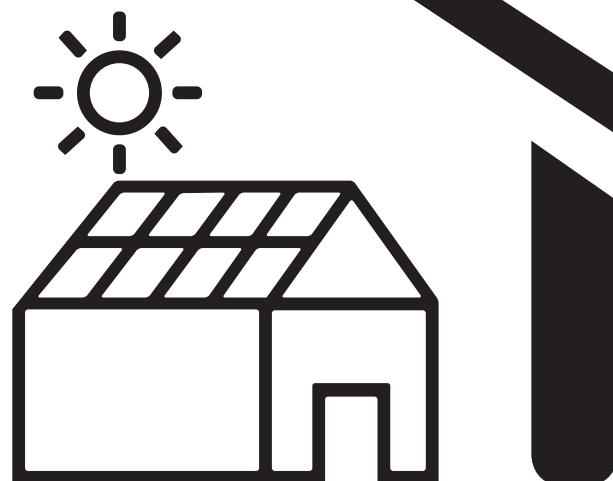


CRITERIS PER AL **MÀXIM** APROFITAMENT FOTOVOLTAIC **DE LES** **COBERTES DELS EDIFICIS**



1a edició: Abril 2023

Editada per: Institut Català d’Energia
Títol: Criteris per al màxim aprofitament fotovoltaic de les cobertes dels edificis

Redacció del document base:
Sr. Joan Ramis, Solartradex
Sr. Martí Carballo, Solartradex
Sr. Oscar Sanchez, Institut Català d’Energia

Coordinació tècnica:
Sr. Antoni Campaña, Institut Català d’Energia

Disseny:
Eva Sánchez – Institut Català d’Energia (ICAEN)

Maquetació:
Plátanos Naranjas, S.L.

Versió electrònica:
icaen.gencat.cat/publicacions/



Aquesta obra està subjecta a una llicència Reconeixement-No Comercial-SenseObres Derivades 3.0 de Creative Commons. Se'n permet la còpia, distribució i comunicació pública sempre que se'n citi la font (Institut Català d'Energia) i l'ús concret no inclogui finalitat comercial. S'ha d'informar sobre les condicions sota les que aquest treball pot ser distribuït o comunicat. Tampoc no se'n poden fer obres derivades. Per veure'n una còpia, visiteu <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/>

ÍNDEX

1 | Introducció 6

3 | Principals indicadors de les instal·lacions fotovoltaïques d'autoconsum 8

3.1. Indicadors energètics 8

- 3.1.1 Fracció solar [%]
- 3.1.2 Cobertura solar [%]
- 3.1.3 Percentatge d'autoconsum [%]
- 3.1.4 Densitat de producció [kWh/m²]
- 3.1.5 Hores equivalents [h]
- 3.1.6 Edifici d'emissió zero

3.2. Indicadors econòmics 10

- 3.2.1 Rendibilitat de la inversió [anys]
- 3.2.2 Estalvi econòmic [€]
- 3.2.3 Taxa interna de rendibilitat [%]
- 3.2.4 Cost anivellat de l'energia (levelised cost of energy) [€/kWh]
- 3.2.5 Valor actual net [€]

4 | Afectació de la producció envers les variables objecte d'estudi 12

4.1. Tipus de coberta 12

4.2. Orientació 13

- 4.2.1 Instal·lacions amb orientació simple dels mòduls
- 4.2.2 Instal·lacions amb mòduls amb doble orientació

4.3. Inclinació dels mòduls 17

4.4. Avaluació conjunta de les variables. Orientació simple 18

4.5. Avaluació conjunta de les variables. Doble orientació 28

4.6. Diferència entre orientació simple i doble orientació 30

2 | Objectiu 8

5 | Dimensionament i sobredimensionament 32

5.1. Sobredimensionament de les instal·lacions de producció 32

5.1.1 Sobredimensionament amb sistemes de limitació d'injecció

5.2. Altres restriccions al dimensionament 39

5.2.1 Passadissos de manteniment

5.2.2 Distància a les façanes

5.2.3 Ombres externes

5.2.4 Ombres internes

5.2.5 Elements presents a la coberta

5.2.6 Grandària dels mòduls

6 | Aprofitament de la coberta per fases 41

7 | Exemples reals 42

8 | Conclusions 47

1. Introducció

El model energètic basat en els combustibles fòssils i en la generació centralitzada de l'energia ja està esgotat i no pot ser un model de futur.

El treball de la Prospectiva energètica de Catalunya en l'horitzó del 2050 (PROENCAT 2050), elaborat per l'Institut Català d'Energia i presentat el febrer del 2022, determina el full de ruta de la transició energètica i mostra els objectius numèrics d'aquest procés. La prospectiva identifica l'energia solar sobre teulada i sobre el terreny, juntament amb l'energia eòlica, com la principal opció disponible a Catalunya per aconseguir un sistema energètic 100 % renovable i amb un preu de l'energia competitiu en l'horitzó de l'any 2050.

Dintre de la generació d'energia solar la que es produeix sobre teulada té avantatges importants, ja que és un model distribuït que és més resilient davant les inclemències de fenòmens meteorològics extrems, és més eficient, perquè es redueixen les pèrdues de transport (en apropar-se l'oferta a la demanda), permet a la població disposar de la tecnologia i poder ser agents actius en el mercat energètic i evita la utilització d'altres terrenys i espais naturals.

Per aprofitar aquests avantatges, considerant a més que la superfície de les teulades és un recurs limitat, cal maximitzar l'energia solar que produïm a sobre d'aquestes teulades.

L'entorn normatiu actual estableix un marc molt favorable per a la generació renovable a les cobertes dels edificis amb instal·lacions d'autoconsum. Ara bé, en l'actualitat, una bona part dels projectes fotovoltaics per a autoconsum no estan aprofitant el potencial de les teulades i en molts casos s'està hipotecant la superfície disponible, fet que dificulta possibles ampliacions futures.

Les principals barreres que podrien dificultar el màxim aprofitament energètic de les teulades són les següents:

- Prevalença del criteri exclusivament econòmic a l'hora de dissenyar les instal·lacions. Aquest criteri tenia més sentit quan els preus de les plaques eren més elevats i els preus de l'energia més baixos; amb aquests factors es potenciava instal·lacions amb inclinacions elevades (30°, 35°) i orientacions al sud que feien servir molta superfície de teulada amb una densitat de plaques baixa, per la separació entre aquestes mateixes plaques.
- Adequació de la instal·lació per a un autoconsum individual, fet que limita l'energia generada per reduir els excedents a nivells raonables.
- Limitació en la capacitat d'evacuació d'energia de la instal·lació de consum.

L'escenari actual inclou facilitats que permeten dissenyar instal·lacions amb un major aprofitament energètic de les superfícies de les teulades sense un impacte significatiu en la rendibilitat de la inversió i fins i tot millorant aquesta rendibilitat. Aquests aspectes facilitadors inclouen les ajudes directes a les instal·lacions, reduccions impositives, l'elevat preu de l'energia i les noves modalitats d'autoconsum compartit i les comunitats energètiques.

2. Objectiu

L'objectiu d'aquest estudi és establir els criteris a tenir en compte en el disseny de projectes d'autoconsum fotovoltaic per tal de maximitzar l'energia generada per unitat de superfície de teulada o coberta d'un edifici mantenint una rendibilitat econòmica raonable. A efectes pràctics, això implica la instal·lació de la quantitat més gran de potència pic a les cobertes dels edificis. Així doncs, no es busca l'objectiu purament econòmic de qualsevol instal·lació d'autoconsum de maximitzar el valor de cada kWh generat al mínim cost d'inversió, sinó ampliar-lo a un aspecte més social i mediam-biental per tal d'avançar cap a la neutralitat climàtica dels edificis evitant al màxim l'emissió de CO₂.

3. Principals indicadors de les instal·lacions fotovoltaïques d'autoconsum

A continuació s'exposen els principals indicadors que s'utilitzaran i analitzaran posteriorment en els casos pràctics per avaluar el grau de compliment de l'objectiu principal de l'estudi. En el cas d'autoconsum col·lectiu es consideren tots els consumidors i productors que participen en la instal·lació d'autoconsum.

3.1. Indicadors energètics

3.1.1 Fracció solar [%]

La fracció solar es defineix com el percentatge de la demanda d'electricitat que és cobert amb energia fotovoltaica autoconsumida per l'edifici.

$$FS (\%) = A/C$$

En què FS és fracció solar (%), A és autoconsum (kWh) i C és demanda elèctrica (kWh).

3.1.2 Cobertura solar [%]

La cobertura solar és el percentatge de la demanda d'electricitat dels equi-paments que és coberta amb la producció elèctrica de les instal·lacions fotovoltaïques. La diferència amb la fracció solar és que la cobertura té en compte també l'energia elèctrica excedentària (exportada a la xarxa de distribució) no autoconsumida.

$$CS (\%) = P/C = (A + E)/C$$

En què CS és cobertura solar (%), P és producció (kWh), C és demanda (kWh), A és autoconsum (kWh) i E és excedents (kWh).

Com més gran sigui la cobertura aconseguida, menors són les emissions de gasos d'efecte d'hivernacle i més es pot estalviar en el terme d'energia de la factura elèctrica.

3.1.3 Percentatge d'autoconsum [%]

El percentatge d'autoconsum és la relació entre l'energia autoconsumida per l'edifici de forma instantània i l'energia total produïda per la instal·lació.

$$PA (\%) = A/P$$

En què PA és percentatge d'autoconsum (%), P és producció (kWh) i A és autoconsum.

Com millor s'adapti la corba de producció a la de consum, menors són els excedents injectats a la xarxa i major és el percentatge d'autoconsum.

La cobertura solar i el percentatge d'autoconsum són dos indicadors que estan relacionats de manera inversament proporcional, quan un puja, l'altre baixa: si s'instal·la la màxima potència pic a la coberta, s'obté la màxima producció i es cobreix el màxim de consum (cobertura solar màxima), però també es té el màxim d'excedents (percentatge d'autoconsum mínim).

Des del punt de vista econòmic, donat que l'energia autoconsumida té un valor econòmic superior a l'energia excedentària, de forma general, la reducció del percentatge d'autoconsum augmentarà el temps de rendibilitat de la inversió, però, per altra banda, una instal·lació d'una dimensió més gran tindrà més valor econòmic (VAN).

Per maximitzar el percentatge d'autoconsum, s'hauran d'adaptar els consums a la producció o bé instal·lar sistemes d'acumulació.

3.1.4 Densitat de producció [kWh/m²]

Aquest indicador mesura directament el grau de compliment de l'objectiu establert i s'expressa en kWh/m² de producció fotovoltaica per superfície de coberta. La disposició dels mòduls a sobre de la coberta és clau per maximitzar l'indicador: així doncs, s'ha d'estudiar en detall les diferents orientacions i inclinacions dels mòduls en el disseny.

3.1.5 Hores equivalents [h]

Les hores equivalents anuals són la relació entre l'energia generada i la potència instal·lada. Ens indica el nombre d'hores de generació a potència pic i condicions estàndard que generarien la mateixa energia que la instal·lació a règim real. Aquest indicador serveix per avaluar d'una forma relativa la producció d'una instal·lació fotovoltaica sense tenir en compte les seves dimensions. Així doncs, per una mateixa potència pic, una instal·lació de 1.430 h equivalents produirà més que una de 1.350 h, ja que la producció és el resultat de multiplicar la potència pic per les hores equivalents. Les hores equivalents estan directament relacionades amb les variables objecte d'estudi, que es detallen a l'apartat 4.

3.1.6 Edifici d'emissió zero

És un edifici amb una eficiència energètica molt elevada, en què la poca quantitat d'energia que segueix sent necessària està totalment coberta per energia procedent de fonts renovables generades *in situ* o d'una comunitat d'energies renovables.

3.2 Indicadors econòmics

És objecte d'aquest estudi explicar com varien els indicadors econòmics que es descriuen a continuació i veure que es mantenen en valors acceptables quan l'objectiu no és purament econòmic, sinó més social i ambiental.

3.2.1 Rendibilitat de la inversió [anys]

Aquest indicador mesura el temps necessari per recuperar la inversió rea-

litzada en la instal·lació amb els estalvis obtinguts. Normalment, es mesura en mesos o anys.

3.2.2 Estalvi econòmic [€]

L'energia autoconsumida genera un estalvi en el terme d'energia de la factura elèctrica (i, en alguns casos, també en el terme de potència) que permet anar recuperant la inversió realitzada al llarg del temps.

3.2.3 Taxa interna de rendibilitat [%]

La taxa interna de rendibilitat (TIR) és un dels indicadors més importants, ja que indica la rendibilitat d'una inversió. Es defineix com la taxa d'interès per la qual es recupera la inversió. Seria l'equivalent al rendiment econòmic que ens donaria la inversió.

D'aquesta manera, es comprova el nivell de viabilitat del projecte des d'un punt de vista únicament econòmic.

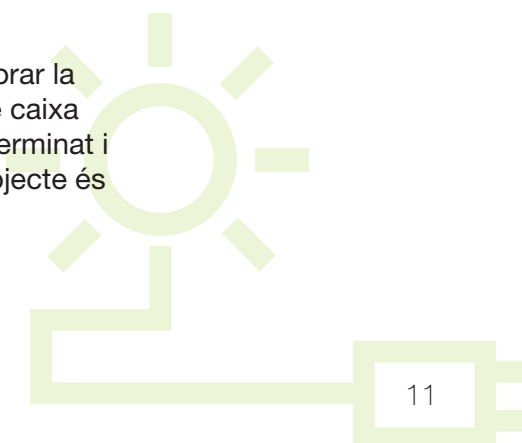
Maximitzar l'energia generada implica tenir uns excedents que redueixen la rendibilitat de la inversió.

3.2.4 Cost anivellat de l'energia (*levelised cost of energy*) [€/kWh]

El cost anivellat de l'energia o LCOE, per les seves sigles en anglès, d'una instal·lació d'autoconsum és la relació entre la suma de la inversió més els costos d'operació i manteniment i l'energia produïda per la instal·lació al llarg dels anys de la seva vida útil. És el cost equivalent de l'energia produïda per la instal·lació fotovoltaica. Aquest indicador ens permet fer la comparació, per exemple, amb el cost d'adquisició d'energia de la xarxa.

3.2.5 Valor actual net [€]

El valor actual net (VAN) és un indicador financer que permet valorar la rendibilitat d'una inversió mitjançant l'actualització dels fluxos de caixa futurs al moment present tenint en compte un tipus d'interès determinat i descomptant la inversió inicial. Si el seu resultat és positiu, el projecte és viable.





Coberta de xapa



Coberta de teula



Coberta sandvitx



Coberta de rajoja

4. Afectació de la producció envers les variables objecte d'estudi

4.1 Tipus de coberta

La tipologia de cobertes pot ser molt variada i influir considerablement en el tipus d'estructura utilitzada. Segons el material, ens podem trobar amb cobertes de teula, de xapa grecada, tipus sandvitx, coberta plana de grava, coberta deck...; i segons la disposició podem trobar cobertes planes (amb inclinació inferior a 5°) o cobertes inclinades (inclinació superior a 5°).

Cobertes planes	Cobertes inclinades
Tipus deck	Cobertes de teula
Cobertes de grava	Cobertes de xapa
Cobertes de rajola	Cobertes tipus sandvitx

Taula 4.1. Tipus de cobertes planes i inclinades.

Per evitar el risc de filtracions d'aigua, a les cobertes planes l'estructura de la instal·lació fotovoltaica no va collada a la coberta, sinó que, per impedir el seu moviment degut a la pressió del vent, va llastrada. La quantitat de llast varia en funció de l'emplaçament de l'equipament, la seva alçada i la inclinació dels mòduls: a més inclinació, més efecte vela i més pes es necessita per contrarestar la pressió del vent.

En canvi, en cobertes inclinades la instal·lació sí que va collada, ja sigui a la part superior de la xapa o sandvitx o a les corretges de l'equipament.

Si la coberta és plana, cal que l'estructura en què s'instal·len els mòduls tingui inclinació per tal d'aprofitar millor la irradiació solar i permetre l'auto-neteja dels mòduls amb la pluja.

Si la coberta és inclinada, en general es munten els mòduls coplanaris per aprofitar al màxim l'espai disponible.

4.2 Orientació

4.2.1 Instal·lacions amb orientació simple dels mòduls

L'orientació, juntament amb la inclinació, és una de les variables més importants de l'estudi, ja que la producció en depèn directament. L'orientació que maximitza la producció és la sud i la de menys producció és la nord.

Quan la coberta és inclinada, cal instal·lar els mòduls coplanaris preferentment al vessant més orientat al sud. L'altre vessant (en el cas que en tinguí dos) ha d'estar orientat al nord-est o nord-oest i també es pot considerar la instal·lació de mòduls si l'angle d'inclinació no és molt elevat. Les hores equivalents no seran tan elevades com al vessant orientat al sud.

Cal esmentar la importància d'instal·lar els mòduls de forma coplanària quan la coberta sigui inclinada (tot i que no estigui ben orientada) per diversos motius:

- És la forma que permet instal·lar el nombre més gran de mòduls i, per tant, és la que permet generar més energia, tot i que l'energia generada per mòdul sigui inferior.
- Amb l'elevat nivell de preus de l'alumini, i per a una mateixa coberta inclinada, el cost total d'una instal·lació coplanària és similar al d'una

instal·lació sobre una estructura triangular, però amb menys mòduls. El guany de producció per mòdul en aquest darrer cas no compensa els espais no productius originats per la separació dels mòduls degut a les ombres i, per tant, es produirà més amb l'opció coplanària amb el mateix cost.

- Estèticament, els mòduls queden més ben integrats i s'eviten problemes de legalització i incompatibilitat amb la normativa municipal.
- Finalment, la càrrega de vent és molt inferior i la coberta no ha de partir tant els esforços.

Així doncs, de forma general, no es recomana utilitzar una estructura triangular per millorar l'orientació dels mòduls en una coberta inclinada.

Quan la coberta és plana, sí que cal donar una inclinació mínima als mòduls perquè es puguin autonetejar amb la pluja (mínim 5°). Tot i que els mòduls es poden orientar lliurement, orientar-los seguint la perpendicularitat de la coberta permet instal·lar més potència pic i produir més, tot i no tenir la coberta ben orientada al sud.

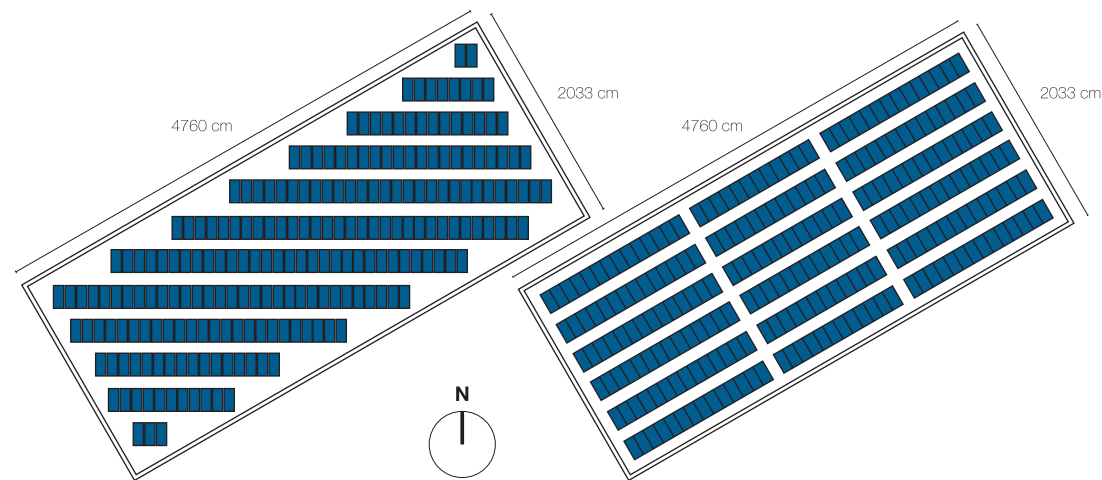


Figura 4.2. Implantació sobre coberta plana amb estructura al sud (214 mòduls, que totalitzen 98,44 kWp) i paral·lela a la coberta (30° SE amb 240 mòduls, que totalitzen 110,40 kWp).

En aquest exemple, **a la instal·lació que segueix la perpendicularitat de la coberta hi cap un 10 % més de potència pic, cosa que compensa la menor producció a causa d'una pitjor orientació dels mòduls**, com es veurà posteriorment.

En certes situacions de cobertes planes rectangulars amb orientació 45° SE o 45° SO, la disposició dels mòduls pot estar determinada pel perfil de consum de l'equipament associat. Així doncs, si es tracta d'una escola amb un ús principalment de matí, preferiblement s'orientarà el camp fotovoltaic cap al SE, mentre que si es tracta d'un poliesportiu amb activitats majoritàriament de tardes, l'orientació hauria de ser SO.

La figura següent mostra la producció horària mitjana d'una instal·lació inclinada 15° i orientada 45° al sud-est i 45° al nord-est, respectivament. S'hi pot observar la separació, aproximadament d'una hora, en el pic de producció.

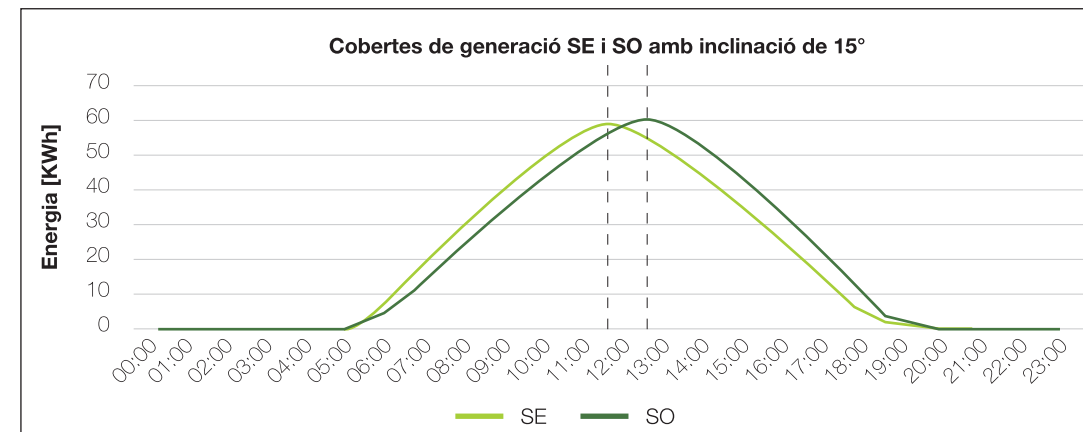


Figura 4.3. Gràfic de corbes de generació SE i SO.

4.2.2 Instal·lacions amb mòduls amb doble orientació

Quan la coberta és plana, hi ha l'opció de dues orientacions, que és la que tenen els mòduls quan s'instal·len sobre una estructura autoportant en forma de teulat. D'aquesta forma, amb un mòdul orientat en sentit contrari s'aconsegueix aprofitar l'espai (fins a un 30 %) que s'hauria de deixar per l'ombra si es tractés d'una sola fila. A més a més, té avantatges com ara els següents:

- Es redueixen els costos unitaris d'estructura (ja que bona part es comparteix) i de mà d'obra.
- Es pot instal·lar més potència pic per unitat de superfície i produir més.
- Es necessita menys llast per mòdul per contrarestar la pressió del vent sobre el conjunt de mòduls, ja que el conjunt és més aerodinàmic.



Figura 4.4. Estructures autoportants d'orientació simple (esquerra) i de doble orientació (dreta).

En una coberta plana i rectangular, i tenint en compte que el camp de mòduls respecta la perpendicularitat de la coberta, hi ha sempre dues possibles configuracions en doble orientació amb una diferència de 90° entre elles, per exemple:

- Est/oest o nord/sud.
- Nord-est/sud-oest o nord-oest/sud-est.

La figura següent mostra les dues possibles dobles orientacions que hi pot haver en cobertes planes:

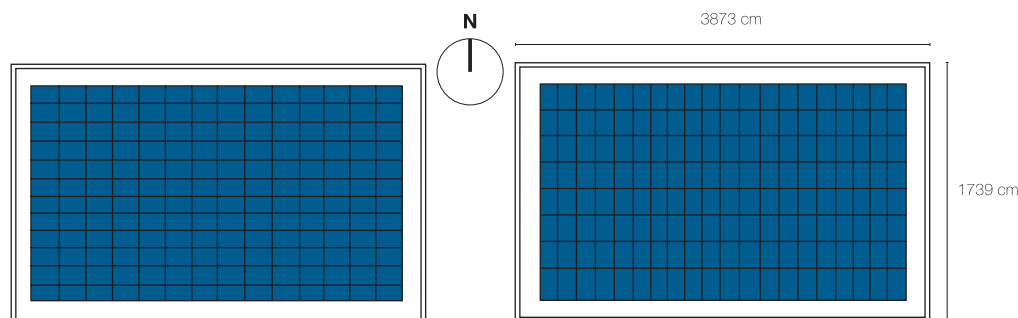


Figura 4.5. Implantació sobre coberta plana amb estructura autoportant amb disposició nord-sud i amb disposició est-oest.

Per a una orientació est-oest, la producció anual és similar amb la doble orientació que amb orientacions simples est o oest, i el perfil horari de generació de la doble orientació est-oest està entre els perfils de l'orientació est i oest. Cal remarcar que no es produeix un eixamplament de la

corba amb les instal·lacions de doble orientació, ja que durant les primeres (i darreres) hores del dia el que produeixen de més els mòduls orientats a l'est (oest) ho produeixen de menys els mòduls orientats a l'oest (est). Això es mostra a la figura següent.

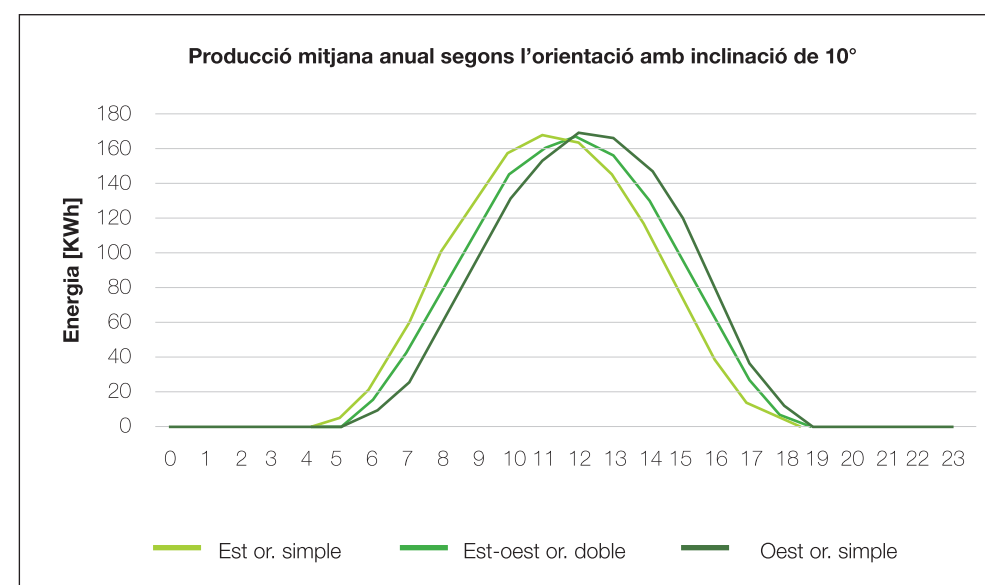


Figura 4.6. Implantació sobre coberta plana amb estructura autoportant amb orientació simple est i oest i orientació doble est-oest.

4.3 Inclinació dels mòduls

Pel que fa a la inclinació dels mòduls, la inclinació òptima depèn de la seva orientació i de la latitud de l'emplaçament de la coberta. A Catalunya, la inclinació òptima dels mòduls orientats al sud és d'uns 35°; ara bé, com es pot veure a l'apartat següent, com pitjor sigui l'orientació respecte del sud, menys graus es necessiten per aconseguir la inclinació òptima dels mòduls.

En cobertes ja inclinades no es recomana utilitzar una estructura que inclini més els mòduls per estar més a prop de la inclinació òptima, pels mateixos motius explicats a l'apartat 4.2.1.

Per a cobertes planes, en canvi, sí que és necessari determinar quina és la inclinació i l'orientació més adequada en funció de la coberta i dels objectius del projecte.

Ara bé, cal tenir en compte que la distància de separació entre files de mòduls creix a mesura que ho fa la inclinació a causa de l'ombra que s'hi projecta. Fins ara es recomanava deixar sempre una distància entre files d'un mateix camp (i, en general, entre els mòduls i qualsevol objecte a sobre la coberta) que permetés tenir els mòduls lliures d'ombres quatre hores durant el solstici d'hivern. La taula següent mostra la distància que cal deixar entre files i el percentatge d'àrea de coberta que no es pot aprofitar en funció de l'angle d'inclinació tenint en compte aquesta recomanació.

Inclinació	% àrea coberta no aprofitable
0	0%
5	20%
10	33%
15	42%
20	49%
25	54%
30	59%
35	62%
40	64%
50	68%
55	70%
60	71%
65	72%
70	73%
75	73%
80	74%
85	74%
90	74%

Taula 4.2. Percentatge d'àrea no aprofitable en funció de la inclinació.

Aquesta pèrdua d'espai disponible deguda a les ombres projectades pels mateixos mòduls provoca una disminució de la capacitat de potència a instal·lar i, conseqüentment, una disminució de l'energia generada.

4.4 Avaluació conjunta de les variables. Orientació simple

Un cop estudiades les principals variables per separat, s'han analitzat conjuntament per veure com afecta la producció l'acció conjunta de l'orientació i la inclinació.

Així doncs, la taula següent mostra les hores equivalents en funció de la inclinació i l'orientació d'una instal·lació tipus a Catalunya amb una *performance ratio* (paràmetre que permet avaluar el rendiment real de la planta respecte del teòric) del 80 %. Aquesta *performance ratio* té en compte totes les pèrdues (temperatura, caigudes de tensió, embrutiment, rendiment de l'inversor, etc.).

		Inclinació								
Orientació		0	5	10	15	20	25	30	35	40
-150	NO	1.225	1.174	1.116	1.052	984	914	846	782	721
-120	NO	1.225	1.191	1.150	1.104	1.053	999	946	895	846
-90	O	1.225	1.244	1.257	1.181	1.154	1.124	1.091	1.057	1.022
-60	SO	1.225	1.244	1.257	1.263	1.262	1.255	1.242	1.224	1.202
-30	SO	1.225	1.266	1.301	1.327	1.347	1.358	1.362	1.359	1.348
0	S	1.225	1.277	1.322	1.358	1.387	1.407	1.420	1.424	1.420
30	SE	1.225	1.273	1.314	1.347	1.373	1.390	1.401	1.403	1.397
60	SE	1.225	1.256	1.280	1.298	1.308	1.312	1.310	1.301	1.287
90	E	1.225	1.230	1.229	1.222	1.210	1.193	1.172	1.147	1.119
120	NE	1.225	1.230	1.174	1.140	1.102	1.060	1.018	974	930
150	NE	1.225	1.181	1.130	1.073	1.012	949	886	827	770
180	N	1.225	1.170	1.109	1.040	967	893	826	762	702

Taula 4.3. Hores equivalents en funció de l'orientació i la inclinació.

El primer factor que convé destacar és que amb els mòduls inclinats 0° l'orientació no afecta la producció, perquè si estan plans no estan pròpiament orientats. A mesura que els mòduls tenen més inclinació, més afecta l'orientació la producció. D'altra banda, per a inclinacions de fins a 15°, les hores equivalents superen les 1.000 sigui quina sigui l'orientació. La producció màxima s'obté per inclinacions de 35° amb orientació sud i la mínima, per inclinacions de 40° i orientacions nord. Per a orientacions diferents a la sud, la inclinació òptima va disminuint fins als 0° d'inclinació per a orientacions NE o NO.

Val la pena destacar les 1.109 hores equivalents que s'aconsegueixen amb els mòduls orientats a nord i inclinats 10°. Per fer una comparativa del que això representa, a Berlín, amb la mateixa instal·lació, però els mòduls orientats al sud, s'assoleixen unes 952 hores equivalents.

Per tant, queda palès que en cobertes inclinades el vessant nord és igualment interessant per instal·lar-hi mòduls i que en cap cas es recomana utilitzar una estructura triangular en el vessant nord que permeti orientar els mòduls cap al sud. Per extrapolació, tampoc s’ha d’anar a buscar l’orientació sud en cobertes inclinades a est o oest.

A la taula següent es mostra l’anàlisi en termes percentuals, és a dir, el guany o la pèrdua de producció d’instal·lar els mòduls amb una orientació i inclinació determinades respecte del que es considera òptim (inclinació 35° i orientació sud).

		Inclinació								
Orientació		0	5	10	15	20	25	30	35	40
-150	NO	14%	18%	22%	26%	31%	36%	41%	45%	49%
-120	NO	14%	16%	19%	22%	26%	30%	34%	37%	41%
-90	O	14%	15%	16%	17%	19%	21%	23%	26%	28%
-60	SO	14%	13%	12%	11%	11%	12%	13%	14%	16%
-30	SO	14%	11%	9%	7%	5%	5%	4%	5%	5%
0	S	14%	10%	7%	5%	3%	1%	0%	0%	0%
30	SE	14%	11%	8%	5%	4%	2%	2%	2%	2%
60	SE	14%	12%	10%	9%	8%	8%	8%	9%	10%
90	E	14%	14%	14%	14%	15%	16%	18%	19%	21%
120	NE	14%	16%	18%	20%	23%	26%	29%	32%	35%
150	NE	14%	17%	21%	25%	29%	33%	38%	42%	46%
180	N	14%	18%	22%	27%	32%	37%	42%	46%	51%

Taula 4.4. Pèrdues de producció en funció de l’orientació i la inclinació.

La taula posa de manifest que el percentatge de pèrdues respecte de l’òptim no és elevat (<15 %) quan la inclinació no és molt elevada, però les inclinacions reduïdes tenen un efecte positiu en la capacitat de generació de la coberta. De fet, com pitjor sigui l’orientació, menys inclinats han d’estar els mòduls per produir més. Així mateix, considerant la inclinació a 10°, les pèrdues d’una orientació nord respecte de l’orientació sud són només del 15 % (22 % al nord i 7 % al sud, segons la taula).

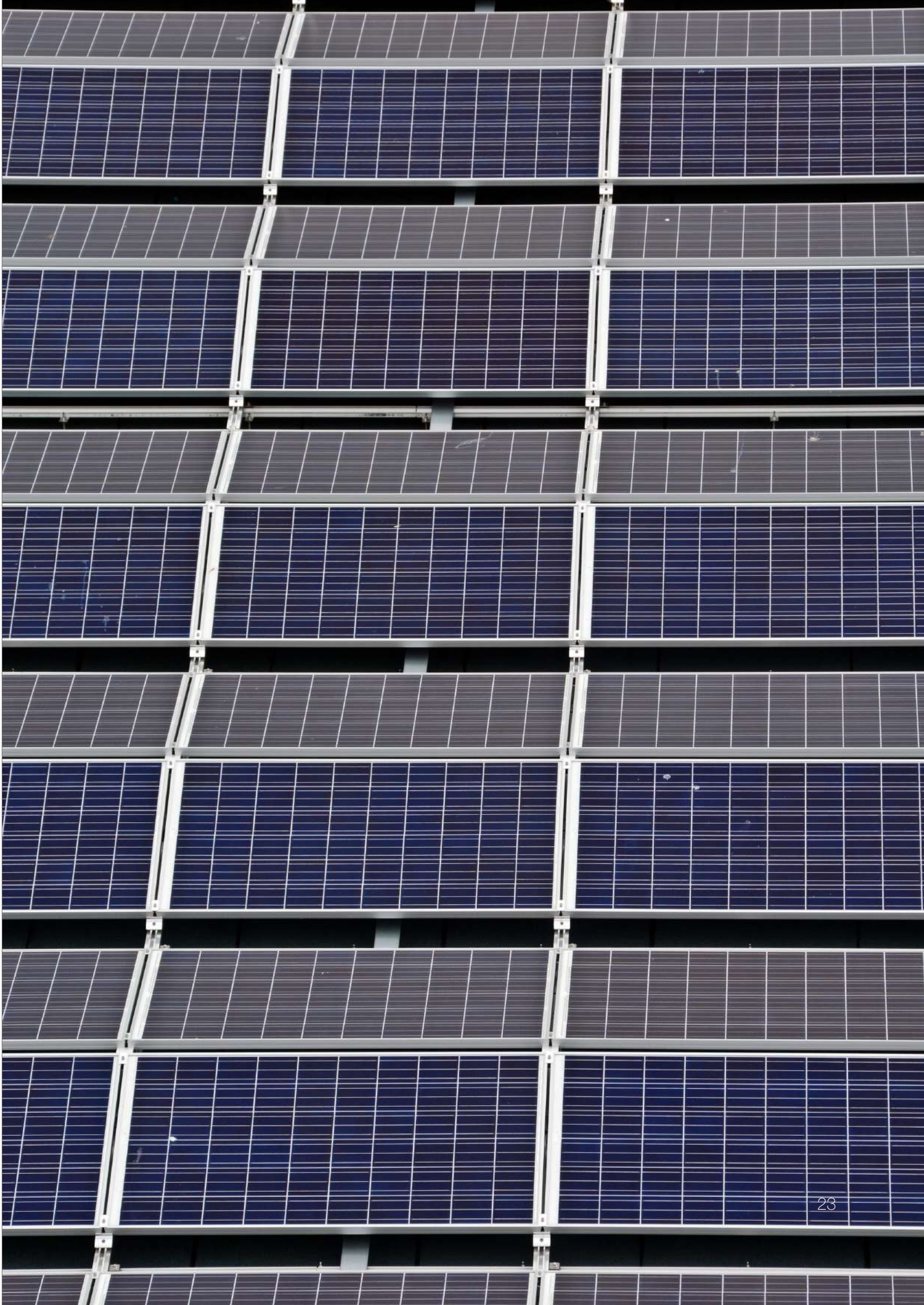
Totes les anàlisis anteriors s’han fet suposant que no hi ha restriccions d’espai en la coberta, és a dir que es pot instal·lar una potència determinada variant l’orientació i la inclinació.

Ara bé, a la pràctica, i tal com s’ha explicat a l’apartat 4.3, l’espai d’una **coberta plana** està acotat i muntar els mòduls amb una inclinació i orientació determinades farà variar l’espai entre files degut a l’ombra: a mesura que més s’inclinin els mòduls, menys potència es podrà instal·lar i menor serà la generació total, tot i ser superiors les hores equivalents. L’efecte conjunt en la producció es pot veure resumit en la taula següent, que mostra el percentatge d’energia que no es genera degut a la distància que s’ha de deixar entre files en funció de la inclinació i de l’orientació (sense incloure passadissos de manteniment).

			Inclinació								
			0	5	10	15	20	25	30	35	40
% Àrea coberta no aprofitable o % Potència instal·lada perduda			0%	20%	33%	42%	49%	54%	59%	62%	64%
Orientació	-150	NO	0%	23%	39%	50%	59%	66%	71%	76%	79%
	-120	NO	0%	22%	37%	48%	56%	63%	68%	72%	75%
	-90	O	0%	20%	34%	44%	52%	58%	63%	67%	70%
	-60	SO	0%	18%	31%	40%	48%	53%	58%	62%	65%
	-30	SO	0%	17%	29%	37%	44%	49%	54%	58%	61%
	0	S	0%	16%	28%	36%	42%	48%	52%	56%	59%
	30	SE	0%	17%	28%	36%	43%	48%	53%	56%	59%
	60	SE	0%	18%	30%	39%	46%	51%	56%	59%	63%
	90	E	0%	19%	33%	42%	50%	56%	60%	64%	68%
	120	NE	0%	21%	36%	46%	54%	61%	66%	70%	73%
	150	NE	0%	23%	38%	49%	58%	65%	70%	74%	78%
	180	N	0%	23%	39%	51%	60%	67%	72%	76%	80%

Taula 4.5. Percentatge d’energia no generada degut a l’espai entre files en una coberta plana. Les orientacions NO, N i NE no tenen gaire sentit pràctic, ja que en cobertes planes s’orientarien en sentit contrari buscant el sud.

Això implica que la màxima generació i aprofitament teòric de la coberta plana s’aconsegueix amb els mòduls també plans. A la pràctica, els mòduls plans no tindrien una autoneteja suficient i les pèrdues per embrutiment serien més elevades. Els mateixos resultats, però amb l’indicador de densitat de producció [kWh/m²·any] (m² de coberta), es mostren en la figura següent (*performance ratio* del 80 %).



			Inclinació								
			0	5	10	15	20	25	30	35	40
% Àrea coberta no aprofitable o % Potència instal·lada perduda			0%	20%	33%	42%	49%	54%	59%	62%	64%
Orientació	-150	NO	276	212	168	137	113	94	79	67	58
	-120	NO	276	215	174	143	120	103	88	77	68
	-90	O	276	220	181	154	132	115	102	91	82
	-60	SO	276	225	190	164	144	129	116	105	96
	-30	SO	276	229	196	173	154	139	127	117	108
	0	S	276	231	200	177	159	144	132	122	113
	30	SE	276	230	198	175	157	143	131	120	112
	60	SE	276	227	193	169	150	135	122	112	103
	90	E	276	222	186	159	138	122	109	99	89
	120	NE	276	217	177	148	126	109	95	84	74
	150	NE	276	213	171	140	116	97	83	71	62
	180	N	276	211	167	135	111	92	77	65	56

Taula 4.6. Densitat de producció. Energia generada (kWh) per unitat de superfície de coberta i any.

* Les orientacions NO, N i NE no es consideren, ja que en cobertes planes s’orientarien en sentit contrari buscant el sud. Tampoc es considera factible la inclinació de 0°, perquè els mòduls no tenen capacitat d’autoneteja.

Finalment, s’analitzen els indicadors econòmics per veure com varien en funció de la inclinació i l’orientació de la instal·lació. Per simplificar, no s’han considerat orientacions amb poc sentit en cobertes planes com són les orientacions NO, N i NE. Tampoc s’ha considerat la inclinació de 0° per no ser realista.

S’han analitzat dues possibles situacions: la primera es tracta d’un autoconsum col·lectiu i la segona, d’un autoconsum individual. En ambdós casos la coberta té una superfície determinada i en funció de l’orientació i la inclinació hi cabrà més o menys potència.



Autoconsum col·lectiu

En aquest primer cas, es considera que pràcticament no hi ha excedents, ja que sempre es podran afegir consumidors associats que permetin arribar a percentatges d’autoconsum pròxims al 100 %, tot i que la producció vagi variant en funció de l’orientació, la inclinació i la potència pic que hi cap a la coberta.

S’han tingut en compte els valors següents:

- Preu estalvi per energia autoconsumida de 0,11 €/kWh.
- Preu estalvi compensació simplificada de 0,06 €/kWh.
- Autoconsum del 95 %.
- La inversió té en compte la inclinació dels mòduls, i és més reduïda amb inclinacions menors degut al cost més petit de la instal·lació portant, aproximadament amb 0,93 €/Wp per 5° i 1,03 €/Wp per 35°.
- No s’han tingut en compte estalvis en el terme de potència.
- Manteniment anual de 800 €.
- IPC electricitat i IPC general de l’1,5 %.
- El període temporal considerat per al càlcul dels indicadors econòmics ha estat de 25 anys.

			Inclinació							
			5	10	15	20	25	30	35	40
Potència pic			88	74	64	56	50	46	42	39
Pressupost instal·lació			82.257 €	70.306 €	61.770 €	54.941 €	49.820 €	46.405 €	42.991 €	40.430 €
Orientació										
TIR [%]	-90	O	13,4 %	13,4 %	12,3 %	11,3 %	10,4 %	9,5 %	8,6 %	7,8 %
	-60	SO	13,8 %	13,8 %	13,1 %	12,5 %	11,9 %	11,5 %	10,9 %	10,3 %
	-30	SO	14,3 %	14,0 %	13,7 %	13,4 %	13,0 %	12,8 %	12,4 %	12,1 %
	0	S	14,4 %	14,0 %	14,0 %	13,8 %	13,6 %	13,4 %	13,3 %	13,0 %
	30	SE	14,3 %	14,3 %	14,0 %	13,7 %	13,6 %	13,3 %	13,1 %	12,8 %
	60	SE	14,0 %	14,0 %	13,5 %	13,1 %	12,7 %	12,2 %	12,0 %	11,5 %
	90	E	13,7 %	13,5 %	12,6 %	11,9 %	11,2 %	10,4 %	9,8 %	9,3 %
VAN [€]	-90	O	125.782 €	106.362 €	81.972 €	62.483 €	47.643 €	36.861 €	27.402 €	20.062 €
	-60	SO	132.167 €	112.508 €	92.527 €	76.142 €	63.487 €	54.338 €	45.506 €	38.627 €
	-30	SO	137.261 €	116.987 €	100.149 €	86.016 €	74.890 €	67.085 €	58.946 €	52.377 €
	0	S	139.695 €	119.016 €	103.594 €	90.449 €	80.102 €	72.928 €	65.114 €	58.837 €
	30	SE	138.827 €	118.297 €	102.403 €	88.926 €	78.352 €	71.039 €	63.143 €	56.794 €
	60	SE	134.891 €	114.966 €	96.715 €	81.655 €	69.992 €	61.741 €	53.450 €	46.825 €
	90	E	128.945 €	109.502 €	87.446 €	69.775 €	56.259 €	46.581 €	37.510 €	30.379 €
LCOE [€/MWh]	-90	O	0,056 €	0,058 €	0,062 €	0,067 €	0,070 €	0,075 €	0,079 €	0,083 €
	-60	SO	0,056 €	0,056 €	0,059 €	0,062 €	0,064 €	0,067 €	0,069 €	0,071 €
	-30	SO	0,054 €	0,056 €	0,058 €	0,059 €	0,061 €	0,062 €	0,064 €	0,066 €
	0	S	0,054 €	0,055 €	0,056 €	0,058 €	0,059 €	0,059 €	0,061 €	0,062 €
	30	SE	0,054 €	0,056 €	0,056 €	0,058 €	0,059 €	0,060 €	0,062 €	0,063 €
	60	SE	0,055 €	0,056 €	0,058 €	0,060 €	0,062 €	0,064 €	0,066 €	0,068 €
	90	E	0,056 €	0,058 €	0,061 €	0,064 €	0,068 €	0,071 €	0,074 €	0,077 €
Retorn [anys]	-90	O	7,3	7,4	7,9	8,4	8,9	9,3	9,8	10,3
	-60	SO	7,2	7,2	7,5	7,7	8,0	8,3	8,5	8,8
	-30	SO	7,0	7,2	7,3	7,4	7,5	7,7	7,8	7,9
	0	S	7,0	7,0	7,1	7,2	7,2	7,3	7,4	7,5
	30	SE	7,0	7,1	7,2	7,2	7,4	7,5	7,5	7,6
	60	SE	7,1	7,2	7,4	7,5	7,7	7,9	8,0	8,3
	90	E	7,2	7,4	7,7	8,0	8,4	8,8	9,0	9,4
Estalvi emissions CO ₂ [t/MWh]	-90	O	25,4	21,0	17,8	15,3	13,3	11,8	10,5	9,4
	-60	SO	26,0	22,0	19,0	16,7	14,9	13,4	12,2	11,1
	-30	SO	26,5	22,7	20,0	17,8	16,1	14,7	13,5	12,5
	0	S	26,7	23,1	20,4	18,4	16,7	15,3	14,1	13,1
	30	SE	26,6	23,0	20,3	18,2	16,5	15,1	13,9	12,9
	60	SE	26,2	22,4	19,5	17,3	15,6	14,1	12,9	11,9
	90	E	25,7	21,5	18,4	16,0	14,2	12,6	11,4	10,3

Taula 4.7. Principals indicadors d’instal·lacions en diferents inclinacions i orientacions amb % d’autoconsum constant a sobre d’una coberta determinada.

Es pot observar clarament que, a més a més d’una generació més gran, com menys inclinats s’instal·lin els mòduls, els indicadors econòmics també són millors.



Autoconsum individual

En aquest cas, el percentatge d’autoconsum no es manté constant, ja que només es tracta d’un consumidor, però la producció sí que varia en funció de l’orientació, la inclinació i la potència pic que hi cap a la coberta. S’han considerat els valors següents:

- Consum anual: 150.000 kWh/any.
- Tarifa 3.0TD amb consum horari segons perfil REE.
- Preu estalvi per energia autoconsumida de 0,11 €/kWh.
- Preu estalvi compensació simplificada de 0,06 €/kWh.
- La inversió té en compte la inclinació dels mòduls, i és més reduïda amb inclinacions menors degut al cost més petit de la instal·lació autoportant, aproximadament amb 0,93 €/Wp per 5° i 1,03 €/Wp per 35°.
- No s’han tingut en compte estalvis en el terme de potència.
- Manteniment anual de 800 €.
- IPC electricitat i IPC general de l’1,5 %.
- El període temporal considerat per al càlcul dels indicadors econòmics ha estat de 25 anys.

			Inclinació							
			5	10	15	20	25	30	35	40
Potència pic			88	74	64	56	50	46	42	39
Pressupost instal·lació			112.379 €	97.802 €	86.931 €	77.665 €	70.372 €	65.315 €	59.807 €	55.383 €
Orientació										
TIR [%]	-90	O	11,1 %	11,5 %	11,1 %	10,8 %	10,1 %	9,5 %	8,9 %	8,1 %
	-60	SO	11,4 %	11,9 %	11,9 %	11,7 %	11,5 %	11,4 %	11,1 %	10,8 %
	-30	SO	11,6 %	12,2 %	12,3 %	12,5 %	12,6 %	12,6 %	12,6 %	12,6 %
	0	S	11,7 %	12,2 %	12,5 %	12,8 %	13,1 %	13,2 %	13,2 %	13,4 %
	30	SE	11,6 %	12,3 %	12,6 %	12,8 %	12,9 %	13,1 %	13,2 %	13,2 %
	60	SE	11,6 %	11,9 %	12,0 %	12,2 %	12,2 %	12,0 %	12,0 %	11,9 %
	90	E	11,3 %	11,7 %	11,4 %	11,2 %	10,9 %	10,6 %	10,1 %	9,7 %
VAN [€]	-90	O	91.397 €	84.805 €	71.064 €	58.874 €	48.239 €	39.331 €	30.385 €	22.617 €
	-60	SO	95.881 €	89.320 €	79.277 €	70.134 €	62.216 €	55.712 €	48.852 €	42.751 €
	-30	SO	99.355 €	92.611 €	85.143 €	78.049 €	71.819 €	66.947 €	61.403 €	56.394 €
	0	S	100.916 €	94.161 €	87.839 €	81.611 €	76.150 €	71.982 €	66.971 €	62.503 €
	30	SE	100.367 €	93.608 €	86.903 €	80.385 €	74.697 €	70.360 €	65.201 €	60.586 €
	60	SE	97.776 €	91.100 €	82.484 €	74.551 €	67.719 €	62.291 €	56.346 €	51.037 €
	90	E	93.622 €	87.126 €	75.352 €	64.957 €	55.958 €	48.600 €	40.981 €	33.978 €
LCOE [€/MWh]	-90	O	0,056 €	0,058 €	0,062 €	0,067 €	0,070 €	0,075 €	0,079 €	0,083 €
	-60	SO	0,056 €	0,056 €	0,059 €	0,062 €	0,064 €	0,067 €	0,069 €	0,071 €
	-30	SO	0,054 €	0,056 €	0,058 €	0,059 €	0,061 €	0,062 €	0,064 €	0,066 €
	0	S	0,054 €	0,055 €	0,056 €	0,058 €	0,059 €	0,059 €	0,061 €	0,062 €
	30	SE	0,054 €	0,056 €	0,056 €	0,058 €	0,059 €	0,059 €	0,062 €	0,063 €
	60	SE	0,055 €	0,056 €	0,058 €	0,060 €	0,062 €	0,064 €	0,066 €	0,068 €
	90	E	0,056 €	0,058 €	0,061 €	0,064 €	0,068 €	0,071 €	0,074 €	0,077 €
Retorn [anys]	-90	O	8,7	8,5	8,7	8,9	9,2	9,5	9,9	10,3
	-60	SO	8,5	8,3	8,4	8,4	8,5	8,6	8,7	8,9
	-30	SO	8,4	8,3	8,2	8,1	8,1	8,0	8,0	8,1
	0	S	8,4	8,2	8,0	7,9	7,8	7,8	7,7	7,7
	30	SE	8,4	8,2	8,1	8,0	7,9	7,9	7,8	7,8
	60	SE	8,5	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,4
	90	E	8,6	8,4	8,5	8,6	8,8	9,0	9,2	9,5
Estalvi emissions CO ₂ [t/MWh]	-90	O	25,4	21,0	17,8	15,3	13,3	11,8	10,5	9,4
	-60	SO	26,0	22,0	19,0	16,7	14,9	13,4	12,2	11,1
	-30	SO	26,5	22,7	20,0	17,8	16,1	14,7	13,5	12,5
	0	S	26,7	23,1	20,4	18,4	16,7	15,3	14,1	13,1
	30	SE	26,6	23,0	20,3	18,2	16,5	15,1	13,9	12,9
	60	SE	26,2	22,4	19,5	17,3	15,6	14,1	12,9	11,9
	90	E	25,7	21,5	18,4	16,0	14,2	12,6	11,4	10,3

Taula 4.8. Principals indicadors d’instal·lacions en diferents inclinacions i orientacions amb % autoconsum variable a sobre d’una coberta determinada.

En aquest cas, els indicadors de la TIR i de la rendibilitat de la inversió empitjoren lleugerament com menys inclinats estan els mòduls, però la diferència és mínima. En canvi, altres indicadors com el VAN o l’estalvi d’emissions de CO₂ són molt superiors.



4.5 Avaluació conjunta de les variables. Doble orientació

El mateix estudi s’ha dut a terme per a les instal·lacions amb mòduls en doble orientació.

		Inclinació												
Orientació		0	3	5	8	10	13	15	19	20	25	30	35	40
0/180	S/N	1.225	1.226	1.224	1.220	1.216	1.208	1.200	1.182	1.178	1.152	1.125	1.096	1.063
30/-150	SE/NO	1.225	1.226	1.224	1.220	1.216	1.208	1.201	1.185	1.179	1.154	1.126	1.095	1.062
60/-120	SE/NO	1.225	1.226	1.224	1.220	1.216	1.209	1.202	1.186	1.181	1.158	1.130	1.101	1.070
90/-90	E/O	1.225	1.226	1.225	1.221	1.217	1.209	1.203	1.188	1.183	1.160	1.133	1.105	1.073
120/-60	NE/SO	1.225	1.226	1.225	1.221	1.217	1.209	1.203	1.187	1.182	1.159	1.131	1.101	1.068
150/-30	NE/SO	1.225	1.226	1.224	1.220	1.216	1.208	1.202	1.185	1.180	1.155	1.126	1.095	1.062

Taula 4.9. Hores equivalents en funció de l’orientació i la inclinació a dues aigües.

La conclusió que s’extreu és que, per a instal·lacions amb doble orientació, ni la inclinació ni l’orientació afecten significativament la producció total. Sí que s’intueix un descens en la producció per a angles superiors a 15°, però a la pràctica no existeixen estructures estàndard autoportants per a cobertes planes amb angles superiors. Així doncs, en una coberta plana orientada al sud, una instal·lació est-oest inclinada 10° produiria el mateix que una instal·lació nord-sud. Aquest fet és molt rellevant, ja que depenent de la coberta podria passar que fos més convenient una orientació nord-sud per minimitzar cablejat, safates, ombres, restriccions d’espai, etc.

Ara bé, com més inclinats s’instal·lin els mòduls, més espai disponible hi haurà per instal·lar més potència. Això passa fins a una inclinació de 19°, ja que a partir d’aquesta inclinació cal tenir en compte que els mòduls fan ombra a la fila següent i que, per tant, s’ha de deixar un espai mínim entre files (considerant una instal·lació a Catalunya i deixant els mòduls lliures d’ombres quatre hores al solstici d’hivern).

		Inclinació												
% Àrea coberta guanyada o % Potència instal·lada guanyada		0,00%	0,14%	0,38%	0,97%	1,52%	2,56%	3,41%	5,45%	-1,31%	-14,36%	-27,30%	-40,03%	-52,46%
Orientació		0	3	5	8	10	13	15	19	20	25	30	35	40
0/180	S/N	0 %	0 %	0 %	1 %	1 %	1 %	1 %	2 %	-5 %	-20 %	-32 %	-45 %	-57 %
30/-150	SE/NO	0 %	0 %	0 %	1 %	1 %	1 %	1 %	2 %	-5 %	-19 %	-32 %	-45 %	-58 %
60/-120	SE/NO	0 %	0 %	0 %	1 %	1 %	1 %	1 %	2 %	-5 %	-19 %	-31 %	-45 %	-57 %
90/-90	E/O	0 %	0 %	0 %	1 %	1 %	1 %	2 %	2 %	-5 %	-19 %	-31 %	-45 %	-57 %
120/-60	NE/SO	0 %	0 %	0 %	1 %	1 %	1 %	1 %	2 %	-5 %	-19 %	-31 %	-45 %	-57 %
150/-30	NE/SO	0 %	0 %	0 %	1 %	1 %	1 %	1 %	2 %	-5 %	-19 %	-31 %	-45 %	-58 %

Taula 4.10. Percentatge d’energia generada guanyada respecte dels mòduls plans en cobertes planes gràcies al major espai disponible com més inclinats estan els mòduls. A partir de 20°, degut a l’espai que cal deixar entre files, es perd energia respecte dels mòduls plans.

La taula anterior posa de manifest que, si es tenen en compte les ombres i la variació de superfície disponible de coberta quan varia la inclinació dels mòduls, la diferència de producció fins a una inclinació de 19° gairebé no és significativa. Per exemple, amb 15° d’inclinació es guanya un 3,41 % d’espai disponible de coberta (per tant, també de potència instal·lada), però com que les hores equivalents a 15° són inferiors a les hores equivalents dels mòduls a 0°, la generació només augmenta un 1 %. A partir de 20° no s’obté un guany sinó una pèrdua, perquè es perd espai disponible per la separació que cal deixar entre files.

Tal com s’ha fet en el cas d’una sola orientació, la taula següent mostra la densitat de producció en kWh/m²·any (m² de coberta).

		Inclinació												
Orientació		0	3	5	8	10	13	15	19	20	25	30	35	40
0/180	S/N	255	256	256	257	257	258	259	260	242	205	174	141	109
30/-150	SE/NO	255	256	256	257	257	258	259	260	242	206	175	141	108
60/-120	SE/NO	255	256	256	257	257	258	259	260	243	207	175	141	109
90/-90	E/O	255	256	256	257	257	258	259	261	243	207	176	142	109
120/-60	NE/SO	255	256	256	257	257	258	259	261	243	207	176	141	109
150/-30	NE/SO	255	256	256	257	257	258	259	260	243	206	175	141	108

Taula 4.11. Densitat de producció. Energia generada (kWh) per unitat de superfície de coberta i any.



Per sota de 20° d'inclinació, qualsevol instal·lació de doble orientació genera més energia per unitat de superfície que una instal·lació d'una única orientació.

L'anàlisi dels indicadors econòmics principals, a causa de la poca diferència de producció en funció de l'orientació i la inclinació i al fet que les estructures amb doble orientació amb inclinacions inferiors als 20° no necessiten espai entre files per evitar l'ombra (només necessiten una mica d'espai entre mòduls per qüestions operatives), és pràcticament la mateixa per a qualsevol inclinació i orientació.

Els indicadors econòmics per a un percentatge d'autoconsum del 95 % i una inclinació de referència de 10° s'indiquen a la taula següent.

Inclinació	Potència instal·lada (kWp)	Hores equivalents (h)	Producció anual (kWh)	Pressupost aproximat (€)	Rendibilitat inversió (anys)	VAN (€)	TIR	LCOE (€/kWh)	Estalvi emissions CO ₂ (t/MWh)
10	98	1.217	119.266	83.526 €	6,6	155.097 €	15,4 %	0,051 €	28,7

Taula 4.12. Principals indicadors d'instal·lacions en doble orientació.

4.6 Diferència entre orientació simple i doble orientació

Per poder fer la comparació entre les diferents configuracions estudiades anteriorment, s'ha fet una llista ordenada de les instal·lacions següents amb els principals indicadors i considerant un autoconsum del 95 % en tots els casos.

Instal·lació	Potència instal·lada (kWp)	Hores equivalents (h)	Producció anual (kWh)	Pressupost aproximat (€)	Retorn inversió (anys)	VAN (€)	TIR	LCOE (€/kWh)	Estalvi emissions CO ₂ (t/MWh)
Doble orientació	98	1.217	119.266	83.526 €	6,6	155.097 €	15,4 %	0,051 €	28,7
Orientació simple sud 0° amb inclinació 5°	88	1.277	112.376	82.257 €	7,0	139.695 €	14,4 %	0,054 €	26,7
Orientació simple sud 0° amb inclinació 10°	74	1.322	97.828	70.306 €	7,0	119.016 €	14,1 %	0,055 €	23,1
Orientació simple sud-est 30° amb inclinació 10°	74	1.314	97.236	70.306 €	7,1	118.297 €	14,3 %	0,056 €	23,0
Orientació simple est 90° amb inclinació 10°	74	1.229	90.946	70.306 €	7,4	109.502 €	13,5 %	0,058 €	21,5
Orientació simple sud 0° amb inclinació 35°	42	1.424	59.808	42.991 €	7,4	65.114 €	13,3 %	0,061 €	14,1

Taula 4.13. Comparació entre diferents instal·lacions.

Per a una coberta determinada, la configuració que permet una instal·lació més gran és qualsevol que tingui doble orientació. Com s'ha explicat anteriorment, aquesta configuració no implica perdre espai disponible a causa de l'ombra d'una fila de mòduls amb els de darrere. Així, tot i que les hores equivalents són inferiors a les de les altres configuracions, la potència pic instal·lada ho compensa i s'aconsegueix la major producció. A més a més, el pressupost per kWp és el més baix i els indicadors analitzats són els millors: major TIR, VAN i estalvi d'emissions de CO₂ i menor LCOE i rendibilitat de la inversió.

Finalment, es pot comprovar que inclinar els mòduls buscant la inclinació òptima és la pitjor de les opcions tant en termes econòmics com en termes energètics.

5. Dimensionament i sobredimensionament

Les instal·lacions d'autoconsum fotovoltaic a sobre d'una coberta estan subjectes i limitades a la superfície de coberta disponible i a les instal·lacions d'evacuació d'energia que limiten la dimensió de la instal·lació i, per tant, l'energia renovable produïda. Al capítol anterior s'han analitzat les tipologies d'instal·lacions que ens permeten maximitzar l'energia generada segons la coberta disponible, però en funció de la grandària de la instal·lació l'evacuació d'energia pot limitar la dimensió de la instal·lació en la tipologia d'autoconsum amb excedents.

5.1 Sobredimensionament de les instal·lacions de producció

La tipologia de producció fotovoltaica amb excedents és la que permet vendre els excedents o compensar-los de manera simplificada. Les instal·lacions sense excedents no tenen limitacions respecte de l'evacuació.

Les limitacions principals que podem trobar en les instal·lacions d'evacuació d'energia en el cas de producció amb excedents són les següents:

- **Limitació per potència admissible de la xarxa interior de la instal·lació de consum associada.** Aquesta potència és un límit per potència de generació. La potència de les instal·lacions de consum pot ser ampliada, però fer-ho pot comportar costos importants.
- **Limitació per a l'evacuació en instal·lacions de baixa tensió.** La potència de producció renovable en les instal·lacions de baixa tensió generalment està limitada a **100 kW**. Per superar aquesta xifra, s'hauria de passar a alta tensió i assumir costos importants en l'adaptació.
- **Tramitació administrativa simplificada.** La normativa actual recull avantatges importants per a les instal·lacions de producció d'autoconsum de potència inferior a **100 kW**, com ara l'accés a la compensació simplificada.
- **Limitació en la capacitat d'accés i connexió.** En cas que la xarxa de distribució tingui una capacitat limitada d'accés en el punt de connexió.

Aquests factors limiten la potència instal·lada de producció, que és determinada per la potència mínima entre la potència de l'inversor, que és la potència nominal (Pn), i la potència dels mòduls fotovoltaics, que és la

potència pic (Ppic). Per tant, és possible instal·lar una potència de mòduls superior a la potència instal·lada de producció, perquè la potència màxima de la producció és determinada per l'inversor.

Amb l'objectiu de maximitzar la producció d'energia renovable donades les limitacions d'evacuació, es pot sobredimensionar la potència dels mòduls respecte de la potència d'evacuació de la instal·lació.

Aquest sobredimensionament pot ocasionar una reducció de l'energia generada pels mòduls en els moments de màxima irradiació solar.

A la relació entre la potència dels mòduls i la potència d'evacuació l'anomenem factor de sobredimensionament.

F_s = P mòduls / P evacuació

En el gràfic següent veiem un exemple de la variació de l'energia horària produïda amb un factor de sobredimensionament de 2, és a dir que la potència dels mòduls és el doble que la potència d'evacuació (1.000 de mòduls i 500 d'evacuació), per a quatre dies assolellats representatius dels quatre trimestres de l'any, comparat amb una instal·lació sense limitació d'evacuació (1.000 de mòduls i 1.000 d'evacuació) i amb una instal·lació dimensionada segons l'evacuació (500 de mòduls i 500 d'evacuació).

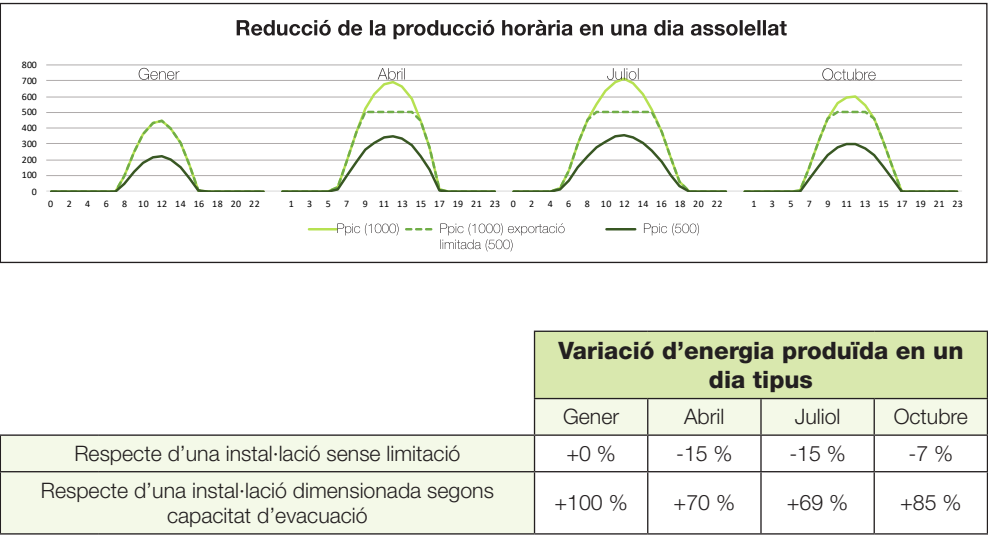
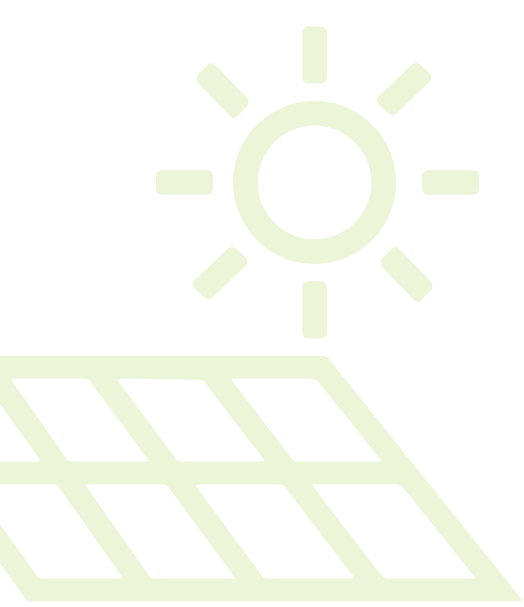


Figura 5.1. Reducció de la producció horària per a un dia assolellat en una instal·lació orientada al sud, amb inclinació de 10° i un factor de sobredimensionament de 2.



Els dies amb afectacions atmosfèriques que impedeixen la producció màxima també es veuran reduïdes les pèrdues originades pel sobredimensionament respecte de la instal·lació sense sobre-dimensionament.

Al gràfic següent figuren les pèrdues mitjanes anuals segons el sobredimensionament en una instal·lació tipus amb inclinació a 10°, orientació est i unes pèrdues estàndards del 20 %. No es considera la degradació del rendiment que resta més del 20 % al final de la vida útil.

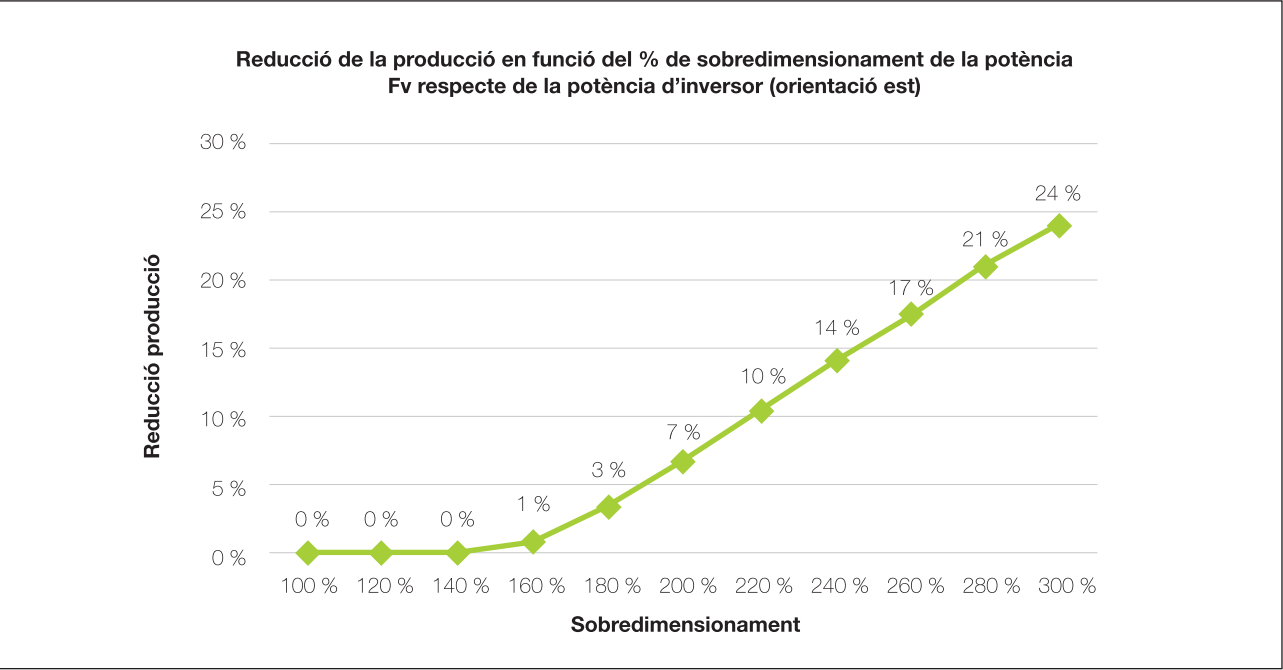
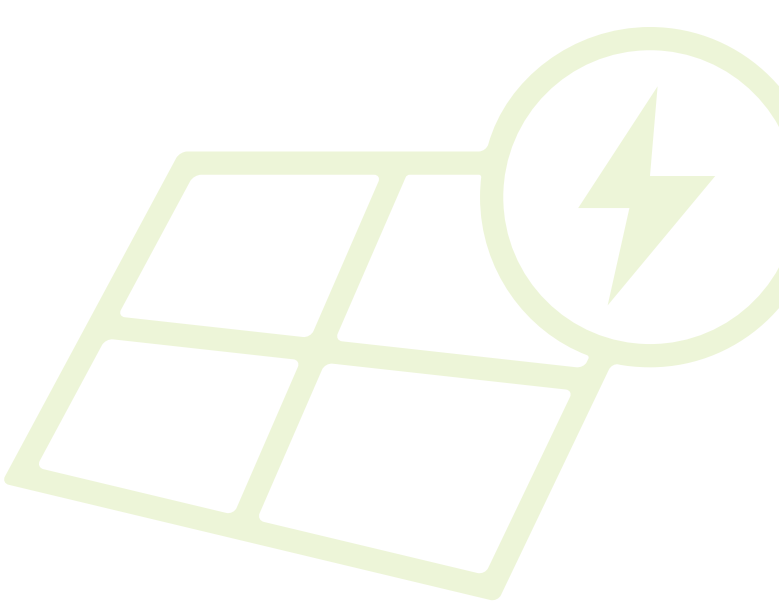


Figura 5.2. Reducció de la producció en funció del sobredimensionament amb orientació est i inclinació de 10°.

Fins a un sobredimensionament del 140 % no es redueix la producció. Amb el 200 %, hi ha una reducció del 7 % i amb el 300 %, del 24 %.

A la taula següent s'indica la reducció de producció segons el sobredimensionament dels cap-tadors respecte de la potència d'evacuació i l'orientació de les plaques en una instal·lació tipus amb inclinació a 10°.



Sobre-dimensionament %	S 0	SO 30	SO 60	O 90	NO 120	NO 150	N -179	NE -150	NE -120	E -90	SE -60	SE -30
100 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
120 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
140 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
160 %	2 %	2 %	1 %	1 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	1 %	1 %	2 %
180 %	5 %	5 %	4 %	3 %	3 %	2 %	2 %	2 %	3 %	3 %	4 %	5 %
200 %	9 %	9 %	8 %	7 %	6 %	5 %	4 %	5 %	6 %	7 %	8 %	8 %
220 %	13 %	13 %	12 %	10 %	9 %	8 %	7 %	8 %	9 %	10 %	12 %	12 %
240 %	17 %	17 %	16 %	14 %	13 %	11 %	11 %	11 %	12 %	14 %	15 %	16 %
260 %	21 %	20 %	19 %	18 %	16 %	15 %	14 %	14 %	16 %	17 %	19 %	20 %
280 %	24 %	24 %	23 %	21 %	19 %	18 %	17 %	18 %	19 %	21 %	23 %	24 %
300 %	28 %	27 %	26 %	24 %	22 %	21 %	20 %	21 %	22 %	24 %	26 %	27 %

Taula 5.1. Pèrdues en funció del factor de sobredimensionament i l'orientació, per a una instal·lació tipus inclinada a 10°.

La reducció de la producció anual originada pel sobredimensionament arriba en el pitjor dels ca-sos al 8 % amb un factor de 2 (el doble de potència de captadors respecte de la d'evacuació) i al 28 % amb un factor de 3.

Tot i aquesta reducció de la producció en comparació amb el cas de no existir limitació en la capacitat d'evacuació, si ho comparem amb una instal·lació estàndard dimensionada segons la capacitat d'evacuació, la quantitat d'energia generada és molt superior.

Al gràfic següent figura el percentatge d'energia generada segons el factor de sobredimensiona-ment respecte de la instal·lació estàndard en els tres casos següents:

- Instal·lació estàndard dimensionada segons capacitat d'evacuació.
- Instal·lació sobredimensionada (major potència de mòduls respecte de l'evacuació).
- Instal·lació estàndard dimensionada sense limitacions en la capacitat d'evacuació.

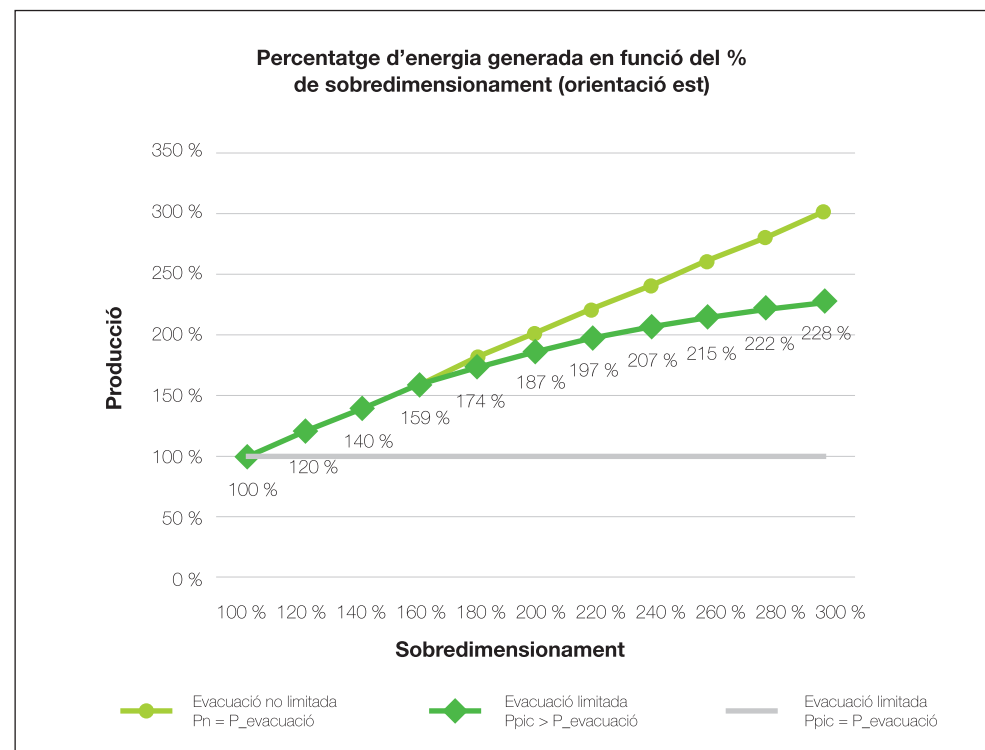


Figura 5.3. Percentatge d'energia generada en funció del sobredimensionament (orientació est).

En aquestes condicions, amb un factor de sobredimensionament de 2, obtindríem un 187 % de l'energia de la instal·lació estàndard i amb un factor de 3, un 228 %, amb la qual cosa es duplica i triplica la potència de generació respectivament.

En l'aspecte tècnic, cal considerar que els inversors generalment tenen limitat el sobredimensionament del camp de producció respecte de la seva potència segons les seves especificacions, en general per sota d'un sobredimensionament del 150 %. Per aconseguir valors superiors, **s'hauran d'instal·lar inversors de potències superiors però limitats en la seva capacitat de producció**. Aquesta situació pot requerir alguna justificació addicional per a la tramitació administrativa i documentació acreditativa de la limitació de l'inversor.

Analitzem l'impacte en l'energia generada per al cas tipus d'un centre de formació amb les característiques següents:

- Potència instal·lada (evacuació màxima): 63 kW
- Màxima potència de generació segons superfície de coberta: 252 kW
- Instal·lació FV orientada a l'est i amb inclinació de 10°
- Hores equivalents: 1.229

Els casos típics i les condicions que s'analitzen són les següents:

- **Injecció zero:** en aquest cas es dimensiona la instal·lació per a un autoconsum del 66 %, la resta d'energia es perd degut al sistema d'injecció zero.
- **Dimensionament segons criteri econòmic de rendibilitat de la inversió:** aquest criteri, que és el més habitual en autoconsum individual, dimensiona perquè no hi hagi gaires excedents als quals s'apliqui la compensació simplificada, i així s'amortitza la instal·lació més ràpidament. És comú en aquests casos aplicar ràtios d'autoconsum del 66 % i d'excedents del 34 %.
- **Dimensionament segons capacitat d'evacuació:** en aquest cas la capacitat d'evacuació és limitada per la potència instal·lada al centre.
- **Sobredimensionament amb factor de 3:** es limita la potència de generació a 3 vegades la potència instal·lada.
- **Sobredimensionament amb ampliació de la potència instal·lada a 100 kW:** l'ampliació de la potència contractada té associades unes despeses que poden ser raonables per aconseguir una major producció. En aquestes condicions aprofitem tota la coberta disponible amb un factor de sobredimensionament de 2,5.
- **Sobredimensionament amb potència instal·lada superior a 100 kW:** no es considera, ja que la generació s'hauria de fer en alta tensió i implicaria despeses importants per a l'adaptació de la instal·lació.



	Potència de generació kW	Potència d'inversor kW	Factor de sobre-dimensionament	Reducció de producció per sobre-dimensionament	Energia autoconsumida kWh	Energia injectada. Compartida amb altres consumidors o compensació simplificada kWh	Energia total kWh	% respecte a dim. Segons capacitat d'evacuació
Injecció zero	18	18	-	-	20.441	-	20.441	26 %
Dimensionament segons criteri econòmic de rendibilitat de la inversió	28	28	-	-	22.712	11.700	34.412	44 %
Dimensionament segons capacitat d'evacuació	63	63	-	-	22.712	54.715	77.427	100 %
Sobre-dimensionament	189	63	300 %	24 %	22.712	153.822	176.534	228 %
Sobredimens. amb ampliació de la potència instal·lada a 100 kW	252	100	252 %	15 %	22.712	240.540	263.252	340 %

Taula 5.2. Comparativa en funció del criteri de sobredimensionament.

En aquest cas tipus, amb el sobredimensionament del 300 %, s’aconsegueix un 228 % de l’energia generada respecte del cas del dimensionament segons la capacitat d’evacuació. Si a més podem fer l’ampliació de la potència instal·lada fins als 100 kW, l’energia generada és del 340 % amb un aprofitament complet de la superfície de la coberta amb una potència instal·lada de 252 kWp.

5.1.1 Sobredimensionament amb sistemes de limitació d’injecció

La normativa recull la possibilitat d’instal·lar sistemes de generació amb sistemes d’antiabocament o d’injecció zero. Aquestes instal·lacions no injecten energia a la xarxa i es limiten a la producció per a autoconsum instantani. Aquests sistemes de limitació de la injecció es poden configurar per limitació de la injecció a una determinada potència superior a zero. Aquesta potència serà per la qual es legalitzi la instal·lació i també serà la potència màxima per la qual es podrà aplicar la compensació d’excedents o compartir-la amb altres consumidors.

Així, per exemple, si tenim un consum de 200 kW, podríem fer una instal·lació de 300 kWp amb un sistema de no injecció limitat a 100 kW. Aquest sistema respecte de la xarxa externa es comportaria com un sistema de producció de 100 kW, i es podria compartir aquesta energia amb altres consumidors. En el moment de màxima producció amb 300 kW de potència generada, 200 kW serien autoconsumits i 100 kW serien injectats a la xarxa per a altres consumidors que podrien participar de l’autoconsum compartit.

Alhora, aquest sistema pot també sobredimensionar-se amb un factor de sobredimensionament, amb l’afectació descrita en el capítol anterior.

Cal tenir en compte que la legalització d’aquests sistemes pot requerir autoritzacions específiques projecte a projecte.

5.2 Altres restriccions al dimensionament

5.2.1 Passadissos de manteniment

Cal deixar sempre una sèrie de passadissos de manteniment que permetin accedir als diferents camps de mòduls de la instal·lació per tal de dur a terme les accions necessàries durant la vida útil de la instal·lació i garantir la seva producció.

La distribució i les dimensions dels passadissos de manteniment depenen molt del disseny, però s’estima que ocupen entre un 5-8 % de la superfície de la instal·lació. Per tant, aquest mateix percentatge és el que es perd de producció.

5.2.2 Distància a les façanes

La distància de cada grup de mòduls a les façanes també és un aspecte important a tenir en compte. Convé deixar suficient espai per tal que la turbulència del vent provocada pel seu contacte amb l’edifici no afecti els mòduls. Per aquest motiu, entre un 5-10 % de la coberta ha d’estar lliure de mòduls.



5.2.3 Ombres externes

Moltes vegades, sobretot en cobertes de poca alçada, es projecten ombres d'objectes externs, ja siguin arbres, antenes, edificis... Cal fer sempre un estudi detallat de l'impacte d'aquestes ombres en els mòduls per tal de decidir si convé o no instal·lar mòduls en la zona d'ombra.

5.2.4 Ombres internes

Així mateix, a més de les ombres provinents d'objectes aliens a la coberta, cal tenir present que normalment a les cobertes s'instal·len antenes, equips de climatització, xemeneies, etc. que fan ombra.

5.2.5 Elements presents a la coberta

Molts dels elements presents a les cobertes requereixen un manteniment periòdic. Per aquest motiu, s'ha de preveure un passadís d'accés a aquests elements i un perímetre d'espai lliure, independentment de l'ombra que puguin projectar.

Un dels elements més típics són les lluernes o claraboies. Cal deixar sempre un espai mínim de seguretat al seu voltant. També hi pot haver extrusors que s'obrin hidràulicament i, per això, cal preveure deixar espai suficient per a la seva obertura.

5.2.6 Grandària dels mòduls

Les dimensions dels mòduls també és un element que cal considerar en la fase de disseny d'una instal·lació. Un mòdul més gran té més potència que un mòdul més petit, però no necessàriament té més eficiència. Simplement és més potent perquè és més gran. Per tant, és molt important remarcar que la utilització de mòduls grans (i més potents) en la instal·lació no implica instal·lar més potència i generar més energia. L'indicador que cal tenir en compte, en canvi, és l'eficiència del



mòdul. Aquest indicador mesura la quantitat d'aprofitament fotovoltaic per unitat de superfície, que és exactament el factor que es pretén maximitzar.

Per exemple, entre mòduls amb la mateixa eficiència, però de diferents dimensions, per un simple efecte de granularitat, la probabilitat d'instal·lar més potència utilitzant mòduls més petits és superior. Ara bé, sempre cal tenir en compte les particularitats de cada coberta i els elements presents per tal de decidir quina grandària de mòdul s'adapta millor a l'espai disponible.

Un mòdul més gran assolirà una cota més alta, depenent també de la inclinació, cosa que implicarà més resistència al vent i més dificultat per a la seva fixació a la coberta o més quantitat de llast.

6. Aprofitament de la coberta per fases

Les limitacions de la normativa actual, amb la manca de regulació de les comunitats d'energia i la limitació de distància per a l'autoconsum col·lectiu (1.000 m), poden dificultar l'aprofitament de tot l'espai disponible per a la instal·lació fotovoltaica. Sense el desenvolupament de les comunitats d'energia o d'un marc més favorable per a l'autoconsum compartit es pot dificultar el màxim aprofitament de les cobertes més grans sense allunyar-nos de la rendibilitat econòmica. També poden donar-se limitacions pressupostàries que impedeixin executar inicialment un projecte amb el màxim aprofitament de la coberta. En aquests casos, és necessari preveure una ampliació futura i fer una implantació per fases, evitant el malbaratament de la superfície disponible en una primera fase de la implantació. Per això és recomanable elaborar un projecte que ja consideri les fases posteriors per al màxim aprofitament de la coberta.

S'ha d'evitar hipotecar una futura ampliació i que es deixin espais morts o s'opti per una separació més gran entre files o s'orientin els mòduls de forma ineficient.

7. Exemples reals

A continuació, es mostren diferents fotografies d'instal·lacions reals que no compleixen els criteris de màxim aprofitament de la coberta per algun dels motius que s'han descrit anteriorment. També es mostra alguna que sí que compleix aquests criteris.

Les instal·lacions següents s'han fet sobre unes cobertes planes que no tenen la seva perpendicularitat amb el sud. Per tant, la instal·lació dels mòduls al sud implica que no s'alineïn amb la coberta i es perdi espai disponible. Una instal·lació com aquestes és més complicada (i, per tant, més costosa) perquè no es tenen unes referències fàcils a la coberta que permetin anar de pressa muntant l'estructura. A més a més, els mòduls estan inclinats uns 30°, la qual cosa fa que s'hagi de deixar molt d'espai entre files amb la consegüent pèrdua de generació per unitat d'àrea de coberta.

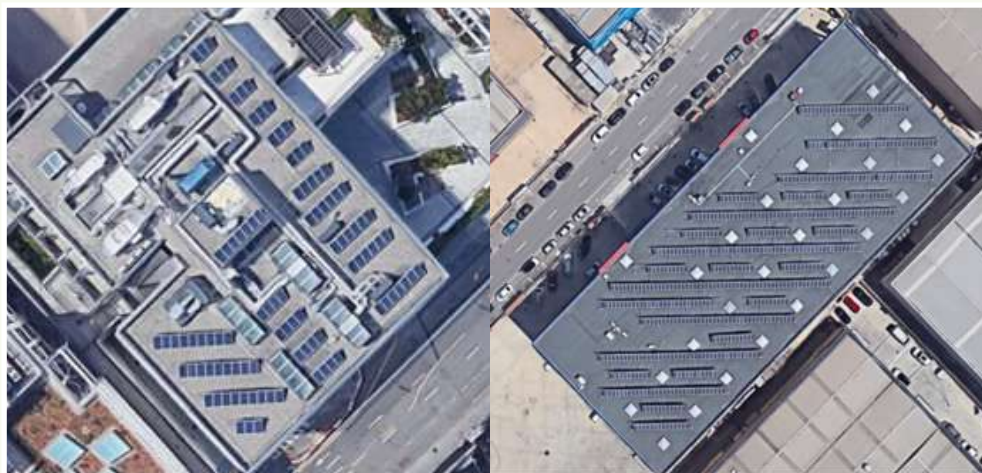


Figura 7.1. Instal·lacions d'autoconsum no alineades amb la perpendicularitat de la coberta i inclinades a 30°.

Les dues instal·lacions següents s'han muntat sobre cobertes inclinades de xapa o tipus sandvitx amb la particularitat que, amb l'objectiu de maximitzar la producció per mòdul, s'han orientat al sud i inclinat més de 20° respecte de la coberta. Els inconvenients d'aquest tipus d'instal·lacions respecte de la instal·lació dels mòduls de forma coplanària són els següents:

- Una producció total menor.
- Un cost total similar, però amb menys potència pic instal·lada.
- Més dificultat de portar a terme el manteniment, especialment si les files de mòduls, en estar inclinades, es creuen amb les llurnes.
- Augment molt significatiu del risc de tenir un accident degut a la major exposició dels mòduls al vent, especialment si l'estructura es colla a la part superior de la coberta i no a les corretges.
- Menys integració arquitectònica.

Per tots aquests motius es recomana sempre instal·lar els mòduls de forma coplanària en cobertes inclinades.



Figura 7.2. Instal·lacions d'autoconsum en cobertes inclinades no alineades amb la perpendicularitat de la coberta i inclinades a més de 20°.

Un cas similar es mostra a la figura següent, en què part dels mòduls (els que estan al vessant sud de la coberta) estan instal·lats de forma coplanària aprofitant el màxim espai disponible, però la resta, els del vessant nord, s'han inclinat lleugerament (uns 10-15° aproximadament) per salvar l'orientació nord i aconseguir orientar-los al sud. Fent això s'aconsegueix un augment de la producció de cada mòdul del 20 %, però, en aquest cas, la distància que s'ha hagut de deixar entre files per les ombres ha impedit que s'hagi instal·lat una fila més, que hauria augmentat la potència pic del vessant nord un 50 %. Si s'haguessin instal·lat els mòduls coplanaris orientats al nord, s'hauria aconseguit un 25 % més d'energia respecte de la situació actual. L'augment del pressupost per la instal·lació de més mòduls es compensa amb menys estructura i una instal·lació més simple. La càrrega de vent al vessant nord també hauria disminuït.



Figura 7.3. Instal·lació d'autoconsum amb els mòduls al vessant nord orientats al sud.

La instal·lació següent és un clar exemple de disseny d'una instal·lació d'autoconsum sense tenir en compte futures ampliacions, ja que s'han instal·lat els mòduls en les zones més fàcils sense una disposició compacta i que faciliti una futura ampliació amb mòduls de característiques diferents. A més a més, això es veu agreujat per l'espai perdut entre les files a causa de la inclinació que tenen els mòduls.



Figura 7.4. Instal·lació d'autoconsum dissenyada sense tenir en compte futures ampliacions.

La instal·lació següent tampoc no compleix el criteri de màxim aprofitament de la coberta. S'ha optat per una estructura amb orientació simple i inclinació aproximada de 10° amb la meitat dels mòduls orientats al sud-est i l'altra meitat al sud-oest. La intenció d'aquest disseny és aconseguir la mateixa producció que s'hauria obtingut amb tots els mòduls orientats de la mateixa forma, però amb una corba de producció més plana i, per tant, amb més percentatge d'autoconsum. Ara bé, s'hauria aconseguit la mateixa forma de corba però amb més producció si s'haguessin instal·lat els mòduls en doble orientació, ja que s'haurien aprofitat els espais entre files per instal·lar més potència. Haurien disminuït les partides econòmiques de l'estructura utilitzada i de mà d'obra.



Figura 7.5. Instal·lació d'autoconsum que combina dues orientacions simples per aplanar la corba de generació.

Les instal·lacions següents a sobre de tres edificis sí que s'han dissenyat pensant en el màxim aprofitament de les cobertes. S'ha utilitzat una estructura de doble inclinació que fa que l'espai entre mòduls i a les façanes sigui mínim per portar a terme el manteniment.



Figura 7.6. Instal·lació d'autoconsum amb doble orientació.

Finalment, uns exemples d'instal·lacions en orientacions simples que també són òptimes, en aquest cas degut al poc espai de què es disposa a la coberta, fet que impossibilita que, en aquest cas, les estructures en doble orientació siguin millors. Quan l'espai disponible sobre la coberta és limitat degut a ombres, elements presents, etc., utilitzar una estructura en orientació doble pot ser contraproductiu perquè possiblement no s'aconseguirà un augment significatiu de potència pic que compensi la pèrdua de producció a causa d'una pitjor orientació.



Figura 7.7. Instal·lacions d'autoconsum amb orientació simple.

8. Conclusions

Els criteris de disseny de les instal·lacions fotovoltaïques sobre teulada condicionen en gran mesura la quantitat d'energia renovable que es pot produir sobre una mateixa teulada i, per tant, l'assoliment d'una major sostenibilitat energètica i ambiental.

Les instal·lacions optimitzades per al màxim aprofitament energètic de les cobertes tenen també indicadors econòmics més interessants, com són el menor temps de rendibilitat de la inversió o majors valors actuals nets (VAN) i tasses internes de rendibilitat (TIR), sempre que es pugui mantenir el percentatge d'energia autoconsumida. Per això, en moltes ocasions serà necessari l'autoconsum col·lectiu amb altres consumidors propers.

Per tal d'assolir el màxim aprofitament energètic de les cobertes, els criteris principals a tenir en compte serien els següents:

1. És preferible instal·lar els mòduls en la tipologia de doble orientació.
 - S'aconsegueix més densitat de producció i permet aprofitar millor l'espai de la coberta, ja que una fila de mòduls no fa ombra als del darrere.
 - Comporta una reducció dels costos unitaris d'estructura i de mà d'obra.
 - Suposa una disminució de la sobrecàrrega sobre la coberta, ja que la instal·lació és més aerodinàmica.
 - Els indicadors econòmics i mediambientals són millors que en el cas d'orientació simple.
 - A Catalunya, la inclinació màxima de les instal·lacions amb doble orientació perquè no es generin ombres i no es perdi producció és de 20°.
2. Si es decideix per la tipologia d'orientació simple, és preferible optar per inclinacions baixes, idealment de l'ordre de 10°.
 - A més inclinació, més espai s'ha de deixar entre files per evitar ombres. Així, si els mòduls estan inclinats 5°, es perd un 20 % de

- l'espai de la coberta; si estan a 20°, es perd un 40 %, i si es busca la inclinació òptima a Catalunya (35°), cal tenir en compte que gairebé un 60 % de la coberta no es podrà aprofitar a causa de les ombres. Aquesta pèrdua d'espai és directament proporcional a la pèrdua de potència pic a instal·lar.
- La diferència entre la producció energètica (en hores equivalents) d'una instal·lació en inclinació òptima a Catalunya (35°) respecte d'una instal·lació amb una inclinació baixa de 10° no supera el 10 %. Aquesta diferència es compensa amb un increment notable de l'espai disponible i, per tant, de la potència pic a instal·lar.
 - Menys impacte visual de les instal·lacions.
 - Menys càrregues de vent i, per tant, menys càrrega de contrapès.
3. En cobertes inclinades el més adient és ubicar els mòduls fotovoltaics de forma coplanària, sense utilitzar cap estructura que pretengui millorar l'orientació o la inclinació dels mòduls.
 - Millor aprofitament de la superfície i més producció d'energia.
 - No es compromet la seguretat estructural i la integració arquitectònica.
 - S'eviten problemes de compatibilitat amb la normativa urbanística municipal.
 4. És preferible orientar els mòduls seguint la perpendicularitat de la coberta.
 - Permet instal·lar més potència pic (fins a un 10 % més), que compensa la reducció de l'energia produïda degut a una pitjor orientació respecte del sud.
 - Es facilita el muntatge, ja que les referències a sobre de la coberta són més clares.
 5. Les cobertes inclinades orientades al nord són perfectament aptes per instal·lar-hi mòduls sempre que la seva inclinació no sigui excessiva (fins a 20-25°). Les hores equivalents d'aquestes instal·lacions a Catalunya són superiors a les d'instal·lacions orientades al sud en països amb l'autoconsum més estès, com Alemanya o els Països Baixos.
 6. En cas d'existir restriccions a l'evacuació d'energia que ens impedeixin aprofitar tota la coberta, es pot sobredimensionar el camp de captadors respecte de la potència d'evacuació fins a un factor multiplicador de 3, i s'obté un 228 % més d'energia produïda. En aquest cas, les pèrdues en la producció d'energia respecte d'una instal·lació equivalent sense limitació a l'evacuació serien assumibles i se situarien entre el 20 % amb l'orientació nord i el 28 % en l'orientació sud.
 7. De forma general, en el cas de cobertes planes, és preferible optar per instal·lacions amb estructures llastrades sense perforar la coberta per evitar el risc de filtracions posteriors.
 8. En cas que no es pugui fer inicialment un aprofitament de tota la coberta, és recomanable plantejar un projecte per fases que consideri el màxim aprofitament de la coberta a més llarg termini, tot i que inicialment només es desenvolupi una part del projecte, i que eviti la utilització innecessària de la superfície de la coberta, fet que hipotecaria i limitaria futures ampliacions.

