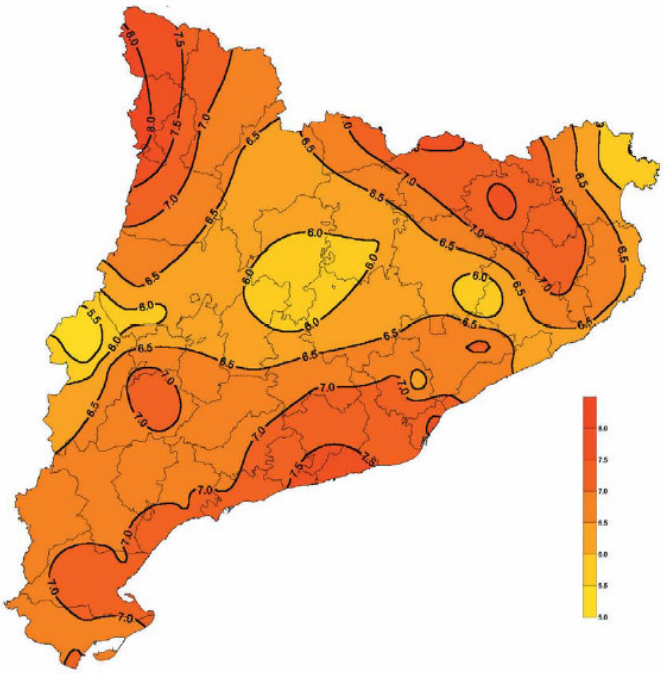
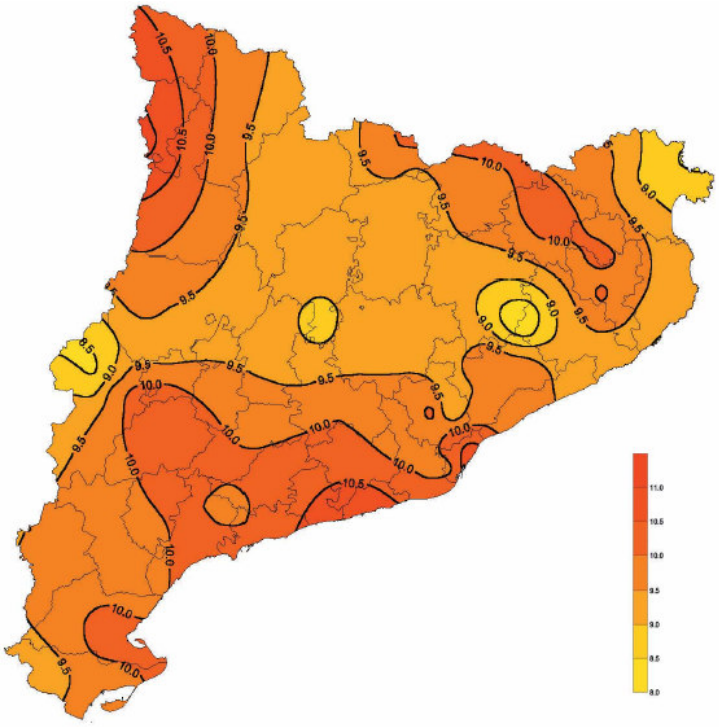
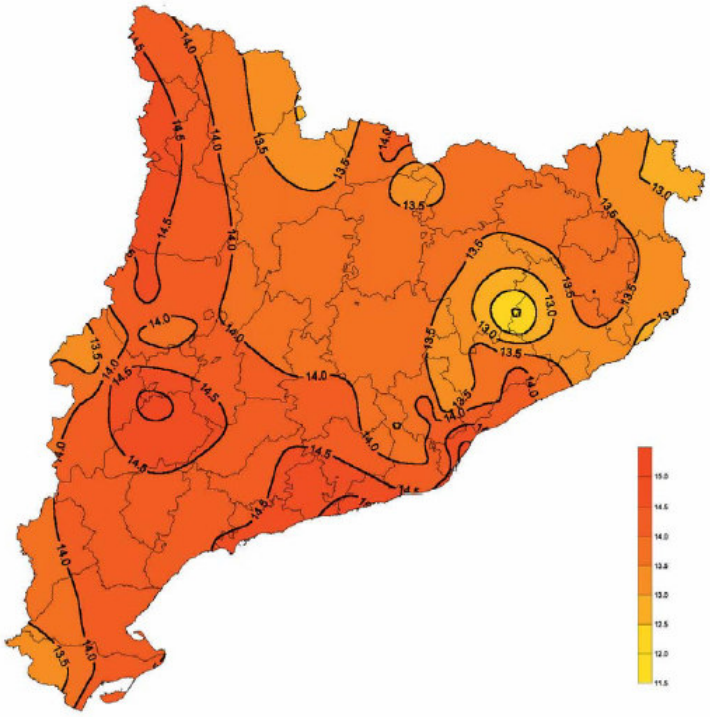
ANNEX B: Mapes d'irradiació solar de Catalunya



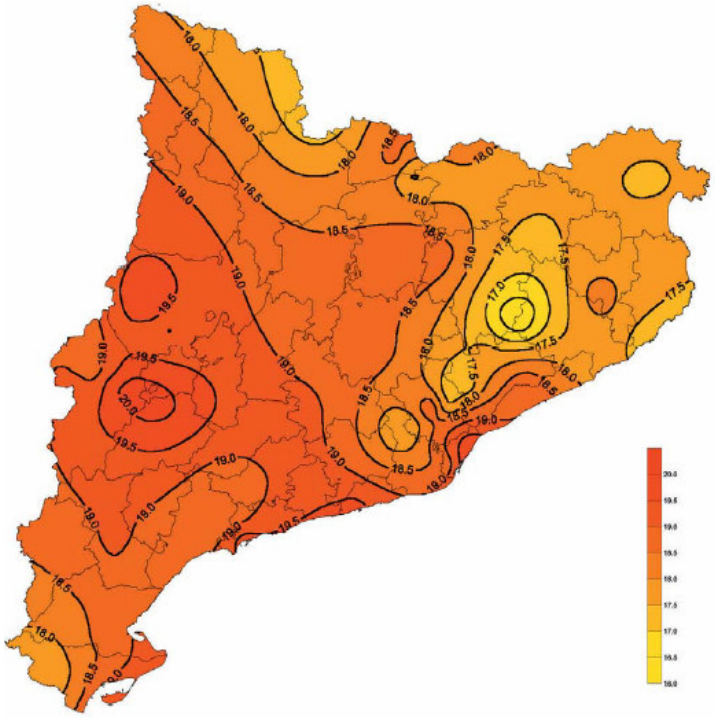
Mapa d'irradiació global diària, mitjana del mes de Gener (MJ/m^2)



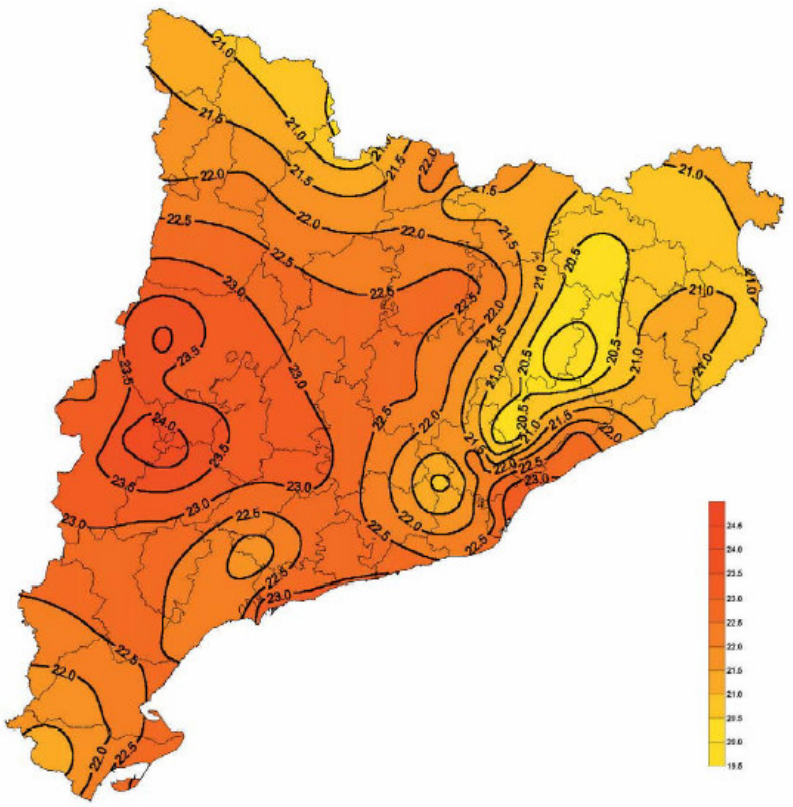
Mapa d'irradiació global diària, mitjana del mes de Febrer (MJ/m^2)



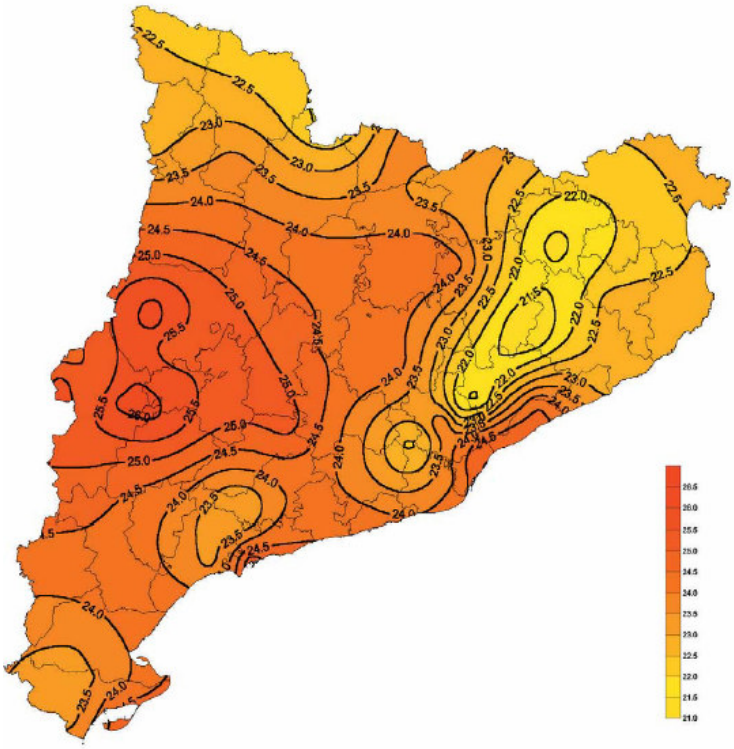
Mapa d'irradiació global diària, mitjana del mes de Març (MJ/m^2)



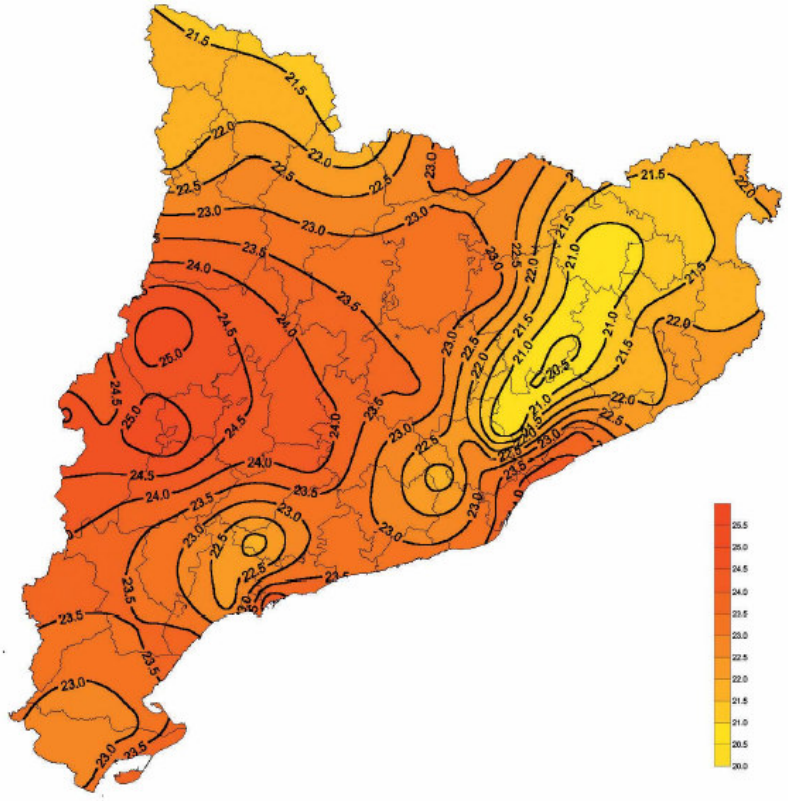
Mapa d'irradiació global diària, mitjana del mes de Abril (MJ/m^2)



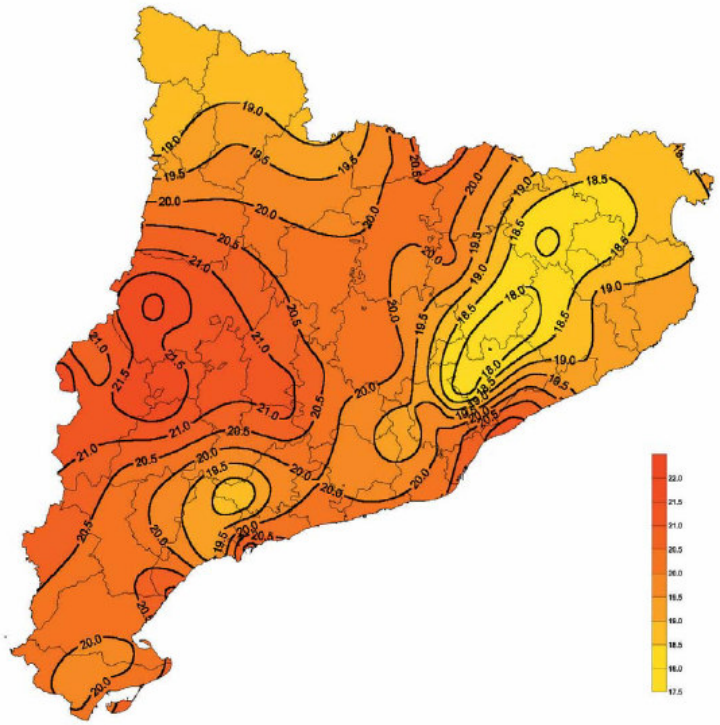
Mapa d'irradiació global diària, mitjana del mes de Maig (MJ/m^2)



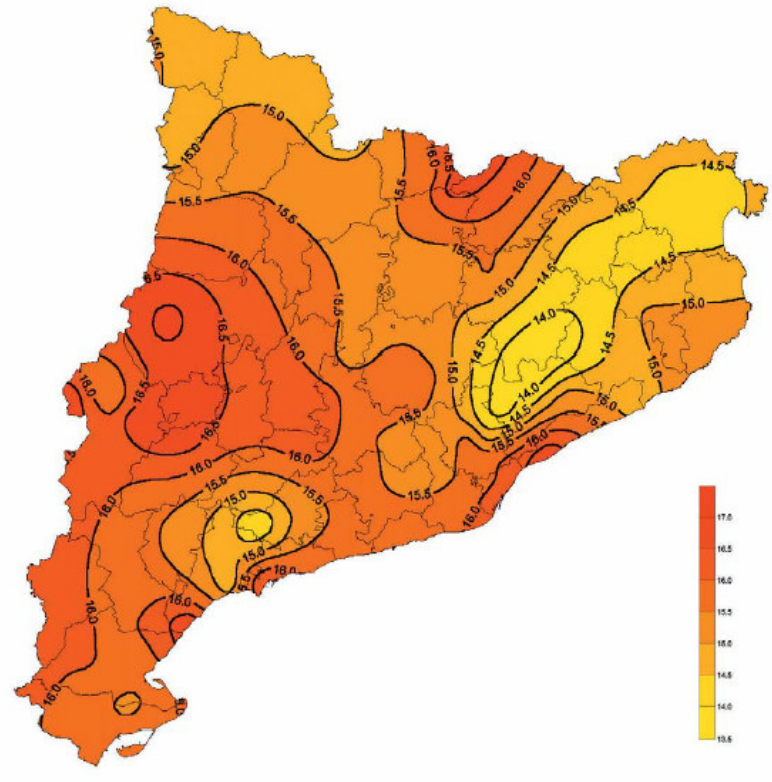
Mapa d'irradiació global diària, mitjana del mes de Juny (MJ/m^2)



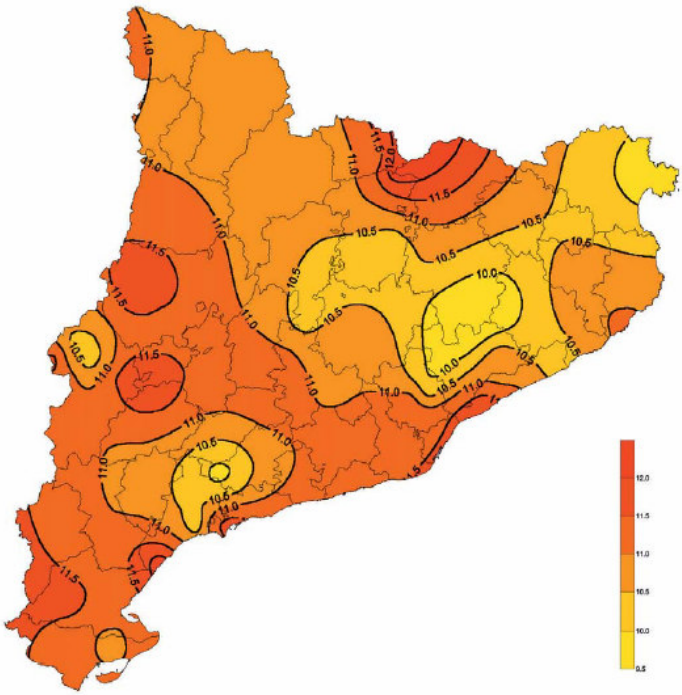
Mapa d'irradiació global diària, mitjana del mes de Juliol (MJ/m^2)



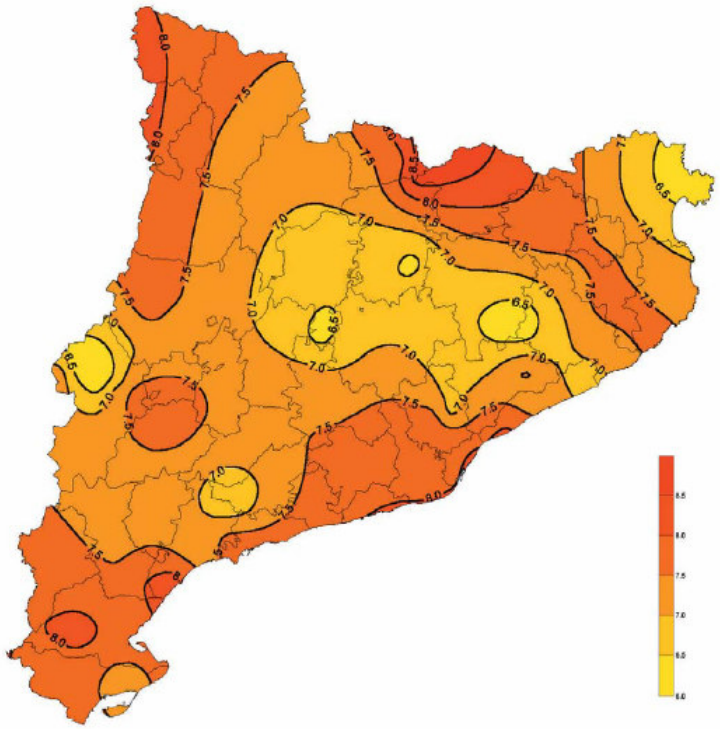
Mapa d'irradiació global diària, mitjana del mes de Agost (MJ/m^2)



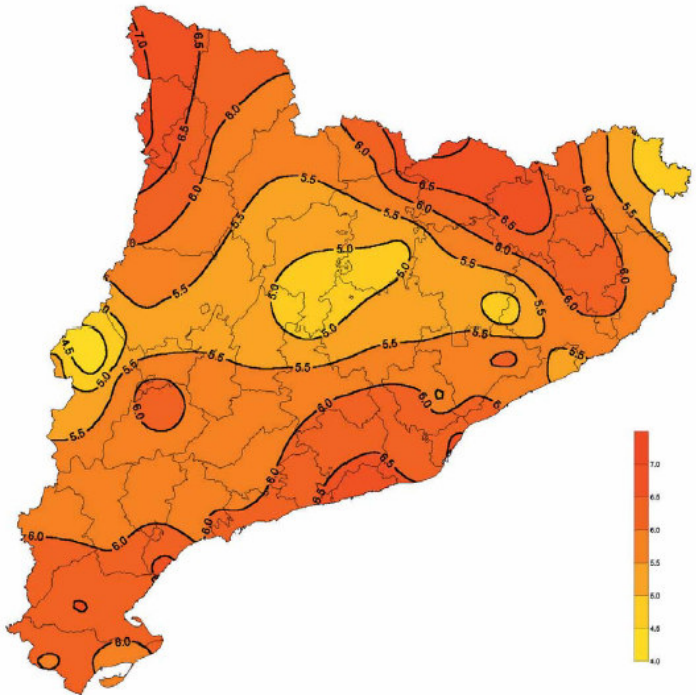
Mapa d'irradiació global diària, mitjana del mes de Setembre (MJ/m^2)



Mapa d'irradiació global diària, mitjana del mes de Octubre (MJ/m^2)



Mapa d'irradiació global diària, mitjana del mes de Novembre (MJ/m^2)



Mapa d'irradiació global diària, mitjana del mes de Desembre (MJ/m^2)

ANNEX C: L'energia solar fotovoltaica

L'energia solar fotovoltaica

L'energia fotònica

L'energia transportada per un fotó és proporcional a la freqüència de la radiació, la qual està compresa entre els 300 nanòmetres i els 4μm. Donat el valor de la constant solar, 1000W/m^2, la possibilitat de conversió elèctrica depèn de l'eficàcia d'absorció dels materials utilitzats i de l'interval de freqüència en el qual es produeix el salt dels electrons. En general les cèl·lules fotovoltaiques que es comercialitzen tenen un rendiment d'un 18% sobre l'energia de 1 kW/m^2 i el valor del corrent generat és de 30mA/cm^2 i la tensió màxima és de 0,58 volts. El que varia al llarg del dia és el corrent de la cèl·lula, però la tensió es manté. Per aprofitar aquesta energia és necessari connectar en paral·lel un bon número de cèl·lules fotovoltaiques.

L'efecte fotovoltaic

L'efecte fotovoltaic fou descobert el 1939 pel físic francès Edmon Becquerel. En un dels múltiples experiments que va realitzar per estudiar l'electricitat, va observar que dues plaques de metall submergides en un líquid conductor i exposades al Sol, generaven un petit voltatge. Gairebé quaranta anys més tard, l'anglès Willoughby Smith va descobrir que el seleni era sensible a la llum. Estudis posteriors amb aquest element van permetre a Adams i Daays comprovar que la llum excitava el seleni i es generava electricitat. El 1886 un industrial americà, Carles Firtts, va desenvolupar la primera cèl·lula de seleni, però *la primera cèl·lula fotovoltaica no es va fabricar fins l'any 1954 en els laboratoris Bell.*

A grans trets es pot dir que l'efecte fotovoltaic és la capacitat que tenen alguns elements químics per absorbir fotons (nom que reben les partícules de llum del sol) i després alliberar un corrent d'electrons que pot ser utilitzada com electricitat.

Els semiconductors

La clau per desenvolupar la conversió fotovoltaica han sigut el elements semiconductors. El silici, el germani, l'arseniur de gali, el sulfur de cadmi i alguns altres elements tenen la característica de ser portadors de dos tipus de corrent elèctrica, una amb

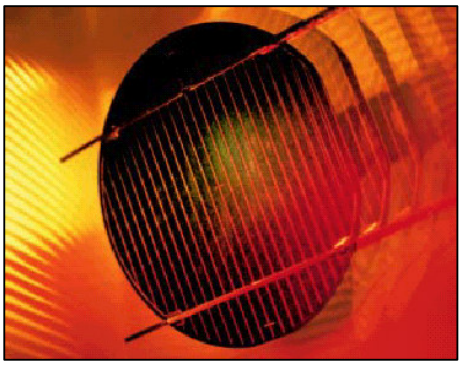
electrons lliures (capaços de viatjar pel vidre) i una altra anomenada forats o buits, dotada de càrrega positiva. Així existeixen semiconductors anomenats tipus p, en els quals predomina la conducció per forats; i semiconductors anomenats n en els que predomina la conducció per electrons lliures. Però la característica més important dels semiconductors és que la resistivitat elèctrica pot disminuir si afegim impureses (dopants). L'acció d'introduir aquestes impureses que afecten a les propietats elèctriques del semiconductors s'anomena dopatge.

Els dopants són elements semblants en estructura i valència química que s'inclouen dins de la matriu perquè hi hagi un electró de més o menys que en el semiconductor.

El silici és el semiconductor més utilitzat en la tecnologia fotovoltaica. Primer de tot és necessari obtenir el silici amb una gran puresa i després dopar-lo amb impureses en concentracions infinitessimals (de 10^{16} a 10^{19} àtoms d'impuresa per cm^3). Afegint impureses de fòsfor o arsènic, el silici passa a ser del tipus n. En canvi, les impureses de bor o gali, el converteixen en tipus p. Aquesta és una de les raons per les que les cèl·lules fotovoltaiques són cares i requereixen un tecnologia puntera.

El fet que explica el comportament dels semiconductors té a veure amb la distribució dels àtoms en l'estructura cristal·lina. L'àtom de silici és com un tetraedre, així quan s'introdueix un àtom de dopant tipus p com el fòsfor el resultat és un electró lliure que pot viatjar pel cristall de silici. En canvi, en els semiconductors de tipus n, com el silici dopat amb bor, queden càrregues de signe positiu.

Quan un semiconductor s'il·lumina es trenquen enllaços químics i es genera electricitat, variable segons la temperatura ambient, que reconduirà els electrons en la direcció i sentit de la unió p-n. En altres paraules, els fotons de la llum produeixen una tensió elèctrica semblant a la que es produeix en els borns d'un pila. Mitjançant contactes metàl·lics en cadascuna de les cares, es pot capturar l'energia elèctrica i utilitzar-la en diferentes aplicacions.



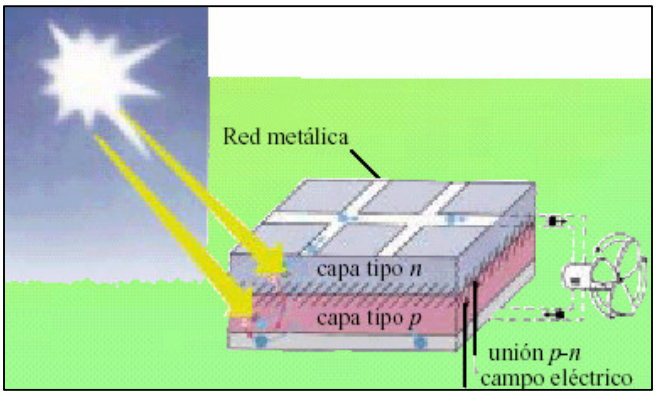


Fig. C.1. Les cèl·lules fotovoltaiques es fabriquen amb silici pur que, després de fondre's, s'estira per formar un bloc monocristal·lí. Aquest bloc es serra en làmines fines que es doparan, es metal·litzaran i es deixaran a punt per fabricar els panells. (font: Centro de Estudios de la Energía Solar (Censolar))

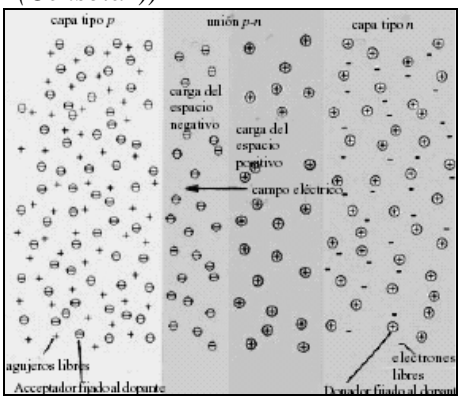


Fig. C.2. Detall de l'interior de les capes del semiconductor d'una cèl·lula fotovoltaica i moviments de les càrregues elèctriques entre capes (font: Censolar)

Els electrons de la capa n, on estan en alta concentració, tendeixen a anar cap a la capa p, la qual gairebé no té electrons. Al revés passa amb els forats lliures, majoritaris en la capa p. El resultat és una neutralització en la zona d'unió p-n que a més genera un camp elèctric pel fet de trobar-se entre dues zones de càrrega oposada. El camp elèctric de la unió p-n va del costat n al costat p i separa els parells electró-forat. Els forats (les càrregues positives) viatgen cap al costat p, fet que provoca l'extracció d'un electró gràcies a la xarxa de metall incluïda en la matriu semiconductora. Al mateix temps, porta els electrons cap al costat n i també els injecta al metall. Així, es genera una corrent elèctrica que, en el cas del silici, produeix una diferència de potencial de 0,5V. Per tal que els electrons del semiconductor puguin ser expulsats a través d'un circuit i produir corrent elèctrica, fa falta que tinguin suficient energia.

La cèl·lula fotovoltaica [Ref. 1]

Una cèl·lula solar és una placa de semiconductor tipus p, d'uns 0,3mm de gruix, i una altra de tipus n que sol ser encara més prima (d'uns 0,5μm). El pla de separació entre ambdues regions de conductivitat s'anomena unió p-n i és fonamental en el funcionament de les cèl·lules fotovoltaiques.

Les cèl·lules solars converteixen l'energia lluminosa en elèctrica quan els fotons incideixen sobre el material semiconductor amb energia suficient per trencar els enllaços dels àtoms i generar una dinàmica de tipus electroquímic en el semiconductor. Per poder extreure aquesta corrent, com ja s'ha mencionat anteriorment, es col·loquen contactes metàl·lics en cadascuna de les cares. Per això, l'aspecte d'una cèl·lula solar recorda a una reixa sobre una matriu cristal·lina variable segons el tipus de material semiconductor utilitzat, generalment silici mono o policristal·lí.

D'aquesta forma s'aconsegueix que, amb llum suficient, una cèl·lula solar de silici monocristal·lí, d'uns 75cm^2 generi una tensió de 0,4V i una potència de 1Watt. La potència d'un mòdul és proporcional al número de cèl·lules connectades entre elles. Les cèl·lules s'encapsulen entre vidre laminat i plàstic per protegir les connexions elèctriques i resistir les inclemències del temps i proporcionar als panells fotovoltaics una llarga vida (al voltant de 30 anys com a mínim).

Un aspecte important a considerar és la temperatura de treball. Les cèl·lules fotovoltàiques s'escalfen amb la radiació solar. Per això els panells han de col·locar-se de manera que quedin ben airejats, i han d'estar dissenyats per dissipar el calor. La tensió generada disminueix per sobre i per sota dels 25ºC que és l'òptim. La propietat de poder connectar i modular les cèl·lules afavoreix el disseny d'una instal·lació segons quines siguin les necessitats.

Tipus de cèl·lules fotovoltaiques:

- **Silici monocristal·lí:** els mòduls realitzats amb cèl·lules de silici monocristal·lí aconsegueixen un rendiment de conversió llum-electricitat del 12-15% i en condicions de laboratori s'arriba al 24%.
- **Silici policristal·lí:** les cèl·lules de silici policristal·lí són més barates. La seva eficiència està al voltant d'un 14%, però no supera el 20%.
- **Arseniur de gali (GaAs):** material semiconductor que permet arribar a una eficiència del 25-30%. Les principals avantatges d'aquestes cèl·lules respecte a les de silici són un major rendiment inicial, una menor degradació després de ser irradiades, un millor coeficient de temperatura. Per contra, pesen el doble que les de silici. S'utilitzen en la tecnologia aeroespacial i requereixen sistemes de concentració de la llum.

Fig. C.3. Panell fotovoltaic (font: Censolar)

Pel·lícules fotovoltaiques

Es configura com la tecnologia del futur pel seu baix cost i perquè es poden incorporar en teulades i altres materials transparents.

- **Silici amorf:** s'utilitza en mòduls semitransparents i en productes de consum, com rellotges solars o calculadores. Encara que siguin menys eficients (7-9%), han sigut molt utilitzades en aplicacions de l'espai degut a la seva lleugeresa. Tenen l'avantatge que tant el silici com l'hidrogen són materials abundants i la deposició de materials amorfs pot realitzar-se a baixa temperatura. Per contra, el seu rendiment disminueix amb la radiació solar directa.

- **Teluri de cadmi (CdTe):** és el material policristal·lí de fabricació més fàcil i el seu cost és baix. Fa més de deu anys que es fabrica per calculadores solars. Els mòduls comercials ($7200cm^2$) tenen una eficiència d'un 8,5% i en el laboratori s'ha arribat al 16%. No obstant, tenen l'inconvenient de treballar amb Cadmi, un metall molt tòxic.

- **Diseleni de coure i indi ($CuInSe_2$ o CIS):** pel·lícula policristal·lina amb la qual s'ha arribat a una eficiència del 17,7% i del 10% en mòduls comercials.

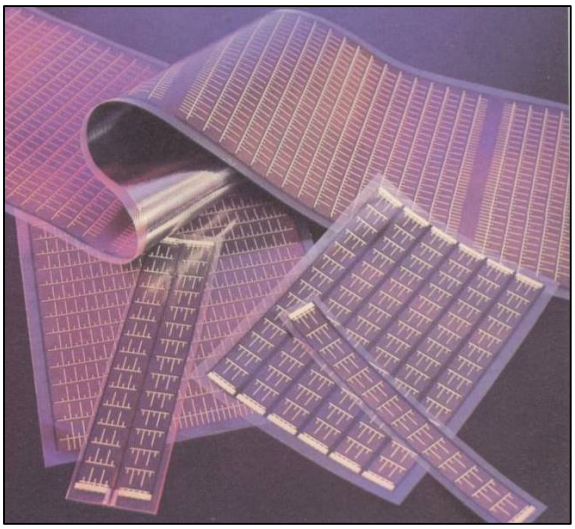


Fig. C.4. Exemple de pel·lícules fotovoltaiques (font: Censolar)

El fenomen fotovoltaic al llarg de l'any

El problema és que el Sol recorre la Terra amb una inclinació que varia al llarg del dia i de les estacions de l'any. En una determinada latitud com la de Catalunya (42º N), la inclinació del Sol varia entre els 0º i els 20º a l'hivern, i els 0º i 60º a l'estiu.

Les cèl·lules solars treballen amb el màxim potencial quan reben els raigs solars perpendicularment. Així, en una instal·lació optimitzada, l'angle dels panells hauria de poder adoptar una inclinació variable d'uns 60º a l'hivern i d'uns 20º a l'estiu. No obstant, en les aplicacions en les quals el consum d'energia és més o menys constant, s'agafa un angle de referència d'uns 38º, i sempre orientant els panells cap al sud. Hi ha taules que donen l'angle ideal per cada estació de l'any. De totes formes, els mecanismes de seguiment estacional o

diari poden encarir molt una instal·lació i l'augment de rendiment no compensa. Per això, habitualment s'adopta una inclinació mitja fixa.

El cost de la tecnologia solar

Actualment, el cost per kWh fotovoltaic se situa en uns 6 euros per kW de potència instal·lat. No obstant, si tenim en compte que una instal·lació fotovoltaica pot tenir una duració mínima de 20 anys, en realitat, per una instal·lació situada en la latitud de les 1600 hores de llum solar anuals, el kWh seria de 0,19 euros (31,25ptes). [Ref.4]

La reducció dels preus d'aquesta tecnologia ha sigut espectacular en els últims anys, en menys de 20 anys els panells solars han disminuït de preu un 80%. Si s'incrementa la seva utilització serà més assequible i en menys d'una dècada, quan el cost per kWh fotovoltaic arribi a les 3-3,6 euros/kW l'energia fotovoltaica serà competitiva.

Mentres tant, encara que no sigui rentable com a negoci, una CEFV suposa una despesa assumible per una família de classe mitjana si es té en compte que cada any es venen més de 250000 vehicles nous amb un valor mitjà de 12000 euros. Només és necessari que els bancs acceptin que és més segur donar un préstec per instal·lar una CEFV en una casa, que per adquirir un automòbil. La industria fotovoltaica és una de les més prometedores del futur.

La investigació en semiconductors avança cap al desenvolupament de la cèl·lula termofotovoltaica, capaç de produir electricitat a partir del calor residual de la industria. Actualment l'energia solar fotovoltaica és la principal font energètica en l'àmbit domèstic, que permet substituir el consum energètic no renovable per un de renovable i fer possible un estalvi equivalent en emissions tòxiques a l'atmosfera. Per cada kWh fotovoltaic que produïm evitem l'emissió d'uns 235g de CO_2 a l'atmosfera. Per altra banda, l'energia solar fotovoltaica es produeix en les hores de més demanda energètica. Per aquesta raó podria ser la millor font per donar cobertura a les puntes de demanda energètica que es produeixen en aquestes hores.

Projectes d'energia solar fotovoltaica [Ref. 4]

La integració dels sistemes fotovoltaics en un projecte de construcció no és habitual, així que la seva introducció pot resultar difícil.

Els municipis tenen un paper central en els processos de construcció, així com un paper molt important en el desenvolupament de projectes de sistemes fotovoltaics. Ells són els responsables de les regulacions legals sobre construcció i estàndards de seguretat, tenen competències en el plantejament urbà, determinen les noves ubicacions dels edificis i controlen i coordinen grans programes de coordinació.

Els projectes fotovoltaics es poden dividir en tres fases: inici, preparació i instal·lació.

Fase 1: Inici	**Fase 2: Preparació**	**Fase 3: Instal·lació**
• L'atractiu dels sistemes fotovoltaics segons interessos diversos. • Inspiració i motivació dels municipis. • Prestigi com una motivació important	• Inversió en temps i coneixement. • Facilitats en el procés per part dels municipis.	• Ús d'instal·ladors acreditats. • Forta interacció entre els actors. • Centrar-se en el control de la qualitat.

Taula C.1. Les tres fases dels projectes fotovoltaics

Fase 1 – Inici

Els sistemes fotovoltaics beneficien a tot el món. La tecnologia fotovoltaica és una tècnica innovadora que pot atreure a diversos actors. Un creixent i ampli número d'organitzacions estan actualment agafant la iniciativa de promoure la tecnologia fotovoltaica com una solució energètica neta i renovable, mitjançant la seva participació econòmica o fins i tot realitzant projectes fotovoltaics. Aquesta obertura del mercat es va intensificant per la liberalització del mercat energètic: la realització de projectes fotovoltaics ja no és una activitat exclusiva d'especialistes, tal i com es pot deduir del Llibre Blanc sobre les Fonts d'Energia Renovables i de la recent Directiva 2001/77/CE relativa a la promoció de l'electricitat generada a partir de fonts d'energia renovables en el mercat interior de l'electricitat.

L'energia solar té una àmplia acceptació social i capta l'interés de gairebé tothom. La tecnologia fotovoltaica proporciona el potencial per generalitzar la participació en el

desenvolupament d'un futur més sostenible a escala local, ja que pot ser aplicada en projectes de qualsevol tamany i en un ampli rang de situacions.

La tecnologia fotovoltaica és una tecnologia prestigiosa. A moltes companyies els interessa associar el seu nom a aquests projectes, ja que són innovadors, donen confiança en la qualitat del disseny, i les seves campanyes publicitàries donen una imatge positiva d'innovació i responsabilitat ambiental.

Les experiències amb projectes fotovoltaics també han demostrat que un bon disseny és clau per atreure a nous socis i mantenir a tots els participants entusiasmats.

Els municipis, empreses de servei públic i experts en energia fotovoltaica tenen papers clau durant el desenvolupament dels projectes fotovoltaics. L'evidència de casos reals, mostra que les autoritats municipals juguen un paper de líder en molts projectes. L'inici, promoció i gestió activa d'aquests projectes encaixa perfectament en les funcions públiques i responsabilitats formals dels municipis. La seva posició central en el procés de construcció els permet coordinar iniciatives i actuar com a mediadors entre els interessos privats.

Fig. C.5. Estació de bombers, 400 m^2 fotovoltaics,24 kWp (font: Insituto para la diversificación y ahorro de la energía (IDAE))

Fase 2 – Preparació

La integració dels sistemes fotovoltaics encara no és una tècnica estàndard, així per tal que la seva realització sigui exitosa, es necessita perseverància i atenció al detall per part de totes les persones involucrades.

Les conseqüències de la integració fotovoltaica haurien de ser considerades en cada etapa del desenvolupament del projecte amb l'objectiu de minimitzar els costos, evitar problemes i optimitzar el procés de construcció.

En els projectes en els que els municipis no estiguin involucrats activament, la seva participació és important en relació amb els procediments legals i administratius, tal i com els permisos de construcció. La realització de projectes de sistemes fotovoltaics integrats en edificis requereix una negociació respecte els obstacles tècnics, financers i institucionals que es poden trobar en varis nivells.

Fase 3 – Instal·lació

Fins que la instal·lació de sistemes fotovoltaics no es converteixi en una pràctica habitual, la qualitat del sistema dependrà bàsicament de la qualitat del dissenyador/instal·lador. Com en qualsevol altre projecte constructiu, un expert independent hauria de revisar el disseny així com el treball de la instal·lació. Aquests requeriments formen la base de qualsevol control de qualitat mínim recomanable per qualsevol programa. Per sistemes o components relativament nous, s'hauria de realitzar un programa de control més extens.

La implicació municipal en projectes fotovoltaics, ja sigui la instal·lació d'aquests sistemes en edificis públics o el suport financer de projectes privats, otorga als municipis l'autoritat i competència suficient per controlar la qualitat.

Disseny d'edificis

Qualsevol disseny de sistemes fotovoltaics integrats en edificis hauria d'optimitzar el criteri de generació d'electricitat (orientació, inclinació) i de cost, conjuntament amb altres factors de disseny de l'edifici tals com impermeabilitat, comportament tèrmic, control de la llum solar i estètica,... El procés de disseny també hauria d'estar optimitzat per reduir costos i disminuir qualsevol sensació de risc.

La següent llista inclou els factors bàsics que els dissenyadors haurien de considerar. Aquesta llista hauria d'ajudar-los a gestionar les preocupacions associades a qualsevol element o tècnica constructiva innovadora com, per exemple els sistemes fotovoltaics integrats en edificis:

- Clima i ubicació: instal·lacions orientades al sud i amb una inclinació òptima per la corresponent latitud, donaran el màxim rendiment. Sistemes de fatxades verticals orientats a l'est o l'oest, produiran un 60% en comparació amb un sistema òptim degut al baix angle en que es troba el sol al principi i final del dia. Altres característiques tal i com el perfil de càrrega elèctrica de l'edifici o les variacions horàries en el preu de l'electricitat que es ven a la xarxa, poden afectar a la definició òptima.

- Temperatura de les cèl·lules: és important anotar que l'eficiència de les cèl·lules solars disminueix al augmentar la seva temperatura. Conseqüentment, no sempre s'obté la major quantitat d'energia dels sistemes dissenyats per obtenir la màxima producció. La ventilació és important per mantenir les cèl·lules tan fredes com sigui possible i, en alguns casos, solucions no òptimes pel rendiment teòric, per exemple les fatxades, poden produir una millor producció anual al rebre més radiació quan el sol està baix (matí i nit) i les cèl·lules estan més fredes.

-Ubicació: s'ha d'evitar o minimitzar la producció de sombra sobre els mòduls, ja que això afectaria negativament al funcionament del sistema. S'hauria de realitzar un estudi sobre les zones de sombra. Existeixen programes informàtics per realitzar aquests estudis. Hi ha varis camins per tal de paliar el problema de les sombres. Es pot utilitzar silici amorf (menys afectat per la sombra) o col·locar mòduls d'imitació (el mateixa aspecte però sense cost cel·lular) en àrees amb moles hores de sombra al dia i molts mesos de l'any.

-Arquitectura: Els mòduls fotovoltaics simplement són components versàtils de l'edifici. Aquests es poden descriure com elements de fatxada, o de coberta, opacs o semitransparents. La tecnologia ofereix multitud d'oportunitats i poques restriccions pel dissenyador creatiu que no consideri com l´únic factor important el màxim nivell de producció del sistema fotovoltaic. La potencial multifuncionalitat dels sistemes fotovoltaics també hauria de ser estudiada en relació amb altres necessitats de l'edifici. Per exemple uns mòduls multifuncionals dissenyats com elements de murs cortina poden realitzar vàries funcions: producció d'electricitat, calefacció, sombrejat, llum solar, aïllament, ventilació i resistència a les condicions meteorològiques.

-Lleis i reglamentacions: el disseny ha de respectar qualsevol regulació en quan a la planificació territorial o a la edificació referida a les instal·lacions externes i a l'aspecte visual

dels edificis. Les instal·lacions també han de complir amb els reglaments actuals sobre instal·lacions elèctriques, i amb les regulacions de seguretat i incendis.

-Tipus de mòdul: la gama de productes fotovoltaics és cada vegada més àmplia; tipus de cèl·lules, tamanys i formes dels mòduls, sistemes de marcs i impermeabilització,... Actualment hi ha solucions atractives per totes les classes de situacions.

-Instal·lació: un disseny creatiu i cuidadós pot ajudar a reduir els costos. Els elements fotovoltaics poden substituir altres elements (finestres, murs, teules,...), i així reduir els costos addicionals associats a l'ús de les energies renovables. El procés d'instal·lació ha de minimitzar qualsevol cost addicional associat a l'element fotovoltaic i el seu potencial risc de funcionament erroni.

Altres detalls del disseny:

- Assegurar que l'ubicació de la instal·lació és segura (reduïnt així el risc de robatori, vandalisme o desperfectes).
- Deixar espai en una àrea seca de l'edifici per instal·lar el control de l'equip elèctric (inversors, contadors,...)

Mecanismes de financiació

La importància de l'energia fotovoltaica en el conjunt de les energies renovables i la intenció de mantenir la presència europea en el mercat global està clara tal i com es reflexa en les polítiques i incentius nacionals. Els sistemes fotovoltaics ja són competitius en molts mercats, encara que el subministrament d'energia a la xarxa encara no ho és. La transició definitiva des dels projectes de demostració subvencionats fins a l'inici comercial del mercat de les instal·lacions fotovoltaiques connectades a la xarxa està directament relacionada amb el cost dels mòduls fotovoltaics que, a la seva vegada depenen bàsicament de la capacitat de producció anual global i de la tecnologia cel·lular disponible.

Varis països europeus han establert programes regionals i nacionals dirigits a promoure els elements fotovoltaics mitjançant el subministrament d'incentius i suport financer. La Comissió Europea també dóna suport a la investigació, el desenvolupament, la demostració i a les activitats relacionades amb els elements fotovoltaics. Aquestes iniciatives,

juntament amb polítiques energètiques favorables i la creixent conscienciació ciutadana, han servit per promoure les instal·lacions fotovoltaiques, especialment les connectades a la xarxa.

¿Com es pot financiar l'electricitat solar?

El pressupost global destinat als sistemes fotovoltaics (Investigació i Desenvolupament, demostració i simulació) pels governs de l'oest d'Europa va ser aproximadament 400 M€ en un període de 2 anys (1998-99). Alemanya va ser el país que més va invertir, amb més de 114M€ en dos anys. Holanda, Suïssa i Espanya també varen emergir com a líders en el suport mundial a l'energia fotovoltaica.

El suport financer a l'electricitat fotovoltaica existeix de diferents formes en varis països europeus. L'objectiu general d'aquests instruments de suport és compensar la ineficàcia dels anàlisis financers convencionals per tenir en compte els beneficis ambientals d'aquesta font d'energia modular neta, silenciosa i no contaminant. L'objectiu específic és incrementar l'ús de l'electricitat fotovoltaica, mitjançant inversions més atractives i menys arriscades en sistemes fotovoltaics, en comparació amb les tecnologies de generació d'electricitat convencionals i els elements alternatius de construcció d'edificis.

Els instruments financers utilitzats amb més freqüència a Europa poden dividir-se en dues categories: els ***incentius de comercialització*** *i els* ***incentius de producció***.

Incentius de comercialització

Els incentius de comercialització són un mecanisme utilitzat per pagar els costos inicials de capital de les instal·lacions fotovoltaiques. Inclouen:

- Subvencions: aquests són els incentius més utilitzats, subministrats per cada estat europeu amb un rang mitjà del 30-50% dels costos de capital. Les subvencions varien des del 14% dels costos de capital a Holanda fins el 75% a Itàlia. Es poden trobar aquest tipus de detalls sobre els mecanismes de financiació en diversos països europeus en http://pvcityguide.energyprojects.net.
- Incentius fiscals: aquests també són eines efectives de reducció dels costos. Alguns països europeus ofereixen reduccions de les taxes dels costos de compra i instal·lació de sistemes fotovoltaics, o una depreciació accelerada. El

govern italià, per exemple, ofereix una reducció de les taxes del 36% per les inversions en fonts d'energia renovables que poden ser amortitzades en 5 o 10 anys.

- Préstecs a baix interès: són un altre mecanisme de suport de les instal·lacions fotovoltaiques. Els préstecs amb un interès baix de 1-1,5% menor que les tarifes de mercat redueixen els pagaments dels préstecs i els costos de generació. Les tarifes del préstec poden fixar-se segons el període del préstec (normalment amb 10 anys és suficient, encara que a vegades s'arribi als 20 anys).

Incentius de producció

Els dos incentius de producció més habituals actualment a Europa són l'establiment per part del govern de tarifes especials pel generador o de tarifes verdes opcionals pel client i concursos pel preu de venta.

Per exemple, a Espanya, l'inci de les instal·lacions fotovoltaiques fou motivat per una llei aprovada el desembre de 1998, obligant a les companyies elèctriques a comprar energia produïda per una font renovable a una prima de 0,39 €/kWh per instal·lacions fotovoltaiques de 1-5 kWp i de 0,18 €/kWh per plantes d'entre 5 kWp i 50MWp. Per poder comparar, el preu de mercat per l'electricitat és de 0,036 €/kWh i la tarifa domèstica de 0,099 €/kWh.

Durant els últims 10 anys, varis països han introduït les Tarifes Especials per les energies renovables, obligant a les companyies elèctriques a comprar electricitat de fonts renovables d'energia a un preu mínim definit per la llei. Aquestes iniciatives han accelerat la velocitat d'increment de la capacitat de generació en general i dels fotovoltaics en particular.

Situació a Espanya de l'energia solar fotovoltaica i ajudes

Durant el període 2000-2010 Espanya desenvoluparà la línia d'actuacions propostes en el Pla de Foment d'Energies Renovables, elaborat per l'Institut per la Diversificació i Estalvi de l'Energia (IDAE) a finals de 1999 per encàrrec de la Secretaria d'Estat de l'Energia, que planteja com a objectiu aconseguir l'any 2010 una potència fotovoltaica instal·lada de 135 MWp.

Al llarg de l'any 2000, van entrar en operació 1711 instal·lacions d'energia solar fotovoltaica aconseguint una potència de 2,7 MWp.

Ajudes públiques i subvencions (Espanya)

1.-Programa Nacional d'Energia del Programa de Foment de la Investigació Tècnica (PROFIT)

Inclòs en el Pla Nacional d'Investigació Científica Desenvolupament i Innovació Tecnològica (2000-2003), aquest programa té, entre altres, l'objectiu de reduir l'impacte ambiental de la generació d'energia mitjançant el desenvolupament de sistemes més eficients i menys contaminants i facilitar la integració de les energies renovables.

Les ajudes corresponents a la última convocatòria de 2001 tenen la modalitat de anticipis reemborsables, i excepcionalment de subvencions. A aquestes s'hi poden acollir diferents projectes d'energies renovables, conforme a les tipologies i modalitats següents:

a) Projectes d'investigació industrial
b) Estudis de viabilitat tècnica previs a activitats d'investigació industrial
c) Projectes de desenvolupament precompetitiu
d) Projectes de demostració tecnològica

2.- Línia solar fotovoltaica

Dins del Programa d'Ajudes a l'Energia Solar Fotovoltaica de IDAE, dins de les actuacions portades a terme pel Pla de Foment de les Energies Renovables, en la seva primera convocatòria (any 2001), les ajudes màximes van ser de 5,53 €/Wp en instal·lacions aïllades amb acumulació i els 2,42 €/Wp en instal·lacions connectades a xarxa amb potència superior a 5 kWp. Es pot aconseguir més informació a http://www.idae.es.

3.- Línia ICO-IDAE

La línia ICO-IDAE, per projectes de solar fotovoltaica connectada i no connectada de més de 100 kWp, preveu una bonificació de fins a 5 punts sobre el tipus d'interès, que

s'aplica als beneficiaris de la línia de financiació especial habilitada per l'Institut de Crèdit Oficial (la financiació pot arribar fins al 70% del cost dels projectes).

4.- Programes d'ajudes de les comunitats autònomes

En la pàgina www.idae.es es pot consultar informació sobre les últimes convocatòries obertes per la concessió de subvencions a projectes d'eficiència energètica i energies renovables, en particular a l'energia solar fotovoltaica, per part de les comunitats autònomes.

Legislació

Hi ha varis aspectes d'un projecte fotovoltaic que estan subjectes a consideracions legals. Això es pot descriure en tres categories generals:

-Legislació relacionada amb els productes, els components i els sistemes fotovoltaics.

-Legislació general que els sistemes fotovoltaics han de complir.

-Legislació espanyola.

Legislació relacionada amb productes, components i sistemes fotovoltaics

-*Productes comercials:* un certificat comú pels mòduls fotovoltaics cristal·lins és el IEC 1215, tal com es va adoptar en el procediment CEC 503 (normalment anomenat el test ISPRA) o el test UL 1703. Aquests test especifiquen les característiques elèctriques així com els aspectes de seguretat que han de seguir els procediments de test.

-*Components del sistema:* encara es poden trobar tests específics per productes i còdigs aprovats per diversos tipus de mòduls fotovoltaics (per exemple, IEC 61215 –mòduls cristal·lins, IEC 61646 –mòduls de làmina fina), però encara no existeixen còdigs específics per components fotovoltaics integrats en edificis.

-*Sistemes:* tampoc existeixen estàndards específics pels sistemes. No obstant, molts països han desenvolupat plans pel disseny exitós de projectes fotovoltaics. Els criteris utilitzats per

les autoritats expertes de l'administració amb mecanismes de suport serveixen de guia efectiva per regular un funcionament acceptable dels sistemes.

Legislació general que els sistemes fotovoltaics han de complir

-Regulació constructiva, de planificació i sobre el usos del sòl:

L'aspecte dels sistemes fotovoltaics és novedosa, i els sistemes acostumen a ser jutjats per les seves característiques estètiques. Hi ha una varietat de regulacions favorables als sistemes fotovoltaics. Per exemple:

- Hi ha una llei italiana que preveu que els edificis de titularitat pública o per ús públic, han de satisfer les seves pròpies necessitats energètiques, de calefacció, aire acondicionat, il·luminació, i producció d'aigua calenta, afavorint la utilització de fonts d'energia renovables.

-Seguretat de la instal·lació elèctrica:

Es poden trobar regulacions sobre seguretat de la instal·lació elèctrica i la connexió a la xarxa en varis nivells: internacional, nacional i local.

En l'àmbit nacional, diferents autoritats preescriuen i regulen la seguretat de les instal·lacions elèctriques i la connexió a la xarxa. En l'àmbit local, les entitats municipals a vegades tenen regulacions específiques sobre la connexió a la xarxa.

A Espanya i Anglaterra, s'han creat noves lleis que estableixen requeriments per la connexió a la xarxa i procediments específics dirigits als sistemes fotovoltaics.

-Exigència de seguro

Donats els estàndards electrotècnics, els sistemes fotovoltaics estan automàticament coberts per una pòlissa de seguros a Suïssa. La quantitat que haurà de ser abonada dependrà de la qualitat del sistema fotovoltaic i de l'edifici on estigui col·locat. Normalment hi ha una tarifa per risc extra. A Alemanya, s'ha desenvolupat un mercat considerable de pòlisses de seguro.

-Regulacions econòmiques i taxes en relació amb la venta d'electricitat

Si l'electricitat produïda per un sistema fotovoltaic es ven, poden aparèixer problemes en relació amb la facturació, el preu i l'establiment de taxes. La complexitat d'aquests temes varia segons els països, i també pot variar segons el tamany del sistema i el tipus de contracte de venta. Per exemple a Espanya hi ha tarifes atractives disponibles desde 1998, però inicialment només han servit per destacar els problemes legislatius en relació amb la connexió a la xarxa i la situació legal exigida per la facturació de la venta d'electricitat de petits sistemes fotovoltaics. Molts d'aquests temes s'han aconseguit aclarir mitjançant els avenços legislatius i els precedents basats en els projectes de demostració realitzats.

Legislació elèctrica espanyola

S'estableix una diferència legal entre els productors d'energia solar fotovoltaica aïllats i els connectats a la xarxa, en quan a la seva exclusió o participació, respectivament, en el sistema elèctric espanyol.

Existeixen dos Reials Decrets que afecten als productors connectats a la xarxa elèctrica: el R.D. 2818/1998 sobre producció d'energia elèctrica amb fonts d'energia renovables i el R.D. 1663/2000 del Ministeri d'Economia sobre la connexió d'instal·lacions fotovoltaiques a la xarxa de baixa tensió.

El R.D. 2818/98 permet que el productor injecti a la xarxa tota l'energia elèctrica produïda rebent per aquesta el preu de mercat més una prima, de valor molt superior al de l'energia convencional. S'estableix una diferència pel que fa a la prima segons la potència fotovoltaica instal·lada segui menor o major de 5 kWp.

El R.D. 1663/2000 estableix les condicions administratives i tècniques bàsiques de connexió a la xarxa de baixa tensió de les instal·lacions solars fotovoltaiques de potència nominal inferior a 100 kVA.

ANNEX D: Característiques dels diferents tipus de piles de combustible.

Pila de combustible d'àcid fosfòric (PAFC)

Aquest tipus de pila de combustible ja està disponible comercialment. Més de 200 sistemes amb aquestes piles han sigut instal·lats al món (hospitals, habitatges, hotels, edificis en oficines, escoles, plantes de generació de potència, una terminal d'aeroport, plantes de tractament d'aigua,...). Les PAFC generen electricitat amb un rendiment superior al 40%, i aproximadament del 85% del vapor que generen és utilitzat per cogeneració. La temperatura d'operació es troba en el rang de 150-200ºC. A menors temperatures, l'àcid fosfòric és un conductor iònic pobre, a més en l'ànode del catalitzador de platí (Pt) es produeix monòxid de carboni (CO) lo que suposa un perill per les persones. L'electròlit és àcid fosfòric líquid introduït en una matriu porosa. Una de les principals avantatges d'aquest tipus de pila a més del seu rendiment amb cogeneració del 85%, és que es pot utilitzar hidrogen amb una puresa baixa. Les PAFCs poden tolerar concentracions de CO de fins el 1,5%, fet que amplia l'elecció de combustibles que poden ser usats en aquesta pila. Si s'utilitza gasolina, el sofre ha ser remogut. Les desavantatges d'una PAFC són: s'utilitza platí que és molt costós com a catalitzador, genera baixa corrent i potència comparada amb altres tipus de piles, i generalment té un tamany i pes elevats.

No obstant, les PAFCs són la tecnologia de pila de combustible més madura. Les piles existents tenen potències compreses entre 200kW i 1MW.

Les reaccions que es duen a terme en aquest tipus de piles són:

Ànode: $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$

Càtode: $½\ O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$

Reacció global: $H_2 + ½\ O_2 + CO_2 \rightarrow H_2O + CO_2$

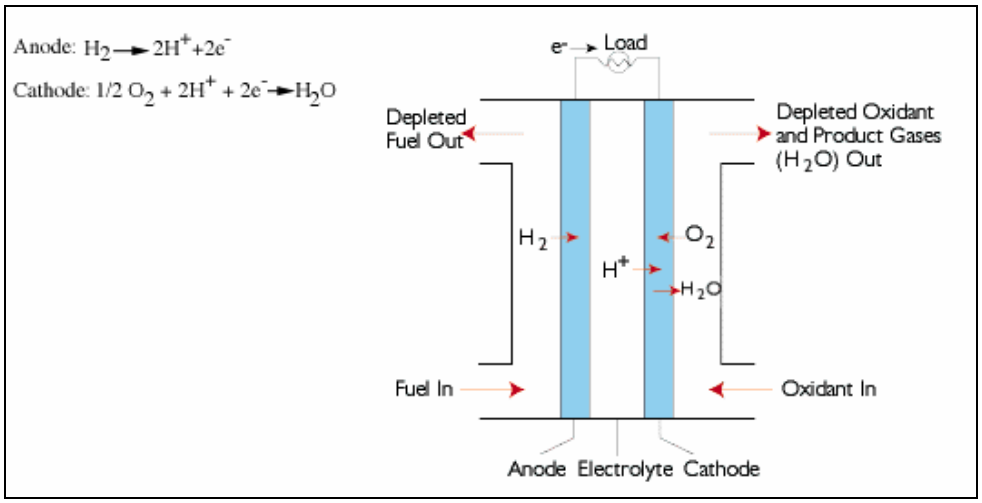


Fig. D.1. Funcionament d'una pila del tipus PAFC (font: Ballard)

Pila de combustible de membrana polimèrica(PEMFC)

Aquestes piles operen a temperatures relativament baixes (al voltant de 80ºC), tenen alta densitat de potència, poden variar ràpidament la seva sortida de potència per atendre canvis en la demanda de potència i són molt adequades per aplicacions com els automòbils, on és necessari un arrencament ràpid. Aquest tipus de pila és el número 1 per vehicles de treball lleuger, per edificis i potencialment per moltes aplicacions petites tal com la substitució de bateries.

La membrana d'intercanvi protònic és un full de plàstic prim que permet que els ions d'hidrogen passin a través d'ella. La membrana està coberta als dos costats amb partícules d'aleació (principalment de platí) que funcionen com a catalitzadors. L'electròlit utilitzat és un polímer anomenat *Nafion*. L'electròlit sòlid té l'avantatge de reduir la corrosió i altres problemes de funcionament. L'hidrogen arriba a l'ànode de la pila on el catalitzador provoca que els àtoms d'hidrogen alliberin electrons i es converteixin en ions hidrogen (protons). Els electrons viatgen en forma de corrent elèctrica que pot ser utilitzada abans d'arribar al càtode de la pila, on arriba l'oxigen. Al mateix temps, els protons (H^+) es difonen a través de la membrana polimèrica cap al càtode, on l'àtom d'hidogen es recombina al reaccionar amb l'oxigen per produir aigua, completant així el procés. Aquest tipus de piles és sensible a impureses presents en el combustible. Generalment la potència d'aquestes piles està en el rang de 0 a 250kW.

Les reaccions que es duen a terme en aquest tipus de piles són:

Ànode: $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$

Càtode: $½\ O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$

Reacció global: $H_2 + ½\ O_2 \rightarrow H_2O$

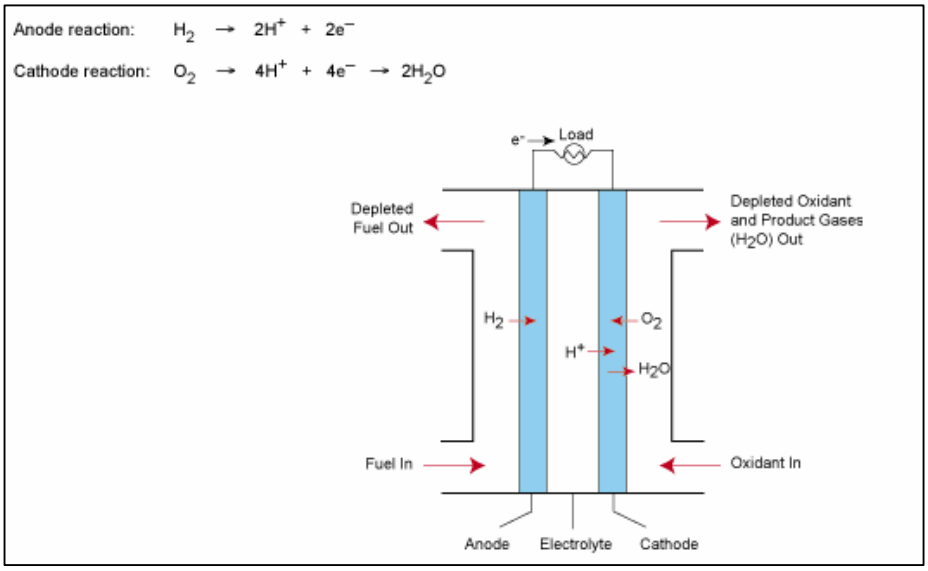


Fig. D.2. Funcionament d'una pila del tipus PEMFC (font: Ballard)

En la següent figura (Fig. 4.4.4.3) es pot observar l'estructura interior d'una cèl·lula de combustible (PEM). El poden observar els elèctrodes i la membrana polimèrica.

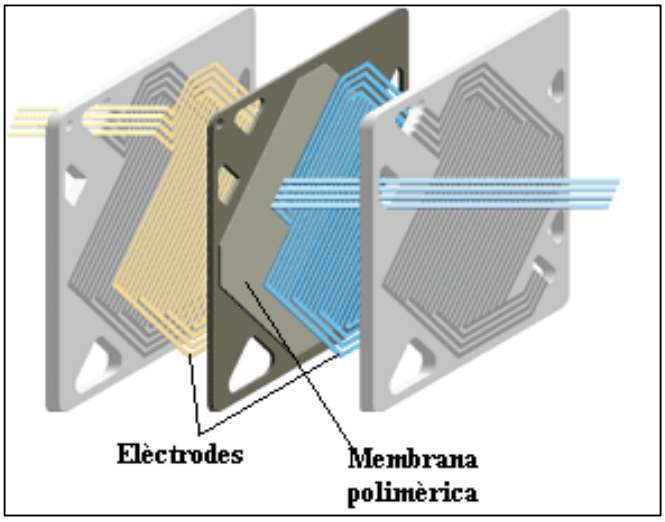


Fig. D.3. Estructura de l'interior d'una pila del tipus PEM (font: Ballard)

Pila de combustible de carbonats fosos (MCFC)

Aquests piles de combustible usen una solució líquida de carbonats de liti, sodi i/o potassi, introduïda en una matriu per formar un electròlit. Aquestes piles tenen un alt rendiment de conversió de combustible a electricitat, pròxim al 60% o al 85% amb cogeneració, i operen a uns 650ºC. L'alta temperatura d'operació és necessària per aconseguir una conductivitat suficient de l'electròlit. Degut a aquesta alta temperatura, els catalitzadors de metalls nobles no són necessaris pels processos electroquímics de reducció i oxidació.

Aquestes piles s'han provat amb una gran varietat de combustibles: hidrogen, monòxid de carboni, gas natural, propà, gasoil i productes provinents de la gasificació del carbó. S'han provat piles amb potències compreses entre 10kW i 2MW usant una varietat de combustibles i estan dirigides principalment a aplicacions de generació de potència estacionària. Les altes temperatures d'operació, tenen una gran avantatge ja que implica majors eficiències i flexibilitat per usar més tipus de combustibles i catalitzadors menys costosos, ja que les reaccions per trencar els enllaços del carboni dels hidrocarburs augmenten de velocitat al incrementar la temperatura. Una desavantatge és que les altes temperatures augmenten la corrosió i el malfuncionament de components de la pila de combustible.

Les reaccions que es duen a terme en aquest tipus de piles són:

Ànode: $H_2 + CO_3^{2-} \rightarrow H_2O + CO_2 + 2e^-$

Càtode: $½\ O_2 + CO_2 + 2e^- \rightarrow CO_3^{2-}$

Reacció global: $H_2 + ½\ O_2 + CO_2 \rightarrow H_2O + CO_2$

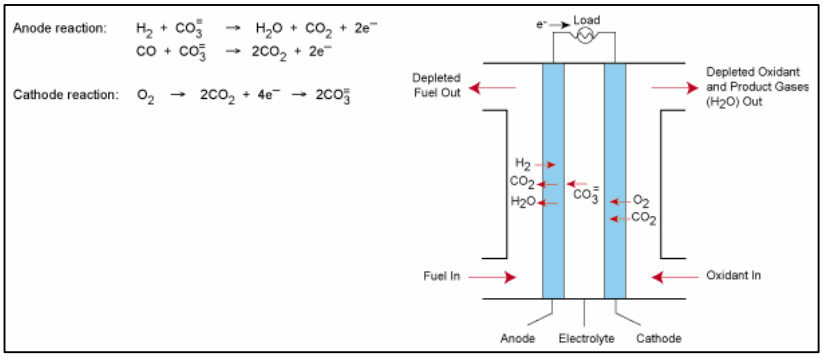


Fig. D.4. Funcionament d'una pila del tipus PAFC (font: Ballard)

Pila de combustible d'òxid sòlid (SOFC)

Aquestes piles encara estan en fase d'investigació i no es comercialitzen, però sembla ser que seran utilitzades en grans aplicacions d'alta potència, industrial i centrals estacionàries de generació d'electricitat a gran escala. Alguns fabricants veuen l'ús de la piles SOFC en els vehicles i estan desenvolupant unitats de potència auxiliars amb aquest tipus de pila (APUs). Un sistema d'òxid sòlid generalment utilitza un material ceràmic d'òxid de zirconi sòlid i una petita quantitat de itria, en lloc d'un electròlit líquid, permetent que les temperatures d'operació arribin als 1000ºC. Les eficiències d'operació poden arribar al 60% i al 85% amb cogeneració, i la potència pot arribar als 100kW. Els dissenys tubulars de piles SOFC estan més pròximes a la seva comercialització i estan sent produïts per vàries companyies al voltant del món. Japó té dues unitats de 25kW i una planta de 100kW està sent provada a Europa.

Les reaccions que es duen a terme en aquest tipus de piles són:

Ànode: $H_2 + O_2 \rightarrow H_2O + 2e^-$

Càtode: $½\ O_2 + 2e^- \rightarrow O^{2-}$

Reacció global: $H_2 + ½\ O_2 \rightarrow H_2O$

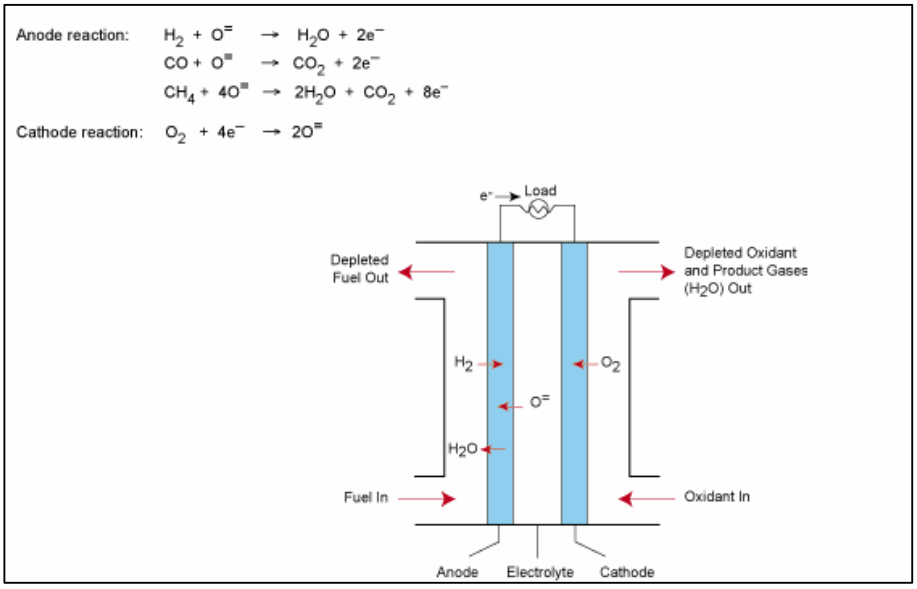


Fig. D.5. Funcionament d'una pila del tipus PAFC (font: Ballard)

Piles de combustible alcalines

Aquestes piles, usades durant molt temps per les missions espacials de la NASA, poden aconseguir rendiments de fins al 70%. Van ser usades en les naus Apolo per proporcionar electricitat i aigua per beure. La seva temperatura d'operació és de 150 a 200ºC. Utilitzen una solució aquosa alcalina d'hidròxid de potassi introduïda en una matriu, com a electròlit. La reacció del càtode és més ràpida en un electròlit alcalí. Fins fa poc eren molt costoses per aplicacions comercials, però moltes companyies estan examinant mitjans per reduir els costos i millorar la flexibilitat en la seva operació. Típicament tenen una potència entre els 300W i 5kW.

Les reaccions que es duen a terme en aquest tipus de piles són:

Ànode: $H_2 + 2(OH)^- \rightarrow 2H_2O + 2e^-$

Càtode: $½\ O_2 + H_2O + 2e^- \rightarrow 2(OH)^-$

Reacció global: $H_2 + ½\ O_2 \rightarrow H_2O$

Pilas de combustible de Metanol directe (DMFC)

Aquestes piles són similars a les piles PEM ja que ambdues usen una membrana de polímer com electròlit. No obstant, en les piles DMFC el catalitzador de l'ànode obté l'hidrogen del metanol líquid, eliminant la necessitat d'un reformador de combustible. Les eficiències s'espera que estiguin al voltant del 40%, les quals operen a una temperatura de 50-100ºC. Aquest és un rang de temperatures relativament baix, fent aquesta pila sigui atractiva per aplicacions des de molt petites fins a tamanys mitjans, per exemple alimentar telèfons mòbils. Majors eficiències poden obtenir-se a majors temperatures.

Les reaccions que es duen a terme en aquest tipus de piles són:

Ànode: $CH_3OH + H_2O \rightarrow CO_2 + 6H^+ + 6e^-$

Càtode: $6H^+ + 6e^- + 3/2\ O_2 \rightarrow 3H_2O$

Reacció global: $CH_3OH + 3/2\ O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$

Piles de combustible Regeneratives

Aquest tipus de piles estan sent investigades per la NASA i altres companyies. Les piles regeneratives serien molt atractives funcionant com un sistema de generació de potència de cicle tancat. Mitjançant un electrolitzador solar s'obté hidrogen i oxigen de l'aigua. L'hidrogen i l'oxigen alimenten la pila de combustible, i es genera electricitat, calor i aigua. Llavors l'aigua recircula cap a l'electrolitzador alimentat amb energia solar i el procés torna a començar una altra vegada.

Piles de combustible de Zinc-Aire (ZAFC)

En una pila de combustible zinc-aire hi ha un elèctrode de difusió de gas (GDE), un ànode de zinc separat per un electròlit i separadors mecànics. L'elèctrode GDE és una membrana permeable que permet el pas de l'oxigen atmosfèric. Després que l'oxigen hagi sigut convertit en ions hidròxil i aigua, els ions hidròxil atravessen la membrana i arriben a l'ànode de zinc. És aquí on l'ió reacciona amb el zinc formant òxid de zinc, aquest procés genera un potencial elèctric. Quan un conjunt de piles ZAFC són connectades, el potencial elèctric combinat del conjunt pot ser utilitzat com a font d'energia. L'avantatge més gran que la tecnologia zinc-aire té sobre altres bateries és la seva energia específica. Degut a l'abundància de zinc sobre el terra, els costos del material per les piles ZAFCs són baixos. Per tant, la tecnologia zinc-aire té un potencial ampli d'aplicacions, des de vehicles elèctrics a equip electrònic militar.

Piles de combustible de ceràmic protònic (PCFC)

Aquest nou tipus de pila de combustible està basat en un material d'electròlit ceràmic protònic que presenta una alta conductivitat protònica a elevades temperatures. Aquestes piles comparteixen les avantatges tèrmiques i cinètiques de l'operació a alta temperatura (700ºC) amb les MCFCs i les SOFCs. Al mateix temps que té els beneficis intrínsecs de la conducció protònica en electròlits de piles polimèriques i àcid fosfòric. L'alta temperatura d'operació és necessària per arribar a l'alta eficiència elèctrica. Les PCFCs poden operar a altes temperatures i oxiden electrolíticament combustibles fòssils directament a l'ànode. Això elimina el pas intermig de producció d'hidrogen mitjançant reformadors. Les mol·lècules gasoses del combustible d'hidrocarbur són absorbides sobre la superfície de l'ànode en presència de vapor d'aigua, i els àtoms d'hidrogen són eficientment arrencats per ser absorbits cap a l'electròlit, produint com a producte principal de la reacció diòxid de carboni.