

# Instal·lacions solars fotovoltaïques

CFGM.IEA.M06/0.09

CFGM - Instal·lacions elèctriques i automàtiques



Aquesta col·lecció ha estat dissenyada i coordinada des de l'Institut Obert de Catalunya.

*Coordinació de continguts*

Jesús Martín Lledó

*Redacció de continguts*

Jesús Martín Lledó

Joan Francesc Roca Paradell

*Agraïments*

Gremi d'Instal·ladors de Sabadell i Comarca

Primera edició: setembre de 2009

© Departament d'Ensenyament

Material realitzat per Eureka Media, SL

Dipòsit legal: B. 29407-2013



*Llicenciat Creative Commons BY-NC-SA. (Reconeixement-No comercial-Compartir amb la mateixa llicència 3.0 Espanya).*

*Podeu veure el text legal complet a*

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/es/legalcode.ca>



## Introducció

Els models energètics actuals estan en crisi i tothom parla de les energies renovables com una manera de contribuir a la sostenibilitat del medi natural sense renunciar als nivells actuals de producció i confort.

Actualment les polítiques econòmiques dels països més avançats aposten per maneres d'incentivar les energies renovables en contrast amb les energies tradicionals i no respectuoses amb el medi ambient. Dins d'aquestes energies renovables es troba l'energia solar fotovoltaïca.

En el nostre entorn mediterrani gaudim de força hores de sol al dia i estem en disposició d'aprofitar aquesta font d'energia natural. És en aquest context que es crea la necessitat de formació de tècnics elèctrics en instal·lació i manteniment d'instal·lacions solars fotovoltaïques per donar solució a la demanda actual de professionals per cobrir aquest tipus d'instal·lacions.

El tema objecte d'aquest recull didàctic és, doncs, innovador, i la seva implantació es preveu progressiva amb el pas del temps. La tecnologia ha tingut un paper important en la seva implantació, i s'han desenvolupat nous materials per fer que el cost de les inversions sigui cada dia més reduït i, consegüentment, les amortitzacions siguin més ràpides.

En la unitat "Muntatges d'instal·lacions solars fotovoltaïques" veureu els principis de l'energia solar; també s'hi descriuen els elements que intervenen en aquestes instal·lacions, i se'n fa el dimensionament i càlculs.

En la unitat "Manteniment d'instal·lacions solars fotovoltaïques" treballareu el manteniment i reparació d'aquestes instal·lacions segons les normes de prevenció de riscos laborals i de protecció ambiental.

Durant la realització d'aquest mòdul l'alumnat rebrà uns materials didàctics per fer unes pràctiques que l'ajudaran a assolir-ne els objectius.

Aquest mòdul finalitza amb una jornada tècnica que es realitza les darreres setmanes del curs, on es treballen tots els procediments i actituds que ha de conèixer un tècnic per a una formació correcta.

Per seguir sense dificultats aquest mòdul, es recomana tenir coneixements previs d'electrotècnica i electrònica analògica i digital.



## Resultats d'aprenentatge

En finalitzar aquest mòdul l'alumne/a:

### Muntatge d'instal·lacions solars fotovoltaïques

1. Identifica els elements que configuren les instal·lacions d'energia solar fotovoltaïca, analitzant el seu funcionament i característiques.
2. Configura instal·lacions solars fotovoltaïques justificant l'elecció dels elements que la conformen.
3. Reconeix les condicions de connexió a la xarxa de les instal·lacions solars fotovoltaïques atenent a la normativa.
4. Aplica les normes de prevenció de riscos laborals i de protecció ambiental en el muntatge i manteniment d'instal·lacions solars fotovoltaïques, identificant els riscos associats, les mesures i equips per prevenir-los.

### Manteniment d'instal·lacions solars fotovoltaïques

1. Manté instal·lacions solars fotovoltaïques aplicant tècniques de prevenció i detecció i relacionant la disfunció amb la causa que la produeix.

### Pràctiques d'instal·lacions solars fotovoltaïques

1. Munta els panells solars fotovoltaïcs acoblant els seus elements i verificant, en el seu cas, el seu funcionament.
2. Munta instal·lacions solars fotovoltaïques interpretant documentació tècnica i verificant el seu funcionament.
3. Reconeix les condicions de connexió a la xarxa de les instal·lacions solars fotovoltaïques atenent a la normativa.
4. Aplica les normes de prevenció de riscos laborals i de protecció ambiental en el muntatge i manteniment d'instal·lacions solars fotovoltaïques, identificant els riscos associats, les mesures i equips per prevenir-los.
5. Manté instal·lacions solars fotovoltaïques aplicant tècniques de prevenció i detecció i relacionant la disfunció amb la causa que la produeix.





## **Continguts**

### **Muntatge d'instal·lacions solars fotovoltaïques**

#### **Unitat 1**

Muntatge d'instal·lacions solars fotovoltaïques

1. Principis bàsics de l'energia solar
2. Elements de les instal·lacions fotovoltaïques
3. Dimensionament i càlculs de les instal·lacions fotovoltaïques

### **Manteniment d'instal·lacions solars fotovoltaïques**

#### **Unitat 2**

Manteniment d'instal·lacions solars fotovoltaïques

1. Manteniment i reparació de les instal·lacions
2. Prevenció de riscos laborals i protecció ambiental

### **Pràctiques d'instal·lacions solars fotovoltaïques**

#### **Unitat 3**

Pràctiques d'instal·lacions solars fotovoltaïques

1. Activitats amb panell solar
2. Pràctiques d'instal·lacions solars fotovoltaïques



# Muntatge d'instal·lacions solars fotovoltaïques

Joan Francesc Roca Paradell

**Instal·lacions solars fotovoltaïques**





# Índex

<b>Introducció</b>	<b>5</b>
<b>Resultats d'aprenentatge</b>	<b>7</b>
<b>1 Principis bàsics de l'energia solar</b>	<b>9</b>
1.1 Conversió de l'energia solar en electricitat	10
1.1.1 Sistemes solars termoelectrics	10
1.1.2 Sistemes solars fotovoltaics	12
1.2 Radiació solar	12
1.2.1 Constant solar	12
1.2.2 Radiació incident a la superfície de la Terra	13
1.3 Distribució espectral de la radiació solar	13
1.4 Posició del Sol	15
1.4.1 Posició d'un emplaçament a la Terra	15
1.4.2 Principals paràmetres de la posició del Sol	17
1.5 Insolació mitjana diària	18
1.6 Efecte fotovoltaic	19
1.6.1 Generació de portadors	20
1.7 La cèl·lula fotovoltaica	22
1.7.1 Principi de funcionament de la cèl·lula	23
1.7.2 Corba I-V	23
1.7.3 Variacions de la corba en funció de la radiació incident	26
1.7.4 Variacions de la corba en funció de la temperatura de la cèl·lula	27
1.8 Tipologia de cèl·lules fotovoltaïques més esteses	28
<b>2 Elements de les instal·lacions fotovoltaïques</b>	<b>29</b>
2.1 Placa fotovoltaica	29
2.1.1 Característiques elèctriques de la placa fotovoltaica	29
2.1.2 Connexions de plaques	30
2.1.3 Connexions en sèrie de plaques FV	31
2.1.4 Connexions en paral·lel de plaques FV	31
2.1.5 Connexions mixtes de plaques FV	32
2.1.6 Díodes de pas a les plaques fotovoltaïques	33
2.2 Estructures de suport de les plaques	34
2.2.1 Estructures mòbils	35
2.3 Elements específics de les instal·lacions fotovoltaïques autònomes	36
2.3.1 Acumuladors d'energia elèctrica o bateries	37
2.3.2 Regulador de càrrega	42
2.3.3 Convertidors d'energia elèctrica cc/ca per a aplicacions autònomes	45
2.4 Elements específics de les instal·lacions fotovoltaïques connectades a la xarxa	46
2.4.1 Convertidor de connexió a la xarxa	47
2.4.2 Punt de connexió a la xarxa	49

<b>3</b>	<b>Dimensionament i càlculs de les instal·lacions</b>	<b>51</b>
3.1	Orientació i inclinació de les plaques . . . . .	51
3.2	Incidència d'ombres . . . . .	52
3.2.1	Separació entre fileres de plaques . . . . .	53
3.3	Dimensionament d'elements bàsics de les instal·lacions fotovoltaïques autònomes . . . . .	54
3.3.1	Característiques de les necessitats a cobrir . . . . .	54
3.3.2	Energia diària necessària . . . . .	55
3.3.3	Radiació incident "hora sol pic" (hsp) . . . . .	56
3.3.4	Nombre de plaques necessàries . . . . .	56
3.3.5	Voltatge i capacitat de l'acumulador . . . . .	57
3.3.6	Intensitat del regulador . . . . .	58
3.3.7	Potència de l'inversor . . . . .	58
3.3.8	Tipus d'equips auxiliars necessaris . . . . .	59
3.4	Dimensionament d'elements bàsics de les instal·lacions fotovoltaïques connectades a la xarxa . . . . .	59
3.4.1	Nombre de plaques necessàries . . . . .	60
3.4.2	Potència del convertidor . . . . .	60
3.4.3	Radiació incident "hora sol pic" (hsp) . . . . .	60
3.4.4	Pèrdues de rendiment dels components "PR" . . . . .	61
3.4.5	Producció energètica estimada . . . . .	61
3.5	Elements elèctrics bàsics en les instal·lacions fotovoltaïques . . . . .	62
3.5.1	Proteccions elèctriques bàsiques en les instal·lacions fotovoltaïques . . . . .	62
3.5.2	Secció dels conductors . . . . .	63

## Introducció

Les instal·lacions solars fotovoltaïques són instal·lacions generadores d'electricitat en baixa tensió. En aquest context i amb criteris generals, aquestes instal·lacions no presenten diferències significatives respecte a les instal·lacions generadores que utilitzen altres fonts d'energia, com el gas o el gasoil.

Per això reglamentàriament, les instal·lacions solars fotovoltaïques estan subjectes al marc normatiu establert per les instal·lacions elèctriques de baixa tensió RBT i més específicament la instrucció tècnica ITC-BT 40 "Instalaciones Generadoras de Baja Tensión".

Així doncs, per al correcte muntatge de les instal·lacions solars fotovoltaïques, en general caldrà aplicar els criteris d'instal·lacions elèctriques bàsics i com a coneixements específics serà necessari conèixer els detalls i peculiaritats del Sol com a recurs energètic, així com les màquines "plaques fotovoltaïques", que ens permetran el seu aprofitament directe.

En l'apartat "Principis bàsics de l'energia solar" es descriuran les tecnologies actuals d'aprofitament de l'energia solar per a generar electricitat, alhora es tractarà la radiació solar com a recurs energètic, així com els factors bàsics que influiran en la disponibilitat i quantitat de radiació solar incident sobre la superfície de la terra. Per últim es presentarà l'efecte fotovoltaic com a tècnica específica per a l'aprofitament de la radiació solar per a generar electricitat directament.

En l'apartat "Elements de les instal·lacions solars fotovoltaïques" es descriuran els elements i peculiaritats particulars de les instal·lacions solars fotovoltaïques autònomes connectades a la xarxa.

En l'apartat "Dimensionament i càlculs de les instal·lacions" es treballarà sobre la base dels coneixements adquirits, per tal de determinar la correcta ubicació de les plaques fotovoltaïques i el dimensionament de tots els elements bàsics de les instal·lacions a partir de les configuracions tipus.





## Resultats d'aprenentatge

En acabar aquesta unitat, l'alumne:

1. Identifica els elements que configuren les instal·lacions d'energia solar fotovoltaica, analitzant el seu funcionament i característiques.
  - Classifica els tipus d'instal·lacions d'energia solar.
  - Reconeix el principi de funcionament de les cèl·lules.
  - Identifica els paràmetres i corbes característiques dels panells.
  - Descriu les condicions de funcionament dels diferents tipus de bateries.
  - Descriu les característiques i missió del regulador.
  - Classifica els tipus de convertidors.
  - Identifica la normativa de connexió a la xarxa.
2. Configura instal·lacions solars fotovoltaïques justificant l'elecció dels elements que la conformen.
  - Interpreta la documentació tècnica de la instal·lació.
  - Dibuixa els croquis i esquemes necessaris per configurar la solució proposada.
  - Calcula els paràmetres característics dels elements i equips.
  - Selecciona l'estructura suport dels panells.
  - Consulta catàlegs comercials.
  - Selecciona els equips i materials necessaris.
  - Elabora el pressupost.
  - Aplica la normativa vigent.
3. Reconeix les condicions de connexió a la xarxa de les instal·lacions solars fotovoltaïques atenent a la normativa.
  - Elabora un informe de sol·licitud de connexió a la xarxa
  - Descriu les perturbacions que es poden provocar a la xarxa i a la instal·lació.
  - Identifica les proteccions específiques.
  - Descriu les proves de funcionament del convertidor.
  - Reconeix la composició del conjunt de mesura de consum.
  - Aplica la normativa vigent.
  - Mostra autonomia i resol satisfactòriament els problemes que se li presenten.

4. Aplica les normes de prevenció de riscos laborals i de protecció ambiental en el muntatge i manteniment d'instal·lacions solars fotovoltaïques, identificant els riscos associats, les mesures i equips per prevenir-los.
- Identifica els riscos laborals en les tasques de muntatge i manteniment d'instal·lacions solars fotovoltaïques (manipulació de materials, equips, eines, utensilis, màquines, bateries, realització de proves i verificacions d'instal·lacions, reparació i substitució d'elements, treballs en altura, entre d'altres).
  - Determina les mesures de seguretat i de protecció personal que s'han d'adoptar en cada cas.
  - Identifica les possibles fonts de contaminació de l'entorn ambiental.
  - Valora l'ordre i la netedat d'instal·lacions i equips com a primer factor de prevenció de riscos.

## 1. Principis bàsics de l'energia solar

La radiació solar és la principal font energètica de la terra, responsable de la major part dels paràmetres ambientals que permeten la vida en el planeta (fotosíntesis, pluja, vent, etc.). En aquest sentit la radiació solar també és aprofitada per l'ésser humà com a recurs energètic primari.

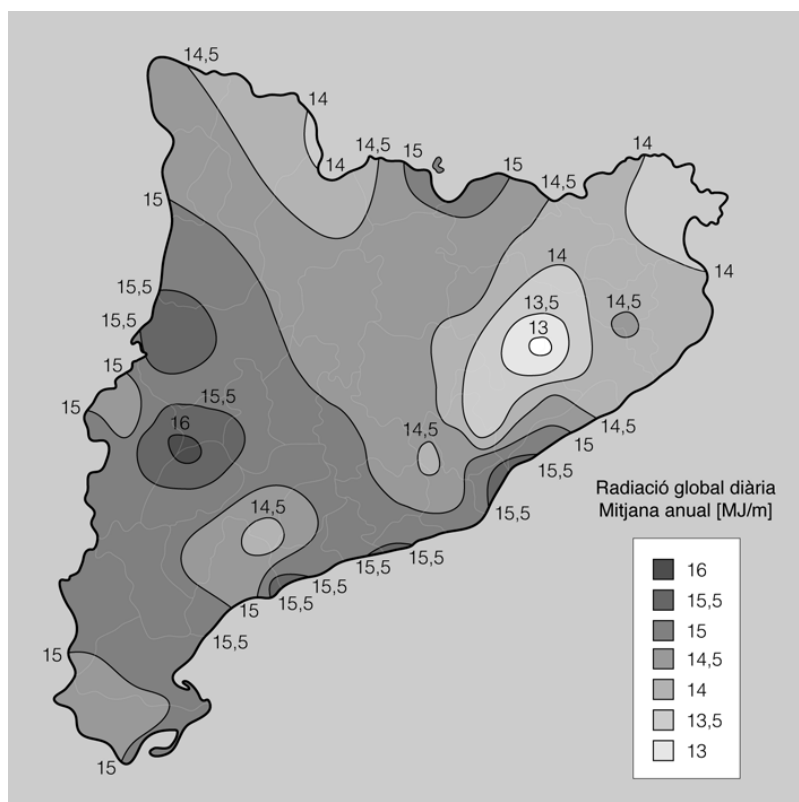
L'energia solar com a recurs energètic, presenta tot un seguit d'avantatges enfront d'altres fonts d'energia primària "no renovables":

- L'energia solar és un **recurs energètic renovable**. Cada dia, de forma natural, la radiació solar arriba a la Terra i no requereix cap procés d'extracció o transport.
- L'energia solar és present a qualsevol part del planeta en major o menor intensitat; per tant, la seva **utilització no requereix cap tipus de transport**.
- L'energia solar és un **recurs energètic renovable**. S'aprofiti o no, aquesta energia continuarà arribant en la mateixa intensitat a la Terra.
- L'energia solar és **capaç d'atendre gran part de la demanda d'energia actual**. A Catalunya la incidència mitjana diària de radiació solar és de 4 kWh per cada m<sup>2</sup>. En la figura 1.1 es mostra la radiació solar incident per zones de Catalunya.



Central elèctrica fotovoltaica, que transforma directament la radiació solar en electricitat.

FIGURA 1.1. Mapa de radiació solar mitjana a Catalunya (kWh/m<sup>2</sup>/dia)



### Energies renovables

Són aquelles que circulen o que es generen de forma natural a partir de recursos amb cicles curts de renovació, de manera que utilitzar-les no hipoteca la disponibilitat futura.

- La utilització de l'energia solar com a recurs energètic **no presenta cap tipus d'emissió contaminant**, ni residus.
- L'energia solar és un **recurs energètic de llarga durada**. S'estima que al Sol li queden uns 5.000 milions d'anys de vida.

Tot i això, la utilització de l'energia solar com a font d'energia presenta certes dificultats, ja que la radiació solar és un recurs energètic dinàmic, que arriba a la Terra de forma discontinua (dia/nit) amb una intensitat variable en funció de l'estacionalitat (estiu/hivern) i un potencial variable en funció de la localització geogràfica i les condicions ambientals del receptor (usuari).

## 1.1 Conversió de l'energia solar en electricitat

La utilització directa de la radiació solar com a font d'energia primària per a producció d'electricitat adopta les següents configuracions:

- Sistemes solars termoelèctrics
- Sistemes solars fotovoltaïcs

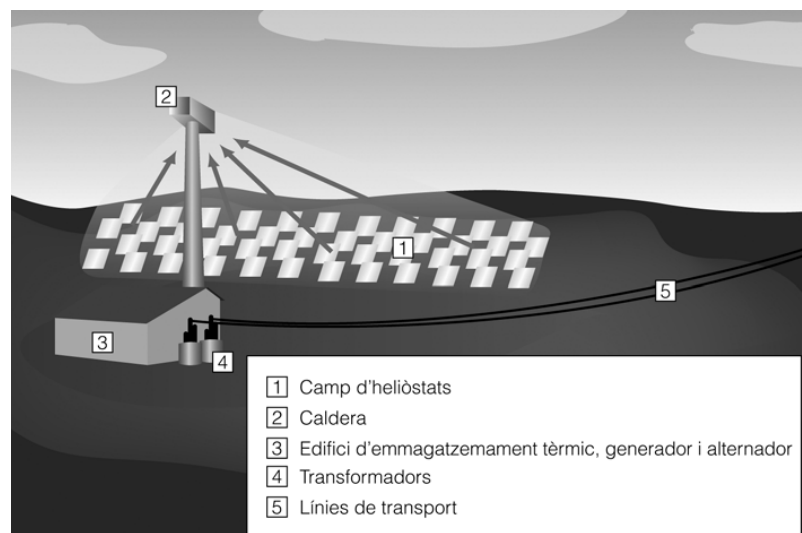
### 1.1.1 Sistemes solars termoelèctrics

En els sistemes solars termoelèctrics, la radiació solar s'utilitza per a generar calor, que posteriorment es transformarà en corrent elèctric per mitjà de turbines de vapor, com en un cicle tèrmic convencional, malgrat que la font principal d'energia no són els combustibles fòssils ni l'energia nuclear, sinó el Sol.



Central termoelèctrica de torre PS10 d'11MW de potència i situada a Sanlúcar la Mayor (Sevilla)

FIGURA 1.2. Representació gràfica dels elements d'una central de torre



Aquest tipus d'instal·lacions presenten les següents configuracions típiques:

- **Centrals de concentració de torre:** aquesta tecnologia s'està utilitzant des de la dècada dels anys setanta i té força implantació arreu del món. Les centrals termosolars de torre consten d'un sistema concentrador anomenat "camp d'heliòstats", que no és més que un seguit de miralls, dotats d'un sistema automàtic de seguiment de la posició solar, que reflecteix la radiació solar directa sobre un únic punt anomenat receptor i que està situat habitualment a la part superior d'una torre. En el concentrador es converteix l'energia solar en energia tèrmica, que serveix per a generar vapor. La figura 1.2 mostra els elements bàsics d'una central solar termoelèctrica de torre.
- **Centrals solars termoelèctriques amb captadors cilindres parabòlics:** en aquests centrals, la radiació solar és reflectida per uns miralls cilindre parabòlics. Pel focus de la paràbola hi passa un tub que rep la radiació reflectida per la paràbola. Aquest tub s'escalfa fins a uns 400 °C, es fa circular un fluid (normalment algun oli tèrmic), que s'utilitzarà per produir vapor, amb el qual es produirà electricitat, com en el cas de les centrals de torre.
- **Centrals solars de xemeneia:** una variant de les centrals solars termoelèctriques són les anomenades centrals de xemeneia, en les quals es genera electricitat mitjançant uns aerogeneradors accionats pels corrents d'aire ascendent d'una xemeneia de gran alçada que està adossada a una gran superfície transparent situada a la base de la xemeneia. En aquestes centrals, el Sol escalfa per efecte hivernacle l'aire situat per sota de la superfície transparent de la base de la xemeneia. L'aire per convenció natural es desplaça fins a l'exterior a través de la xemeneia, i crea un corrent d'aire ascendent que és suficient per a generar electricitat mitjançant els aerogeneradors situats a l'interior de la xemeneia, tal com es mostra a la figura 1.3.



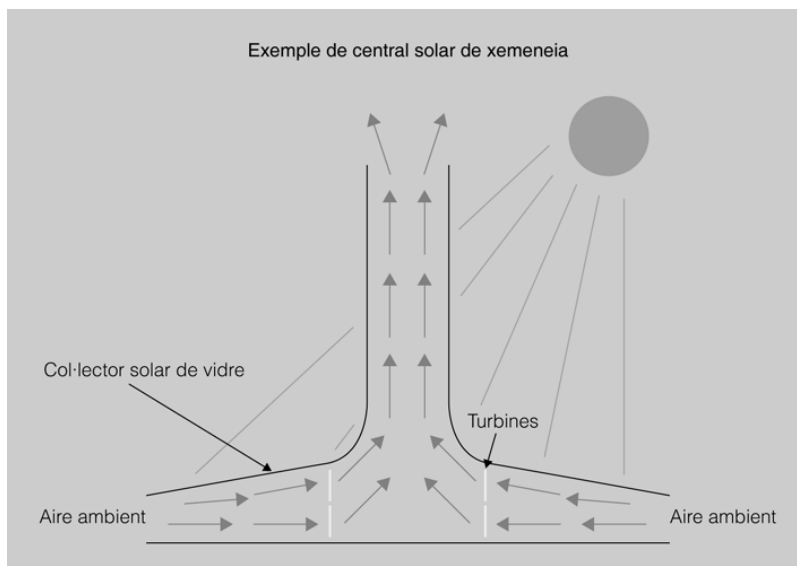
Central cilindroparabòlica de 14 MW situada en el desert de Mojave (Califòrnia).



**Central solar de xemeneia**

Central solar de xemeneia de 50 kW que funcionà de forma experimental durant els anys vuitanta a Manzanares (Ciudad Real). Aquesta central constava d'una xemeneia de 190 m d'alçada i 10 m de diàmetre adossada a una superfície de vidre de 240 m de diàmetre.

**FIGURA 1.3.** Representació gràfica del funcionament d'una central de xemeneia



En les centrals de xemeneia s'utilitzarà la base com a sistema d'emmagatzematge tèrmic per reduir la fluctuació de la producció elèctrica; tot i això, aquestes centrals, com la resta de centrals solars, per garantir una continuïtat de servei, requereixen un sistema d'acumulació.

### 1.1.2 Sistemes solars fotovoltaïcs

En els sistemes fotovoltaïcs, el Sol s'utilitza per a produir electricitat de forma directa, sense processos termodinàmics, únicament a través d'un dispositiu de silici semiconductor denominat cèl·lula fotovoltaïca. En aquesta transformació no existeixen elements mecànics ni tèrmics; tot funciona a nivell fotoelèctric.

Els sistemes solars fotovoltaïcs són els més utilitzats per al subministrament elèctric, allà on el cost de manteniment i la instal·lació de les línies elèctriques no és rendible, és a dir, per a instal·lacions autònomes aïllades, així com per a centrals generadores de poca potència connectades a la xarxa elèctrica.



Instal·lació solar fotovoltaïca autònoma

## 1.2 Radiació solar

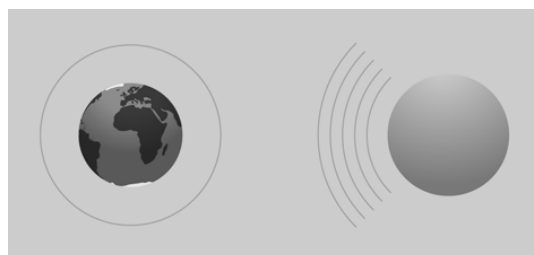
La radiació solar és la matèria primera de qualsevol sistema de producció d'electricitat amb energia solar. Per aquest motiu, per al correcte disseny i muntatge de les instal·lacions solars és imprescindible conèixer les peculiaritats d'aquest recurs i les tècniques adequades del seu aprofitament.

En aquest apartat descriurem els paràmetres determinants de la radiació solar incident, per tal establir els criteris bàsics a l'hora d'ubicar les plaques solars, així com determinar-ne el nivell de producció elèctrica.

### 1.2.1 Constant solar

L'energia solar és irradiada en forma concèntrica al focus (el Sol) i es desplaça per l'espai perdent intensitat proporcionalment a la distància en què se n'allunya.

FIGURA 1.4. Desplaçaments concèntrics de l'energia solar



La pèrdua d'intensitat d'energia és deguda principalment a l'efecte de dispersió de l'energia, tal com es mostra a la figura 1.4.

D'acord amb aquest concepte podem establir que la intensitat de l'energia solar incident a l'exterior de l'atmosfera terrestre serà pràcticament constant a qualsevol punt perpendicular al Sol.

Aquest valor s'anomena **constant solar** i fa referència a la potència de radiació solar instantània rebuda sobre una unitat de superfície ( $m^2$ ), sobre un pla tangent a l'esfera imaginària formada per la capa externa de l'atmosfera.

El valor de la constant solar és de  $1.353 \text{ W/m}^2$

Encara que aquest valor s'anomeni "constant solar", no és un valor fix, sinó que varia aproximadament  $\pm 3\%$  en funció de les variacions de la distància Sol-Terra durant l'any.

### 1.2.2 Radiació incident a la superfície de la Terra

La radiació incident sobre la Terra és sensiblement inferior a la constant solar per l'efecte atmosfèric. Tot i aquesta accentuada variabilitat pel que fa a possibles valors de la radiació incident en un lloc i moment determinats sobre la Terra, la indústria ha trobat un valor de referència per a la prova d'equips, etc.

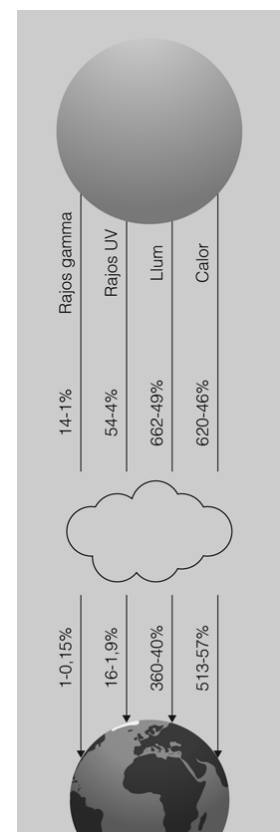
El valor d'irradiància estàndard de referència és de  $1.000 \text{ W/m}^2$ .

### 1.3 Distribució espectral de la radiació solar

L'energia solar arriba a la Terra en forma d'ones electromagnètiques que es desplacen per l'espai en totes les direccions sense cap suport material. Aquest efecte és el que coneixem com a radiació i fa referència a un fenomen físic vibratori que es representa en forma d'ones.

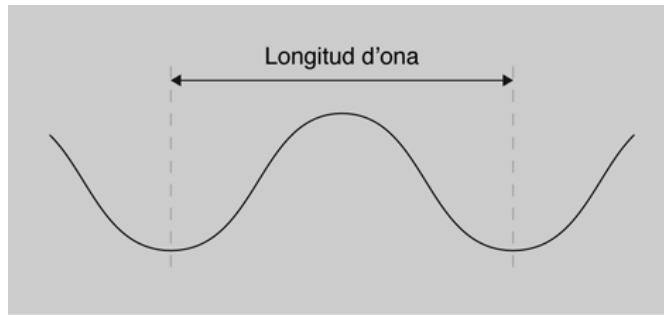
La freqüència de les vibracions ondulatories és el nombre de vegades que es repeteix la forma d'ona completa en la unitat de temps. La seva unitat és l'hertz (Hz) o també la inversa del temps ( $s^{-1}$ ).

Un altre paràmetre característic de les radiacions és la **longitud de l'ona**, que és la distància que hi ha entre dos punts iguals d'una ona, per exemple, entre crestes o passos per zero, com es mostra en la figura 1.5.



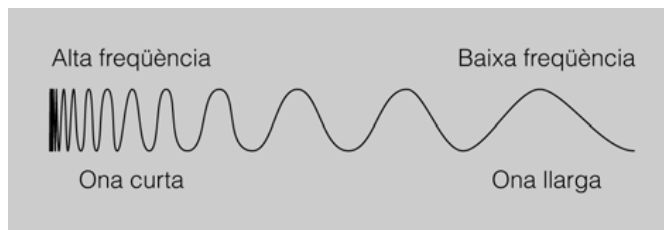
Pèrdues de radiació en l'atmosfera terrestre

**FIGURA 1.5.** Representació gràfica de la longitud d'ona



Per tant, com més petita sigui la longitud d'ona, més gran serà la freqüència, és a dir, més cops es repeteix l'ona en el temps i més energia pot ser transportada (figura 1.6).

**FIGURA 1.6.** Representació gràfica d'ones electromagnètiques



Alhora, les radiacions, en funció de la seva freqüència, tenen més o menys capacitat de penetració en els materials. La llum visible (amb longituds d'ona entre les 0,4 i 0,7 m) no pot travessar parets; en canvi, per a aturar els raigs gamma (de longitud d'ona deu mil vegades més petita), les centrals nuclears s'han de blindar amb parets de formigó i de plom d'1 m de gruix.

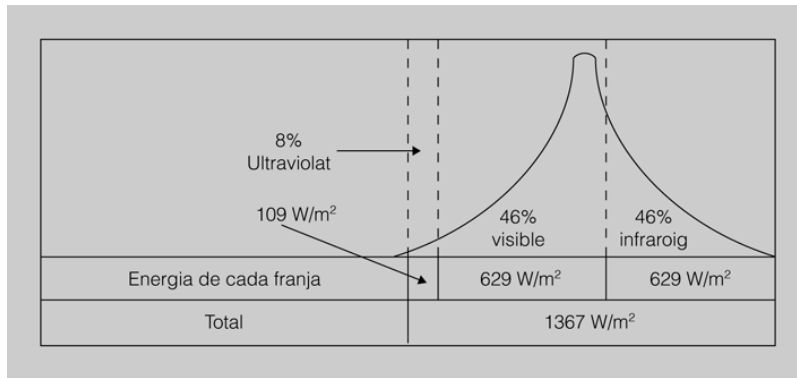
Aproximadament, la meitat de la radiació solar incident en l'atmosfera terrestre correspon a la banda de freqüències de la llum visible per l'ull humà (de 0,38 a 0,78 m). La resta pertany a bandes que no capten els nostres ulls, principalment infraroig (radiació associada a processos tèrmics i de longituds d'ona superiors a 0,78 m) i un petit component de llum ultraviolada que presenta longituds d'ona una mica més petites que la visible (inferiors a 0,38 m).

En la taula 1.1 i en la figura 1.7 podem observar les característiques i distribució de l'espectre de radiació incident en l'atmosfera extraterrestre.

**TAULA 1.1.** Distribució de l'espectre de radiació solar

Banda	Ultraviolat	Visible	Infraroig
Longitud d'ona (m)	0,01 0,38	0,38 0,78	0,78 1.000
Percentatge energètic	8%	46%	46%
Potència de radiació (W/m <sup>2</sup> )	109	629	629



**FIGURA 1.7.** Representació gràfica de la distribució de l'espectre de la radiació

## 1.4 Posició del Sol

La radiació és força constant abans de la seva entrada en l'atmosfera. En canvi, un cop ha travessat la franja d'aire que ens envolta la radiació mesurada a nivell del mar, descendeix força en funció principalment de dos paràmetres: l'espessor d'atmosfera travessada (30% fix) i la climatologia regnant (fins a 100% variable).

Respecte de la climatologia, no podem fer prediccions a mitjà o llarg termini fiables que ens permetin avaluar la radiació incident per a qualsevol dia de l'any. En canvi, mitjançant l'estudi de la *relació Sol-Terra*, podem conèixer amb força exactitud la posició del Sol qualsevol dia de l'any i en qualsevol moment del dia. Aquest fet ens permet avaluar els angles d'incidència de la radiació i, per tant, el comportament de les ombres projectades per objectes que, juntament amb les mitjanes de les mesures de radiació realitzades a les estacions meteorològiques, són la base dels càlculs solars.

### 1.4.1 Posició d'un emplaçament a la Terra

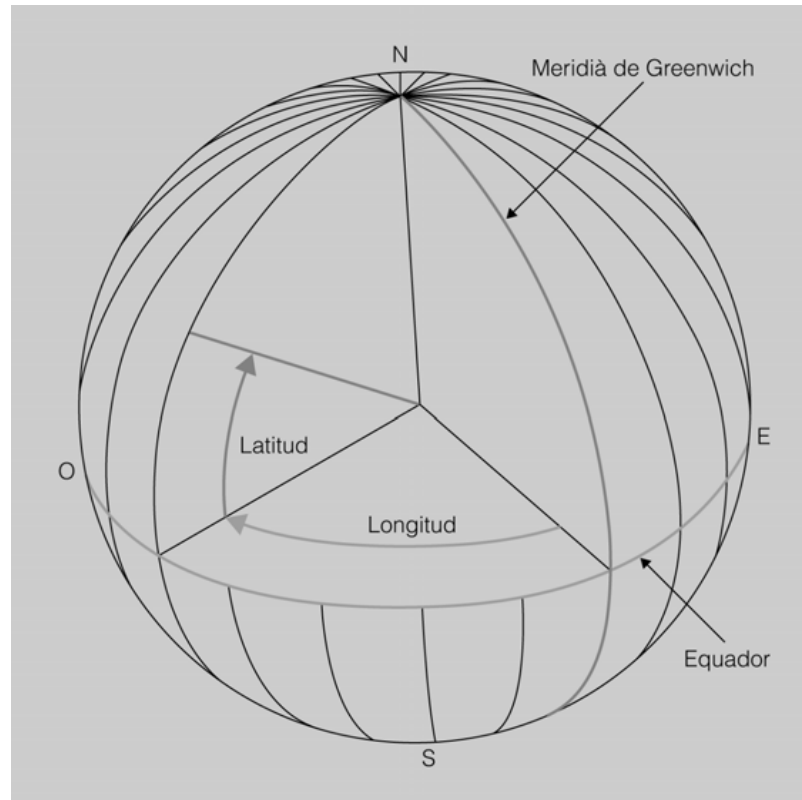
La localització d'un emplaçament en el planeta és un dels factors determinats per a establir el correcte posicionament de les plaques solars. En aquest sentit, l'instal·lador solar necessita conèixer les mínimes referències que s'utilitzen per a ubicar un emplaçament sobre el planeta, per tal de determinar l'orientació i inclinació adequada de les plaques.

Aquestes referències bàsiques (figura 1.8) són:

- **Latitud ( $F$ ):** és l'angle que formen la vertical (perpendicular) del punt geogràfic que es consideri de la superfície terrestre (**emplaçament**) i el pla de l'equador. La dada de la latitud és bàsica per a poder conèixer, a través de complexes expressions matemàtiques o bé a través de taules, la resta de dades referents a la posició solar. A punts de latitud igual els corresponen valors iguals d'alçada solar.

- **Longitud ( $L$ ):** és l'angle que formen la vertical del punt geogràfic que es consideri de la superfície terrestre (**emplaçament**) i una projecció vertical a un punt geogràfic situat a una latitud igual, però sobre un eix de referència anomenat meridià de Greenwich. Els llocs situats a una longitud igual pertanyen a la mateixa franja horària i reben la radiació solar en igual desviació respecte del sud.

FIGURA 1.8. Paràmetres de posició geogràfica



- **Nord magnètic ( $N_m$ ):** és la direcció indicada per la part magnetitzada d'una brúixola, a causa de l'atracció que fa el pol magnètic (concentració de massa) del planeta.
- **Nord geogràfic ( $N$ ):** és la direcció que indicaria una brúixola si la concentració de massa del planeta fos simètrica (indica la direcció des del punt d'observació i l'extrem superior geomètric del planeta).
- **Declinació magnètica:** és l'angle que formen la direcció que indica la brúixola i el nord geogràfic. A causa de la deriva dels continents, la concentració de massa de la Terra va variant, de manera que cada any la declinació també varia. En els mapes dels serveis cartogràfics nacionals, sol estar referenciada la declinació magnètica absoluta de la darrera data en què va ser mesurada i un valor de variació anual a partir de la data indicada.
- **Hemisferi:** identifica cadascuna de les dues meitats en què l'equador divideix la Terra (hemisferi *nord* i hemisferi *sud*).

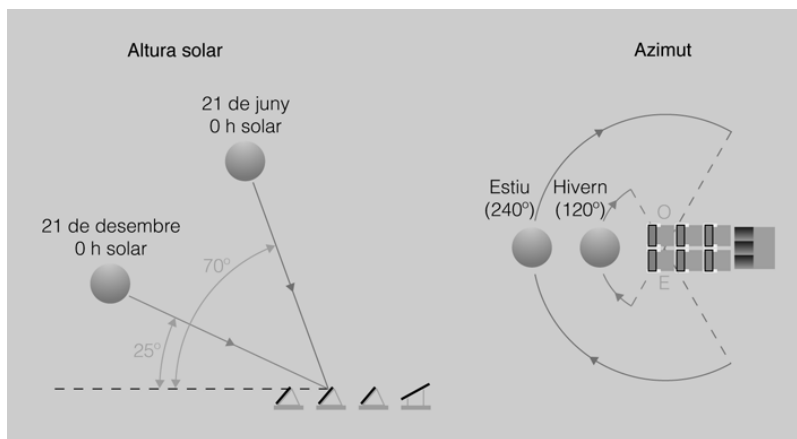
## 1.4.2 Principals paràmetres de la posició del Sol

La Terra fa una rotació completa sobre si mateixa cada 24 hores (aproximadament, 23 h 56 min 4 s). Aquest fet implica que, des de qualsevol emplaçament, una persona que observa té la sensació d'estar estàtica i que és l'Univers el que gira al seu voltant.

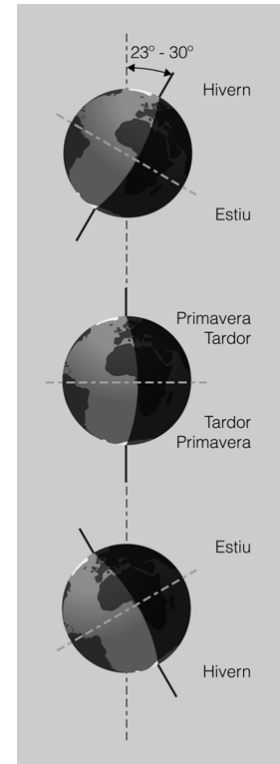
Per tant, tot i que la Terra gira, ens hem acostumat a dir que és el Sol el que surt al matí per l'est, puja fins a la màxima alçada al migdia i es pon a la tarda per l'oest. En aquest document donarem com a bona aquesta nomenclatura tradicional d'associar el moviment del sistema SolTerra només al Sol i identificarem els següents paràmetres de referència respecte al moviment del Sol:

- **Azimut (A):** tal com s'indica a la figura 1.9, és l'angle que forma la projecció dels raigs solars sobre el pla tangent a la superfície terrestre i el sud geogràfic (en l'hemisferi nord). **Azimut 0°** correspondrà al moment en què el Sol està exactament sobre el sud geogràfic i indica el migdia (12:00 hora solar).

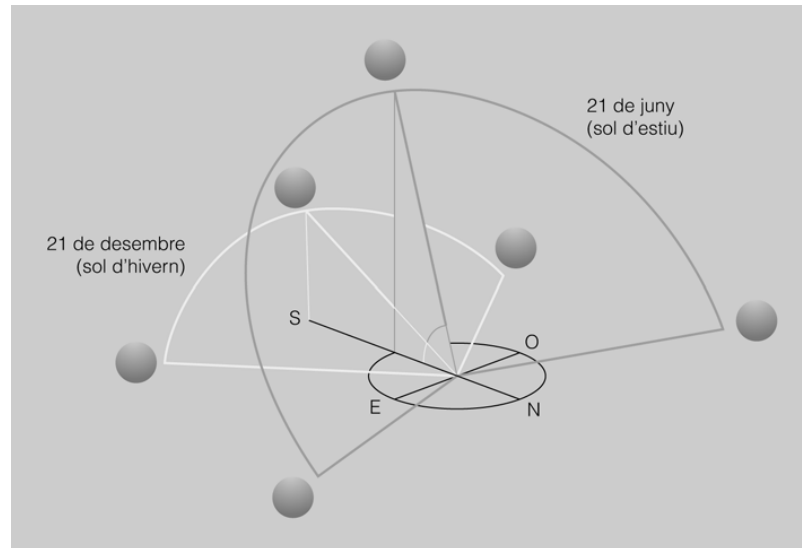
FIGURA 1.9. Paràmetres de la posició solar



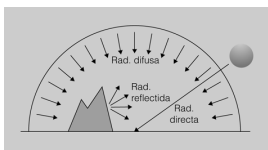
- **Alçada solar (h):** és l'angle que formen els raigs solars incidents amb el pla horitzontal quan arriben a la superfície de la Terra (figura 1.9). L'alçada solar varia durant el dia. El Sol surt molt baix, sobre l'horitzó, assoleix l'alçada màxima al migdia per a tornar a amagar-se a la tarda per l'oest. De la mateixa manera, cada dia de l'any el Sol arriba a una alçada màxima diferent, de manera que a Catalunya el valor més alt és el dia del solstici d'estiu, proper a 71° i el mínim del solstici d'hivern, proper als 25° (figura 1.10).



Representació gràfica de la declinació de la Terra en funció de l'estació de l'any

**FIGURA 1.10.** Posició solar en els solsticis

## 1.5 Insolació mitjana diària



### La radiació solar incident sobre una superfície...

... estarà formada per la **radiació directa**, que com el nom indica, és la radiació incident de forma directa i la **radiació difusa**. Aquest component de la radiació correspon a la radiació reflectida tant pels agents ambientals (núvols, boires, etc.) com per agents topogràfics (muntanyes, edificis, etc).

Tot i que la radiació solar instantània (irradiància) és una dada força important a l'hora de poder avaluar el que està passant en una instal·lació que està en funcionament, en el moment de poder avaluar l'energia que produirà un sistema fotovoltaic o de dimensionar-lo, el que realment necessitem és saber la quantitat d'energia que aquesta radiació aporta al llarg d'un període de temps concret. Aquest valor és el que s'anomena habitualment *radiació solar*.

Obtenir aquesta dada és una tasca laboriosa ja que requereix mesures al llarg de diversos anys (més de 10 anys) i un treball posterior de validació i correlacions matemàtiques per tal de poder extrapolar les dades al territori i a diferents orientacions i inclinacions.

Finalment, els resultats d'aquesta anàlisi es presenten en forma d'**atles de radiació solar**, com l'**Atles de radiació solar a Catalunya**, elaborat per l'Institut Català d'Energia i que permet obtenir dades de radiació global difusa de 83 estacions de mesura, distribuïdes arreu del territori català.

A tall d'exemple presentem la taula de la figura 1.11, en la qual es representen les dades obtingudes per a l'estació de Barcelona i ens indica els valors mitjans de **la radiació global diària (MJ/m<sup>2</sup>/dia)**, és a dir, la suma de tots els components de la radiació (directa, difusa i reflectida) que rebria una superfície d'1 m<sup>2</sup> que estigués orientat al sud (azimut = 0) en funció de la seva inclinació, per cada un dels mesos de l'any i finalment a la columna de la dreta el valor mitjà anual.

Si observem els valors podrem identificar amb claredat les variacions estacionals i també algunes peculiaritats.

Per exemple: el mes de l'any amb menys radiació solar és en termes generals el desembre, però si es tracta d'analitzar la radiació solar que rebria una façana

(inclinació 90°) veiem que el pitjor mes de l'any aleshores serà el juny (ja que el Sol està molt alt i, per tant, l'angle de visió de la superfície serà molt petit).

El valor màxim d'irradiació global anual al llarg de l'any es dona amb inclinació 35° amb 17,73 MJ/m<sup>2</sup>/dia; per tant, aquesta serà la millor inclinació en sistemes on l'important sigui la producció anual i no hi hagi cap època crítica a cobrir.

FIGURA 1.11. Taula de radiació solar

Orientació: 0°													
Inclinació	Gen	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Des	Anual
0°	6,80	9,65	13,88	18,54	22,25	24,03	23,37	20,42	16,05	11,40	7,73	6,04	15,04
5°	7,70	10,56	14,72	19,15	22,58	24,21	23,63	20,93	16,85	12,32	8,66	6,94	15,71
10°	8,56	11,41	15,47	19,67	22,78	24,25	23,74	21,31	17,54	13,17	9,55	7,80	16,29
15°	9,37	12,19	16,14	20,07	22,84	24,13	23,70	21,59	18,13	13,95	10,38	8,61	16,78
20°	10,12	12,90	16,70	20,35	22,76	23,87	23,52	21,76	18,61	14,63	11,15	9,37	17,17
25°	10,81	13,52	17,17	20,51	22,60	23,48	23,24	21,80	18,98	15,23	11,85	10,07	17,46
30°	11,43	14,07	17,52	20,54	22,32	23,02	22,86	21,71	19,23	15,73	12,47	10,71	17,65
35°	11,97	14,52	17,77	20,45	21,90	22,43	22,34	21,48	19,36	16,13	13,01	11,28	17,73
40°	12,44	14,88	17,91	20,23	21,35	21,70	21,69	21,12	19,37	16,43	13,47	11,77	17,71
45°	12,83	15,15	17,94	19,89	20,67	20,84	20,90	20,63	19,26	16,63	13,85	12,19	17,58
50°	13,14	15,32	17,86	19,43	19,87	19,86	20,00	20,02	19,03	16,72	14,13	12,53	17,33
55°	13,36	15,40	17,67	18,85	18,95	18,77	18,97	19,29	18,68	16,71	14,32	12,78	16,98
60°	13,49	15,37	17,36	18,16	17,92	17,60	17,84	18,44	18,22	16,59	14,42	12,95	16,53
65°	13,53	15,25	16,95	17,36	16,83	16,41	16,71	17,48	17,65	16,36	14,42	13,04	16,00
70°	13,49	15,03	16,44	16,46	15,70	15,14	15,48	16,43	16,97	16,03	14,33	13,03	15,38
75°	13,35	14,72	15,83	15,47	14,48	13,78	14,18	15,35	16,19	15,60	14,14	12,94	14,67
80°	13,13	14,31	15,12	14,41	13,18	12,36	12,80	14,17	15,31	15,08	13,86	12,77	13,87
85°	12,82	13,81	14,32	13,29	11,82	10,93	11,35	12,93	14,34	14,45	13,50	12,51	13,00
90°	12,43	13,23	13,44	12,11	10,41	9,57	9,99	11,62	13,30	13,74	13,04	12,16	12,08

Atles de radiació solar de Catalunya

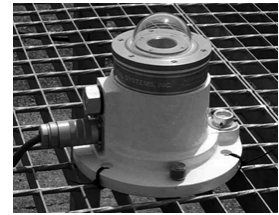
Tot i que és a 65° que trobem la màxima insolació al mes de desembre, a 50° aquesta continua essent de més del 95% i, en canvi, permet obtenir millor aprofitament els mesos de primavera i tardor.

L'atles també ens presenta taules amb la irradiació per a superfícies desorientades del sud 30, 60 i 90°, amb independència de si la desorientació es troba en direcció est i oest.

La unitat d'energia utilitzada a les taules de radiació és el megaJoule (MJ), múltiple de la unitat internacionalment reconeguda com a unitat d'energia, el Joule.

$$1 \text{ MJ} = 0,27 \text{ kWh}$$

Per tant, per passar de MJ a kWh multiplicarem els MJ pel factor de conversió 0,27 kWh/MJ i el resultat obtingut serà amb kWh (unitat d'energia elèctrica).



#### Mesurar la radiació total que rep una superfície

Per a mesurar la radiació total que rep una superfície en un determinat nombre de dies (o mesos), s'utilitzen uns aparells anomenats piranòmetres, els quals detecten la intensitat de la radiació incident en cada moment i que, acoblats a un ordinador, acumulen aquestes dades en el decurs del temps de presa de mesures.

Vegeu l'annex *Atles de la radiació solar a Catalunya* en la secció "Annexos" del web del mòdul.

## 1.6 Efecte fotovoltaic

Els materials **semiconductors** (com per exemple el silici) tenen la particularitat de presentar un comportament diferent davant l'electricitat (conducció de càrregues) en funció d'una font energètica externa, com ara la radiació solar, que els excita o no.

Quan un fotó (partícula de llum radiant) impacta contra un electró de la darrera òrbita d'un àtom de silici (electró de valència), li proporciona l'energia amb què viatjava.

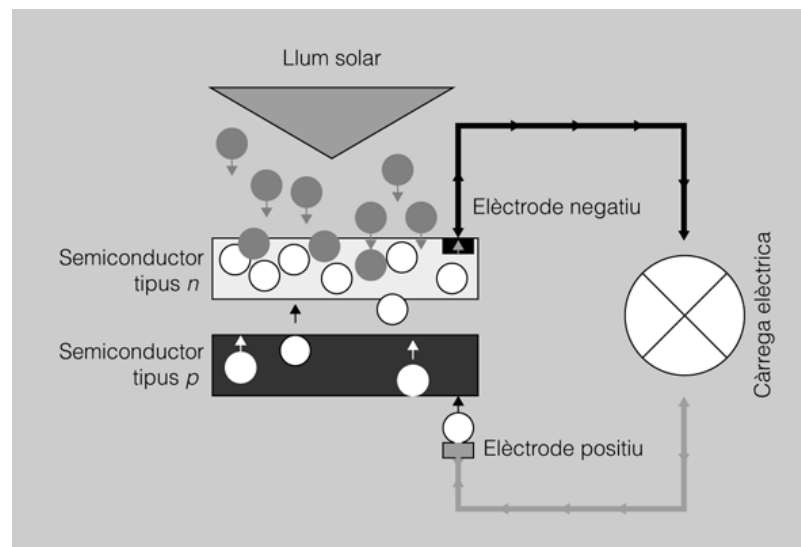
Si l'energia adquirida per aquest electró supera la força d'atracció del nucli (energia de valència), aquest surt de la seva òrbita i queda lliure de l'àtom; per tant, pot viatjar a través del material. En aquest moment, diríem que el silici s'ha fet conductor (banda de conducció) i, per a fer això, fa falta que la força d'impacte d'un fotó sigui almenys d'1,2 eV.

Cada electró "alliberat" deixa enrere seu un forat, o espai lliure, que pot romandre fins que un electró que ha saltat d'un altre àtom l'ocupa. Aquests moviments dels electrons alliberats o dels espais que deixen enrere és el que s'anomena càrregues elèctriques.

Aquest corrent de càrregues pot assolir els contactes i sortir del material a fi de realitzar un treball útil. Perquè això passi de forma constant i regular, fa falta que hi hagi la presència d'un camp elèctric de polaritat constant. Aquest camp polaritza les partícules i actua com una veritable bomba que impulsa els electrons en un sentit i els forats en l'oposada.

En les cèl·lules solars convencionals, el camp elèctric (0,5 V) es forma gràcies a una unió *P-N*, és a dir, una zona del material té excés d'electrons (càrrega negativa), mentre que l'altra en té mancança (càrrega positiva), de manera que en ser alliberat un electró és impulsat a través del material fins als conductes de plata, de baixa resistivitat (figura 1.12).

FIGURA 1.12. Representació gràfica de l'efecte fotovoltaic



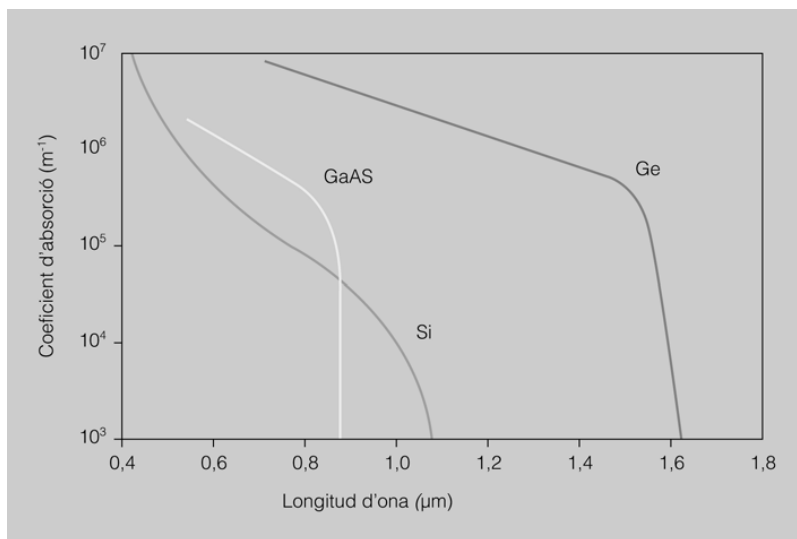
### 1.6.1 Generació de portadors

Els fotons corresponents a longituds d'ona petites (radiació ultraviolada) són més energètics (de 2 a 3 electró-volt) que els corresponents a longituds d'ona més gran (radiació infraroja).

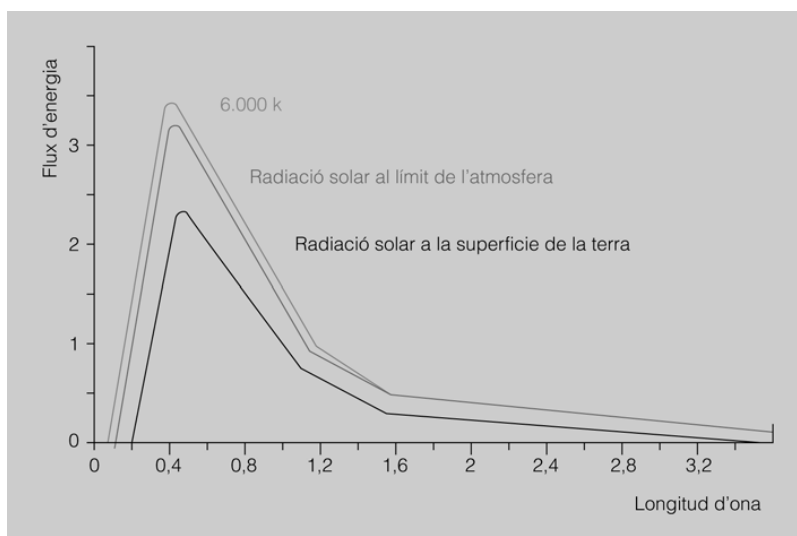
Cada material semiconductor té una energia mínima que permet l'alliberament d'electrons dels seus àtoms i, per tant, aquesta energia correspondrà a fotons d'una determinada banda de freqüències (gap) que anirà des dels associats a l'ultraviolat fins als colors visibles, tret del vermell, que ja té una energia associada inferior als 1,2 electró-volts.

A la figura 1.13, podeu observar les respostes espectrals de diferents materials semiconductors emprats en la fabricació de cèl·lules solars. S'hi pot observar com el germani (Ge) reacciona davant de radiacions de menor freqüència i major longitud d'ona (infraroig) i l'arsenur de gal·li (GaAs) requereix de radiació ultraviolada i visible, mentre que el silici té un comportament intermedi (figura 1.14).

**FIGURA 1.13.** Gràfica de la resposta espectral de diferents materials



**FIGURA 1.14.** Banda de radiació solar amb suficient energia (1,2 electró-volts) per a desplaçar electrons dels àtoms de silici



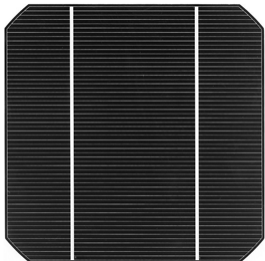
Encara que no tots els fotons aconseguen l'objectiu de separar electrons, això es deu al fet que travessar el material suposa sempre una certa pèrdua energètica i, per tant, que en el moment de la col·lisió alguns fotons ja han quedat fora del

llindar requerit per a desplaçar un electró. Aquestes pèrdues per no-absorció només depenen de les propietats del material i són inevitables.

Ahora, hi ha un percentatge de fotons que arriben a travessar la làmina de semiconductor sense topar amb cap electró i d'altres que il·luminen la superfície del material són reflectits (pèrdues per reflexió). Aquestes pèrdues es poden reduir a través de tractaments antireflexius de la superfície de la cèl·lula.

Només s'aconsegueix la generació d'un parell electró-forat per cada fotó amb energia cinètica superior a la mínima energia (gap) que aconseguixi penetrar en el material i topi amb un electró de valència.

### 1.7 La cèl·lula fotovoltaica



Cèl·lula solar fotovoltaica

La cèl·lula solar més habitual és una làmina de silici cristal·lí d'un gruix d'aproximadament 0,3 mm. El procés d'elaboració és d'un nivell sofisticat i delicat per a poder aconseguir una homogeneïtat del material.

El camp elèctric es genera a partir de la diferent polarització de dues zones de la cèl·lula, generalment la part superior té un caràcter negatiu i la resta positiu per tal de crear la unió p - n.

S'aconsegueix, així, que una de les seves zones tingui:

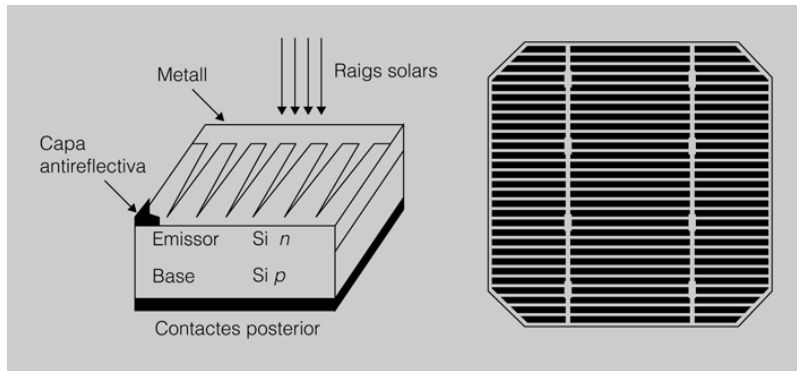
- Defecte d'electrons, anomenada zona *p* o positiva o ànode o receptor. Generalment, s'aconsegueix afegint al silici pur una petita part de bor que només té 3 electrons de valència.
- Excés d'electrons, anomenada *n* o negativa o càtode o emissor. Generalment formada per la difusió de fòsfor que té 5 electrons en la darrera òrbita.

A causa d'aquesta diferència de càrrega elèctrica en el material, es produeix el camp elèctric encarregat d'empènyer els electrons a sortir de la cèl·lula per la superfície de la capa *N*, fet que implica l'establiment d'un corrent elèctric.

La cèl·lula està dotada d'uns contactes elèctrics per a poder canalitzar l'energia que produeix quan se la il·lumina (figura 1.15). Aquests contactes estan dissenyats de forma ramificada (en la cara assolellada). N'hi ha dos de principals i, a més, hi ha les ramificacions que els uneixen per recaptar millor els electrons en tota la superfície de la cèl·lula. L'objectiu és de combinar alhora un bon contacte elèctric, de baixa resistivitat i fer l'ombra mínima per tal que els fotons arribin al material actiu de la cèl·lula.

A la cara posterior, els contactes solen formar una trama atapeïda o, fins i tot, una làmina contínua que permet la reducció del valor de la resistència interna.



**FIGURA 1.15.** Visió augmentada de les parts físiques d'una cèl·lula fotovoltaica

Sobre la capa n de només unes dècimes de micra d'espessor; sobre la base de tipus p que predomina, també es poden observar els contactes elèctrics.

### 1.7.1 Principi de funcionament de la cèl·lula

Quan una cèl·lula solar fotovoltaica es connecta a una càrrega o consum i, alhora, és il·luminada pel Sol, genera una diferència de potencial entre els seus contactes que provoca la circulació dels electrons a través de la càrrega.

En aquestes condicions, la cèl·lula funciona com un generador de corrent.

### 1.7.2 Corba I-V

Un cop analitzat el principi físic del perquè de la generació d'electricitat i de les seves característiques, cal recordar que generem corrent elèctric.

La cèl·lula solar és un generador de corrent i no pas de voltatge.

Aquest principi és molt important a l'hora d'entendre com es comporta la cèl·lula davant de les variacions dels principals paràmetres que l'afecten:

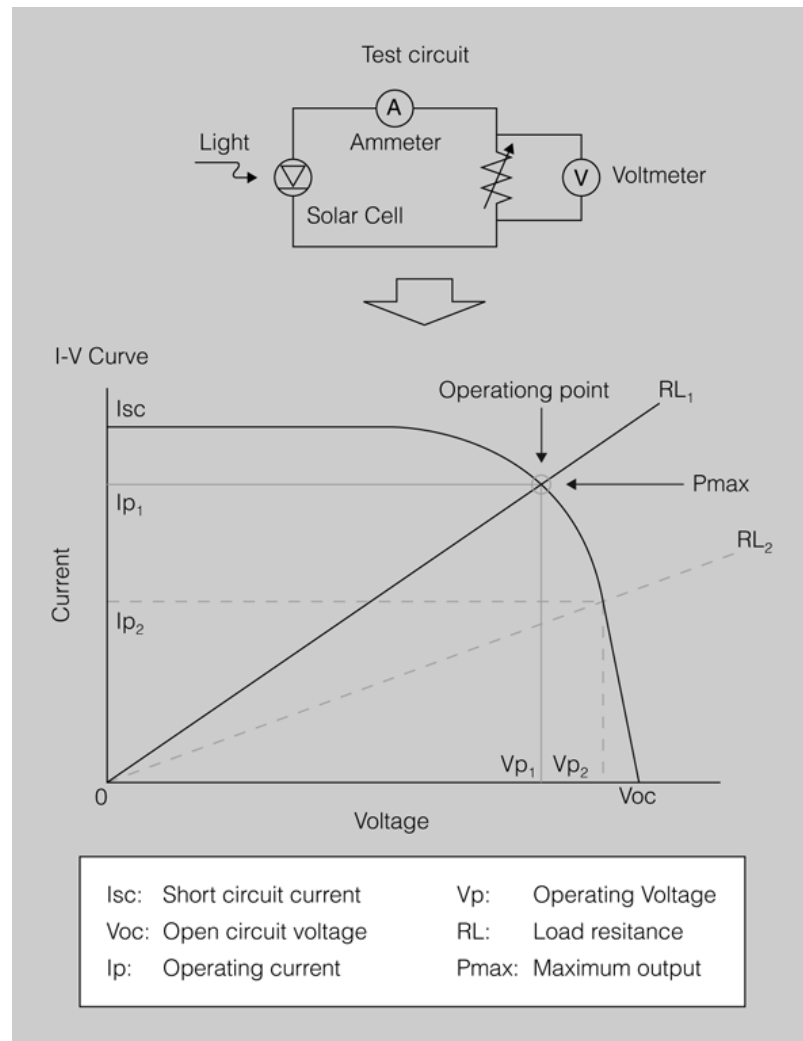
- Radiació solar incident
- Voltatge de treball
- Temperatura de treball

L'expressió més habitual i clara de mostrar el comportament de la cèl·lula solar és la potència elèctrica que pot generar a una radiació solar donada, generalment  $1.000 \text{ W/m}^2$  i en funció del voltatge al qual permeti treballar la càrrega, és a dir, en funció de la impedància que hagi d'alimentar.

Aquesta corba (figura 1.16) ens permet descriure alguns punts característics per tal de catalogar, definir i comparar cèl·lules de diferents materials i/o fabricants.

S'hi representa la corba  $I$ - $V$  representativa d'una cèl·lula fotovoltaïca, en aquesta corba es poden observar diversos paràmetres.

**FIGURA 1.16.** Gràfica representativa dels paràmetres elèctrics d'una cèl·lula fotovoltaïca



### Corrent de curtcircuit ( $I_{cc}$ )

Definim com a *curtcircuit* quan entren en contacte elèctric directe els dos pols d'un generador. Aleshores, la resistència es fa mínima i aplicant la llei d'Ohm el corrent es fa màxim.

$$I = \frac{V}{R}$$

En el cas de les cèl·lules fotovoltaïques, la cosa canvia, ja que són generadores de corrent (portadors). Tot i que la unió  $p$ - $n$  genera un potencial elèctric que permet la circulació d'electrons. Aquest potencial no és permanent i pot variar segons les condicions de la càrrega connectada.

En el cas del curtcircuit, el potencial de la cèl·lula cau a quasi 0 V; per tant, la recombinació de portadors es fa mínima i el corrent generat s'aproxima al màxim possible en funció de la radiació solar incident.

Aquesta intensitat és perfectament suportable tant per al material com per a les connexions de la cèl·lula. Aquest valor correspon al tall de la corba  $I-V$  amb l'eix de les ordenades, és a dir, la intensitat quan el voltatge és 0.

Aquest valor s'identifica normalment com a  $I_{cc}$  o  $I_{sc}$ , de l'anglès *short circuit*.

### Voltatge de circuit obert ( $V_{co}$ )

Si la cèl·lula queda en circuit obert, és a dir, sense cap consum o càrrega per a alimentar, aleshores no hi ha circulació de corrent cap a l'exterior d'aquesta cèl·lula. Per tant:

$$I = 0 \text{ A}$$

Això implica que el valor de la intensitat d'obscuritat de la cèl·lula, referida a les recombinacions de portadors, s'iguali al corrent total generat.

En resum, quan la cèl·lula solar no té cap càrrega connectada i roman il·luminada, tots els portadors generats es recombinen en l'interior de la mateixa cèl·lula. Aquest efecte fa que la zona de transició entre el material  $p$  i  $n$  s'eixampli i, en conseqüència, el voltatge augmenti fins a un valor característic anomenat voltatge en circuit obert.

El valor de voltatge de circuit obert se simbolitza com a  $V_{co}$  o  $V_{oc}$  de l'anglès *open circuit*.

### Punt de màxima potència (pmp)

Observant el gràfic  $I-V$ , ens podem adonar fàcilment que a cada valor de voltatge de treball li correspon una intensitat de sortida. Si tenim en compte que treballem en corrent continu, aleshores podem definir la potència elèctrica lliurada per la cèl·lula com:

$$P = V \cdot I$$

Si expressem el voltatge en volts i la intensitat en ampers, aleshores el resultat vindrà donat en [W] watts.

Cada punt de la corba té un parell de valors  $I-V$  que li confereixen un valor diferent de potència instantània.

Geomètricament, cada valor de potència representa la superfície del rectangle format per les dimensions  $I-V$ . Entès això, és força senzill determinar que dels infinits rectangles que es poden traçar, n'hi ha un de superfície màxima. Aquest correspon al punt de treball anomenat **punt de potència màxima** i és clau a l'hora d'obtenir el màxim rendiment dels dispositius fotovoltaïcs.

El punt de màxima potència també s'anomena **potència pic** quan fa referència als valors elèctrics obtinguts amb **condicions estàndard**:

- $I$  : Radiació incident de 1.000 W/m<sup>2</sup>.
- $t_c$ : com a temperatura de la cèl·lula 25 °C.
- $AM1.5$ : és a dir, l'espectre radiomètric que s'obté del traspàs de la radiació per un volum d'aire equivalent a un cop i mig l'atmosfera perpendicular al Sol.

Aleshores, es diferencia indicant el valor i afegint a la unitat el subíndex  $p$  ( $W_p$ ).

El punt de màxima potència té, òbviament, associats uns valors d'intensitat i de voltatge específics i que designem com a:

- $I_{pmp}$ : Intensitat del punt de màxima potència
- $V_{pmp}$ : Voltatge del punt de màxima potència
- $W_p$ : Potència màxima o pic

Aquest valor de potència, igual que la corba  $I$ - $V$ , varia a mesura que ho fa la radiació incident i la temperatura en la cèl·lula.

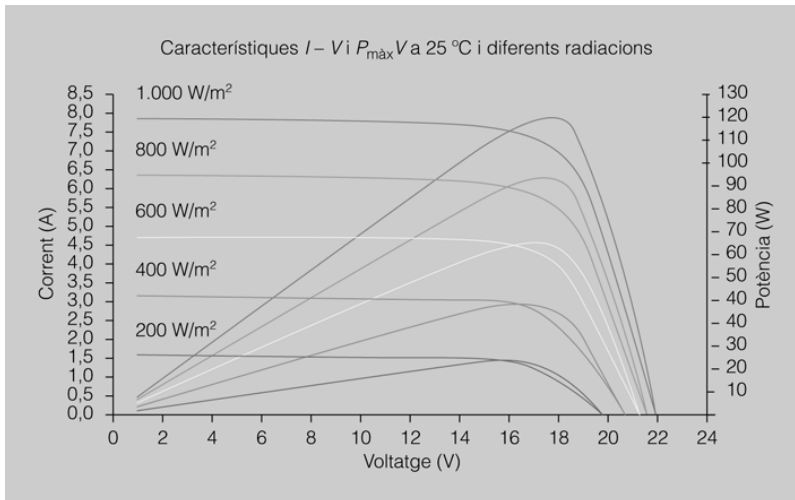
La potència lliurada és màxima de la cèl·lula i té associats uns valors d'intensitat i de voltatge únics i diferents als valors màxims absoluts que són la intensitat de curtcircuit i del voltatge en circuit obert.

### 1.7.3 Variacions de la corba en funció de la radiació incident

Per a un ampli rang de radiació solar, el corrent elèctric generat a les cèl·lules solars és directament proporcional a la intensitat de la radiació incident, com es pot observar a la figura 1.17.

En canvi, el voltatge de circuit obert es redueix lleugerament amb la radiació i augmenta també lleugerament quan aquesta ho fa. Aquesta variació és tan petita que, a efectes pràctics, podem menysprear-la.

**FIGURA 1.17.** La potència és pràcticament proporcional a la radiació incident, ja que la intensitat és proporcional i el voltatge és pràcticament estable.

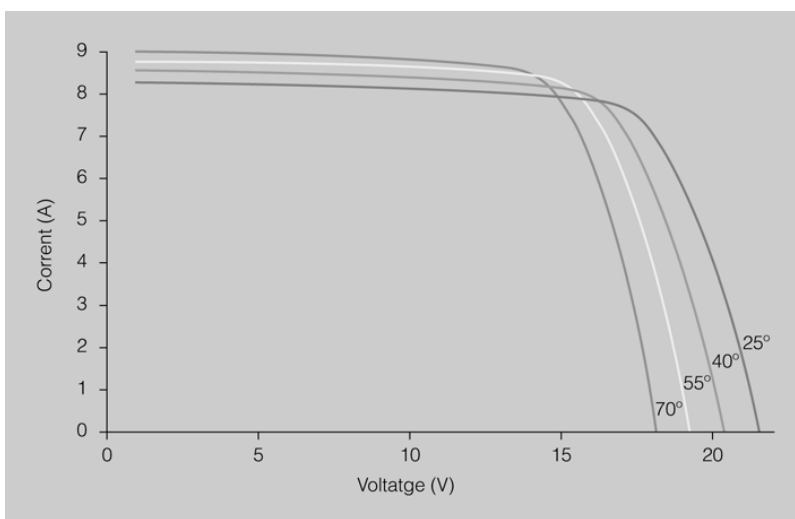


### 1.7.4 Variacions de la corba en funció de la temperatura de la cèl·lula

La temperatura és la mesura de l'activitat o d'agitació molecular dels cossos: com més temperatura, més mobilitat de partícules i, per tant, més facilitat d'alliberament dels electrons. Aquest fenomen físic fa que el voltatge de circuit obert disminueixi proporcionalment a un ritme aproximat de  $-2,3\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ .

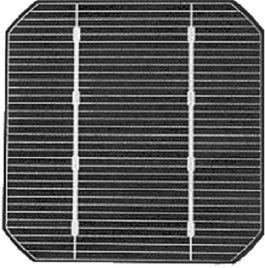
Aquesta caiguda del voltatge supera amb facilitat la recuperació d'intensitat; per tant, lluny del que intuïtivament la majoria de les persones pensen, a temperatures elevades, els mòduls fotovoltaïcs experimenten una forta caiguda del rendiment, com es pot observar en la figura 1.18, que mostra com amb l'augment de la temperatura disminueix la tensió del pànel i, en conseqüència, ho fa la potència generada. Aquest és un fenomen a tenir molt en compte a l'hora dels dissenys tant de les cèl·lules com de la seva col·locació.

**FIGURA 1.18.** Característiques I-V per a radiació de  $1.000\text{ W}/\text{m}^2$  i diferents temperatures de cèl·lula



## 1.8 Tipologia de cèl·lules fotovoltaïques més esteses

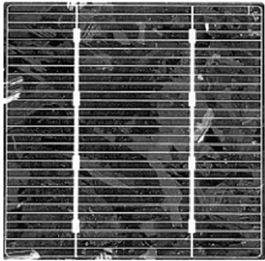
Segons la naturalesa i les característiques dels materials usats, tenim diferents tipus de cèl·lules. El tipus més comú és la cèl·lula de silici cristal·lí (Si). Aquest material es talla en làmines molt fines anomenades oblies monocristal·lines o policristal·lines, en funció del procés de fabricació de la barra de silici.



Cèl·lula monocristal·lina

La primera cèl·lula cristal·lina que es va fabricar en l'àmbit industrial és la de silici pur monocristal·lí. Aquestes cèl·lules presenten un bon rendiment energètic, però tenen un cost superior a la resta de tipologies. Per aquest motiu, en l'actualitat tenen un nivell d'implantació moderat.

Les cèl·lules monocristal·lines acostumen a presentar una forma quadrada, amb els cantells arrodonits. Antigament tenien forma circular. Això es deu al procés de creixement del cristall de silici monocristal·lí, que presenta una forma cilíndrica.



Cèl·lula policristal·lina

En el procés de fabricació del silici policristal·lí, el silici es deixa solidificar lentament en un motlle rectangular i se n'obté un sòlid rectangular amb molts cristalls, cosa que dóna lloc a les cèl·lules policristal·lines. Aquest tipus de cèl·lules tenen un rendiment inferior a les monocristal·lines, però actualment presenten una forta implantació perquè tenen un cost inferior al monocristal·lí.

En menys quantia, podem trobar en el mercat plaques fotovoltaïques anomenades de "capa fina". Aquestes no es fabriquen amb cèl·lules individuals, sinó que es fabriquen en forma de bandes contínues en què es diposita sobre un substrat apropiat (vidre o resines sintètiques) una capa fina de silici amorf (a-Si), d'1 o 2 m de gruix, i se'n fa una placa contínua que no necessita interconnexions interiors.

## 2. Elements de les instal·lacions fotovoltaïques

Les plaques fotovoltaïques en les instal·lacions fotovoltaïques és l'element captador de la radiació solar i l'encarregat de transformar l'energia solar en electricitat mitjançant l'efecte fotovoltaic.

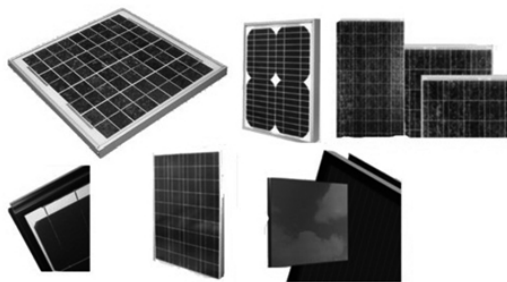
Tot i així, les instal·lacions fotovoltaïques requereixen tot un seguit d'elements complementaris, que són necessaris per a garantir la funcionalitat de la instal·lació, així com el control i la durabilitat d'aquesta.

### 2.1 Placa fotovoltaica

La cèl·lula solar només és capaç de generar una tensió d'unes dècimes de volt (aproximadament 0,5 V) i una potència màxima d'1 a 6 W. Per tant, és necessari connectar en sèrie diverses cèl·lules (que es comporten com petits generadors de corrent) per aconseguir tensions i potències adequades a les necessitats de les instal·lacions.

En aquest sentit les cèl·lules s'agrupen en configuracions majoritàriament en sèries, convenientment encaixades i protegides, que constitueixen la **placa fotovoltaica** (figura 2.1), element de la instal·lació solar fotovoltaica encarregat de transformar d'una manera directa l'energia de la radiació solar en electricitat en forma de corrent continu.

FIGURA 2.1. Plaques fotovoltaïques



Les característiques d'un mòdul fotovoltaic quedaran determinades per la tipologia de la cèl·lula, la superfície del mòdul i la connexió de les cèl·lules entre elles.

#### 2.1.1 Característiques elèctriques de la placa fotovoltaica

Les característiques elèctriques de la placa fotovoltaica, com en el cas de la cèl·lula, s'estableixen a partir d'unes condicions universals de treball anomenades

*condicions estàndards de mesura (CEM)*, concretades en els següents paràmetres:

- Irradiància solar 1000 W/m<sup>2</sup>
- Distribució espectral: AM 1,5 G
- Temperatura de la cèl·lula 25°C

Basant-se en aquestes condicions de mesura, s'estableix la **potència nominal o pic de la placa** i alhora es descriu la corba característica del mòdul intensitat-tensió (*I-V*), dades que s'han de reflectir en l'etiqueta de característiques de la placa.

Com en la cèl·lula fotovoltaica podem identificar els següents paràmetres elèctrics bàsics de la placa fotovoltaica:

- **Potència nominal del mòdul:** La potència nominal de la placa quedarà determinada pel punt de màxima potència amb una radiació de 1000 W/m<sup>2</sup>, de manera que aquest valor és el valor estàndard de prova i d'homologació de les plaques.
- **Intensitat de màxima potència ( $I_{max}$ ):** És el valor de la intensitat que pot oferir el mòdul quan les condicions de càrrega li permeten treballar a la seva màxima potència.
- **Tensió de màxima potència ( $V_{max}$ ):** És el valor de la tensió que pot oferir el mòdul a la seva màxima potència.
- **Intensitat de curtcircuit ( $I_{sc}$ ):** És el corrent que produeix el mòdul quan és forçat a treballar a un voltatge zero, és a dir, amb un curtcircuit en els seus contactes elèctrics. A nivell experimental, es mesura amb un amperímetre connectat a la sortida dels borns del mòdul. El valor varia de forma proporcional en funció de la radiació solar a la qual està exposat. És important saber que aquesta mesura no és destructiva, ja que la intensitat resultant és la màxima que poden produir les cèl·lules i per a la qual estan preparades.
- **Tensió de circuit obert ( $V_{oc}$ ):** És la tensió màxima que pot donar el mòdul, obtinguda quan no hi ha cap càrrega connectada (circuit obert, corrent zero). Aquest valor s'obté amb un voltímetre en els seus terminals quan no hi ha un altre element connectat. El valor obtingut pot ser més gran que el valor de la tensió nominal del mòdul i, per tant, cal usar una escala adequada.

## 2.1.2 Connexions de plaques

Tenint en compte que la potència d'una placa FV té un valor fix, quan es calculen les potències d'una instal·lació, sovint cal fer servir un determinat nombre de plaques solars fotovoltaïques per assolir la potència i tensió necessària.



En aquest cas les connexions d'aquestes plaques segueixen les normes bàsiques de les connexions elèctriques: es poden connectar en sèrie, en paral·lel i combinant les dues per tal d'aconseguir sumar la potència dels mòduls connectats i adaptar el funcionament al voltatge del circuit de consum.

### 2.1.3 Connexions en sèrie de plaques FV

En aquest tipus de connexió, es connecta el terminal positiu d'un mòdul al terminal negatiu del mòdul següent i així successivament fins a acabar la sèrie completa. La sortida del conjunt serà entre el terminal positiu del darrer mòdul i el negatiu del primer.

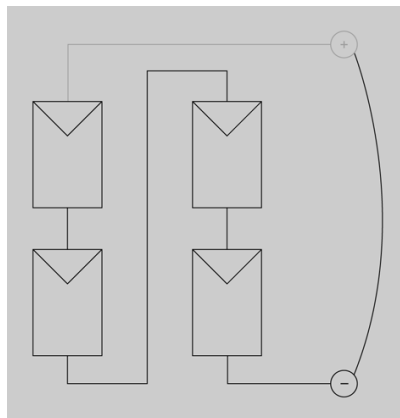
La intensitat de corrent d'aquesta connexió es manté constant i igual a la d'un mòdul, de manera que l'augment de potència s'aconsegueix mantenint la intensitat que pot donar un mòdul i augmentant la tensió. Aquesta és igual a la suma de totes les tensions dels mòduls connectats (figura 2.2).

$$P_{total} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$$

$$V_{total} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$$

$$I_{total} = I_1 = I_2 = I_3 = I_4$$

**FIGURA 2.2.** Connexió de 4 plaques en sèrie



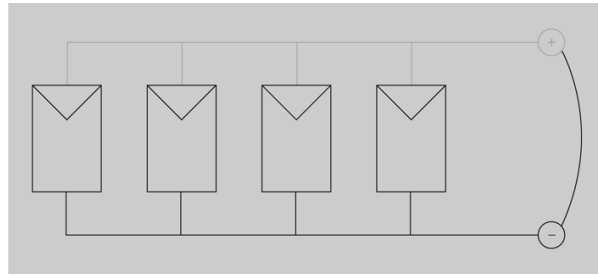
### 2.1.4 Connexions en paral·lel de plaques FV

Consisteix a connectar, d'una banda, els terminals positius de tots els mòduls i, de l'altra, tots els terminals negatius. La sortida del conjunt serà entre el terminal positiu i el negatiu de qualsevol mòdul.

$$P_{total} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$$

$$V_{total} = V_1 = V_2 = V_3 = V_4$$

$$I_{total} = I_1 + I_2 + I_3 + I_4$$

**FIGURA 2.3.** Connexió de quatre plaques en paral·lel

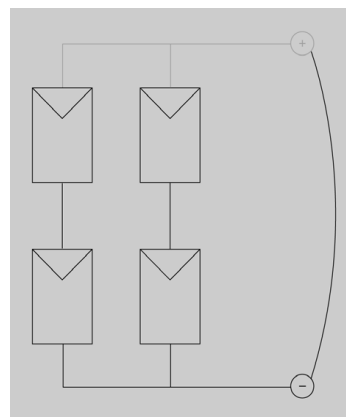
En la connexió en paral·lel (figura 2.3) la intensitat elèctrica generada en el mòdul fotovoltaic se suma a la generada pels altres mòduls, de manera que l'augment de potència es basa en el manteniment del voltatge que pot donar un mòdul i la suma d'intensitats generades pel voltatge dels mòduls connectats.

Cal destacar que l'augment d'intensitat produeix un augment de les pèrdues per efecte Joule (escalfor dels conductors), fet que obliga a muntar conductors de molta secció per tal que puguin suportar intensitats elevades.

### 2.1.5 Connexions mixtes de plaques FV

Sovint fem connexions mixtes sèrie-paral·lel, atès que hem de treballar a un voltatge determinat i tindrem un nombre concret de mòduls.

En aquest cas, connectem en sèrie el nombre de mòduls que ens generi el voltatge de funcionament i connectarem en paral·lel el nombre de grups que faci falta per a assolir la potència necessària, amb una configuració com la que podeu observar en la figura 2.4.

**FIGURA 2.4.** Connexió mixta de quatre plaques

$$P_{total} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$$

$$V_{total} = (V_1 + V_2) = (V_3 + V_4)$$

$$I_{total} = (I_1 = I_2) + (I_3 = I_4)$$

Cal destacar que el fet d'agrupar grups de plaques en sèrie fa que si alguna de les plaques té menor producció que la resta, tota la seva línia es veurà afectada.

### 2.1.6 Díodes de pas a les plaques fotovoltaïques

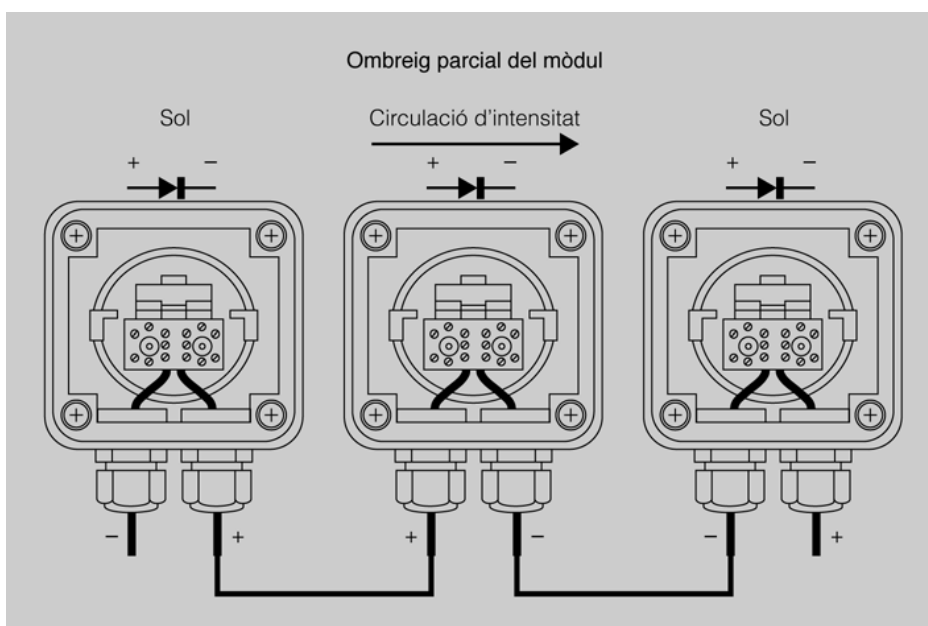
Les caixes de connexions dels mòduls disposen d'un **díode** (bypass), connectat en antiparal·lel entre els seus borns. Aquest díode dona un pas alternatiu al corrent generat pels mòduls connectats en sèrie en cas de fallada d'aquest, ja sigui per avaria o perquè li toca l'ombra.

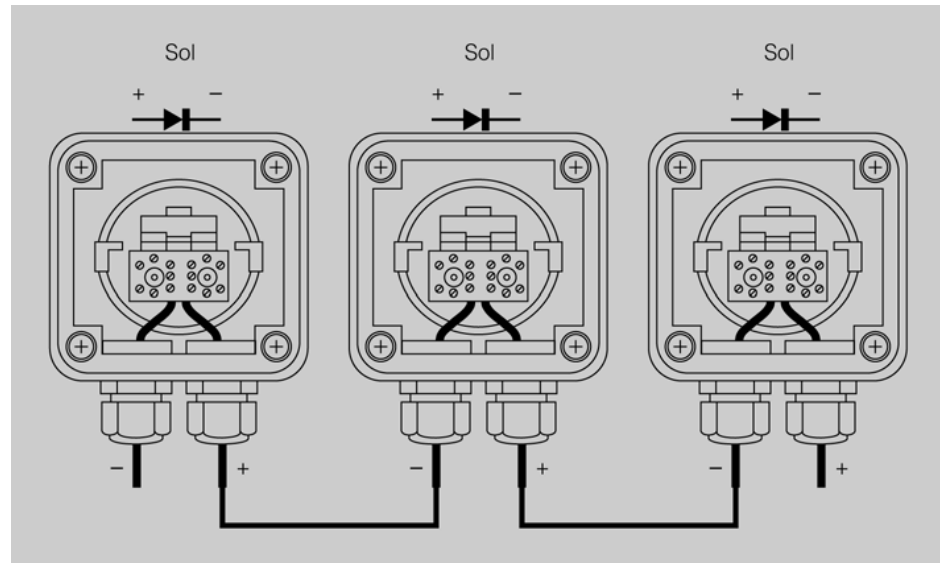
En situacions d'ombrejament les cèl·lules o plaques es converteixen en una càrrega resistiva que dificulta el pas del corrent generat per les altres plaques o cèl·lules de la sèrie. Tota la filera en sèrie queda fora de servei o en baixa producció, cosa que perjudica el rendiment de la instal·lació en consumir energia per efecte Joule.

Per exemple en el cas d'ombrejament d'una placa connectada en una sèrie de plaques, aquesta passaria a ser consumidora i, per tant, restaria voltatge en comptes de sumar a la sèrie. Aleshores, el díode de la placa afectada quedarà polaritzat i serveix de pont al pas del corrent elèctric, tal com s'indica a la figura 2.5.

Quan la placa és alliberada són il·luminats pel Sol, el flux de corrent elèctric passa a través de les cèl·lules que integren el mòdul. No pot passar a través del díode, ja que la seva polaritat és inversa i té l'ànode (+) a un voltatge inferior al càtode (-), tal com es mostra en la figura 2.6.

FIGURA 2.5. Díode bypass actuant



**FIGURA 2.6.** Díode bypass inversament polaritzat

## 2.2 Estructures de suport de les plaques

L'estructura de suport de les plaques és un dels elements de la instal·lació que estarà sotmès a importants esforços mecànics i a un alt nivell d'agressió ambiental. Per això cal que aquests factors es considerin en el disseny i en el muntatge d'una instal·lació solar fotovoltaica, per tal de reduir la fatiga mecànica i la degradació de l'estructura.

En aquest sentit es poden utilitzar una sèrie de materials força específics per a les estructures de suport, entre els quals cal destacar: l'acer inoxidable, l'alumini, el ferro galvanitzat amb una capa protectora de com a mínim 80 micres, fusta tractada, etc. Però el cargolam haurà de ser d'acer inoxidable, que haurà de complir la norma MV-106. En el cas que l'estructura sigui galvanitzada, s'admetran cargols galvanitzats, exceptuant la subjecció dels mòduls a la mateixa estructura, que seran d'acer inoxidable.



Plaques fotovoltaïques, ancorades sobre lloses de formigó sobreposades a la coberta

Pel que fa al tipus d'ancoratge per a una estructura de suport, aquest dependrà del format de la base de què disposem (coberta, terrat, façana o sobre un tub). També dependrà de les forces que hi actuïn a sobre com a conseqüència de la pressió del vent a què es trobi sotmès.

En cas de muntatge sobre cobertes planes l'opció més segura es basa en la utilització de contrapesos prefabricats per a l'ancoratge. Aquestes peces donen estabilitat a l'estructura a causa del seu pes únicament; per tant, no serà necessari perforar la coberta

Per a instal·lacions petites, el mercat ofereix unes solucions senzilles, que consisteixen en *calaixos de plàstic* que s'omplen de material pesant (runa, sorra, pedres, blocs de ciment...) a sobre dels quals es fixen les plaques.

En els casos en què les cobertes siguin d'uralita o bé siguin cobertes metàl·liques, s'haurà d'estudiar la possibilitat d'incorporar una estructura autosuportant subjectada sobre les columnes laterals o les bigues transversals.

### 2.2.1 Estructures mòbils

Les estructures mòbils amb accionament manual estan totalment desaconsellades perquè necessiten un seguiment intensiu per part de l'usuari i això s'ha demostrat del tot ineficaç.

D'altra banda, hi ha sistemes de suport mòbils d'accionament automàtic que permeten el seguiment continu de la trajectòria solar mitjançant posicionadors electromecànics.

Aquests sistemes tenen una bona implantació en grans instal·lacions fotovoltaïques de connexió a la xarxa perquè poden augmentar la producció energètica fins a un 35%, sempre que l'estructura i el mecanisme de seguiment garanteixin una bona solidesa mecànica, siguin robustes i ofereixin fiabilitat.

Però en aquest cas, caldrà avaluar altres factors en la implantació d'aquestes estructures com poden ser: l'augment del cost global de la instal·lació i l'augment d'ocupació d'espai, que en el cas del muntatge de diverses unitats la projecció d'ombres d'aquests equips augmentarà entre un 30% i 70% respecte a la projecció d'ombra de les estructures fixes.

Per aquest motiu, tot i que els sistemes de seguiment solar permeten un augment de la producció només seran recomanables en les instal·lacions en què el balanç econòmic cost instal·lació-producció energètica sigui veritablement favorable als sistemes amb seguiment o en els casos que el seguiment sigui un requeriment del tipus de placa a utilitzar.

Pel que fa a tipologies de seguidors solars, podem diferenciar bàsicament:

- Els seguidors d'un eix
- Els seguidors a dos eixos

Per a identificar la resta d'elements de les instal·lacions fotovoltaïques caldrà diferenciar clarament les següents aplicacions fotovoltaïques:

- Instal·lacions fotovoltaïques autònomes
- Instal·lacions fotovoltaïques connectades a la xarxa

Cada una d'aquestes tipologies cobreix un tipus de necessitats ben diferenciades i requerint elements força diferenciats.



Estructures muntades sobre coberta sandvitx

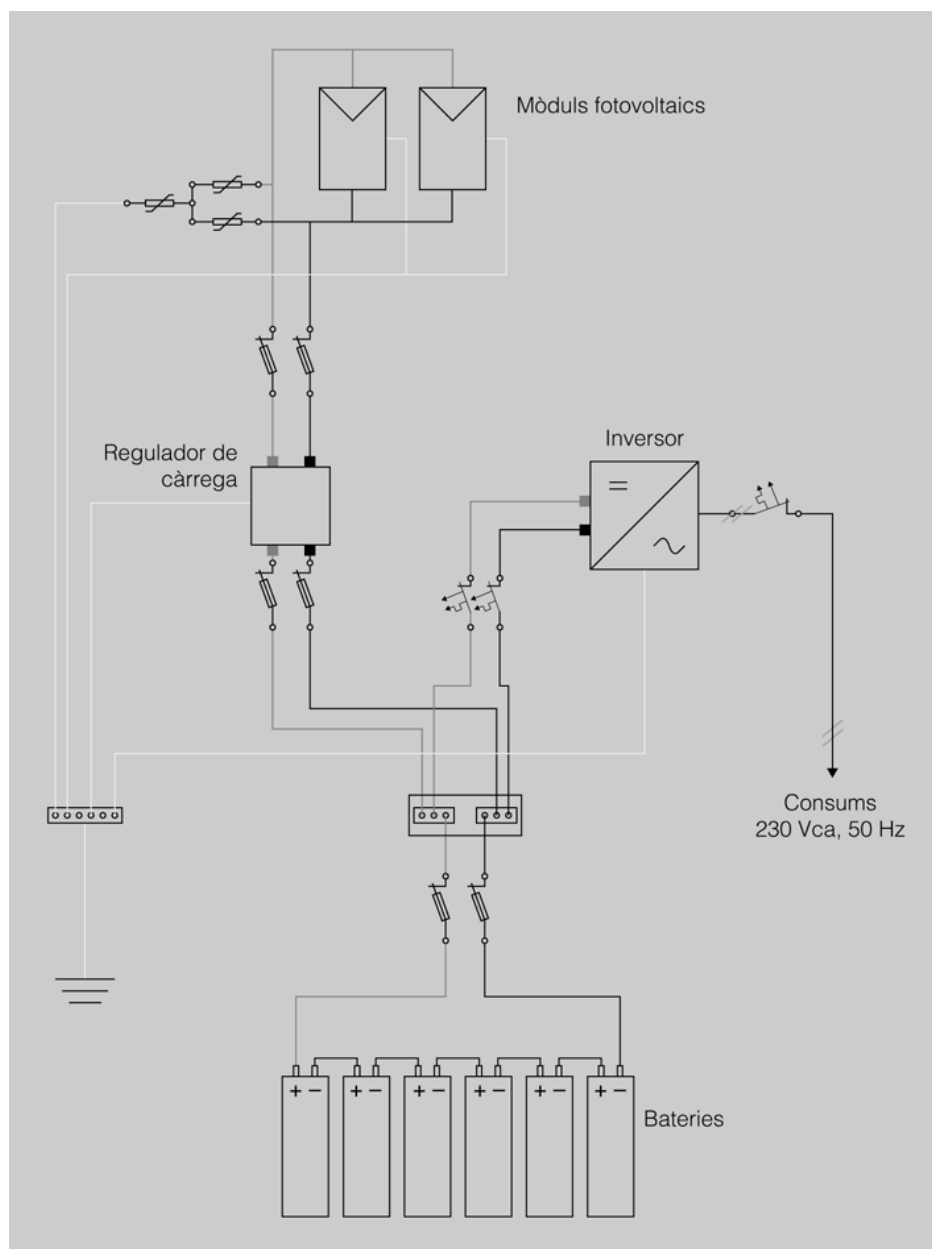


Seguidor solar de dos eixos

### 2.3 Elements específics de les instal·lacions fotovoltaïques autònomes

Les instal·lacions fotovoltaïques autònomes estaran destinades al subministrament elèctric allà on el cost del manteniment i instal·lació de les línies elèctriques no és rendible, és a dir, per a instal·lacions aïllades de la xarxa elèctrica.

FIGURA 2.7. Esquema de referència d'una instal·lació fotovoltaïca autònoma



Les instal·lacions solars fotovoltaïques autònomes (figura 2.7) disposaran dels següents elements bàsics:

- Acumuladors d'energia elèctrica
- Reguladors de càrrega
- Convertidors d'energia elèctrica per a aplicacions autònomes

### 2.3.1 Acumuladors d'energia elèctrica o bateries

En les instal·lacions fotovoltaïques autònomes, cal emmagatzemar l'energia captada durant les hores de radiació solar a fi de poder cobrir el subministrament durant les hores que no n'hi ha (cicle diari i cicle estacional).

Per això les instal·lacions fotovoltaïques autònomes requereixen sistemes d'acumulació d'energia que:

- **Subministraran energia en absència de radiació:** nits i dies amb núvols, cicle diari i cicle estacional.
- **Mantindran estable de voltatge la instal·lació:** la tensió a la sortida de les plaques varia en funció de la radiació incident i la càrrega connectada, per la qual cosa la connexió directa a plaques no és massa viable en la major part de les ocasions.
- **Subministraran una potència instantània,** o durant un temps limitat, superior a la que el camp de plaques podria generar encara en el millor dels casos. És el cas de l'engegada de motors, com per exemple pot ser el motor d'una nevera.

#### Tipus d'acumuladors

Tot i que hi ha acumuladors de diferents tecnologies, com ara, les bateries alcalines de Níquel-Cadmi, Redox, etc., per raons econòmiques, els acumuladors emprats en energia solar fotovoltaïca són en un 99% del tipus plom-àcid, és a dir que són formats per uns elèctrodes (plaques) de plom com a material bàsic immersos en una solució electrolítica (aigua amb àcid sulfúric).

D'entre els acumuladors electroquímics de plom àcid disponibles en el mercat cal destacar dues tipologies:

- **Acumuladors compactes o tipus monobloc** (figura 2.8) (semblants a les bateries d'engegada): cal evitar la utilització de bateries d'engegada tret d'instal·lacions petites i sempre que sigui possible rebaixar la densitat de l'electròlit, perdent capacitat, però disminuint la corrosió en l'ànode (pol +) i per tant guanyant durabilitat.

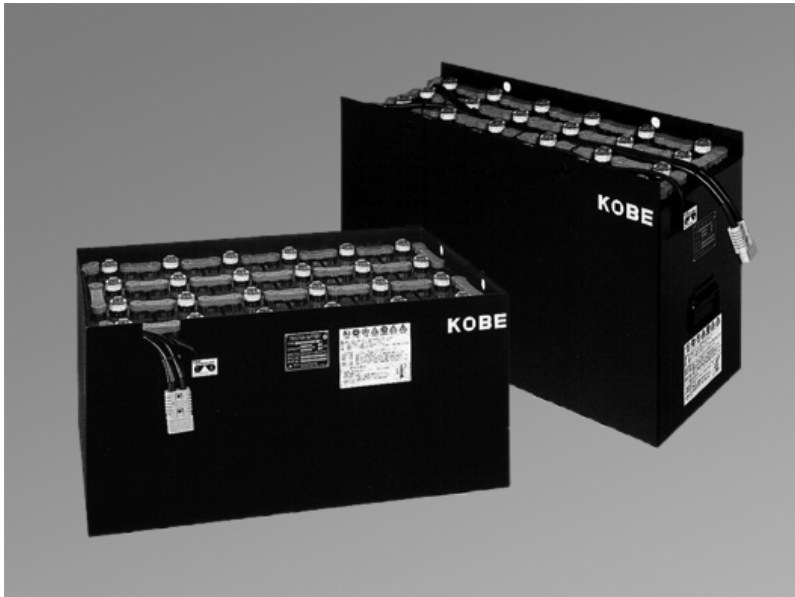
**FIGURA 2.8.** Bateries compactes

- **Acumuladors estacionaris** (figura 2.9) (construïts amb plaques tubulars i reixes amb baix contingut d'antimoni): són els ideals per a instal·lacions solars, atès que han estat dissenyades per a ser descarregades lentament i recarregades quan hi hagi disponibilitat d'energia.

**FIGURA 2.9.** Bateria estacionària de gran capacitat per a una instal·lació solar

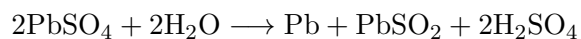
- **Les bateries de tracció** (figura 2.10) (estan pensades per a moure vehicles i carretons elèctrics): són més econòmiques que les estacionàries i poden donar un bon servei en instal·lacions solars, sempre que es tingui en compte que requereixen un manteniment més freqüent.



**FIGURA 2.10.** Bateries de tracció muntades en un rac metàl·lic

### Principi bàsic de funcionament de la bateria de plom àcid

Quan un acumulador de plom-àcid rep corrent elèctric, el sulfat de plom adherit a les plaques es transforma en plom que continua en les plaques i en àcid sulfúric que passa a l'electròlit, tal com reflecteix la següent fórmula de procés.



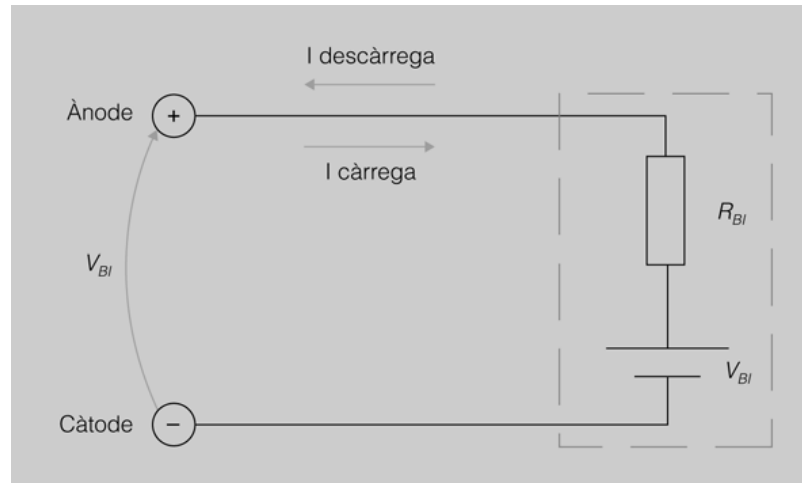
En el moment de la descàrrega el procés s'inverteix; per tant, l'àcid sulfúric es combina amb el plom de les plaques fins a formar sulfat de plom.



### Circuit equivalent

Al conjunt format per una parella d'elèctrodes (ànode o positiu fet de diòxid de plom,  $\text{PbO}_2$  i càtode o negatiu fet de plom) en bany electrolític (aigua destil·lada amb una concentració d'1/3 d'àcid sulfúric) se l'anomena **cel·la** o **vas de bateria** i té com a característica principal la capacitat de mantenir una diferència de potencial elèctric nominal de 2 V (variable en un cert rang en funció del seu estat de càrrega, 1,85 a 2,40 V).

La bateria és, doncs, un generador de voltatge, a diferència de la cèl·lula solar, que ho és d'intensitat. Les bateries reals es diferencien de les ideals o teòriques, en què porten associada una resistència en sèrie amb el generador de voltatge, tal com es pot apreciar en la figura 2.11.

**FIGURA 2.11.** Circuit equivalent d'una bateria

Aquesta resistència sèrie, interna, provoca caigudes de tensió segons la llei d'Ohm quan és travessada pel corrent, tant en el procés de càrrega com de descàrrega.

De manera que podem definir el voltatge de la bateria en funció de l'estat en què es trobi de la següent manera:

- **Voltatge en repòs:** és el voltatge en el moment en què la bateria no rep càrrega ni tampoc alimenta consums, aleshores  $V_B$  serà igual al  $V_{BI}$ , ja que en no passar intensitat no hi ha caiguda de tensió per efecte de la resistència sèrie.
- **Voltatge en càrrega:** és el voltatge quan la bateria rep corrent dels mòduls solars, aleshores  $V_B$  és igual al  $V_{BI}$  més la caiguda de tensió en la resistència sèrie; per tant, aquest valor sempre serà superior al voltatge de repòs.
- **Voltatge en descàrrega:** és el voltatge de la bateria quan aquesta alimenta els consums, aleshores  $V_B$  serà igual a  $V_{BI}$  menys la caiguda de tensió en la resistència interna; per tant, sempre serà inferior a la de repòs.

A mesura que anem carregant la bateria, hi ha més concentració d'àcid de sulfúric en l'electròlit i, per tant, augmenta el valor de  $V_{BI}$ , mentre que baixa el valor de la resistència interna.

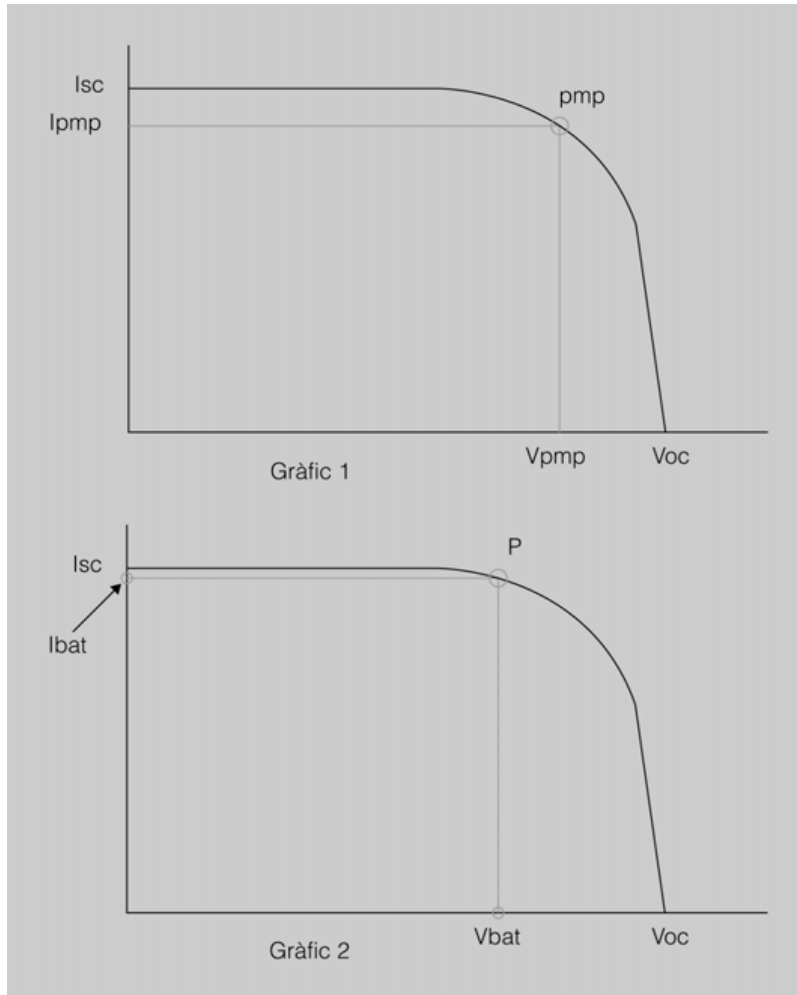
Quan la bateria s'està descarregant, aleshores el procés s'inverteix, cada cop hi ha més sulfat adherit a les plaques de plom i menys àcid dissolt, baixa el valor de  $V_{BI}$ , mentre que augmenta la resistència interna al pas del corrent.

En aquest sentit és important conèixer que, quan es connecta l'acumulador als mòduls FV, el voltatge de l'acumulador determina el voltatge de funcionament dels mòduls. Així, doncs, la corba de funcionament dels mòduls tindrà un punt de funcionament condicionat per la tensió de l'acumulador i no a l'inrevés, de manera que el valor de la potència que dona el mòdul s'ajusta en funció de la tensió de l'acumulador connectat.

El primer gràfic de la figura 2.12 mostra una corba  $I-V$  típica d'una placa fotovoltaica indicant el punt de màxima potència, mentre que en el segon gràfic

es mostra la corba de la mateixa placa però s'indica la potència de treball de la placa amb una tensió condicionada per l'acoblament sobre una bateria. Com es pot observar, la potència emesa per la placa acoblada a la bateria és inferior a la que es pot obtenir si es treballen en el punt de màxima potència.

FIGURA 2.12. Punts d'interès en la corba I-V d'una placa fotovoltaïca



### Paràmetres identificatius d'una bateria

Un cop establerta la tipologia i format de l'acumulador, cal identificar els paràmetres característics d'aquest, que permetran definir el funcionament de l'equip en la instal·lació i els requeriments de manteniment.

Podem resumir com a paràmetres més significatius:

- **Capacitat (Ah):** màxima quantitat d'electricitat que pot emmagatzemar. En la pràctica, i per a evitar danys irreversibles a la bateria, tan sols pot proporcionar una part de la capacitat total, que anomenem **capacitat útil**. La capacitat útil depèn del tipus d'acumulador i de les condicions de treball, però sol tenir valors des del 40% fins al 80% de la capacitat màxima. La quantitat d'electricitat que pot proporcionar un acumulador també depèn del temps de descàrrega, de manera que la capacitat serà més gran com més lentament es produeixi la descàrrega.

La capacitat de la bateria s'expressa en **ampers hora (Ah)**. Valors associats a C5, C25, C100, que representa els temps de descàrrega sobre el qual s'ha establert la capacitat de la bateria (C5 = descàrrega en 5 hores).

- **Profunditat de descàrrega:** és el tant per cent sobre la capacitat màxima de l'acumulador que es pot extreure de la bateria en condicions normals. És un terme molt variable que depèn molt del tipus d'acumulador i que influeix en la seva vida útil.
- **Vida útil:** se sol mesurar en cicles (més que en anys), de manera que un cicle és un procés complet de càrrega-descàrrega (fins a arribar a la profunditat de descàrrega recomanada). Si suposem un cicle mitjà d'un cicle per dia i un acumulador ben mantingut, hauria de durar un mínim de 10 anys.
- **Autodescàrrega:** és un fenomen pel qual un acumulador, per causes diverses, es descarrega lentament però de manera contínua i sense estar connectat a un circuit extern.

### 2.3.2 Regulador de càrrega

A primera vista sembla que una instal·lació solar fotovoltaica només necessiti mòduls fotovoltaics (per a la generació del corrent elèctric) i d'acumuladors (per a emmagatzemar l'electricitat fins al moment que calgui consumir-la). Tot i que aquest concepte intuïtiu podria ser vàlid, hi ha un element clau en les instal·lacions, que és l'encarregat que tant el procés de càrrega com descàrrega dels acumuladors es realitzi de manera que l'acumulador estigui sempre dins de les condicions correctes de funcionament. Aquest element és el regulador de càrrega.

Cal considerar que les plaques solars es dissenyen perquè puguin donar una tensió més elevada que la tensió de final de càrrega de les bateries. Així, s'assegura que les plaques sempre estan en condicions de carregar la bateria, fins i tot quan la temperatura de les cel·les de la bateria sigui alta i es produeixi una disminució del voltatge generat.

Aquesta sobretensió té **dos inconvenients:**

1. D'una banda, es perd una petita part de l'energia màxima teòrica, que pot donar la placa (10%), que s'obtindria si treballés a tensions una mica més altes que les que imposa la bateria.
2. D'altra banda, quan la bateria arribi al seu estat de plena càrrega, la placa seguirà aportant energia a la bateria, cosa que produirà una sobrecàrrega que perjudicarà la bateria i que la pot fer malbé.

El regulador de càrrega (figura 2.13) s'encarrega de regular el corrent que absorbeix la bateria per tal que mai se sobre carregui perillosament. Per aquest motiu, detecta i mesura constantment el voltatge de la bateria, mesura el seu estat de càrrega i, si aquest arriba a un valor de consigna prèviament establert

corresponent al valor de tensió màxima admesa, actua tallant el flux de corrent cap a la bateria o bé deixa que en passi tan sols una part per mantenir-la en estat de plena càrrega, sense sobrepassar-se. Aquest corrent mínim s'anomena **de flotació** i es dóna quan la bateria està a plena càrrega i rep només l'energia suficient per a mantenir-la en aquest estat (que en períodes llargs compensarà l'autodescàrrega).

**FIGURA 2.13.** Regulador de càrrega per a instal·lacions fotovoltaïques



La funcionalitat bàsica del regulador en una instal·lació fotovoltaïca es concretarà en:

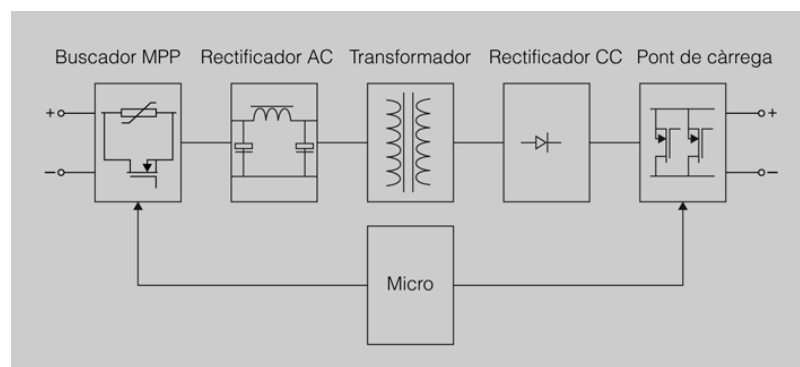
- **Protecció contra sobrecàrregues de l'acumulador (tall per alta):** aquesta és la funció bàsica del regulador. Evita que la bateria s'escalfi, que es perdi aigua de l'electròlit per evaporació.
- **Desconnexió per bateria baixa (tall per baixa):** aquesta funció fa que el regulador talli el subministrament de corrent cap als consums en corrent continu si el nivell de càrrega de l'acumulador és massa baix; per tant, corre el perill d'una descàrrega profunda, fet que originaria problemes de sulfatació.
- **Protecció contra curtcircuits:** aquesta funció permet, mitjançant un fusible, protegir el regulador mateix, així com la sortida de l'acumulador de patir intensitats elevades en cas de curtcircuit en algun dels circuits de consum de la instal·lació.
- **Díode de bloqueig,** que permet el pas de corrent en un sol sentit des de les plaques a la bateria i no en sentit contrari. Aquest díode és necessari quan la radiació és baixa i la tensió de la bateria és superior a la de les plaques, així s'evita que la bateria es descarregui per les plaques solars. És important no confondre aquest díode de bloqueig amb el díode de *bypass* (variant) de les plaques, ja que les funcions que realitzen són ben diferents.
- **Visualització de funcions:** la majoria de reguladors tenen algun sistema visual que permet obtenir informació sobre l'estat de la instal·lació, bé sigui simplement amb uns indicadors dient que les plaques estan donant corrent, si la bateria està carregada o descarregada, o bé més acuradament per mitjà d'indicadors dels nivells actuals de càrrega, voltatge de bateries...

## Tipus de reguladors

Tot i que hi ha reguladors de diferents tecnologies, per raons d'adaptació del mercat, actualment predominen les dues tecnologies següents:

- **Reguladors tipus sèrie:** Aquest tipus de reguladors basen el seu funcionament en la interrupció del corrent cap a la bateria, segons el seu voltatge. Actualment, gràcies als microprocessadors, aquest interruptor és progressiu, de manera que es pot comandar per a poder tenir diferents nivells de càrrega. El corrent de flotació es pot fer mantenint un nivell baix d'intensitat de càrrega o bé commutant moments de càrrega i moments de no-càrrega per tal d'afavorir la gasació de la bateria. Aquest tipus de reguladors es connecten en sèrie entre les plaques i la bateria i, com que no dissipen calor, poden ser més aviat petits i poden anar muntats en llocs tancats si fos necessari.
  
- **Reguladors amb seguiment de màxima potència** (figura 2.14): Aquesta és la versió més sofisticada dels reguladors que hi ha al mercat, ja que incorpora un convertidor DC/DC a la sortida dels mòduls solars, cosa que permet aïllar el voltatge de treball dels mòduls del voltatge de les bateries. D'aquesta manera, els mòduls poden treballar en el seu punt de màxima potència i, per tant, al màxim rendiment possible. Altres avantatges d'aquest tipus de reguladors són:
  - Poder utilitzar panells de tensions diferents a les requerides per a la càrrega de bateries, com per exemple panells dissenyats específicament per anar connectats a la xarxa.
  - Configurar camps de panells amb tensions elevades que permeten reduir la secció de cables o les pèrdues per caiguda de tensió en els panells.

**FIGURA 2.14.** Circuit equivalent d'un regulador amb seguiment de màxima potència



### 2.3.3 Convertidors d'energia elèctrica cc/ca per a aplicacions autònomes

En les instal·lacions fotovoltaïques autònomes que requereixen un subministrament d'energia elèctrica en corrent altern, caldrà incorporar-hi equips que transformin el corrent continu amb valors baixos de tensió subministrats per les bateries en corrents alterns de valors de tensió normalitzats en baixa tensió (230 V monofàsics o 400 V trifàsics). Aquests equips són els **inversors** (també coneguts com a **onduladors**).

#### Requeriments bàsics del convertidor per a instal·lacions autònomes

En les instal·lacions fotovoltaïques els convertidors (figura 2.15) han de garantir un subministrament d'energia elèctrica en AC, d'una qualitat equivalent a la que s'exigeix a la xarxa elèctrica convencional.

FIGURA 2.15. Convertidor cc/ac per a instal·lacions autònomes



Per això cal que en la selecció dels convertidors es considerin els següents paràmetres com a imprescindibles per al bon funcionament de la instal·lació:

1. **Estabilitat del voltatge de sortida/entrada:** s'admeten variacions de fins al 10% per a convertidors d'ona quadrada i del 5% per a convertidors d'ona sinodal. Són valors que les normes admeten per al voltatge de les xarxes elèctriques convencionals, independentment de la potència demanada per al consum. D'altra banda, en instal·lacions amb acumuladors, la tensió d'entrada no podrà ser mai superior al 125% ni inferior al 85% de la tensió nominal d'entrada del convertidor.
2. **Tipus d'ona:** normalitzat amb una *ona sinusoidal pura*.
3. **Capacitat de sobrecàrrega (potències punta) i de protecció tèrmica:** molt útil en instal·lacions amb motors, ja que en el moment d'engegada

es pot duplicar la potència necessària per al funcionament nominal, encara que només durant uns segons. Cal tenir en compte que qualsevol motor, a l'hora d'engegar, pot consumir un corrent fins a cinc vegades la intensitat nominal i que, per regla general, és entre dues i tres vegades.

4. **Eficiència energètica o rendiment del convertidor:** és la relació entre l'energia que facilita el convertidor als consums en corrent altern i l'energia que necessita aquest convertidor d'entrada (de la bateria). Si el convertidor dissenyat per a una potència determinada treballa en una fracció d'aquesta potència, el rendiment baixarà. **S'ha d'exigir a un convertidor sinusoidal un rendiment del 70% treballant a un 20% de la potència nominal i del 85% quan treballi a una potència superior al 40% de la nominal.**
5. **Engogada automàtica i estat en espera:** permet que les parts de potència del mateix convertidor es disconnectin en absència de consums i es tornin a connectar en el moment que detectin una demanda energètica per sobre d'un nivell llindar prèviament fixat.
6. **Protecció contra la inversió de polaritat i curtcircuits:** opcions bàsiques, ateses les possibilitats d'error o de funcionament defectuós dels circuits de consum que són elevades durant la vida del convertidor.
7. **Baixa distorsió harmònica:** paràmetre relacionat amb la qualitat de l'ona generada. Els harmònics normalment s'eliminen per mitjà de filtres, encara que això comporti pèrdues. La variació de la freqüència de la tensió de sortida serà inferior al 3% de la nominal.
8. **Possibilitat de ser combinat en paral·lel:** permetrà un possible creixement de la instal·lació i de la potència de consum.
9. **Bon comportament amb la variació de la temperatura:** marge d'operació entre -5 °C i 40 °C.

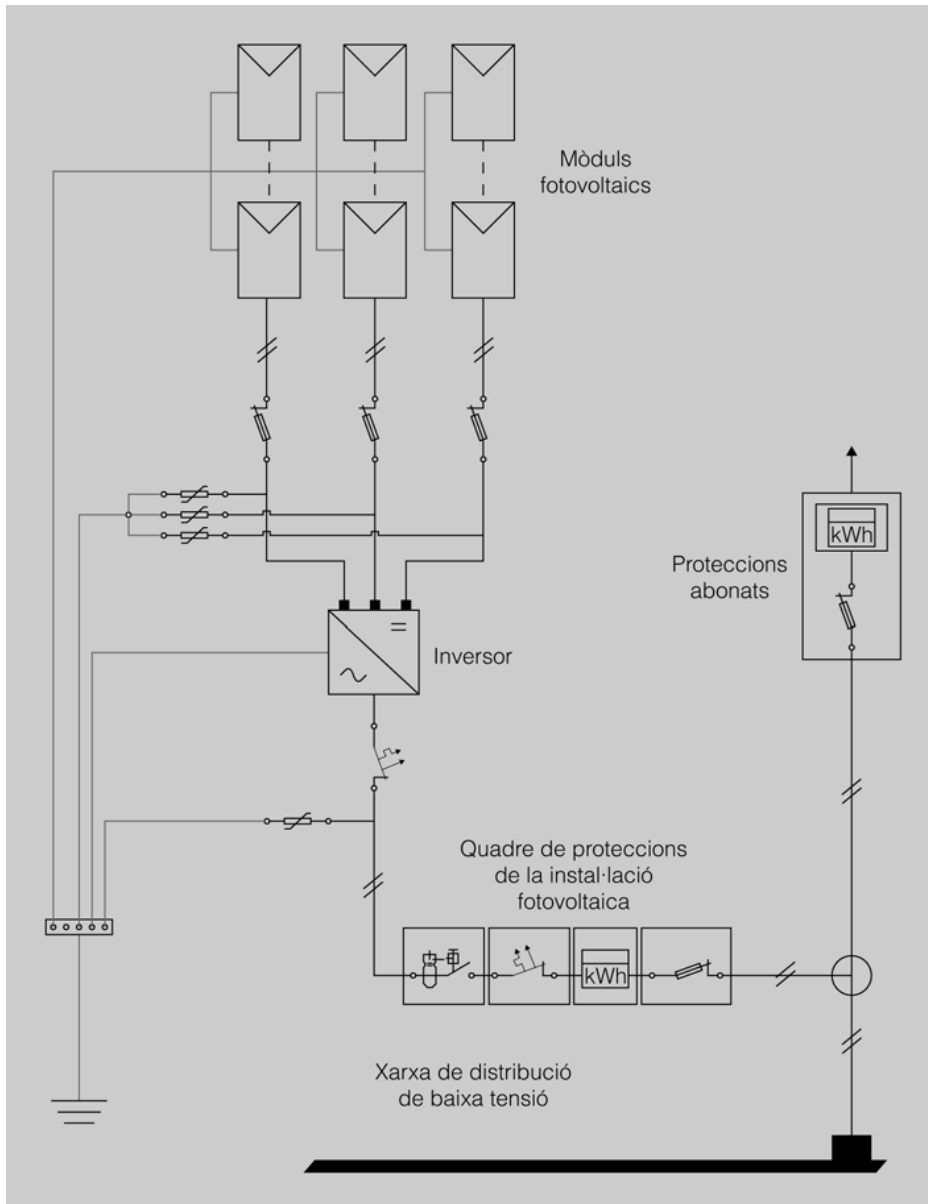
Evidentment aquestes instal·lacions hauran d'incorporar totes les proteccions elèctriques normalitzades per a aquest tipus d'instal·lacions, tal com es recull en les ITC corresponents.

## 2.4 Elements específics de les instal·lacions fotovoltaïques connectades a la xarxa

Aquesta tipologia d'instal·lació fotovoltaïca fa referència a petites centrals generadores d'electricitat en baixa tensió que estan connectades a la xarxa de distribució d'electricitat.

Les instal·lacions solars fotovoltaïques connectades a la xarxa de distribució disposaran dels elements bàsics que es mostren en la figura 2.16.



**FIGURA 2.16.** Esquema de referència d'una instal·lació fotovoltaïca de connexió a la xarxa

### 2.4.1 Convertidor de connexió a la xarxa

En qualsevol instal·lació fotovoltaïca de connexió a la xarxa, l'inversor és la base del sistema. És molt important tenir-ne clares les característiques tècniques d'aquest: potència, rangs de treball, tensió DC-AC, freqüència i potència màxima assolida. Aquests paràmetres determinaran la configuració de la resta d'elements, així com la de la instal·lació fotovoltaïca.

En general en el mercat podem trobar un ampli ventall de convertidors (figura 2.17) amb multitud d'opcions, però en aquest cas és necessari prioritzar que els equips a seleccionar han d'estar homologats i hauran de complir com a mínim les característiques següents:

- **Funcions bàsiques requerides:**

- Transformar la CC del generador fotovoltaic en CA en BT, sincronitzant-la amb la xarxa.
- Regular el punt de treball del generador fotovoltaic (tensió i corrent) per a seguir el punt de màxima potència, que varia en funció de les condicions de radiació i temperatura.

- **Característiques mínimes requerides:**

- Rendiment mínim del 90% en condicions de funcionament nominals.
- Capacitat de suportar la tensió de circuit obert i la intensitat de curt circuit del generador fotovoltaic.
- Factor de potència no inferior al 95% i baix nivell d'harmònics.
- Compliment de la reglamentació sobre les limitacions en les emissions electromagnètiques.
- Homologació i marcatge CE compliment de les directives (DC 89/336/CEE) i (DC 73/23/CEE).

- **Proteccions mínimes necessàries:**

- Desconnexió de la xarxa per fallades de tensió, freqüència o fase amb un retard a la connexió de 3 min.

$$V : U < 0,85 \cdot U_{nominal}$$

$$U > 1,1 \cdot U_{nominal}$$

$$f : \quad 51 \text{ i } 49 \text{ Hz}$$

- Protecció per sobre intensitat i sobre tensió.
- Interruptor de desconnexió en càrrega.
- Transformador d'aïllament o algun altre sistema de separació galvànica entre la xarxa i la instal·lació fotovoltaica. Amb una rigidesa dielèctrica de com a mínim 2.500 V.

**FIGURA 2.17.** Convertidor de connexió a la xarxa elèctrica



Encara que no ho especifiqui la normativa, és força interessant per al manteniment i seguiment de les instal·lacions que els convertidors incorporin sistemes de visualització, monitorització i control de les dades i paràmetres de funcionament de tota la instal·lació. La pantalla de visualització en els equips i el programari per a monitorització en l'ordinador són cada vegada més importants per al manteniment preventiu de les instal·lacions.

## 2.4.2 Punt de connexió a la xarxa

Les companyies elèctriques habitualment estableixen els punts d'interconnexió amb la xarxa. En aquest tipus de sistemes, en les instal·lacions muntades en edificis, el punt de connexió estarà determinat per la potència i les característiques d'aquestes:

- **Potència < 100 kW:** en aquestes instal·lacions, en les quals una part o la totalitat de l'energia produïda pugui ser consumida en el mateix edifici, la instal·lació es realitzarà en la **xarxa interior**, en concret en la derivació individual de l'abonat, entre el comptador i la caixa de protecció i comandament.
- **Potència > 100 kW:** aquestes instal·lacions, o aquelles sense consum en el propi edifici, se situaran en paral·lel amb la connexió ja instal·lada per al consum de l'edifici o de la construcció establerta —en la qual normalment ja es troben els comptadors de consums— i/o a un punt localitzat per la mateixa companyia.

Aquesta connexió a la companyia distribuïdora la verificarà la companyia pertinent, de manera que hi ha la possibilitat de canvis en la connexió cap a altres punts de la mateixa línia si així es determinés. D'aquesta forma, de vegades pot haver-hi una certa distància (centenars de metres) des del quadre fins al punt que especifiqui la companyia.

### Normes generals d'aplicació en la unió a la xarxa

La potència màxima de la planta no pot excedir més del 50% de la potència nominal del transformador de la subestació elèctrica o de la capacitat de la mateixa xarxa definida en la zona de la connexió.

No s'acceptaran connexions d'instal·lacions que produeixin caigudes de tensió provocades per la connexió-desconnexió superiors al 2%.

Evidentment, aquests punts d'unió a la xarxa comercial s'han de dissenyar de forma que les pèrdues de rendiment acumulades per la planta solar amb tot el periple que es pot produir des que es genera un kWh fins que s'injecta a la xarxa elèctrica siguin minimitzats. L'elecció d'equips inversors, cables i escames,

#### Xarxa interior

Des de la CGP cap a l'interior de l'edifici (autoconsum).

#### Xarxa exterior

Des de la CGP cap a l'exterior de l'edifici.



Punt de connexió d'una instal·lació monofàsica

transformadors i control en la reducció de les hores de paralització de la planta per diversos factors han d'estar ben gestionats i informats.

Els armaris de proteccions i/o quadre de connexions tenen la funció d'incloure els instruments de mesura de l'energia produïda i consumida, així com les proteccions elèctriques (seccionador automàtic, contactor magnetotèrmic i diferencial). Aquests elements de protecció poden ser redundants en relació amb els que ja adopten els mateixos inversors en el seu disseny per tal d'evitar tant la pertorbació de la xarxa elèctrica a causa d'una mala qualitat com la pertorbació de la producció solar envers els danys que el mateix sistema pugui produir a l'equipament interconnectat com a la resta d'usuaris de la xarxa.

### 3. Dimensionament i càlculs de les instal·lacions

Qualsevol implantació d'un sistema solar fotovoltaic porta implícita l'optimització dels recursos energètics a utilitzar "la radiació solar". Aquesta és la base del disseny i del muntatge de les instal·lacions solars.

Per a aconseguir, de forma senzilla, l'aprofitament del Sol com a recurs energètic, és imprescindible el coneixement de la trajectòria solar, el perfil de les necessitats i dels condicionants de la ubicació. D'acord amb tot això, és determinarà l'orientació i la inclinació de les plaques en instal·lacions fixes per tal d'aconseguir el mínim cost del kWh solar (en aquest document només treballarem el dimensionament d'instal·lacions amb estructures fixes).

#### 3.1 Orientació i inclinació de les plaques

Per a determinar el posicionament de les plaques fotovoltaïques caldrà considerar com a criteri de partida que la posició de les plaques haurà de permetre el màxim aprofitament de la radiació incident en tot l'arc de la trajectòria solar.

Sota aquest criteri i d'acord amb l'observació de la trajectòria solar, podem establir que l'orientació òptima de les plaques serà una orientació perpendicular a la línia de l'equador.

En l'hemisferi nord l'orientació òptima serà el sud. En l'hemisferi sud l'orientació òptima serà el nord.

A Catalunya l'orientació òptima de les plaques serà **sud**.

Mantenint el criteri inicial, la inclinació de les plaques quedarà determinada per aquella posició que permeti la màxima radiació incident en l'època d'utilització predominant. Aquesta inclinació correspondrà a l'angle complementari de l'angle de l'alçada solar del migdia del mes més desfavorable de l'època d'utilització predominant.

Com que la trajectòria de l'alçada solar té una relació directa amb la latitud de la ubicació, podem establir uns criteris generals per a definir la inclinació de les plaques (taula 3.1).

**TAULA 3.1.** Criteris generals per a definir la inclinació de les plaques

Aplicació	Inclinació recomanada
Instal·lacions d'ús d'hivern	Latitud del lloc +20 °
Instal·lacions d'ús continuat tot l'any sense grup electrogen de suport	Latitud del lloc +15 °
Instal·lacions d'ús continuat tot l'any amb grup electrogen de suport	Latitud del lloc +10 °
Instal·lacions d'ús principal a l'estiu	Latitud del lloc -10 °
Instal·lacions d'ús estacional	Angle complementari a l'altura solar de l'època d'ús
Instal·lacions amb connexió a xarxa	Latitud del lloc -10 °

### 3.2 Incidència d'ombres

Per a assolir el màxim aprofitament d'un sistema d'energia solar, s'haurà de tenir cura de la incidència de possibles ombres sobre les plaques, tant les properes (objectes que tapen momentàniament la radiació directa del Sol) com les ombres llunyanes (elements de l'orografia i/o paisatge que oculten el Sol de la zona on se situa la instal·lació solar).

L'efecte de les ombres s'ha d'avaluar amb força cura a l'hora de determinar la ubicació de les plaques, ja que les ombres a les plaques produeixen una minva important de la producció, sobretot si es produeixen a les hores centrals del dia (màxima insolació).

Per tal d'avaluar la incidència d'ombres d'obstacles pròxims, s'observarà l'entorn pròxim comprès en la franja **est-oest**, en què no ha d'haver-hi cap obstacle que pugui produir ombres sobre les plaques solars per un període mínim de **4 hores de Sol entorn al migdia del solstici d'hivern**.

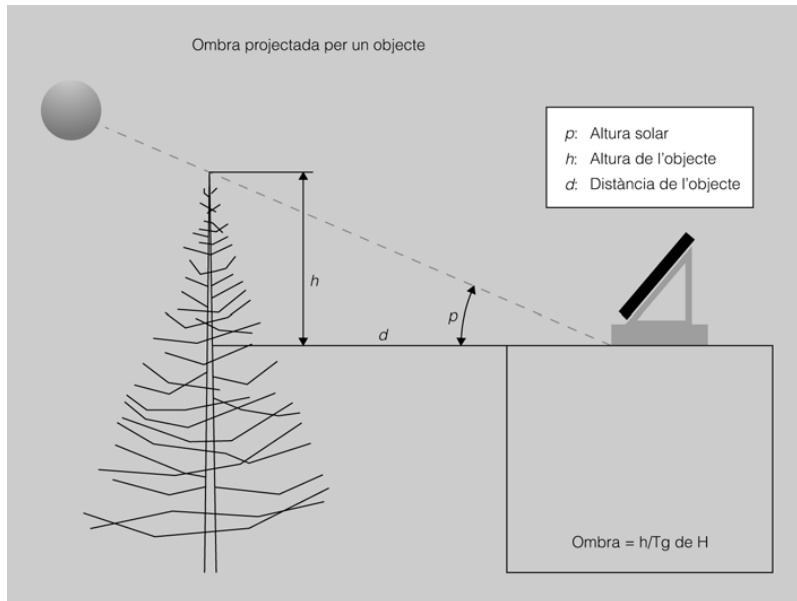
Per tal de garantir això, les plaques s'hauran d'instal·lar a una distància mínima dels obstacles propers (figura 3.1), determinada per l'expressió següent:

$$d = \frac{h}{\tan \rho} \cdot \cos a_{solar}$$

On:

- $d$ : distància mínima entre l'obstacle i la placa.
- $h$ : altura de l'obstacle.
- $\tan \rho$ : tangent de l'altura solar en el mes més desfavorable (desembre) en la nostra latitud.
- $\cos a_{solar}$ : cosinus de l'azimut solar en el mes més desfavorable (desembre) a les 10 h solar.

**FIGURA 3.1.** Representació gràfica dels paràmetres de càlcul per determinar la longitud de l'ombra d'un obstacle



### 3.2.1 Separació entre fileres de plaques

La separació entre fileres de plaques ha de garantir la no-superposició d'ombres entre les fileres de plaques en el solstici d'hivern/estiu.

Aquesta distància (figura 3.2) quedarà determinada per la següent expressió, en el cas de plaques amb disposició horitzontal (sobre un pla).

$$d = \left( \frac{l \cdot \sin \varphi}{\tan \rho} \right) \cdot \cos a_{solar}$$

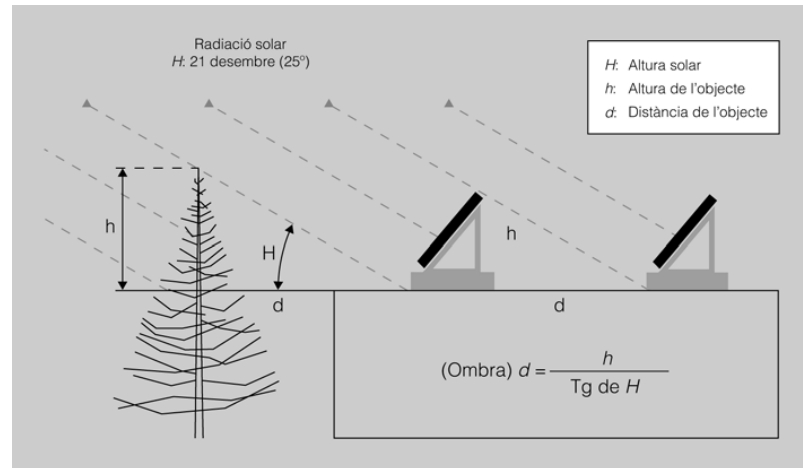
On:

- $d$ : distància mínima entre línies de plaques
- $l$ : longitud del panell fotovoltaic
- $\varphi$ : angle que forma el panell amb l'horitzontal
- $\tan \rho$ : tangent de l'altura solar en el mes més desfavorable (desembre) en la nostra latitud
- $\cos a_{solar}$ : cosinus de l'azimut solar en el mes més desfavorable (desembre) a les 10h solar

L'alçada de l'obstacle en aquest cas és, en comptes d' $h$ , el resultat del càlcul  $l \cdot \sin \varphi$ .

Per al dimensionament de la resta d'elements de les instal·lacions solars fotovoltaïques caldrà diferenciar clarament el tipus d'aplicació (autònomes o connectades a la xarxa).

**FIGURA 3.2.** Representació gràfica dels paràmetres de càlcul per a determinar la distància entre fileres de plaques



### 3.3 Dimensionament d'elements bàsics de les instal·lacions fotovoltaïques autònomes

Aquest tipus d'instal·lacions s'han de dissenyar per tal de garantir el subministrament d'energia elèctrica d'acord amb una demanda d'energia preestablerta. Com a guió per al dimensionament de la instal·lació establirem els següents paràmetres:

Vegeu un exemple de dimensionament dels elements bàsics de les instal·lacions fotovoltaïques autònomes en la secció "Annexos" del web del mòdul.

#### 1. Dades d'entrada

- Característiques de les necessitats a cobrir
- Energia diària necessària
- Radiació solar incident

#### 2. Dades a calcular

- Nombre de plaques necessàries
- Capacitat i voltatge de l'acumulador
- Intensitat del regulador
- Potència de l'inversor
- Tipus d'equips auxiliars necessaris

En aquest sentit, a continuació desenvoluparem cada un d'aquests apartats.

#### 3.3.1 Característiques de les necessitats a cobrir

Per determinar les necessitats energètiques d'un usuari caldrà establir quins són els condicionants de partida de la demanda energètica i perfil d'utilització, i per a això determinarem com a mínim els següents paràmetres:



- Tipus d'utilització: caps de setmana/diària
- Estacionalitat de la utilització: estiu/hivern
- Disponibilitat de sistema auxiliar de subministrament elèctric

### 3.3.2 Energia diària necessària

Un cop determinat el perfil de la demanda energètica, caldrà elaborar una taula de consum, tenint en compte la potència (W) i el temps (h) d'utilització dels diversos equips, per tal d'establir la demanda energètica total diària en Wh/dia.

Cal recordar que en termes elèctrics l'energia és igual a una potència per un temps d'aplicació.

$$E [\text{Wh}] = P [\text{W}] \cdot t [\text{h}]$$

Al valor del consum diari previst (Wh/dia), li aplicarem un factor global de rendiment de la instal·lació fotovoltaïca que engloba els autoconsums i rendiments particulars dels elements que la integren: regulador, acumulador i convertidor cc/ca de manera que el resultat, que anomenem energia necessària, és l'energia bruta que cal produir en els mòduls per a satisfer amb efectivitat els consums nets previstos. Aquest valor serà sempre superior a l'energia neta que es vol subministrar als consums.

El rendiment global ( $\eta$ ) que emprarem en els nostres càlculs és de:

- 0,75 per a instal·lacions amb subministrament en CA
- 0,80 per a instal·lacions amb subministrament en CC

Dividint el valor d'energia requerida pels consums ( $E$ ), de la taula de consums, pel rendiment global de la instal·lació ( $\eta$ ), obtenim l'energia necessària que cal subministrar ( $E_1$ ), tal com mostra la següent expressió.

$$E_1 [\text{Wh/dia}] = \frac{E [\text{Wh/dia}]}{\eta}$$

Com a recomanació important a l'hora de determinar la demanda energètica per a habitatges, caldrà limitar la utilització d'equips amb escalfament elèctric, com per exemple forns elèctrics, radiadors elèctrics, rentadores d'aigua calenta, assecadores, escalfadors d'aigua elèctrics, etc. Aquests electrodomèstics tenen un elevat consum i hi ha possibilitats de substitució per a aplicacions tèrmiques amb millor eficiència energètica global.

D'altra banda, en les instal·lacions fotovoltaïques es recomana d'utilitzar en tots els casos electrodomèstics de baix consum, ja que, en reduir el consum, reduïrem la dimensió i inversió en l'equip fotovoltaïc.

### 3.3.3 Radiació incident “hora sol pic” (hsp)

Un cop concretada la ubicació de les plaques i la posició que tenen, per a determinar la radiació incident farem servir les taules de radiació, que ens diran la radiació incident segons el lloc d'ubicació de la instal·lació, la inclinació i l'orientació de les plaques que hem determinat.

Com que els fabricants de les plaques fotovoltaïques expressen la potència en unes condicions de radiació solar  $1000 \text{ w/m}^2$ , farem un canvi d'unitats per a passar els  $\text{MJ/m}^2/\text{dia}$  de les taules de radiació a  $\text{kWh/m}^2/\text{dia}$ , multiplicant el valor de la taula de radiació per  $0,27 \text{ kWh/MJ}$ .

Un cop disposem de la radiació en  $\text{kWh/m}^2/\text{dia}$ , ho dividim entre valor de la radiació estàndard ( $1 \text{ kW/m}^2$ ), que es fa servir per a calibrar els mòduls i obtenim el valor **d'hores pic equivalents**, hsp, valor que vindria a expressar les hores de llum solar al dia amb una intensitat fixa de  $1.000 \text{ W/m}^2$ , que produirien la mateixa energia que el dia mitjà del dia escollit (tot i que sabem que, en realitat, el Sol varia d'intensitat contínuament durant el dia).

$$\text{hsp} = \text{radiació solar en kWh/m}^2$$

A efectes de càlculs energètics, és el mateix suposar que el mòdul està rebent una intensitat de radiació de  $1.000 \text{ W/m}^2$  durant un temps igual al nombre d'hsp, que el que rep en condicions normals durant tot el dia. És a dir, amb valors que varien al llarg del dia, ja que coincideixen el nombre d'hsp amb el nombre de kWh d'energia incident durant tot el dia.

Podríem dir que, si per exemple, en un lloc reben en un mes determinat una radiació mitjana diària de  $12,7 \text{ MJ/m}^2/\text{dia}$  (l'equivalent a  $3,429 \text{ kWh/m}^2/\text{dia}$ ), el resultat és el mateix que si incidís una intensitat de  $1.000 \text{ W/m}^2/\text{dia}$  durant  $3,429$  hores i es diu que les hsp d'aquest mes és de  $3,527 \text{ hsp}$ .

### 3.3.4 Nombre de plaques necessàries

El nombre de plaques fotovoltaïques necessàries en una instal·lació és la dada més important a calcular en una instal·lació, ja que, generalment, serveix com a referència a l'hora de calcular altres components del sistema, fins i tot per a fer una aproximació al cost final de la instal·lació.

El càlcul dels mòduls necessaris en una instal·lació autònoma quedarà determinat per les següents expressions:

1. Instal·lacions d'ús diari:

$$\text{Nombre moduls} = \frac{E_{necessaria} [\text{Wh}/\text{dia}]}{\text{Pot pic mod} [\text{Wp}] \cdot \eta_{camp} \cdot \text{Rad solar} [\text{hsp}/\text{dia}]}$$

## 2. Instal·lacions de cap de setmana:

$$\text{Nombre moduls} = \frac{3 \cdot E_{necessaria} [\text{Wh/dia}]}{\text{Pot pic mod} [\text{Wp}] \cdot \eta_{camp} \cdot 7 \cdot \text{Rad solar} [\text{hsp/dia}]}$$

La potència pic del mòdul ens serà subministrada pel fabricant i sol integrar la pròpia nomenclatura o referència de model dels fabricants.

El rendiment de camp ( $\eta_{camp}$ ) inclou les pèrdues degudes a la brutícia dels mòduls i als efectes negatius que té el fet d'utilitzar mòduls que, a causa de la tolerància del fabricant, no són exactament d'igual potència.

En instal·lacions autònomes, aquest rendiment serà normalment de 0,65.

Cal tenir en compte que si l'època de càlcul és l'hivern, la pèrdua de rendiment en els mòduls per efecte de la temperatura serà pràcticament inexistent i que les pèrdues per brutícia també seran molt petites, atès que la pluja neteja sovint els mòduls a l'hivern i la pols en suspensió és menor que a l'estiu.

La radiació solar serà la corresponent al mes de pitjor relació entre irradiació i consum, generalment el mes de desembre, quan es tracta d'electrificacions d'habitatges d'utilització continuada.

### 3.3.5 Voltatge i capacitat de l'acumulador

El voltatge de l'acumulador haurà de ser escollit, de manera que sigui prou elevat per a garantir corrents de càrrega/descàrrega raonables ( $I < 100 \text{ A}$ ), així com un correcte acoblament amb el voltatge del grup de plaques fotovoltaïques (12, 24, 48 V...).

Un cop establert el voltatge de treball de la instal·lació, cal considerar que la bateria és el magatzem d'energia; per tant, la seva capacitat estarà determinada pel consum diari i pel nivell d'autonomia que vulguem obtenir, variable en funció del tipus d'instal·lació. Aquestes variables les podem concretar en:

- **Dies d'autonomia:** instal·lacions totalment autònomes i de difícil accés (equips de telecomunicacions, boies, etc.) aplicar tants dies d'autonomia com dies núvols seguits mostrin les estadístiques meteorològiques més properes al lloc d'ubicació (de 3 a 10 dies).  
Electrificació rural d'ús diari (de 4 a 6 dies). Aquest valor es pot reduir a tres si existeix un grup electrogen de suport amb engegada automàtica.  
Electrificació d'habitatges de cap de setmana (de 2 a 3 dies).
- **La profunditat de descàrrega** mitjana d'una bateria que tindrem en compte en el càlcul depèn del tipus emprat:
  - 0,6 a 0,8 per a acumuladors estacionaris d'alt volum d'electròlit.

- 0,4 a 0,5 per a acumuladors del tipus monobloc.
- 0,2 a 0,3 per a acumuladors d'engegada (automòbil).

Un cop determinada l'autonomia podem calcular la capacitat de la bateria amb la següent expressió:

$$Capacitat\ bateria\ [Ah] = \frac{E_{necessaria}\ [Wh/dia] \cdot Dies\ autonomia}{V \cdot Profunditat\ descarrega\ bateria}$$

### 3.3.6 Intensitat del regulador

Els reguladors de càrrega es caracteritzen per la intensitat màxima que poden suportar, així com pel voltatge nominal de treball. Podem definir com a valors estàndards d'intensitat de control dels models en el mercat els 8A, 11A, 15A, 30A i 50A. I pel que fa a voltatges: 12V, 24V o 48V.

El model de regulador necessari en cada instal·lació quedarà determinat per la potència màxima del camp de mòduls, tenint en compte que aquesta intensitat serà igual a la suma d'intensitats de tots els mòduls connectats en paral·lel.

$$I_{max} > 1,10 \cdot I_{circuit}$$

### 3.3.7 Potència de l'inversor

La potència nominal del convertidor adient serà la resultant de la suma de totes les potències nominals dels equips consumidors multiplicat per un coeficient de simultaneïtat d'entre 0,5 a 0,75 en funció de la tipologia i quantitat de consums, ja que, a la pràctica, mai no funcionen tots els equips de consum alhora.

$$0,5 \cdot \sum_{aparells} P_N < P_{convertidor} < 0,75 \cdot \sum_{aparells} P_N$$

El resultat d'aquesta operació ens determinarà la potència nominal del convertidor, amb l'excepció que la potència nominal d'algun dels aparells de consum sigui superior a aquest valor i que, per tant, aquest aparell ens determinarà la potència mínima del convertidor. En aquest sentit cal tenir en compte que alguns electrodomèstics que incorporen motor demanen puntes de potència d'engegada superiors a les nominals (fins a 4 vegades més); per exemple, els televisors en color i les neveres.

### 3.3.8 Tipus d'equips auxiliars necessaris

En el dimensionament del sistema auxiliar (grup electrogen) s'han de tenir en compte els següents modes d'operació:

- Quan el grup electrogen alimenti exclusivament a consum, la potència del grup serà, com a mínim, la potència total de l'habitatge. Aquest mode d'operació el podem anomenar *mode d'emergència*, pel fet que l'inversor de la instal·lació fotovoltaïca s'ha pogut espatllar i resta pendent de reparació o substitució.
- Quan s'utilitza un inversor-carregador, la potència del grup electrogen serà la suma de potències de l'habitatge més la del carregador de l'inversor. En aquest mode de funcionament, l'inversor reparteix la potència que li arriba del grup electrogen entre la fase de carregador a bateries i l'abastament del consum, realitzant aquesta operació de manera automàtica.
- Carregador independent de bateries. En aquest cas el grup electrogen alimenta al carregador i aquest carrega les bateries. El subministrament a consum queda cobert per l'inversor, que ha d'estar connectat. En aquest cas s'entén que l'inversor no és carregador. La potència del grup serà, com a mínim, la potència CA del carregador.

### 3.4 Dimensionament d'elements bàsics de les instal·lacions fotovoltaïques connectades a la xarxa

Com que les instal·lacions fotovoltaïques connectades a la xarxa elèctrica no han de garantir el subministrament energètic de l'usuari, en el dimensionament dels sistemes s'utilitza algun dels següents criteris:

- Producció elèctrica anual
- Màxima superfície disponible
- Acompliment del CTE HE 5 en grans edificis (hotels, centres comercials, etc.)
- Rendibilitat de les instal·lacions

Cal tenir en compte, però, que la potència màxima de la instal·lació fotovoltaïca no pot excedir més del 50% de la capacitat de la mateixa xarxa elèctrica, definida en la zona de la connexió o, en lloc seu, la potència nominal del transformador de la subestació elèctrica.

Trobareu una còpia del CTE HE 5 en la secció "Adreces d'interès" del web d'aquest mòdul.

### 3.4.1 Nombre de plaques necessàries

Pel que fa al primer criteri, cal tenir en compte la productivitat dels sistemes de connexió a xarxa, és a dir, l'energia total que podem injectar en xarxa al llarg de l'any per unitat de potència pic fotovoltaica instal·lada.

En aquest sentit i a partir de seguiments empírics d'instal·lacions en servei, es poden establir per a Catalunya valors de 900 a 1.350 kWh anuals per cada kWp instal·lat com a valor realista de la producció estimada quan no existeix cap sistema de seguiment de la posició del Sol al llarg del dia.

Pel que fa a la superfície disponible, s'ha de tenir en compte la potència específica del mòdul fotovoltaic ( $\text{Wp/m}^2$ ) de les dues tecnologies que actualment estan disponibles en el mercat: el silici cristal·lí ( $150 \text{ Wp/m}^2$ ) i la capa prima ( $60 \text{ Wp/m}^2$ ).

### 3.4.2 Potència del convertidor

A partir de la potència del camp de mòduls, per a trobar la potència del convertidor caldrà aplicar simplement el factor de relació indicat pels fabricants i que és aproximadament el següent:

$$P_{\text{convertidor}} = \frac{P_{\text{pic del camp}}}{1,25}$$

Aquesta relació és deguda al fet que el camp generador operarà sempre amb un rendiment màxim del 75% per efectes de la brutícia, els desequilibris de producció entre mòduls o la reflexió de llum per desviacions de la trajectòria del Sol.

### 3.4.3 Radiació incident "hora sol pic" (hsp)

Com en el cas de les instal·lacions fotovoltaïques autònomes, per a determinar la radiació incident farem servir les taules de radiació, que ens determinaran la radiació incident segons el lloc d'ubicació de la instal·lació, la inclinació i l'orientació de les plaques que hem determinat.

Com que els fabricants de les plaques fotovoltaïques expressen la potència en unes condicions de radiació solar  $1000 \text{ w/m}^2$ , farem un canvi d'unitats per a passar els  $\text{MJ/m}^2/\text{dia}$  de les taules de radiació a  $\text{kWh/m}^2/\text{dia}$ , multiplicant el valor de la taula de radiació per **0,27 kWh/MJ**.

Un cop disposem de la radiació en  $\text{kWh/m}^2/\text{dia}$ , ho dividim entre valor de la radiació estàndard ( $1 \text{ kW/m}^2$ ), que es fa servir per a calibrar els mòduls i obtenim el valor **d'hores pic equivalents, hsp**, valor que vindria a expressar les hores de

llum solar al dia amb una intensitat fixa de  $1.000 \text{ W/m}^2$ , que produïrien la mateixa energia que el dia mitjà del dia escollit (tot i que sabem que, en realitat, el Sol varia d'intensitat contínuament durant el dia).

*hsp* = radiació solar en  $\text{kWh/m}^2$

### 3.4.4 Pèrdues de rendiment dels components “PR”

Per a l'avaluació correcta de la producció solar estimada d'una instal·lació fotovoltaica de connexió a la xarxa, cal tenir en compte els diferents factors de pèrdues energètiques que es produeixen en la cadena d'equips de la instal·lació. En aquest bloc descriurem els factors de pèrdues més significatius assignant un valor empíric obtingut de les instal·lacions que s'han posat en servei en els darrers anys.

- **Generador fotovoltaic.** Les pèrdues en els mòduls fotovoltaics, de manera resumida, són degudes als efectes de la temperatura, a la brutícia del vidre. Aquestes pèrdues poden adoptar un valor al voltant del 9% (0,91).
- **Inversor.** Tenint en compte la bona qualitat dels inversors fotovoltaics de connexió a xarxa avui dia, amb uns rendiments que oscil·len del 92% fins al 96%, les pèrdues de transformació en aquests equips les assumeixen en un valor del 8% (0,92).
- **Cablatge i dispersió de paràmetres.** En aquests casos és molt normal establir unes pèrdues del 5% (0,95).
- **Interrupcions de servei.** Es refereix al coeficient de funcionament real de la instal·lació fotovoltaica descomptant les aturades del sistema per valors fora de rang o problemes en la xarxa, etc. Aquest coeficient pot assumir un valor del 0,93, és a dir, un 7% del temps teòric de funcionament es perd.

La multiplicació dels coeficients definits determina, de manera aproximada, el rendiment global de la instal·lació o *PR* (Performance Ratio) i que és un paràmetre determinant en el càlcul de la productivitat energètica d'una instal·lació fotovoltaica connectada a xarxa.

$$PR = 0,91 \cdot 0,92 \cdot 0,95 \cdot 0,93 = 0,74$$

### 3.4.5 Producció energètica estimada

L'energia elèctrica injectada a la xarxa per a una instal·lació fotovoltaica en un any serà la resultant d'aplicar la següent expressió:

$$E_{AC} = P_{GFV} \cdot \left( \frac{G_{da}}{G^*} \right) \cdot FS \cdot PR$$

On:

- $E_{AC}$ : Energia anual injectada a xarxa (kWh)
- $P_{GFV}$ : Potència pic del generador fotovoltaic (kWp)
- $G_{da}$ : Radiació anual (kWh/m<sup>2</sup>)
- $G^*$ : Irradiància estàndard (1000 W/m<sup>2</sup>)
- $FS$ : Factor d'ombres
- $PR$ : Rendiment global instal·lació

### 3.5 Elements elèctrics bàsics en les instal·lacions fotovoltaïques

Les instal·lacions fotovoltaïques són en general instal·lacions generadores de baixa tensió i com a tal estan subjectes al compliment de l'actual reglament electrotècnic de baixa tensió i específicament la ITC-BT 40 "Instal·lacions generadores de baixa tensió" regula i determina els elements elèctrics preceptius per a aquestes instal·lacions.

Sota aquest concepte establirem que tot l'equipament elèctric en aquestes instal·lacions està regulat i definit pel "Reglament Electrotècnic per a Baixa Tensió".

#### 3.5.1 Proteccions elèctriques bàsiques en les instal·lacions fotovoltaïques

Les instal·lacions elèctriques, incloses les instal·lacions solars fotovoltaïques autònomes i de connexió a xarxa, han de disposar de les següents proteccions:

- Protecció contra sobreintensitats (sobrecàrregues) ITC-BT-22
- Protecció contra sobreintensitats (curtcircuits) ITC-BT-22
- Protecció contra sobretensions ITC-BT-23
- Protecció contra contactes directes ITC-BT-24
- Protecció contra contactes indirectes ITC-BT-24
- Presa de terra ITC-BT-18, 19 , 26



En les instal·lacions fotovoltaïques autònomes és necessari tenir especial atenció en la protecció elèctrica de la bateria a causa del potencial risc de cremades o explosió que presenta aquest element de la instal·lació.

En cas de rehabilitació d'instal·lacions, serà necessari revisar i/o incorporar els elements de seguretat elèctrica preceptius que garantissin la seguretat de les persones, instal·lacions i equips.

### 3.5.2 Secció dels conductors

Una secció adequada del cable serà bàsica per a obtenir un bon rendiment global de la instal·lació. Els conductors elèctrics de coure tenen per funció el transport de l'electricitat, però malauradament ofereixen una resistència al pas de l'energia.

Aquesta resistència elèctrica depèn de la llargada del traçat i de la secció i es manifesta en dos efectes:

1. Caiguda de tensió en el mateix conductor. Aquest efecte fa que la càrrega alimentada tingui un voltatge inferior al de la font alimentadora.
2. Pèrdues energètiques per efecte Joule, escalfament del conductor. Aquestes pèrdues són una funció quadràtica de la intensitat: si es dobla la intensitat, les pèrdues creixen 4 vegades. Si la calor és massa forta el conductor es deteriora i es pot arribar a situacions perilloses, com ara incendi o deteriorament de l'aïllament.

Per a evitar aquests dos problemes calcularem els conductors amb els següents objectius:

- **Selecció del conductor per la caiguda de tensió màxima:** en les línies de CC de les plaques/acumuladors fins al convertidor, s'establirà un valor màxim de caiguda de tensió d'un **1,5%** per a instal·lacions connectades a la xarxa, i un **3%** per a instal·lacions autònomes. En les línies de connexió en CA de sortida del convertidor s'establirà un **valor màxim de caiguda de tensió d'un 1,5%**. En les instal·lacions de connexió a la xarxa elèctrica, aquest paràmetre estarà calculat sobre el 125% de la potència nominal del convertidor, tal com s'indica en l'RBT. ITC-BT-40.

#### RBT. ITC-BT-40

"Los cables de conexión deberán estar dimensionados para una intensidad no inferior al 125% de la máxima intensidad del generador y la caída de tensión entre el generador y el punto de interconexión a la Red de Distribución Pública o a la instalación interior, no será superior al 1,5%, para la intensidad nominal."

Per al càlcul de la secció de conductor adequada utilitzarem les expressions que es mostren a la taula 3.2.

**TAULA 3.2.** Expressions per determinar la secció mínima del conductor

	Línies monofàsiques	Línies trifàsiques
En funció de la intensitat	$s = \frac{2 \cdot L \cdot I \cdot \cos \varphi}{c \cdot u}$	$s = \frac{\sqrt{3} \cdot L \cdot I_L \cdot \cos \varphi}{c \cdot u}$
En funció de la potència	$s = \frac{2 \cdot L \cdot P}{c \cdot u \cdot V}$	$s = \frac{L \cdot P}{c \cdot u \cdot V_L}$

On:

- $s$ : Secció conductor ( $\text{mm}^2$ )
- $L$ : Longitud del tram simple (m)
- $I$ : Intensitat eficaç (A); ( $I_L$  = Intensitat de línia)
- $V$ : Tensió de la línia (V); ( $V_L$  = Tensió de línia)
- $\cos \varphi$ : Factor de potència (En línies elèctriques de CC;  $\cos \varphi = 1$ )
- $P$ : Potència elèctrica (W)
- $u$ : Caiguda de tensió en la línia (V)  $\rightarrow u = V \cdot \frac{edt (\%) }{100}$
- $c$ : Conductivitat del conductor:
  - Per al coure a 20 °C,  $c = 56 \text{ m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$
  - Per a l'alumini a 20 °C,  $c = 35 \text{ m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$

L'expressió anterior ens dóna la secció del conductor mínima a muntar expressada en  $\text{mm}^2$  per tal de complir el requisit que la caiguda de tensió sigui menor al percentatge escollit en funció del tram.

### • Selecció del conductor per criteri tèrmic

Un cop determinem la secció mínima del conductor comprovarem que es compleix la següent expressió:

$$I_B < I_Z$$

On:

- $I_B$ : Intensitat d'utilització (A).
- $I_Z$ : Intensitat màxima admissible en el conductor (A).

Per tant, es garantirà que la intensitat de circulació és menor que el màxim admissible per aquesta secció de conductor, segons s'indica en les taules de referència de la ITC-BT-19 en les quals s'estableix la intensitat màxima admissible per a conductors elèctrics en funció de la secció del conductor, el material de l'aïllament, disposició de la instal·lació. Tot això amb una temperatura de servei de 40 °C.

En el cas de dimensionar instal·lacions soterrades, caldrà utilitzar les taules de referència incloses en la RITC-BT-07.

La normativa de referència per fer el dimensionament i càlcul de les instal·lacions és, a grans trets, la següent:

- Llei 54/1997 de regulació del sector elèctric
- RD 1955/2000 (marc regulador de les instal·lacions generadores)
- RD 1663/2000 (marc regulador de les instal·lacions fotovoltaïques connectades a la xarxa)
- ITC-BT-40 del REBT aprovat pel RD 842/2002 (marc regulador de les instal·lacions generadores en baixa tensió)
- RD 1699/2011 (marc regulador de les instal·lacions fotovoltaïques de potència < 100 kW)



# Manteniment d'instal·lacions solars fotovoltaïques

Joan Francesc Roca Paradell

**Instal·lacions solars fotovoltaïques**



# Índex

<b>Introducció</b>	<b>5</b>
<b>Resultats d'aprenentatge</b>	<b>7</b>
<b>1 Manteniment i reparació de les instal·lacions</b>	<b>9</b>
1.1 Paràmetres de verificació bàsica de la instal·lació	9
1.1.1 Requisits mínims referits als panells fotovoltaïcs	10
1.1.2 Requisits bàsics referits a l'estructura de suport	11
1.1.3 Requisits bàsics referits a la posició dels panells	12
1.1.4 Requisits bàsics dels acumuladors o bateries	15
1.1.5 Requisits bàsics del regulador de càrrega	16
1.1.6 Requisits bàsics del convertidor o inversor	18
1.2 Manteniment preventiu de les instal·lacions fotovoltaïques	19
1.2.1 Operacions de manteniment realitzables per l'usuari	19
1.2.2 Operacions de manteniment preventiu qualificat	23
<b>2 Prevenció de riscos laborals i protecció ambiental</b>	<b>29</b>
2.1 Els equips de protecció personal necessaris	30
2.2 Tasques i pautes de treball a considerar en el muntatge de les estructures de suport i panells en la coberta	30
2.2.1 Treballs d'altura	31
2.2.2 Elevació d'elements en la coberta	32
2.3 Tasques i pautes de treball a considerar en fer les connexions elèctriques de les plaques solars	32
2.4 Tasques i pautes de treball a considerar en la manipulació de la bateria	33
2.4.1 Normes de seguretat complementàries per a la sala de bateries	35
2.5 Muntatge de reguladors, inversors i connexions elèctriques	36
2.5.1 Muntatge del quadre elèctric general de proteccions i d'interconnexió	36
2.6 Normes i mesures preventives típiques	37
2.6.1 Treballs en l'escomesa de companyia	37
2.6.2 Utilització de màquines eina	38
2.6.3 Normes i mesures de protecció general	38





## Introducció

Les instal·lacions solars fotovoltaïques són instal·lacions generadores d'electricitat en baixa tensió. Pel que fa als requisits de manteniment i normes de prevenció de riscos en el treball, les normes aplicables a aquestes instal·lacions no presenten diferències significatives respecte a les aplicables a la resta d'instal·lacions elèctriques.

Pel que fa al seu manteniment, únicament cal fer ressaltar el Codi tècnic de l'edificació, apartat HE 5, en què es disposa l'obligatorietat d'incorporar energia solar fotovoltaica en grans edificis (hotels, hospitals, centres comercials, etc.) de construcció nova a Espanya. En aquest document es fa esment dels paràmetres bàsics de manteniment de les instal·lacions fotovoltaïques subjectes a aquesta norma. Per a la resta d'instal·lacions fotovoltaïques, s'ha d'aplicar la norma general per a instal·lacions elèctriques o generadors d'electricitat.

En l'apartat "Manteniment d'instal·lacions fotovoltaïques" s'estableixen les pautes de referència bàsica per a la verificació i manteniment preventiu de les instal·lacions fotovoltaïques.

En l'apartat "Prevenció de riscos laborals i protecció ambiental" s'expliquen les mesures de prevenció que cal considerar en el muntatge d'una instal·lació fotovoltaica sobre una coberta.



## Resultats d'aprenentatge

En acabar aquesta unitat, l'alumne:

1. Manté instal·lacions solars fotovoltaïques aplicant tècniques de prevenció i detecció i relacionant la disfunció amb la causa que la produeix.

- Mesura els paràmetres de funcionament.
- Neteja els panells.
- Revisa l'estat de l'estructura de suport.
- Comprova l'estat de les bateries.
- Formula hipòtesis de les possibles causes de l'avaria i la seva repercussió en la instal·lació.
- Localitza el subsistema, equip o element responsable de la disfunció o avaria.
- Substitueix o repara els components causants de l'avaria.
- Verifica la compatibilitat de l'element instal·lat.
- Restableix les condicions de funcionament de l'equip o de la instal·lació.
- Compleix les normes de prevenció de riscos laborals (incloses les de seguretat enfront el risc elèctric) i de protecció ambiental.
- Respecta els criteris de qualitat.
- Mostra autonomia i resol satisfactòriament els problemes que se li presenten.



## 1. Manteniment i reparació de les instal·lacions

La fiabilitat d'una instal·lació solar fotovoltaica depèn en gran manera de la qualitat dels equips, del dimensionament correcte del conjunt i d'una execució de la instal·lació adequada. En aquest sentit, cal recordar que una instal·lació fotovoltaica és un conjunt d'elements que estan interrelacionats entre si, i que si hi hagués un únic component defectuós, mal dimensionat o mal instal·lat, aquest limitaria notablement la fiabilitat i el funcionament de tota la instal·lació.

Per aquest motiu, el manteniment d'una instal·lació començarà pel reconeixement i verificació del conjunt d'equips que la componen. Tots els equips de la instal·lació hauran de complir uns estàndards mínims de qualitat. En aquest sentit, cal verificar que els equips bàsics de la instal·lació disposin com a mínim dels certificats acreditatius de qualitat basats en aquestes normes de referència:

- Norma UNE-EN 61215 per als mòduls fotovoltaics de silici cristal·lí.
- Marcatge CE i certificat del TÜV Rheinland Group per als onduladors (inversors).
- Norma DIN 40736 (plaques tubulars) per a les bateries.
- Norma MV-106 per als cargols d'acer inoxidable.
- Normes MV-103 (càrregues extremes degudes a factors climatològics) i MV-102 (característiques mecàniques de l'acer i de composició química) per a l'estructura de suport.

### 1.1 Paràmetres de verificació bàsica de la instal·lació

Per verificar de manera bàsica les instal·lacions fotovoltaïques, utilitzarem com a referència els paràmetres estàndard per al muntatge d'instal·lacions fotovoltaïques descrits en el **Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Fotovoltaicas**, publicat per l'Institut per a la Diversificació i Estalvi de l'Energia (IDAE).

El coneixement dels criteris de muntatge de les instal·lacions permetrà establir el procediment per verificar la instal·lació, i fins i tot ens permetran detectar possibles anomalies de funcionament o diagnosticar avaries en els equips.

Hi ha un seguit de requisits bàsics exigibles en cada una de les següents parts principals de les instal·lacions fotovoltaïques:

- Els panells fotovoltaïcs.
- L'estructura de suport.

#### **IDAE**

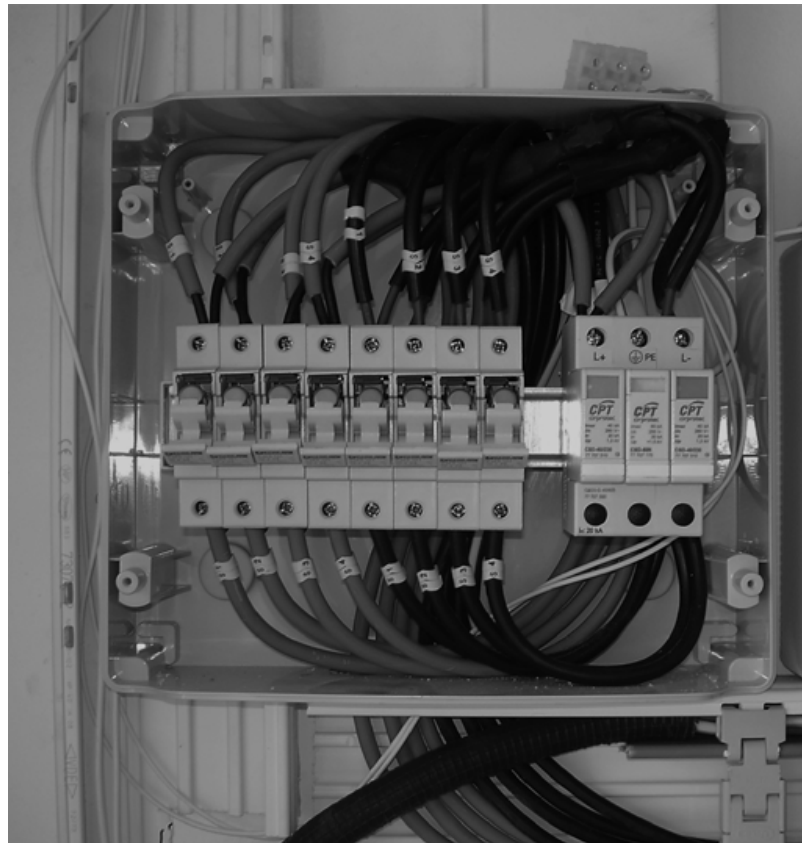
L'IDAE (Institut per a la Diversificació i l'Estalvi de l'Energia) és un organisme governamental de caràcter estatal que s'encarrega de promoure l'estalvi energètic i la implantació de les energies renovables.

- La posició dels panells.
- Els acumuladors o bateries.
- El regulador de càrrega.
- El convertidor o inversor.

### 1.1.1 Requisits mínims referits als panells fotovoltaïcs

Com qualsevol generador elèctric, els panells fotovoltaïcs hauran de disposar d'una etiqueta identificativa de la marca, model i número de sèrie. També hauran de figurar les característiques elèctriques del panell ( $P_{pmp}$ ,  $V_{pmp}$ ,  $I_{pmp}$ ,  $I_{cc}$ ,  $V_{co}$ ...).

**FIGURA 1.1.** Caixa de connexió de camp fotovoltaic amb seccionadors per a cada un dels terminals de cada ramal del camp fotovoltaic



Tots els panells han de portar una etiqueta identificativa de les característiques elèctriques

Per assegurar la vida útil dels panells muntats a la intempèrie durant un mínim de quinze anys, els marcs laterals han de ser d'alumini o acer inoxidable, la caixa de connexions ha de tenir un grau de protecció IP65 i ha de portar díodes de derivació per evitar les possibles avaries de les cèl·lules i els seus circuits per ombrejos parcials.

Amb l'objectiu de garantir la durabilitat de la instal·lació, els panells fotovoltaïcs no han de presentar defectes de fabricació com ruptures o taques en cap dels seus elements, ni manca d'alineació de les cèl·lules, ni bombolles en l'encapsulament.

I les cèl·lules del panell han de mostrar una clara uniformitat pel que fa a la forma, mides o color.

En general, per facilitar el manteniment i les reparacions en el camp fotovoltaic, aquest disposarà dels elements necessaris per a la desconexió, de manera independent, en els dos terminals de cada ramal o línia de panells (figura 1.1).

### 1.1.2 Requisits bàsics referits a l'estructura de suport

Les estructures de suport dels panells fotovoltaics han de ser capaces de resistir, com a mínim, vint-i-cinc anys d'exposició a la intempèrie sense corrosió o fatiga apreciables. En aquest sentit, per garantir la durabilitat de l'estructura de suport amb una certa fiabilitat, aquesta haurà de ser construïda preferentment d'alumini, acer inoxidable, acer galvanitzat amb una capa protectora mínima de 60 m o fusta tractada.

La fixació dels panells fotovoltaics als suports només es pot fer mitjançant elements desmuntables (cargols, femelles, volanderes...), i aquests han de ser d'acer inoxidable amb volanderes sintètiques que evitin possibles deterioraments per defectes galvànics entre metalls.

Tot el conjunt (panells, estructura de suport i ancoratges) ha de ser capaç de suportar com a mínim vents de fins a 150 km/h. Per avaluar la resistència mecànica necessària dels ancoratges i fixacions o la massa de contrapès necessària, farem servir la taula 1.1, en què es mostren els valors de la força del vent sobre una superfície d'1 m<sup>2</sup> amb diversos angles d'inclinació i exposada a una velocitat del vent de 150 km/h, equivalent a una força de 1.294 N/m<sup>2</sup>.

**TAULA 1.1.** Taula indicativa de la resistència mecànica que ha de suportar una estructura o un contrapès necessari per cada m<sup>2</sup> de panell disposat en diversos angles d'inclinació.

Inclinació dels panells	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°
Força del vent (N/m <sup>2</sup> )	151	230	324	425	533	647	759	868	970
Contrapès necessari (kg/m <sup>2</sup> )	15	24	33	43	54	66	77	89	99

Per conèixer l'esforç mecànic màxim a què pot estar sotmesa una estructura a una velocitat de vent de 150 km/h, haurem de multiplicar la superfície dels panells pel valor indicat en la taula anterior, en funció de la inclinació que tinguin aquests.

Com a mesura de protecció elèctrica de caràcter obligatori, cal que totes les parts metàl·liques de l'estructura de suport i els panells fotovoltaics estiguin connectats a una presa de terra (figura 1.2), que s'anomena tècnicament *terra de protecció*, ja que la seva funció és evitar que es transmetin tensions perilloses en aquelles parts

#### Galvanització

La galvanització és un procés electroquímic que consisteix en recobrir un metall amb un altre per evitar l'oxidació del primer; generalment s'aplica una capa de zinc sobre l'acer.

de la instal·lació que entrin en tensió, de manera accidental, per algun defecte elèctric o fenomen d'origen atmosfèric (descàrregues elèctriques).

**FIGURA 1.2.** Detall de la connexió a terra dels marcs i estructures d'una instal·lació fotovoltaïca



### 1.1.3 Requisits bàsics referits a la posició dels panells

La posició dels panells ha de permetre l'aprofitament màxim de la radiació incident en tot l'arc de la trajectòria solar. Sota aquest criteri establim que l'orientació adequada dels panells és:

- A l'hemisferi nord l'orientació òptima és el sud.
- A l'hemisferi sud l'orientació òptima és el nord.

A Catalunya l'orientació òptima dels panells és el **sud**.

Mantenint el criteri inicial, la inclinació dels panells queda determinada per la posició que permeti la màxima radiació incident en l'època d'utilització predominant. Cal afegir que en les instal·lacions autònomes l'angle d'inclinació ha d'optimitzar la captació d'energia solar durant el mes pitjor, és a dir, el mes amb la relació pitjor entre els valors diaris de radiació solar i el consum, tots dos segons la mitjana mensual.

En referència als criteris descrits anteriorment, com a regla general podem determinar els factors que es mostren en la taula 1.2 per determinar la inclinació adequada dels panells.



**TAULA 1.2.** Inclínacions del panells en funció de la tipologia d'instal·lació fotovoltaica

Aplicació	Inclínació recomanada	Inclínació recomanada a Catalunya (latitud 40° nord)
Instal·lacions d'ús d'hivern	Latitud del lloc + 20°	60°
Instal·lacions d'ús continuat tot l'any sense grup electrogen de suport	Latitud del lloc + 15°	55°
Instal·lacions d'ús continuat tot l'any amb grup electrogen de suport	Latitud del lloc + 10°	50°
Instal·lacions d'ús principal a l'estiu	Latitud del lloc - 10°	30°
Instal·lacions d'ús estacional	Angle complementari a l'altura solar de l'època d'ús	-
Instal·lacions amb connexió a xarxa	Latitud del lloc - 10°	30°

## Ombres

Per tal d'avaluar la incidència d'ombres, cal observar l'entorn pròxim comprès en la franja **est-oest**. En aquest arc no hi ha d'haver cap obstacle que pugui produir ombres sobre els panells solars durant un període mínim de **quatre hores de sol al voltant del migdia del solstici d'hivern**.

En aquest sentit, els panells s'hauran d'instal·lar a una distància mínima dels obstacles propers (alçada  $\rho$ ), determinada per l'expressió:

$$d = \left( \frac{h}{\tan \rho} \right) \cdot \cos a_{solar}$$

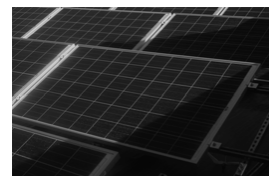
En què:

- $\rho$  = altura solar
- $a_{solar}$  = azimut

Podem simplificar l'aplicació d'aquesta expressió amb el que s'anomena factor  $K$  fent:

El factor  $K$  a Catalunya és igual a 2,54.

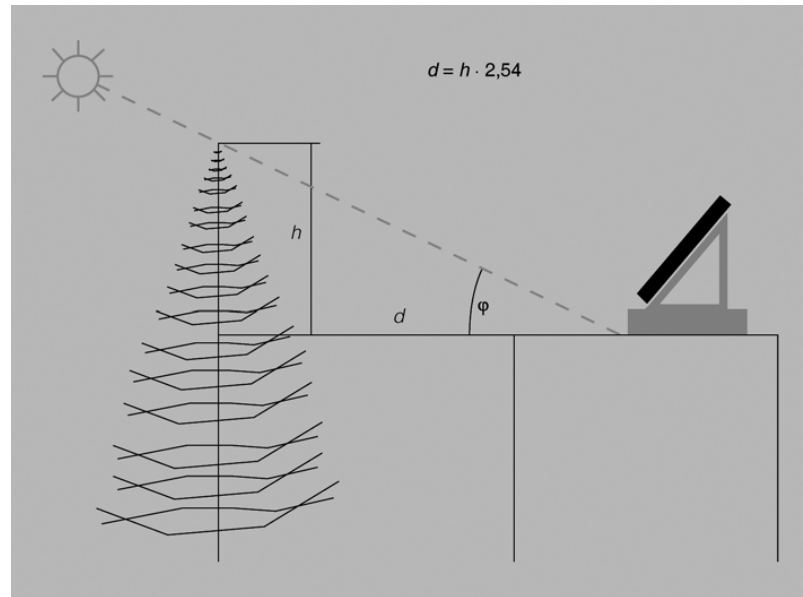
De manera que establim que la distància ( $d$ ) de l'obstacle ha de ser igual o superior al resultat de multiplicar per 2,54 (a Catalunya) l'altura ( $h$ ) de l'obstacle que ens sobrepassi, tal com s'indica en la figura 1.3.



Panells afectats per l'ombrejament

2,54 és el factor  $K$  corresponent a una latitud de 41° amb una altura solar al desembre de 29° i un azimut de 19°, 2 h abans i després del migdia solar.

**FIGURA 1.3.** Representació gràfica dels paràmetres de càlcul de la longitud de l'ombra projectada en un pla horitzontal a Catalunya



La separació entre fileres de panells ha de garantir que no es produeixin ombres sobre les fileres de panells durant el solstici d'hivern (hemisferi nord). Aquesta distància quedarà determinada per l'expressió següent, en el cas de panells en disposició horitzontal (sobre un pla).

$$d = \left( \frac{l \cdot \sin \varphi}{\tan \rho} \right) \cdot \cos a_{solar}$$

En què:

- $l$  és la longitud del panell
- $\varphi$  és la inclinació del panell respecte a l'horitzontal
- $\rho$  és l'altura solar
- $a_{solar}$  és l'azimut

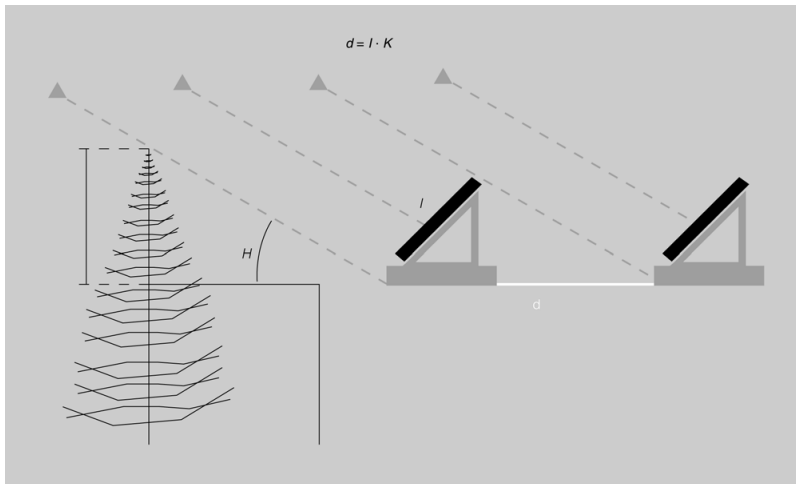
Com en el cas anterior, podem simplificar l'aplicació d'aquesta expressió amb l'anomenat factor  $K$ , en funció de la inclinació  $\varphi$  dels panells adoptada, i que per a Catalunya (posició que fixa els valors de  $\rho$  i  $a_{solar}$ ) equival als valors que s'indiquen en la taula 1.3.

**TAULA 1.3.** Factor pel qual s'ha de multiplicar la longitud del panell per determinar l'espai que ocuparà la base del panell més l'ombra projectada per aquest, en funció de la inclinació dels panells  $\varphi$

$\varphi$	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°
Factor $K$	1,81	1,98	2,14	2,27	2,40	2,50	2,59	2,65	2,70

Així, quedarà reduïda l'operació per determinar la distància mínima entre les bases dels panells a la multiplicació simple de la longitud del panell ( $l$ ) pel factor ( $K$ ) corresponent, en funció de la inclinació dels panells utilitzada, com es pot veure en la figura 1.4.

**FIGURA 1.4.** Representació gràfica dels paràmetres de càlcul de la distància mínima entre les fileres de panells instal·lades en un pla horitzontal a Catalunya



### 1.1.4 Requisites bàsics dels acumuladors o bateries

La bateria és l'únic element de la instal·lació que té clarament definida la seva vida útil (cicles de càrrega i descàrrega), que està molt condicionada pel tipus d'utilització i les condicions de treball a què estarà sotmesa.

Les bateries més utilitzades en les instal·lacions fotovoltaïques són les del tipus plom-àcid, preferentment estacionàries (fixes) i de placa tubular. No són gaire recomanables les bateries d'arrencada d'automòbil, perquè tenen una durada reduïda quan són utilitzades en els cicles llargs de càrrega/descàrrega de les instal·lacions fotovoltaïques.

Per garantir la durabilitat de les bateries estacionàries, cal considerar, com a mínim, els paràmetres de referència següents en el dimensionament de la bateria:

- La profunditat màxima de descàrrega de la bateria serà del 80%, encara que aquest valor només s'assolirà esporàdicament durant la vida de la bateria.
- La capacitat nominal de la bateria en amperes-hora, Ah (C20), no serà superior a vint-i-cinc vegades la intensitat de curtcircuit del camp fotovoltaic.
- El volum màxim d'electròlit serà d'1,15 l per cada 100 Ah de capacitat de la bateria, amb una densitat en càrrega de 1,25 g/ml.

Per seguretat i conservació de la bateria, cal que la ubicació disposi d'un espai ventilat, d'accés restringit i protegit de la intempèrie i les temperatures extremes, com es pot veure en la figura 1.5. Tot i així, com a criteri general de seguretat elèctrica, s'han d'instal·lar elements de protecció per a curtcircuits (fusibles), de manera independent, en els dos terminals de connexió a la bateria, i alhora tots els contactes elèctrics estaran protegits i aïllats.



Bateria d'una instal·lació solar amb una ubicació inadequada

**FIGURA 1.5.** Sala amb bateries estanques de plom àcid

Com a norma general, totes les bateries han de tenir senyalitzada de manera permanent la polaritat dels terminals i han de disposar d'una etiqueta identificativa de la marca, el model i els paràmetres de caracterització elèctrica següents: tensió nominal (V) i capacitat nominal (Ah) en vint hores (C20).

### 1.1.5 Requisits bàsics del regulador de càrrega

El regulador és un element vital per al bon funcionament de les instal·lacions fotovoltaïques autònomes. Per això ha d'estar protegit de manera automàtica contra polaritats inverses, sobretensions i sobrecàrregues produïdes accidentalment, per algun defecte elèctric o d'origen atmosfèric. Alhora, el regulador ha de disposar d'una caixa amb protecció mínima IP 32, ha d'estar dotat de seccionadors manuals de les línies de bateria, panells i consum, i també ha d'incorporar elements indicadors de funcionament i situacions d'alarma (indicador *on/off*, de bateria baixa, de sobrecàrrega i alarmes).

Com la resta d'equips d'una instal·lació elèctrica, el regulador s'ha de situar seguint les normes elèctriques bàsiques amb una connexió elèctrica que respecti el traçat i la protecció preceptives. En cap cas no es descuidarà la presència i el format de la instal·lació, tal com es pot observar en la figura 1.6, en què el funcionament de la instal·lació pot ser correcte però el muntatge incompleix clarament els criteris bàsics pel que fa al traçat i el format de les conduccions elèctriques.

Com a paràmetres significatius per al dimensionament del regulador, hem de tenir en compte que aquest equip ha de suportar valors de tensió i intensitat d'un 25% superiors a la tensió de circuit obert i a la intensitat de curtcircuit del camp fotovoltaic. Pel que fa al rendiment elèctric, el regulador ha de presentar un rendiment en operació de com a mínim el 97% i ha de provocar una caiguda de tensió inferior al 2%.

**FIGURA 1.6.** Instal·lació precària d'un convertidor i l'equip regulador de carregacàrrega

El regulador, com a equip de control dels processos de càrrega/descàrrega de les bateries, les protegeix de sobrecàrregues i sobredescàrregues. Per a això ha de disposar com a mínim de les funcions i valors de regulació següents:

- **Desconnexió per final de càrrega de la bateria:** els llindars superior i inferior de la sobrecàrrega controlada han de ser, respectivament, de 2,4 i de 2,25 V per vas.
- **Càrrega d'equilibrament:** les sobrecàrregues controlades s'han d'efectuar a un voltatge constant de 2,5 V per vas. Les sobrecàrregues s'han de fer després de cada descàrrega profunda o a intervals de catorze dies. La sobrecàrrega ha de durar entre 1 i 5 hores.
- **Desconnexió de consums per bateria baixa:** el voltatge límit de descàrrega de la bateria queda fixat en 0,08 V per vas.
- **Reconnexió de consums:** el regulador de càrrega hauria de permetre la reconnexió dels consums amb un voltatge igual o superior a 1,5 V per vas.

La precisió respecte als valors de tensió fixats en el regulador serà d'un 1% i s'hi aplicarà una correcció per efecte de la temperatura de 4 a 5 mV/°C per vas, si considerem 25 °C com a temperatura de referència de la bateria.

Les funcions esmentades es poden incorporar en altres equips, sempre que assegurin una protecció equivalent a l'exigida en el regulador.

Com la resta d'elements de les instal·lacions fotovoltaïques, el regulador de càrrega ha d'estar etiquetat almenys amb la marca, el model i les característiques elèctriques del regulador (tensió nominal i intensitat nominal, i també els valors màxims d'aquests dos paràmetres).

### 1.1.6 Requisits bàsics del convertidor o inversor

Els convertidors utilitzats en les instal·lacions fotovoltaïques són equips monofàsics o trifàsics que funcionen com a font de tensió fixa (valor eficaç de la tensió i freqüència de sortida fixos) amb un tipus d'ona sinusoidal pura.

Aquests equips són capaços d'alliberar la potència nominal de manera continuada i, en el cas dels convertidors utilitzats en les instal·lacions solars fotovoltaïques autònomes, han d'atendre la demanda de potència de totes les càrregues especificades en la instal·lació, especialment aquelles que requereixen elevats corrents d'arrencada.

Com en el cas dels reguladors de càrrega, el convertidor no se situarà en cap cas com es mostra en la figura 1.7, just damunt de la bateria, i ha d'estar protegit automàticament de sobretensions i sobrecàrregues produïdes de manera accidental, per algun defecte elèctric o d'origen atmosfèric. Alhora, ha de disposar d'una caixa amb protecció mínima IP 32 i ha d'estar dotat de seccionadors manuals de les línies de bateria o panells i consums o xarxa elèctrica. També ha d'incorporar elements indicadors de funcionament i situacions d'alarma (indicador *on/off*, de bateria baixa, de sobrecàrrega i alarmes...).

Com a paràmetres significatius per al dimensionament del convertidor, com a criteri general li donarem una potència d'un 25% per sota dels paràmetres requerits en principi per a la instal·lació. Pel que fa al rendiment elèctric, ha d'estar per sobre del 75% en tot el rang de potències subministrables. Complementàriament, és recomanable que el convertidor incorpori un sistema de *stand by* per reduir les pèrdues de funcionament en mode d'espera.

Com a característica específica dels convertidors de connexió a xarxa, esmentarem els requisits específics de protecció elèctrica, com la incorporació d'un transformador d'aïllament o algun altre sistema de separació galvànica entre la xarxa i la instal·lació fotovoltaïca, amb una rigidesa dielèctrica de com a mínim 2.500 V. També és necessari un sistema de desconexió de la xarxa quan hi hagi fallades de tensió, de freqüència o de fase, i que incorpori un retard de tres minuts a la reconexió.

Els límits de protecció han de ser:

$$V : U < 0,85 \cdot U_{nominal}$$

$$U > 1,1 \cdot U_{nominal}$$

$$f : \quad 51 \text{ i } 49 \text{ Hz}$$

Com en tots els altres elements de les instal·lacions fotovoltaïques, el convertidor ha d'estar etiquetat almenys amb la marca, el model i les característiques elèctriques del convertidor.

**FIGURA 1.7.** Instal·lació inadequada del regulador i l'inversor en una instal·lació fotovoltaïca autònoma



En la zona en que són ubicats, el regulador i l'inversor patiran una degradació prematura deguda als vapors que es produiran en la gasificació de la bateria.

## 1.2 Manteniment preventiu de les instal·lacions fotovoltaïques

Les instal·lacions fotovoltaïques, en general, són senzilles de mantenir. Però requereixen un manteniment preventiu bàsic per garantir el rendiment i la durabilitat de la instal·lació.

En funció de la tipologia d'instal·lació, potència i equips utilitzats s'establirà un programa de manteniment preventiu de la instal·lació, en el qual podrà col·laborar de manera activa l'usuari mateix. Però en tot cas, el programa de manteniment preventiu requerirà la visita d'un tècnic qualificat com a mínim un cop a l'any.

### 1.2.1 Operacions de manteniment realitzables per l'usuari

El manteniment preventiu de les instal·lacions solars fotovoltaïques comporta tot un seguit de tasques senzilles i rutinàries. En el cas de ser assumides per l'usuari es podran fer amb més assiduitat, fet que millorarà el rendiment i la fiabilitat de la instal·lació.

Les tasques de manteniment preventiu realitzables per l'usuari es limiten a operacions de verificació dels paràmetres bàsics de funcionament de la instal·lació i operacions de manteniment superficial de l'equipament. Les tasques bàsiques de manteniment preventiu realitzables per l'usuari són les següents:



Il·lustració representativa d'un usuari amb una instal·lació fotovoltaïca connectada a la xarxa

- Treballs en els panells fotovoltaïcs.
- Treballs en les bateries.
- Treballs de verificació dels equips de control i inversors.

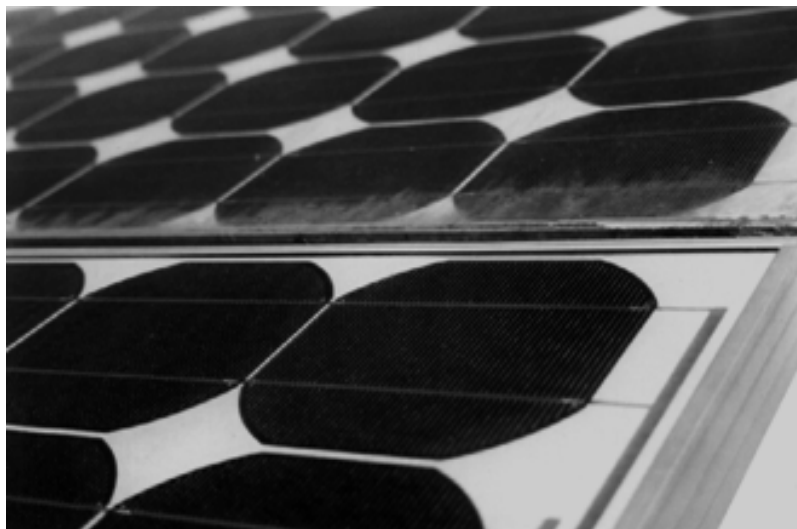
### Treballs en els panells fotovoltaïcs

Per aprofitar al màxim un sistema solar, s'ha de garantir un bon nivell de radiació incident sobre els panells. En aquest sentit, podem establir que el manteniment preventiu en la zona de panells a càrrec de l'usuari consisteix en el següent:

- **Neteja dels panells:** aquesta operació cal efectuar-la especialment després d'un període llarg sense pluges o bé després d'una pluja de fang (vegeu la figura 1.8). Únicament caldrà netejar les cares exposades al sol amb un drap sec. En general, per a la neteja de les plaques no s'han d'utilitzar productes abrasius o fregalls metàl·lics que puguin ratllar o deteriorar el vidre de la placa.

En el cas de nevades s'ha de treure la neu tan aviat com es pugui perquè no impedeixi la captació solar i s'hi glaci. En el cas del glaç enganxat, s'ha de netejar amb una fusta o bé amb aigua tèbia.

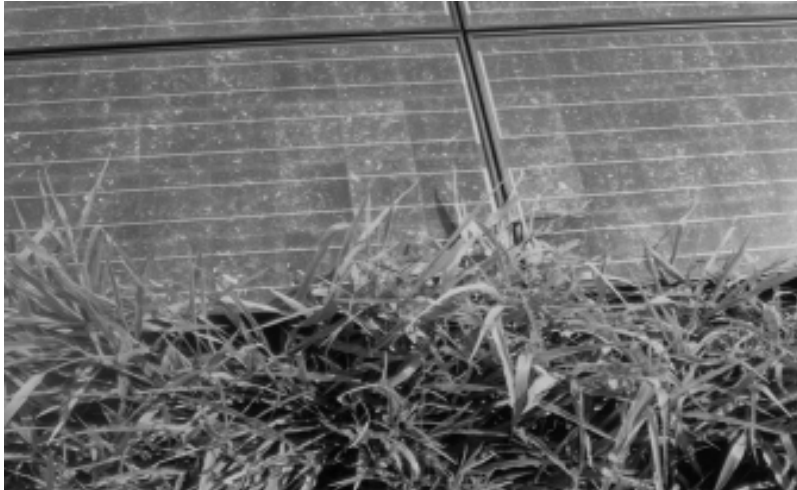
**FIGURA 1.8.** Brutícia que produeix la producció energètica dels panells



- **Eliminació d'ombres esporàdiques:** cal tenir una cura especial en les ubicacions de panells sobre terra o en ubicacions properes a zones arbrades. En aquestes ubicacions cal fer un seguiment intensiu del creixement de la vegetació propera i eliminar els elements que puguin projectar ombres sobre el camp fotovoltaic (figura 1.9).



**FIGURA 1.9.** Panells afectats per la incidència de l'ombra de les herbes que creixen



- **Revisió visual dels elements de subjecció dels panells (estructures i ancoratges):** durant el primer any cal recollir els cargols que subjecten les plaques i l'estructura de suport, i posteriorment només cal fer un repàs de la fermesa i estat dels ancoratges. En el cas d'estructures de ferro pintat cal fer el manteniment de la pintura.

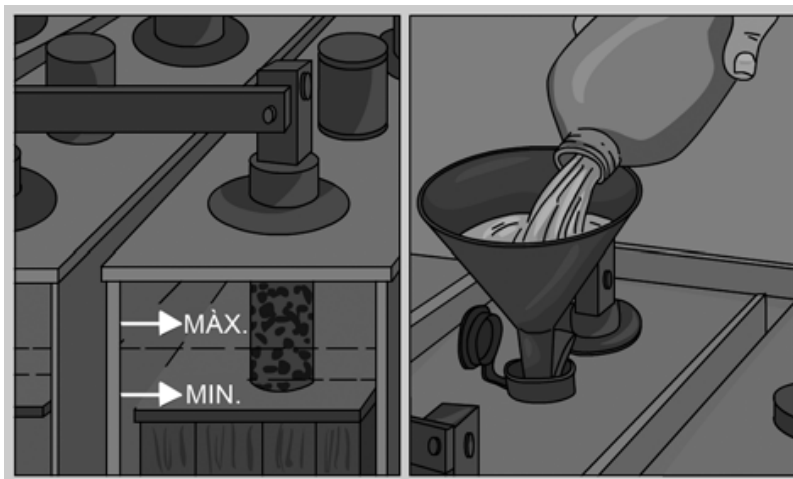
### **Treballs en les bateries (exclusiu d' instal·lacions autònomes)**

La bateria és l'element més sensible d'una instal·lació i cal tenir-ne una cura especial, amb un seguiment continuat. En aquest cas cal esmentar que la manipulació o manteniment de la bateria comporta tot un seguit de perills per a la persona, i en cas que l'usuari participi del manteniment, ha de ser coneixedor dels perills i ha d'adoptar les mesures de seguretat preventives. A més, en la zona d'ubicació de la bateria hi ha d'haver cartells informatius sobre les mesures preventives necessàries per a la manipulació de bateries, i alhora cal disposar dels estris de seguretat necessaris i d'una farmaciola d'emergència.

Com a operacions de manteniment preventiu realitzables per l'usuari en la bateria, esmentarem:

- **Mantenir el nivell de l'electròlit de les bateries:** cal verificar periòdicament (un cop al mes) que el nivell de l'electròlit estigui entre les marques de nivell màxim i mínim. En el cas que el nivell d'electròlit baixés per sota del mínim caldria afegir-hi aigua destil·lada (únicament aigua destil·lada) amb un embut de plàstic (mai metàl·lic), tot procurant no mullar ni els borns ni les plaquetes de connexió (figura 1.10). En cas que sigui necessari reomplir sovint el nivell d'electròlit, això indicaria una avaria del sistema que tindria com a conseqüència un excés de gasificació aen la bateria. Aquesta situació requeriria una intervenció per part del tècnic.

**FIGURA 1.10.** Imatge de marques de nivell d'electròlit i emplenament amb aigua destil·lada



- **Revisió dels borns de la bateria.** Per reduir les pèrdues elèctriques de la bateria, cal mantenir-ne els borns i les connexions nets de restes d'òxids i de sals que acostumen a formar-se en els processos de gasificació. La neteja d'aquestes restes s'ha de fer amb estris sintètics (com ara plàstics, mai metàl·lics) i, un cop finalitzada la neteja de les connexions, cal protegir-les amb vaselina neutra i collar-les fermament.

### Treballs de verificació dels equips de control i inversors

Aquesta serà una tasca de supervisió general del funcionament de la instal·lació. En aquest cas, l'usuari ha de conèixer el funcionament dels equips instal·lats i, per tant, ha de poder entendre la informació bàsica que es presenta en les pantalles d'aquests equips.

Com a paràmetres significatius a verificar esmentem els següents:

- **En instal·lacions autònomes,** cal examinar periòdicament en el regulador o altres aparells de monitoratge la tensió (V) de les bateries (s'ha d'observar de nit) i llegir el corrent de càrrega (A) del camp fotovoltaic (s'ha d'observar de dia). Aquestes dades han de coincidir amb els valors preestablerts per a la instal·lació; en cas contrari pot ser un símptoma d'un possible mal funcionament.
- **En instal·lacions connectades a la xarxa,** caldrà examinar periòdicament en el comptador d'energia o altres aparells de monitoratge l'energia (kWh) de consum en *stand by* i l'energia produïda per la instal·lació fotovoltaica en un període concret (figura 1.11). Com en el cas de les instal·lacions autònomes, aquestes dades han de coincidir amb els valors preestablerts per a la instal·lació; en cas contrari pot ser un símptoma d'un possible mal funcionament.

**FIGURA 1.11.** Panell informatiu d'un convertidor de connexió a la xarxa

### 1.2.2 Operacions de manteniment preventiu qualificat

Complementàriament a les tasques descrites anteriorment, en les instal·lacions fotovoltaïques cal que com a mínim una vegada l'any un tècnic verifiqui i controli la instal·lació fent una anàlisi completa dels elements principals de la instal·lació.

Aquesta actuació es du a terme en hores de radiació solar i consta com a mínim de les tasques següents:

- Treballs en panells fotovoltaïcs.
- Treballs en les bateries (exclusiu d'instal·lacions autònomes).
- Treballs de verificació dels equips de control i inversors.

#### Treballs en els panells fotovoltaïcs

Les tasques més significatives que és necessari fer en les operacions de manteniment preventiu dels panells fotovoltaïcs i els elements annexos són les següents:

- **Revisió del deteriorament de l'estructura de suport.** Per tal de garantir la seguretat de la instal·lació és necessari verificar un per un tots els elements de subjecció de les plaques, i també tots els cargols.
- **Comprovació de l'estat dels panells,** ja que estan exposats a la intempèrie i subjectes a multitud d'incidències (impactes de materials portats pel vent, efectes atmosfèrics...); caldrà verificar possibles danys que afectin el funcionament o la seguretat de la instal·lació.
- **Comprovació de l'estat de les connexions i del cablatge de cada caixa del camp fotovoltaïc.** Per assegurar el funcionament correcte de les sèries de

plaques, caldrà revisar una a una cada sèrie amb la mesura dels paràmetres de tensió i intensitat en buit i en càrrega.

- En el cas que els ramals de plaques disposin de fusible, se n'ha de comprovar l'estat.

### Treballs en les bateries (exclusiu d'instal·lacions autònomes)

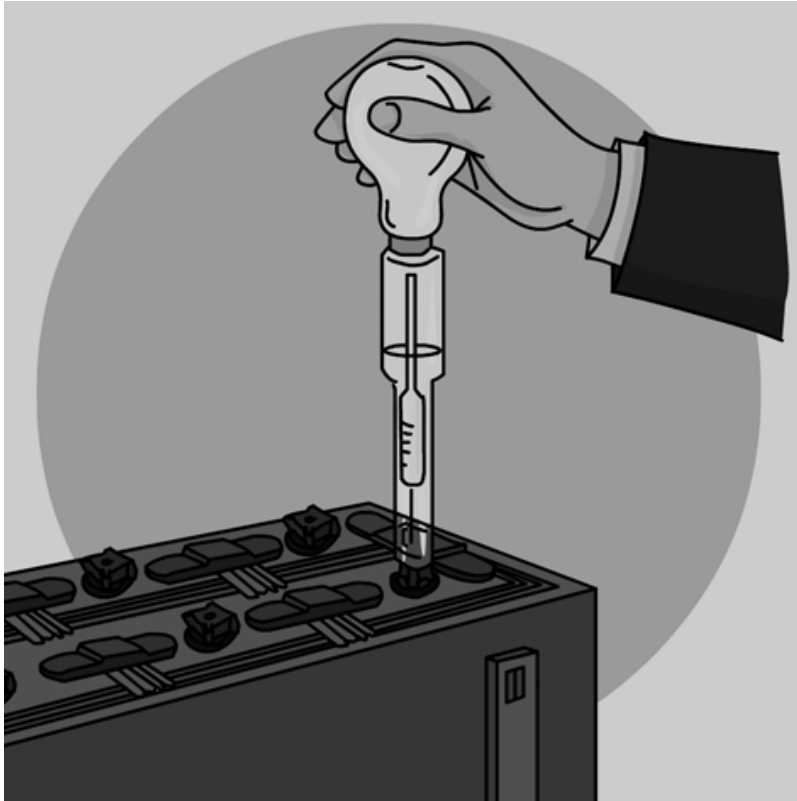
La bateria, en les instal·lacions autònomes, és l'element més sensible de la instal·lació i necessita un seguiment acurat que en garanteixi la durabilitat. En aquest cas com mínim caldrà fer unes operacions de manteniment. Verificarem l'estat de la bateria mesurant:

- **La tensió de la bateria i de cada un dels vasos.** Sempre s'ha de mesurar la tensió:
  - Amb les plaques desconnectades.
  - Amb un consum connectat a la bateria per tal que el valor sigui indicatiu.
- **La densitat de l'electròlit de cada un dels vasos.** Per a això s'utilitza un densímetre format per una *pera* de goma o cautxú que ens permet succionar l'electròlit de la bateria i omplir un tub transparent, on sura un flotador que ens indica el valor de la densitat segons el nivell al qual arriba el líquid en una escala graduada (figura 1.12). Això ens indicarà l'estat en tant per cent de càrrega en funció dels valors que es mostren en la taula 1.4.

En cas que hi hagi diferències significatives entre les densitats o tensions dels vasos d'una mateixa bateria, cal considerar que aquesta presenta alguna anomalia o avaria.

**TAULA 1.4.** Relació entre el valor llegit en l'escala del densímetre i el percentatge de càrrega de la bateria al qual correspon

<b>Densitat</b>	1,24	1,23	1,22	1,21	1,2	1,19	1,18	1,17	1,16	1,15	1,14	1,13	1,12	1,11
<b>% Càrr.</b>	100	94	88	82	75	69	62	56	50	45	39	33	28	24

**FIGURA 1.12.** Mesura de la densitat de l'electròlit en una bateria monobloc

- **Verificació visual de corrosió en les plaques de la bateria i nivell de sediments en la base dels vasos.** Aquests senyals (figura 1.13) són indicatius del procés d'envelliment de la bateria.
- **Cal verificar el cablatge, les connexions, les platines i els terminals de la bateria** perquè habitualment hi circulen grans intensitats i un fals contacte representaria una resistència en sèrie que provocaria caigudes de tensió proporcionals a la intensitat que circuli pel circuit, segons estableix la llei d'Ohm.

**FIGURA 1.13.** Bateria amb els terminals oxidats

La oxidació dels terminals de bateria és una de les incidències més habituals en les instal·lacions amb una regulació de càrrega defectuosa.

## Treballs de verificació dels equips de control i inversors

La verificació dels equips de control i inversor és essencial per garantir un rendiment adequat de la instal·lació, així com per prevenir avaries greus en la instal·lació.

Cal comprovar l'estat dels contactes i cablatge de cada caixa de connexions. Per assegurar-ne el funcionament correcte verificarem de manera individualitzada les connexions elèctriques de cada equip.

Per garantir la fiabilitat de la instal·lació en operació cal verificar el funcionament correcte dels indicadors i alarmes, tant del convertidor com del regulador.

Amb l'objectiu d'assegurar els paràmetres de control de càrrega de la bateria cal comprovar el funcionament del regulador i verificar la fiabilitat dels valors de lectura de la tensió en el regulador, i també els paràmetres de programació d'aquest.

El rendiment del convertidor és un dels paràmetres més rellevants a l'hora d'establir la producció energètica de les instal·lacions connectades a la xarxa. Per això cal verificar-ne el rendiment mesurant els valors de tensió i intensitat d'entrada en corrent continu, i alhora els de sortida en corrent altern. Aquesta mesura caldrà realitzar-la amb diferents rangs de potència. El mateix paràmetre serveix per verificar els convertidors en instal·lacions autònomes.

**FIGURA 1.14.** Mesura de la resistivitat del terra d'una instal·lació fotovoltaïca



Com en tota instal·lació elèctrica, la seguretat és un dels paràmetres més significatius que s'han de garantir. Per això cal comprovar tots els elements de seguretat i proteccions elèctriques: preses de terra, actuació d'interruptors de seguretat, fusibles, etc. (figura 1.14). En les instal·lacions de connexió a la xarxa té un interès especial la verificació del comptador elèctric, ja que en depèn directament la facturació d'electricitat.

Tota operació de manteniment preventiu ha de finalitzar amb un informe tècnic de la visita en el qual s'indiqui l'estat de la instal·lació i les anomalies detectades.





## 2. Prevenció de riscos laborals i protecció ambiental

En el procés de muntatge de les instal·lacions fotovoltaïques, com en qualsevol altra activitat industrial, es requereix el compliment d'unes normes bàsiques per a la prevenció de riscos i seguretat en el treball, que alhora garanteixen la seguretat de l'instal·lador i de l'usuari de la instal·lació, i la protecció del medi ambient.

Per tal d'avaluar les mesures de prevenció necessàries començarem definint els processos bàsics que intervenen en l'execució d'una instal·lació fotovoltaïca. En la taula 2.1 s'enumeren les fases de muntatge d'una instal·lació fotovoltaïca; considerem que, en aquest cas, els panells es muntaran sobre la coberta d'un edifici.

**TAULA 2.1.** Descripció de les tasques més significatives en el muntatge d'una instal·lació fotovoltaïca

Tasca	Descripció de la tasca
<b>Muntatge de les estructures de les plaques</b>	Cal pujar les estructures a la coberta per muntar-les i fixar les estructures muntades tenint cura de mantenir sempre una impermeabilització perfecta de la coberta.
<b>Muntatge de les plaques solars en l'estructura</b>	Cal pujar les plaques solars a la coberta i fixar-les en les seves estructures de suport. Amb això s'acaba la part de mecànica de la instal·lació.
<b>Instal·lació elèctrica de les plaques solars</b>	Cal muntar les canalitzacions i els tubs de protecció del cablatge i posteriorment passar els cables i connectar elèctricament les plaques solars seguint l'esquema del circuit. Les connexions de cada grup de plaques (subcamps) s'han de connectar en caixes estanques sobre la línia elèctrica del camp solar, i aquesta ha de conduir protegida fins al recinte que conté els equips de protecció, control, conversió, acumulació (si és una instal·lació autònoma) i mesura (comptadors).
<b>Muntatge dels equips de control i mesura</b>	Muntatge dels equips, inversor(s), regulador (si n'hi ha) a la paret o en l'armari corresponent. Per a la instal·lació de les canalitzacions i el cablatge, en el cas d'una instal·lació autònoma deixarem, hem de deixar els cables a punt de connectar a les bateries.
<b>Muntatge de bateries</b>	Cal emplaçar les bateries en el seu lloc definitiu, amb el muntatge de les canalitzacions i els tubs de protecció necessaris. Tot seguit caldrà connectar els vasos de les bateries i el quadre amb els elements de protecció.
<b>Muntatge del quadre general</b>	Cal connectar la línia de generació elèctrica al quadre general de protecció (CGP) de la companyia elèctrica, segons els plànols de la instal·lació.

## 2.1 Els equips de protecció personal necessaris

D'acord amb les tasques a desenvolupar en les instal·lacions solars fotovoltaïques i per tal de garantir la protecció personal de l'instal·lador correcta, aquest ha d'anar proveït com a mínim del equip de protecció personal següents:



Operari amb l'equipament bàsic de protecció personal

- Casc de polietilè.
- Ulleres transparents.
- Guants (aïllants, en aquest cas).
- Comprovadors de tensió.
- Roba adequada de feina.
- Cinturó de seguretat o faixa elàstica de cintura.
- Davantal de goma o plàstic, impermeable (només per treballar amb bateries).
- Botes de seguretat (aïllants, en el nostre cas).

## 2.2 Tasques i pautes de treball a considerar en el muntatge de les estructures de suport i panells en la coberta

En el muntatge de les estructures i panells solars en la coberta es desenvoluparan tasques bàsicament de serralleria i muntatge mecànic de les estructures, peli per això cal evitar sobreesforços, especialment en postures incorrectes quan s'aixequen pesos.

Per altra banda, en la manipulació de les eines i materials serà necessari preveure el risc de talls, cops i la projecció de partícules durant les feines de tall.

Com a mesures preventives en el muntatge de les estructures i ancoratge dels panells, és necessari tenir compte:

- Per al procés de tall dels perfils metàl·lics, procurarem preparar l'espai d'ocupació per a aquesta feina tot evitant l'acumulació d'objectes o volums que entorpeixin la tasca, a l'efecte d'evitar caigudes del personal per entrebancs.
- Cal fer servir el casc de protecció per evitar cops durant el maneig i fixació dels perfils.
- És necessària la utilització de guants de cuir per evitar els talls en mans o extremitats provocats per les rebaves dels perfils.

- Els operaris que facin les tasques de tall del material han d'utilitzar ulleres especials de protecció ocular.
- Les màquines de tall utilitzades per a aquesta feina han de disposar de les proteccions elèctriques adequades per evitar contactes elèctrics directes o indirectes.
- La línia d'alimentació provisional de l'obra ha de disposar dels relés de protecció diferencial a fi que, davant d'un mal contacte home-màquina fortuït, es desconnecti de la font d'alimentació elèctrica.
- La manipulació dels perfils metàl·lics l'han de fer entre dos operaris quan el seu volum o pes ho requereixi, per evitar així sobreesforços físics per postures incorrectes, especialment en aixecar pesos.
- Cal evitar que durant les feines de tall dels perfils circuli personal aliè a l'obra per la zona.
- Les peces tallades s'han d'apilar ordenadament en un lloc adequat, fora del trànsit habitual del personal, a fi d'evitar cops accidentals.
- La fixació de les plaques als seus suports, si és possible, l'han de fer entre dos operaris.

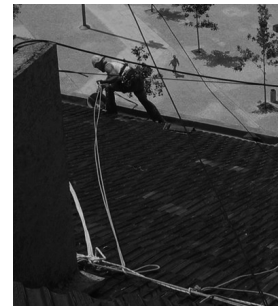
### 2.2.1 Treballs d'altura

Per a la instal·lació d'estructures i panells en una coberta, i encara més en una teulada inclinada, cal fer especial atenció a les mesures de protecció aplicables als treballs d'altura.

Aquí els riscos principals són les possibles caigudes de les persones o objectes, com eines o materials. També hi ha riscos per a tercers en cas de presència de personal aliè a la instal·lació en la zona d'execució dels treballs, com per exemple vianants en les zones urbanes.

Com a mesures preventives en els treballs d'altura és necessari tenir en compte el següent:

- Cal fer l'ascens i descens de la coberta per l'accés habilitat per a això, dotat d'escala metàl·lica amb baranes, fins al nivell del terreny.
- En la coberta s'ha d'anar proveït de cinturó de seguretat fixat a una línia d'ancoratge segura.
- Les tasques en coberta només s'han de fer amb màquines eina portàtils.
- Els cables d'alimentació s'han de fer passar per espais adequats i protegits i, en cas necessari, cal fixar-los a la paret per evitar molèsties o perills per enrotllaments o ensopagades.



Operari amb la cordada de seguretat preceptiva per a treballs de coberta



Operaris treballen en una coberta sense cap tipus d'element de protecció

- El muntatge de les peces en coberta s'ha de fer amb atenció i cura per evitar cops, talls, etc.
- En les zones de la coberta on hi hagi lluernes, s'han de col·locar plataformes de fusta portàtils per evitar que cedixin al pas dels treballadors i evitar caigudes.
- En la part interior de la coberta (patis interiors) s'ha de col·locar una xarxa de protecció anticaigudes.
- Cada placa solar s'ha de fixar al seu suport de manera definitiva i una rere l'altra, amb els elements de subjecció adequats. La fixació provisional de les plaques solars queda prohibida, per evitar que es desprenguin i caiguin i provoquin danys personals i materials.

### **2.2.2 Elevació d'elements en la coberta**

Una altra de les tasques específiques dels treballs en coberta serà l'elevació d'elements a la coberta. Per a aquesta operació es requereix la utilització d'equips d'elevació adequats, i es pot considerar com una operació de risc moderat sempre que els equips d'elevació estiguin en bon estat.

Tot i això, per tal d'evitar possibles riscos en aquesta operació cal preveure les mesures següents:

- No s'han de guiar els elements en suspensió amb les mans; les guies s'han d'enganxar abans d'hissar-los.
- En cap cas no es pot romandre o transitar sota peces suspeses.
- Quan una peça arribi girant al seu punt de col·locació, s'ha d'immobilitzar emprant únicament la guia, mai amb les mans o el cos.
- En teulades més inclinades, una vegada la peça estigui presentada en destinació, s'ha de collar al seu suport sense despenjar-la de l'equip d'elevació. Un cop ja estigui fixada, s'ha de desprendre del balancí.

En el cas de cobertes planes o amb poca inclinació, els elements s'han de col·locar de manera ordenada per afavorir el pas durant el muntatge.

### **2.3 Tasques i pautes de treball a considerar en fer les connexions elèctriques de les plaques solars**

En aquesta fase del muntatge s'ha de treballar amb tensió elèctrica, en corrent continu. Tot i així, no s'ha d'oblidar el lliandar de tensió perillosa i cal extremar

les mesures de seguretat en el cas de treballar amb tensions de corrent continu superiors als 75 V.

El principal risc en aquesta fase de treball és el risc d'electrocució o cremades per manca d'aïllament. Per això cal utilitzar eines específiques per a instal·lacions elèctriques, que han d'estar aïllades, i també serà necessari treballar amb guants de goma o de PVC per connectar els conductors elèctrics terminals als borns corresponents.

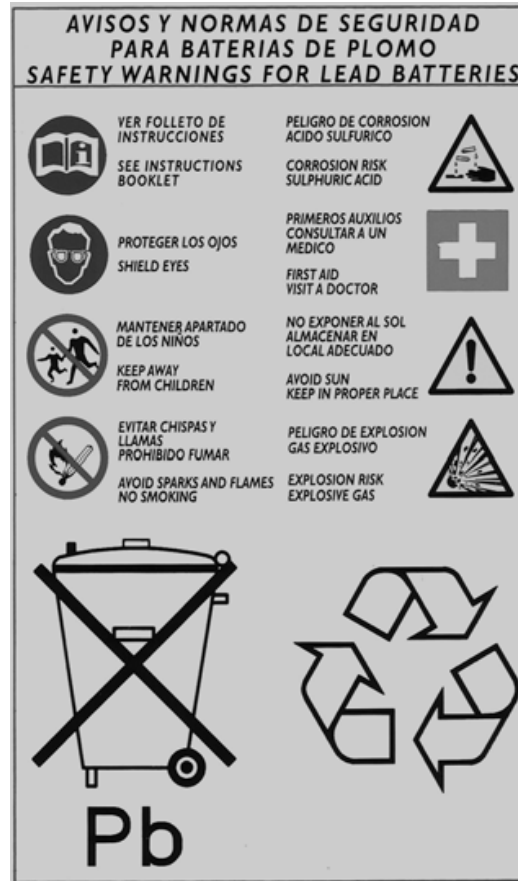
Com a criteri general de seguretat en la connexió de les plaques, quan la tensió de treball sigui superior a 75 V s'han d'aplicar les mesures següents:

- Durant l'execució de les connexions elèctriques de les plaques solars cal evitar que els conductors elèctrics toquin parts metàl·liques o el cos i les mans. Per això s'han d'aïllar els terminals nus de conductor amb material adequat per a aquesta finalitat.
- Hem de tapar amb cartró o làmina plàstica fosca les plaques solars que estiguem connectant en aquell moment, per evitar la generació de tensions perilloses. Lògicament, això és especialment important en les hores centrals dels dies més lluminosos.
- Cada línia de plaques solars es deixa completament connectada fins als borns de la caixa de connexió del camp solar. El dispositiu fusible ha de romandre en estat obert.
- El cablatge de tot el camp solar fins a l'espai tècnic es realitza amb les mateixes prescripcions anteriors, passant pels conductes i canals protectors.
- Des de la caixa de connexions de camp cal estendre el corresponent conductor elèctric directament fins al quadre d'entrada als inversors. Cada línia muntada així estarà totalment protegida d'eventuals contactes elèctrics.

## **2.4 Tasques i pautes de treball a considerar en la manipulació de la bateria**

La bateria és l'element més perillós de les instal·lacions solars fotovoltaïques autònomes, tant durant el seu muntatge com en la utilització posterior. Per això en aquest apartat hem afegit els requisits de seguretat mínims que ha de complir una sala de bateries. A la figura 2.1 hi ha un exemple de cartell d'avís de perills a una sala de bateries.

**FIGURA 2.1.** Cartell d'identificació dels perills presents en les sales de bateries



Destacarem per començar que la bateria acostuma a ser un element pesat i de manipulació i transport difícils. És per això que s'ha de tenir especial cura amb les posicions incorrectes durant el transport i col·locació en el seu emplaçament, pel que fa als sobreesforços amb postures incorrectes.

Per la naturalesa de la bateria, és fàcil que es produeixin contactes elèctrics directes i indirectes, o cremades per vessament d'àcid o fins i tot explosions. També hi ha risc d'intoxicació. Per això, en el muntatge de les bateries cal el següent:

- Sempre hem de ventilar molt bé la sala de bateries abans de fer-hi qualsevol dels treballs indicats més avall.
- No hem de fumar mai ni encendre llumins o encenedors a la sala de bateries.
- L'ús de llanternes o qualsevol instrument elèctric queda condicionat a la ventilació prèvia del local on estiguin allotjades les bateries.
- Totes les eines que utilitzem han d'estar degudament aïllades per evitar curtcircuits o contactes indirectes accidentals.
- En tota maniobra de connexió/desconnexió ens assegurem de l'absència de corrent en el circuit.
- Quan calgui fer el trasllat d'acumuladors hem d'utilitzar carretons adequats i només els aixequem a pes per traspasar-los als vehicles o per ubicar-los al seu emplaçament definitiu.

- Quan desembalem les bateries (normalment de contenidor plàstic) hem de tenir cura de no recolzar-les sobre elements punxeguts (com claus de l'embalatge).
- No hem d'agafar mai els elements (vasos) de les bateries pels borns d'interconnexió. Se'n podria desprendre la tapa i obrir-se, especialment quan es tracti d'elements usats.
- Els taps dels vasos només els retirem per mesurar la densitat de l'electròlit, per afegir-hi aigua destil·lada, o per fer una inspecció visual de l'interior de la cel·la (en aquest cas és imprescindible l'ús de protecció ocular).
- Després de la realització de qualsevol treball amb la bateria ens hem de rentar les mans acuradament.

### 2.4.1 Normes de seguretat complementàries per a la sala de bateries

La sala on s'ubiquin les bateries ha de reunir unes condicions de seguretat especials per evitar els perills inherents a aquests dispositius. Per començar, haurà d'estar ben ventilada i lliure d'agents químics que puguin perjudicar el seu contingut. No ha d'haver-hi cap bateria en locals amb mala ventilació, i sempre lluny de fonts de calor. Així evitarem l'acumulació de gasos inflamables o nocius.

Dins del recinte de les bateries no s'han d'emmagatzemar materials combustibles, sigui quina sigui la seva naturalesa, ni maquinària que pugui generar algun tipus de deflagració. Així doncs, qualsevol generador auxiliar de gasolina o gasoil s'ha d'allotjar en un compartiment totalment independent.

El terra dels passadissos de servei i les seves parets fins a 1,80 m d'altura han d'estar elèctricament aïllats en relació amb la tensió del conjunt de bateries.

Cada vas de la bateria ha d'estar col·locat de manera que sigui accessible per a la presa de lectures de densitat i tensió i per afegir-hi l'aigua destil·lada.

Recordem que sempre que manipulem àcids i electròlits hem de portar ulleres especials de protecció ocular.

Les peces nues amb tensió s'han d'instal·lar de manera que sigui impossible per al treballador entrar-hi en contacte inadvertidament de manera simultània.

Els interruptors, seccionadors, fusibles, etc. s'han d'instal·lar fora del local on es trobin les bateries, llevat que siguin del tipus antideflagrant.

La sala ha de disposar d'una cubeta o desguàs de recollida de vessaments d'electròlit.

Prop de les bateries o del lloc on es manipulin àcids i electròlits s'han de disposar rentauills i dutxes d'emergència per al personal, en cas de projecció o esquitxada de l'electròlit. Al mateix temps, la sala ha de disposar d'una farmaciola equipada amb els elements necessaris per fer una primera cura d'urgència.

També és aconsellable tenir a mà i en lloc visible un extintor de pols seca o gas inert apte per a focs elèctrics (tipus E).

## 2.5 Muntatge de reguladors, inversors i connexions elèctriques

En el muntatge dels equips de regulació i inversors s'ha de tenir una cura especial amb els riscos de naturalesa elèctrica, electrocució o cremades

causades per la utilització de eines inadequades o per un muntatge incorrecte dels equips. Tot seguit esmentem les incidències més destacables.

Són riscos de naturalesa elèctrica l'electrocució o cremades causades pel següent:

- Mala protecció dels quadres elèctrics.
- Maniobres incorrectes en les línies.
- Ús d'eines sense aïllament.
- Muntatge incorrecte dels mecanismes de protecció.
- Connexions directes sense clavilles.

També es podrien produir incendis per una instal·lació incorrecta de la xarxa elèctrica; en aquest cas cal que els reguladors i els inversors estiguin desconnectats elèctricament en el seu lloc d'emplaçament de qualsevol font d'alimentació.

En la connexió elèctrica d'aquests elements, hem de començar pel costat del corrent continu mantenint la protecció oberta corresponent, i així evitem el salt d'espurnes elèctriques. De manera similar hem de fer la connexió dels equips pel costat del corrent altern, sempre amb les proteccions corresponents obertes.

Suplementàriament hem de procurar tenir el terra ben sec a la zona dels treballs, i evitar l'acumulació o l'abocament intencionat d'aigua, que faria més conductor el terreny.

### 2.5.1 Muntatge del quadre elèctric general de proteccions i d'interconnexió

El muntatge del quadre general de proteccions és específic de les instal·lacions de connexió a la xarxa elèctrica. En aquest cas, tot i que les instal·lacions presenten totes les mesures de protecció elèctrica preceptives, cal recordar que en determinats moments es treballa directament sobre la xarxa elèctrica i aquesta no presenta cap mesura de protecció contra contactes directes o indirectes.



## 2.6 Normes i mesures preventives típiques

Complementàriament a les mesures de seguretat preceptives i específiques en els treballs de les instal·lacions solars fotovoltaïques, cal preveure mesures preventives afins a les tasques en les instal·lacions fotovoltaïques.

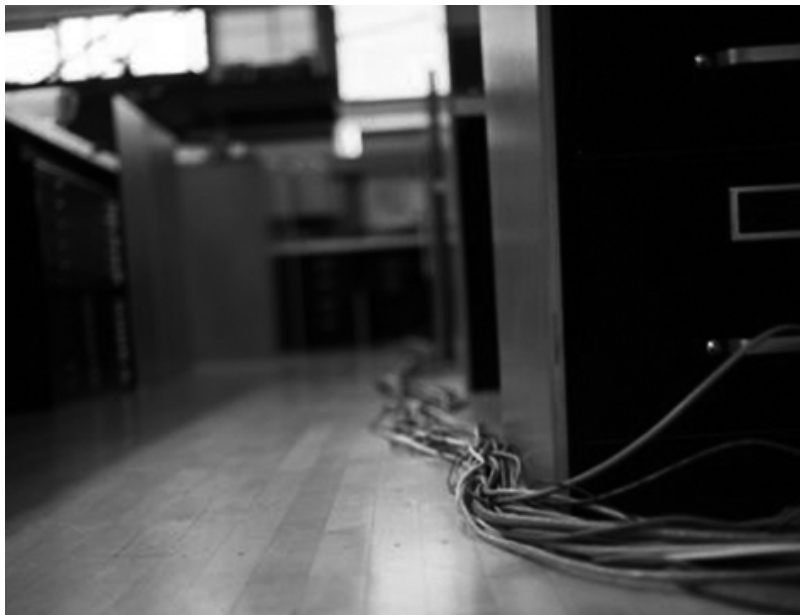
### 2.6.1 Treballs en l'escomesa de companyia

En qualsevol treball sobre l'escomesa de companyia que presenti algun perill de manera implícita, caldrà notificar a la companyia subministradora propietària de la línia la nostra intenció d'iniciar les feines i, si fos necessari i possible, hem de sol·licitar el tall de fluid i posada a terra dels cables (figura 2.2).

En aquesta situació no començarem cap feina en les proximitats de la línia fins que no hàgim comprovat que el tall de fluid i la posada a terra són efectius.

Pel contrari, en el cas de realitzar treballs propers a una línia en servei de tensió mitjana o alta, la distància de seguretat fins a conductors de línies elèctriques en servei ha de ser la que marquin les normes de tensió alta, mitjana i baixa, i en qualsevol cas ha de ser superior a cinc metres.

**FIGURA 2.2.** Instal·lació elèctrica provisional amb l'escomesa elèctrica amb una protecció deficient



## 2.6.2 Utilització de màquines eina

Pel que fa a la utilització de màquines eina caldrà tenir en compte, com a mínim, que siguin de doble aïllament si són elèctriques i amb els motors protegits per carcasses adequades. En ambients humits la tensió d'alimentació ha de ser de 24 V.

Les transmissions d'engranatges han d'estar protegides per carcasses de malla metàl·lica que permetin veure'n el funcionament. Igualment han d'estar protegits altres elements de transmissió motriu com corretges, cadenes, etc. Les eines de tall han de tenir el disc protegit amb una carcassa.

No hem de fer mai reparacions o manipulacions amb cap màquina en funcionament; el muntatge i ajust de corretges cal fer-lo amb eines adequades. Les màquines o eines avariades les hem de senyalitzar amb un rètol com per exemple "No connectar, avariada".

## 2.6.3 Normes i mesures de protecció general

Les indicacions següents són generals i es recomana complir-les, ja que des que comença una obra fins que s'acaba l'electricitat i els seus riscos hi són sempre presents:

- Sempre hem de portar correctament els equips de protecció personal i hem de comprovar que són ben visibles i als es troben en els llocs necessaris els senyals normalitzats informatius dels diferents perills existents.
- Hem de fer revisar periòdicament el funcionament dels extintors.
- Els protectors elèctrics en servei han d'estar sempre tapats i les connexions de regletes s'han de mantenir sempre dins les seves carcasses protectores.
- S'han de connectar a terra les carcasses dels motors que no disposin de doble aïllament. Mai no hem de fer les connexions a terra a través de conduccions d'aigua, armadures, etc. Igualment hem de revisar que el cable de terra dels endolls de les mànegues allargadores es connecti correctament. Les connexions directes cable-clavilla no són permeses.

Tot i que és ben elemental, recordeu que no heu d'estirar mai els cables per desconnectar-los de la base de l'endoll, sinó que cal retirar l'endoll (mascle) de la base.

# Pràctiques d'instal·lacions solars fotovoltaiques

Jesús Martín Lledó

Instal·lacions solars fotovoltaiques





# Índex

<b>Introducció</b>	<b>5</b>
<b>Resultats d'aprenentatge</b>	<b>7</b>
<b>1 Activitats amb panells solars</b>	<b>11</b>
1.1 Caracterització elèctrica del panell fotovoltaic . . . . .	11
1.2 Variació de la resposta intensitat i tensió d'un panell fotovoltaic . . . . .	11
1.3 Connexió de panells solars fotovoltaics . . . . .	12
1.4 Muntatge d'un mesurador de radiació solar a partir d'una cel·lula calibrada . . . . .	12
<b>2 Pràctiques d'instal·lacions solars fotovoltaïques</b>	<b>13</b>
2.1 Configuració de la instal·lació solar fotovoltaïca . . . . .	13
2.2 Identificació de la instal·lació solar fotovoltaïca . . . . .	13
2.3 Muntatge dels panells solars fotovoltaïcs . . . . .	14
2.4 Posada en marxa i comprovació de la instal·lació . . . . .	14
2.5 Verificació del funcionament de la instal·lació . . . . .	15
2.6 Resolució d'avaries i manteniment de la instal·lació . . . . .	15



## Introducció

El tècnic en Instal·lacions solars fotovoltaïques ha d'assolir unes capacitats claus per al desenvolupament de la seva tasca al món laboral. Dins d'aquestes capacitats estarien les pròpies que afecten al muntatge i la connexió d'elements d'una instal·lació solar fotovoltaïca. Això implica la necessitat de tenir-hi contacte real, manipulant elements i dispositius que formen part d'aquest tipus d'instal·lacions, per obtenir un mínim d'experiència que es considera imprescindible.

Els coneixements teòrics d'equips, dispositius, materials i normes relacionades amb les instal·lacions solars fotovoltaïques són bàsics per a la formació de qualsevol tècnic elèctric. Però la aplicació d'aquests coneixements d'una manera correcta amb un nivell de qualitat òptim, i amb respecte a les normes de utilització, interpretació i seguretat, són, si més no, tan importants com l'adquisició d'aquests coneixements. Aquesta unitat es justifica, doncs, perquè s'hi proposa que l'estudiant adquireixi les capacitats i habilitats professionals que ha vist de manera teòrica en els continguts explicats anteriorment.

Aquesta unitat, "Pràctiques d'instal·lacions solars fotovoltaïques", consta de dues activitats.

La primera activitat la fa l'alumnat a la seva llar i permet la realització d'una sèrie de pràctiques amb uns materials específics.

La segona activitat té lloc al llarg d'una jornada presencial de deu hores per dur a terme tasques de muntatge i manteniment d'una instal·lació solar fotovoltaïca, amb el muntatge dels diferents dispositius que la integren, una interpretació correcta d'esquemes i la connexió final d'aquesta instal·lació. Tot això tenint com a referència els conceptes i activitats desenvolupades anteriorment en aquest mòdul.

Al final d'aquesta unitat, l'alumne haurà d'haver assolit les competències professionals bàsiques en instal·lacions solars fotovoltaïques, que li possibilitaran la incorporació al món laboral dins d'aquest sector.

La realització de les dues activitats està inclosa al pla de treball del mòdul, figuren fora del procés d'avaluació continuada i són de caràcter obligatori per a l'alumnat.





## Resultats d'aprenentatge

En acabar aquesta unitat, l'alumne:

1. Munta els panells solars fotovoltaïcs acoblant els seus elements i verificant, en el seu cas, el seu funcionament.
  - Descriu la seqüència de muntatge.
  - Realitza les mesures per assegurar l'orientació.
  - Selecciona les eines i equips per al muntatge.
  - Col·loca els suports i ancoratges.
  - Fixa els panells sobre els suports.
  - Interconnecta els panells.
  - Realitza les proves de funcionalitat i els ajusts necessaris.
  - Compleix les normes de prevenció de riscos laborals.
  - Respecta els criteris de qualitat.
  - Organitza les diferents fases del treball en les operacions de muntatge de panells solars fotovoltaïcs.
  - Manté l'àrea de treball, les eines, utensilis i equips amb el grau apropiat d'ordre, conservació i netedat.
  - Col·labora amb l'equip de treball amb actitud responsable, respectuosa i tolerant.
2. Munta instal·lacions solars fotovoltaïques interpretant documentació tècnica i verificant el seu funcionament.
  - Interpreta els esquemes de la instal·lació.
  - Selecciona les eines, components, equips i mitjans de seguretat per al muntatge.
  - Situa els acumuladors en la ubicació adequada.
  - Col·loca el regulador i el convertidor segons les instruccions del fabricant.
  - Interconnecta els equips i els panells.
  - Realitza les connexions de la instal·lació de posada a terra.
  - Realitza les proves de funcionalitat, els ajusts necessaris i la posada en servei.
  - Mesura els paràmetres de funcionament.
  - Compleix les normes de prevenció de riscos laborals (incloses les de seguretat enfront el risc elèctric) i de protecció ambiental.
  - Respecta els criteris de qualitat.

- Organitza les diferents fases del treball en les operacions de muntatge de panells solars fotovoltaïcs.
  - Manté l'àrea de treball, les eines, utensilis i equips amb el grau apropiat d'ordre, conservació i netedat.
3. Reconeix les condicions de connexió a la xarxa de les instal·lacions solars fotovoltaïques atenent a la normativa.
- Elabora un informe de sol·licitud de connexió a la xarxa
  - Descriu les pertorbacions que es poden provocar a la xarxa i a la instal·lació.
  - Identifica les proteccions específiques.
  - Descriu les proves de funcionament del convertidor.
  - Reconeix la composició del conjunt de mesura de consum.
  - Aplica la normativa vigent.
  - Mostra autonomia i resol satisfactòriament els problemes que se li presenten.
4. Aplica les normes de prevenció de riscos laborals i de protecció ambiental en el muntatge i manteniment d'instal·lacions solars fotovoltaïques, identificant els riscos associats, les mesures i equips per prevenir-los.
- Identifica els riscos laborals en les tasques de muntatge i manteniment d'instal·lacions solars fotovoltaïques (manipulació de materials, equips, eines, utensilis, màquines, bateries, realització de proves i verificacions d'instal·lacions, reparació i substitució d'elements, treballs en altura, entre d'altres).
  - Determina les mesures de seguretat i de protecció personal que s'han d'adoptar en cada cas.
  - Identifica les possibles fonts de contaminació de l'entorn ambiental.
  - Valora l'ordre i la netedat d'instal·lacions i equips com a primer factor de prevenció de riscos.
5. Manté instal·lacions solars fotovoltaïques aplicant tècniques de prevenció i detecció i relacionant la disfunció amb la causa que la produeix.
- Mesura els paràmetres de funcionament.
  - Neteja els panells.
  - Revisa l'estat de l'estructura de suport.
  - Comprova l'estat de les bateries.
  - Formula hipòtesis de les possibles causes de l'avaría i la seva repercussió en la instal·lació.
  - Localitza el subsistema, equip o element responsable de la disfunció o avaría.
  - Substitueix o repara els components causants de l'avaría.
  - Verifica la compatibilitat de l'element instal·lat.

- Restableix les condicions de funcionament de l'equip o de la instal·lació.
- Compleix les normes de prevenció de riscos laborals (incloses les de seguretat enfront el risc elèctric) i de protecció ambiental.
- Respecta els criteris de qualitat.
- Mostra autonomia i resol satisfactòriament els problemes que se li presenten.



## 1. Activitats amb panells solars

En fase de la unitat es plantegen una sèrie d'activitats que tenen com objectiu, la identificació de materials i el coneixement bàsic a base de procediments pràctics del comportament d'un panell solar fotovoltaic.

En els apartats següents d'aquesta primera fase de les pràctiques es fa una breu explicació de les diferents activitats que realitzarà l'alumne a al seva casa i que li ha de permetre adquirir les competències professionals associades incloses en aquesta primera fase de les pràctiques.

### 1.1 Caracterització elèctrica del panell fotovoltaic

En aquesta fase de l'activitat es realitzarà l'assaig per la determinació dels paràmetres bàsics de la cèl·lula solar fotovoltaica com són la **tensió en circuit obert** ( $V_{CO}$ ) i la **intensitat de curtcircuit** ( $I_{CC}$ ).

Posteriorment es realitzarà un assaig amb diferents valors de càrrega òhmica per determinar la resposta de la cèl·lula solar fotovoltaica de tensió i intensitat subministrada per obtenir així les gràfiques de resposta per les diferents valors de càrrega connectades.

### 1.2 Variació de la resposta intensitat i tensió d'un panell fotovoltaic

En aquesta altre activitat es realitzarà un assaig per a la determinació de la **influència de la temperatura** sobre el rendiment de la cèl·lula solar fotovoltaica, comprovant els valors de la tensió i intensitat subministrada, per diferents valors de càrregues òhmiques connectades.

Posteriorment es complementarà l'estudi amb un altre assaig per a la determinació de la influència de la **variació de la il·luminació incident** sobre el rendiment de la cèl·lula solar fotovoltaica, comprovant també els valors de la tensió i intensitat subministrada, i igualment per a diferents valors de càrregues òhmiques connectades.

### 1.3 Connexió de panells solars fotovoltaïcs

En aquesta nova activitat es realitzaran tres assajos per a la determinació de les característiques de sortida que s'obtenen d'un camp solar fotovoltaïcs a partir de diferents tipus de connexionat interns dels seus panells solars fotovoltaïcs comprovant els valors de la tensió i intensitat subministrada, per diferents valors de càrregues òhmiques connectades.

Els tres tipus d'assaig que es realitzaran seran amb connexions en **sèrie**, **paral·lel**, i **sèrie-paral·lel** o mixt dels seus panells solars fotovoltaïcs.

### 1.4 Muntatge d'un mesurador de radiació solar a partir d'una cel·lula calibrada

En aquesta darrera activitat es realitzarà un assaig per a la determinació de la **mesura de la radiació solar** a partir d'una cel·lula solar fotovoltaïca calibrada.

Aquest senzill assaig ens permetrà avaluar el rendiment instantani d'una instal·lació solar fotovoltaïca.

## 2. Pràctiques d'instal·lacions solars fotovoltaïques

El tècnic en instal·lacions solars fotovoltaïques té com a missió la posada en marxa, manteniment i reparació d'aquests tipus d'instal·lacions. En aquesta activitat de la unitat es plantegen una sèrie d'activitats que tenen com objectiu, posar en pràctica els coneixements adquirits a les unitats anteriors, de cara a assolir les habilitats pròpies d'aquests tipus de muntatges.

En els apartats següents es fa una breu explicació de les diferents activitats pràctiques que s'han de dur a terme com a complement a la formació adquirida fins ara.

### 2.1 Configuració de la instal·lació solar fotovoltaïca

En aquesta fase de les pràctiques es definirà la configuració i dimensionament bàsic d'una instal·lació solar fotovoltaïca, en base als requeriments necessaris de demanda d'energia.

Serà en aquest moment quan s'analitzaran les diferents tipus d'instal·lacions a partir de configuracions estàndards i els requeriments, és a dir, de funcionament autònom o amb connexió a la xarxa de corrent monofàsic.

Tot aquest procés és realitzarà a partir de la consulta de documentació tècnica entre els diferents fabricants.

### 2.2 Identificació de la instal·lació solar fotovoltaïca

Una vegada definit el tipus d'instal·lació, s'identificaran els components que intervindran en aquesta instal·lació. Depenent del tipus d'instal·lació seleccionada, si es tracta d'una instal·lació autònoma o connectada a la xarxa elèctrica exterior se seleccionaran els components adequats en funció de les característiques i necessitats d'energia adequades.

Aquests components seran bàsicament:

- Panells fotovoltaïcs
- Reguladors de carrega
- Banc de bateries

- Convertidor o inversor d'ona sinusoidal
- Càrregues o lluminàries externes
- Cables de diferents seccions

Altrament, per efectuar les operacions de mecanització i connexió, es necessitaran una sèrie d'eines, i per la realització de mesures, els instruments bàsics que tot tècnic ha de posseir i saber utilitzar.

Aquestes serien les eines i instruments necessaris per la realització de les tasques d'instal·lació, manteniment i reparació d'aquest tipus d'instal·lacions:

- Polímetre digital
- Oscil·loscopi digital
- Inclímetre
- Brúixola
- Solarímetre o cèl·lula solar calibrada maniobra
- Termòmetre
- Joc de tornavisos
- Jocs de claus allen i fixes
- Soldador
- Escala telescòpica

### **2.3 Muntatge dels panells solars fotovoltaïcs**

En aquesta fase del projecte el tècnic estarà en disposició de començar el procés de connexió de components.

Tot aquest procés es realitzarà a partir de la interpretació de la documentació tècnica generada i seguint en tot moment les normes de prevenció de riscos laborals i de protecció del medi ambient.

### **2.4 Posada en marxa i comprovació de la instal·lació**

La posada en marxa de la instal·lació requereix una atenció especial per part del tècnic, que prèviament ha de tenir molt clars aspectes com:

- La tensió necessària pel circuit d'alimentació
- La tensió necessària pel circuit de continua



- La interpretació correcta del funcionament real de la instal·lació
- Les actuacions correctes sobre els dispositius d'accionament per un bon funcionament

El procediment que s'ha de seguir previ a la posada en marxa de la instal·lació seria:

- Comprovació del connexionat físic de tots els components
- Comprovació del connexionat dels cables d'alimentació i dels circuits de sortida sense presència de tensió elèctrica
- Connexió de les càrregues al borns de connexió de sortida de la instal·lació sense presència de tensió elèctrica

## 2.5 Verificació del funcionament de la instal·lació

Una vegada fetes aquestes operacions prèvies, es passaria a la connexió de la instal·lació per confirmar-ne el funcionament inicial amb tensió:

- Comprovar la tensió de sortida dels panells sense càrrega
- Connexió de les càrregues als panells i comprovació de la potencia dissipada per les càrregues

En tot moment s'han de tenir presents les normes bàsiques de seguretat i protecció respecte a possibles riscos elèctrics.

## 2.6 Resolució d'averies i manteniment de la instal·lació

Amb la posada en marxa de la instal·lació no acaben les funcions del tècnic d'instal·lacions solars fotovoltaïques. La tasca del tècnic es complementa amb el manteniment i la localització i reparació de possibles averies.

La localització i reparació d'averies esta associada amb la destresa i experiència del tècnic. En aquest apartat s'intenta que l'alumne tingui la possibilitat de enfrontar-se a una possible avaria complementat així la seva formació.

S'haurien de realitzar bàsicament les següents actuacions de localització i reparació d'averies sobre:

- Circuit d'alimentació dels panells
- Càrregues connectades directes als panells en CC

- Càrregues connectades en CA a través de l'ondulador
- Dispositius de seguretat de la instal·lació

En tots els casos caldrà sempre acompanyar dels informes tècnics i descriure les actuacions realitzades.