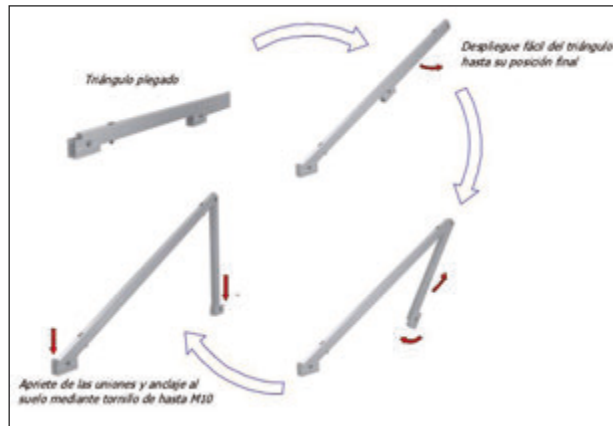
El kit incluye:

Triángulos TR08V-TR09V
Perfiles G1
Uniones UG1
Presores laterales
Presores centrales
Arriostramientos

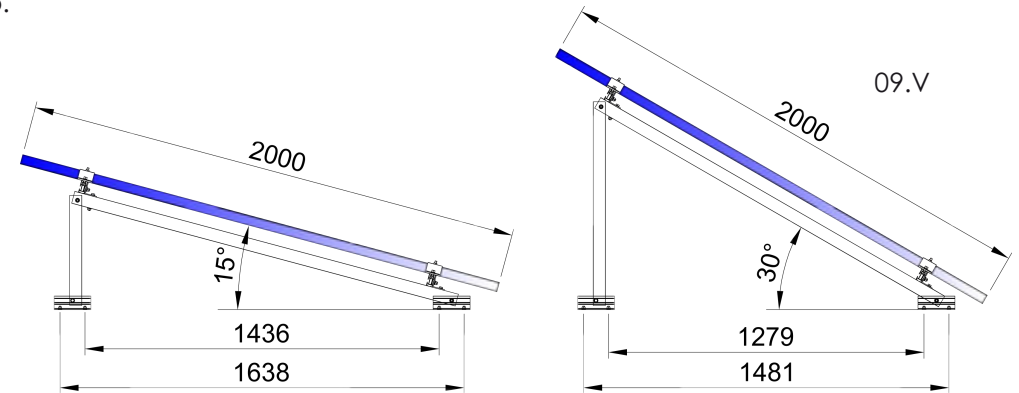
Número de paneles

Vertical:
de 1 a 6 módulos
Inclinaciones:
estándar 15°/30°

Para módulos de 60 y 72
células (1650/2000x1000)
de 33 a 50 mm de espesor.



Distancia máxima entre pórticos: ≤1650 mm.



Distancia máxima entre pórticos: ≤1550 mm.



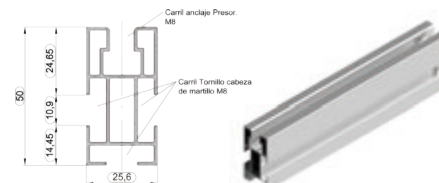
- Comprobar el buen estado de la cubierta y la capacidad portante de la misma.
- Comprobar la impermeabilidad de la fijación una vez colocada
- Distribuir los módulos para que su colocación sea simétrica a lo largo del soporte y dejando los sobrantes en los extremos.
- Los presores no se deben apretar con máquinas de impacto.
- Para el montaje de los arriostramientos consultar detalle de montaje en menú "Detalles y Accesorios"



Herramientas necesarias:



Seguridad:



Perfil compatible: G1

Viento 120 Km/h

MATERIALES Perfilería de aluminio EN AW 6005A T6
TORNILLERÍA Tornillería acero inoxidable A2-70

- Comprobar el buen estado de la cubierta y la capacidad portante de la misma.
- Comprobar la impermeabilidad de la fijación una vez colocada

Para más información consultar

ANNEX O: DOCUMENTACIÓ A ENTREGAR

**CONTRATO DE COMPENSACIÓN DE EXCEDENTES
PARA APLICACIÓN DEL MECANISMO DE COMPENSACIÓN SIMPLIFICADA**

R E U N I D O S

De una parte el productor de energía eléctrica con fuentes renovables *[nombre y apellidos]*, con NIF *[número]*, titular de la instalación de producción de energía eléctrica de la modalidad CON excedentes acogida a compensación con CIL *[nº de CIL de la instalación de generación]* y situada en *[dirección completa]*, (en adelante, el productor).

De otra parte, *[nombre y apellidos]* con DNI/NIF *[número]*, consumidor y titular del contrato CUPS *[nº de CUPS del contrato de suministro]* con suministro ubicado en *[dirección completa]*, (en adelante, el consumidor).

De acuerdo con lo estipulado en el Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, el consumidor y el productor desean suscribir un contrato de compensación excedentes según lo definido en el artículo 14 del mencionado Real Decreto.

Las partes se reconocen mutuamente la capacidad legal necesaria para celebrar este contrato, de acuerdo con las siguientes

C L A Ú S U L A S

PRIMERA. Con la firma del presente contrato el productor y el consumidor acuerdan voluntariamente un mecanismo de compensación simplificada entre los déficits del consumo del consumidor y la totalidad de los excedentes de la instalación del productor, tal como establece el Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica.

SEGUNDA. El consumidor enviará directamente a la empresa distribuidora, o a través de su comercializadora, este contrato de compensación de los excedentes y solicitará su aplicación.

TERCERA. Los firmantes conocen que la energía excedentaria se valorará de acuerdo con lo establecido en la normativa de aplicación.

CUARTA. Los firmantes conocen que la energía horaria excedentaria del consumidor no tendrá consideración de energía incorporada al sistema eléctrico de energía eléctrica y, en consecuencia, estará exenta de satisfacer los peajes establecidos en el Real Decreto 1544/2011, de 31 de octubre, por el que se establecen los peajes de acceso a las redes de transporte y distribución que deben satisfacer los productores de energía eléctrica. Así mismo, los firmantes conocen que el productor no puede participar de ningún otro mecanismo de venta de la energía generada.

QUINTA. La duración mínima de este contrato será de un año a partir de su firma y de la activación de la modalidad de compensación por parte del distribuidor, prorrogable anualmente de forma automática.

Si alguna de las partes decidiera resolver el contrato deberá manifestar esta pretensión por escrito y con un mínimo de un mes de antelación a la fecha del vencimiento o de cualquiera de sus prórrogas.

SEXTA. Se establecerán como causas de resolución:

- El incumplimiento de las condiciones establecidas en la normativa vigente en relación con el Real Decreto 244/2019, de 5 de abril.
- El mutuo acuerdo de las partes, sin perjuicio de la duración mínima establecida de un año en la cláusula QUINTA.
- La cancelación de la inscripción en el Registro administrativo de instalaciones de autoconsumo.
- El cese de la actividad de producción de energía eléctrica.

Como muestra de conformidad, firmamos este contrato.

En _____, a _____ de _____ de 20 __.

EL PRODUCTOR ASOCIADO:

EL CONSUMIDOR ASOCIADO:

NIF:

NIF:

(En los autoconsumos colectivos cada consumidor deberá remitir individualmente copia a su comercializadora)

**ACUERDO DE REPARTO DE ENERGÍA DE AUTOCONSUMO COLECTIVO
INSTALACIONES SIN EXCEDENTES
ACOGIDAS A COMPENSACIÓN**

En aplicación del Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, los siguientes consumidores acordamos asociarnos a la instalación de **autoconsumo colectivo de energía eléctrica** con las siguientes características:

SIN excedentes
Acogida a compensación

CÓDIGO DE AUTOCONSUMO (CAU)	
------------------------------------	--

(Completar para cada consumidor asociado)

	CONSUMIDOR ASOCIADO (titular del suministro)	NIF	CUPS	COEFICIENTE DE REPARTO (β)
1				
2				
3				

(Si existen varias instalaciones de generación, completar para cada una)

	CIL	COEFICIENTE (α)
INSTALACIÓN de GENERACIÓN nº 1		
INSTALACIÓN de GENERACIÓN nº 2		

Con la firma del presente acuerdo, los consumidores **nos acogemos voluntariamente al mecanismo de compensación simplificada** entre los déficits de consumo de cada consumidor y la totalidad de los excedentes de la instalación de generación en autoconsumo, tal como establece el Real Decreto 244/2019, de 5 de abril.

Les rogamos reciban esta comunicación y procedan a realizar los trámites necesarios.

Del mismo modo, les solicitamos la aplicación del mecanismo de compensación simplificada de los excedentes de la instalación de autoconsumo a la que nos asociamos, y el inicio del mecanismo de compensación en el siguiente periodo de facturación desde la recepción de este acuerdo.

En _____, a _____ de _____ de 20 ____.

Los **CONSUMIDORES** asociados:

(Completar para cada consumidor asociado)

CONSUMIDOR ASOCIADO 1:

CONSUMIDOR ASOCIADO 2:

CONSUMIDOR ASOCIADO 3:

NIF:

NIF:

NIF:

**ACUERDO DE REPARTO DE ENERGÍA DE AUTOCONSUMO COLECTIVO
INSTALACIONES SIN EXCEDENTES
NO ACOGIDAS A COMPENSACIÓN**

En aplicación del Real Decreto 244/2019 de 5 de abril, los siguientes consumidores acordamos asociarnos a la instalación de **autoconsumo colectivo de energía eléctrica** con las siguientes características:

SIN excedentes
NO Acogida a compensación

CÓDIGO DE AUTOCONSUMO (CAU)	
------------------------------------	--

(Completar para cada consumidor asociado)

	CONSUMIDOR ASOCIADO (titular del suministro)	NIF	CUPS	COEFICIENTE DE REPARTO (β)
1				
2				
3				

(Si existen varias instalaciones de generación, completar para cada una)

	CIL	COEFICIENTE (α)
INSTALACIÓN de GENERACIÓN nº 1		
INSTALACIÓN de GENERACIÓN nº 2		

Les rogamos reciban esta comunicación y procedan a realizar los trámites necesarios.

En _____, a _____ de _____ de 20 __.

Los **CONSUMIDORES** asociados:

(Completar para cada consumidor asociado)

CONSUMIDOR ASOCIADO 1:

CONSUMIDOR ASOCIADO 2:

CONSUMIDOR ASOCIADO 3:

NIF:

NIF:

NIF:

**ACUERDO DE REPARTO DE ENERGÍA DE AUTOCONSUMO COLECTIVO
INSTALACIONES CON EXCEDENTES
ACOGIDAS A COMPENSACIÓN**

En aplicación del Real Decreto 244/2019 de 5 de abril, los siguientes consumidores acordamos asociarnos a la instalación de **autoconsumo colectivo de energía eléctrica** con las siguientes características:

**CON excedentes
Acogida a compensación**

CÓDIGO DE AUTOCONSUMO (CAU)	
--	--

(Completar para cada consumidor asociado)

	CONSUMIDOR ASOCIADO (titular del suministro)	NIF	CUPS	COEFICIENTE DE REPARTO (β)
1				
2				
3				

(Si existen varios productores con instalaciones de generación asociadas al autoconsumo, completar para cada uno de ellos)

	PRODUCTOR ASOCIADO (titular de la instalación de generación)	NIF	CIL	COEFICIENTE (α)
1				
2				

Con la firma del presente acuerdo, los consumidores **nos acogemos voluntariamente al mecanismo de compensación simplificada** entre los déficits del consumo de cada consumidor y la totalidad de los excedentes de la instalación de autoconsumo, tal como establece el Real Decreto 244/2019, de 5 de abril.

Les rogamos reciban esta comunicación y procedan a realizar los trámites necesarios.

Del mismo modo, les solicitamos la aplicación del mecanismo de compensación simplificada de los excedentes de la instalación de autoconsumo a la que nos asociamos, y el inicio del mecanismo de compensación en el siguiente periodo de facturación desde la recepción de este acuerdo.

En _____, a _____ de _____ de 20 ____.

Los **CONSUMIDORES** asociados:

(Completar para cada consumidor asociado)

CONSUMIDOR ASOCIADO 1:

CONSUMIDOR ASOCIADO 2:

CONSUMIDOR ASOCIADO 3:

NIF:

NIF:

NIF:

Los **PRODUCTORES** asociados:

(Completar para cada productor asociado)

PRODUCTOR 1:

PRODUCTOR 2:

NIF:

NIF:

**ACUERDO DE REPARTO DE ENERGÍA DE AUTOCONSUMO COLECTIVO
INSTALACIONES CON EXCEDENTES
NO ACOGIDAS A COMPENSACIÓN**

En aplicación del Real Decreto 244/2019 de 5 de abril, los siguientes consumidores acordamos asociarnos a la instalación de **autoconsumo colectivo de energía eléctrica** con las siguientes características:

- CON excedentes**
 NO Acogida a compensación

CÓDIGO DE AUTOCONSUMO (CAU)	
------------------------------------	--

(Completar para cada consumidor asociado)

	CONSUMIDOR ASOCIADO (titular del suministro)	NIF	CUPS	COEFICIENTE DE REPARTO (β)
1				
2				
3				

(Si existen varios productores con instalaciones de generación asociadas al autoconsumo, completar para cada uno de ellos)

	PRODUCTOR ASOCIADO (titular de la instalación de generación)	NIF	CIL	COEFICIENTE (α)
1				
2				

Les rogamos reciban esta comunicación y procedan a realizar los trámites necesarios.

En _____, a _____ de _____ de 20 __.

Los **CONSUMIDORES** asociados:

(Completar para cada consumidor asociado)

CONSUMIDOR ASOCIADO 1:

CONSUMIDOR ASOCIADO 2:

CONSUMIDOR ASOCIADO 3:

NIF:

NIF:

NIF:

Los **PRODUCTORES** asociados:

(Completar para cada productor asociado)

PRODUCTOR 1:

PRODUCTOR 2:

NIF:

NIF: