

LES ENERGIES RENOVABLES: SOLAR TÈRMICA, SOLAR FOTOVOLTAICA I EÒLICA

*Estudi experimental de l'eficiència energètica dels
elements instal·lats a l'aula d'energies renovables de
l'institut Guindàvols (Lleida)*



*Alumne: Sergi Gómez Terés
Tutor: Anicet Cusialls Manonelles
2n de Batxillerat A/C
Treball de recerca
Curs 2011-2012
INS Guindàvols
Lleida*

***“L’energia solar no és una energia
alternativa: és l’energia.”***

Hermann Scheer

ÍNDEX

1.	INTRODUCCIÓ.....	1
2.	OBJECTIUS	4
LES ENERGIES RENOVABLES: SOLAR TÈRMICA, SOLAR FOTOVOLTAICA I EÒLICA.....		6
3.	ENERGIES RENOVABLES	7
4.	SOL COM A FONT D'ENERGIA.....	12
5.	ENERGIA SOLAR TÈRMICA.....	19
5.1.	INSTAL·LACIONS DE BAIXA TEMPERATURA.....	28
5.2.	INSTAL·LACIONS DE MITJANA I ALTA TEMPERATURA.....	36
5.3.	L'ENERGIA SOLAR TÈRMICA A L'ACTUALITAT	39
6.	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	41
6.1.	LA MATÈRIA I ELS ÀTOMS.....	41
6.2.	FUNCIONAMENT DE LES CÈL·LULES FOTOVOLTAIQUES: EFECTE FOTOVOLTAIC....	46
6.3.	COMPONENTS D'UNA INSTAL·LACIÓ FOTOVOLTAICA.....	49
6.4.	SISTEMES FOTOVOLTAICS	55
6.5.	UNA MICA D'HISTÒRIA.....	56
6.6.	L'ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA A L'ACTUALITAT	57
6.7.	ELS RÈCORDS DE L'ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	58
7.	ENERGIA EÒLICA.....	59
7.1.	TECNOLOGIA EÒLICA.....	61
7.2.	TIPUS D'AEROTURBINES: aeromotors i aerogeneradors	64
7.3.	FUNCIONAMENT DELS AEROGENERADORS D'EIX HORIZZONTAL	66
7.4.	COMPONENTS DELS AEROGENERADORS D'EIX HORIZZONTAL	68
7.5.	COMPONENTS DELS AEROGENERADORS D'EIX VERTICAL	77
7.6.	PARCS EÒLICS	81
7.7.	UNA MICA D'HISTÒRIA.....	82
7.8.	L'ENERGIA EÒLICA A L'ACTUALITAT	84
7.9.	ELS RÈCORDS DE L'ENERGIA EÒLICA	88
DESCRIPCIÓ DE L'AULA D'ENERGIES RENOVABLES DE L'INSTITUT GUINDÀVOLS (LLEIDA)		90
8.	DESCRIPCIÓ DE L'AULA. ENERGIA SOLAR TÈRMICA	91
9.	DESCRIPCIÓ DE L'AULA. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA I EÒLICA	100

DETERMINACIONS EXPERIMENTALS.....	105
10. CONEIXEMENTS PREVIS.....	106
10.1. TERMODINÀMICA.....	106
10.2. ELECTRICITAT.....	108
10.3. RENDIMENT.....	111
10.4. INTENSITAT SOLAR.....	112
10.5. PROGRAMES INFORMÀTICS.....	113
10.6. DADES.....	116
11. DETERMINACIÓ EXPERIMENTAL DE LA POTÈNCIA DESENVOLUPADA A L'AULA D'ENERGIES RENOVABLES PER LA INSTAL·LACIÓ I PELS COL·LECTORS SOLARS EN SÈRIE	117
11.1. INTRODUCCIÓ.....	117
11.2. OBJECTIUS.....	117
11.3. METODOLOGIA.....	118
11.4. RESULTATS OBTINGUTS. ANÀLISI I DISCUSSIÓ.....	120
11.5. CONCLUSIONS PARCIALS.....	125
12. DETERMINACIÓ EXPERIMENTAL DE LA POTÈNCIA DESENVOLUPADA A L'AULA D'ENERGIES RENOVABLES PER LA INSTAL·LACIÓ I PELS COL·LECTORS SOLARS EN PARAL·LEL 127	
12.1. INTRODUCCIÓ.....	127
12.2. OBJECTIUS.....	127
12.3. METODOLOGIA.....	128
12.4. RESULTATS OBTINGUTS. ANÀLISI I DISCUSSIÓ.....	131
12.5. CONCLUSIONS.....	136
13. DETERMINACIÓ EXPERIMENTAL DEL RENDIMENT, A L'AULA D'ENERGIES RENOVABLES, DE LA INSTAL·LACIÓ I DELS COL·LECTORS EN SÈRIE	138
13.1. INTRODUCCIÓ.....	138
13.2. OBJECTIUS.....	138
13.3. METODOLOGIA.....	139
13.4. RESULTATS OBTINGUTS. ANÀLISI I DISCUSSIÓ.....	140
13.5. CONCLUSIONS PARCIALS.....	142
14. DETERMINACIÓ EXPERIMENTAL DEL RENDIMENT, A L'AULA D'ENERGIES RENOVABLES, DE LA INSTAL·LACIÓ I DELS COL·LECTORS EN PARAL·LEL	143
14.1. INTRODUCCIÓ.....	143
14.2. OBJECTIUS.....	143
14.3. METODOLOGIA.....	144

14.4.	RESULTATS OBTINGUTS. ANÀLISI I DISCUSSIÓ.....	145
14.5.	CONCLUSIONS PARCIALS.....	147
15.	DETERMINACIÓ EXPERIMENTAL DE LA POTÈNCIA DESENVOLUPADA A L'AULA D'ENERGIES RENOVABLES PER LA PLACA FOTOVOLTAICA I DEL RENDIMENT.....	148
15.1.	INTRODUCCIÓ.....	148
15.2.	OBJECTIUS	148
15.3.	METODOLOGIA.....	149
15.4.	RESULTATS OBTINGUTS. ANÀLISI I DISCUSSIÓ. CÀLCUL DE LA POTÈNCIA.....	151
15.5.	RESULTATS OBTINGUTS. ANÀLISI I DISCUSSIÓ. CÀLCUL DEL RENDIMENT.....	155
15.6.	CONCLUSIONS PARCIALS.....	157
16.	DETERMINACIÓ EXPERIMENTAL DE LA INTENSITAT SOLAR A LA SUPERFÍCIE TERRESTRE.....	159
16.1.	INTRODUCCIÓ.....	159
16.2.	OBJECTIUS	159
16.3.	METODOLOGIA.....	159
16.4.	RESULTATS OBTINGUTS. ANÀLISI I DISCUSSIÓ.....	163
16.5.	CONCLUSIONS PARCIALS.....	164
17.	CÀLCUL DE LA CALOR ESPECÍFICA DE L'ANTICONGELANT	165
17.1.	INTRODUCCIÓ.....	165
17.2.	OBJECTIUS	165
17.3.	METODOLOGIA.....	165
17.4.	RESULTATS OBTINGUTS. ANÀLISI I DISCUSSIÓ.....	169
17.5.	CONCLUSIONS PARCIALS.....	172
	CONCLUSIONS, BIBLIOGRAFIA I AGRAÏMENTS.....	173
18.	CONCLUSIONS	174
19.	BIBLIOGRAFIA I WEBGRAFIA	178
20.	REFERÈNCIES DE LES IMATGES.....	182
21.	AGRAÏMENTS.....	188
	ANNEX.....	189

1.INTRODUCCIÓ

This year is the “international year of the sustainable energy for all”. This project is about renewable energies, which are related with sustainable energies. The aim of the project is to know this type of sources much better. It has been originated by the idea of using them to replace the non-renewable energies. The reason is that these are exhaustible and polluting.

The project is structured in two parts. The first one consists of a research of the renewable energies, specially the solar thermal energy, the solar photovoltaic energy and the wind power. These were the ones chosen because of having an area with the goal of studying these energies in the high-school.

Moreover, the second part consists of some experimental determinations made using that area. In addition, this part of the project could not be developed without having this place.

Aquest any 2012 és l’“any internacional de l’energia sostenible per a tots”. Aquest treball sobre les energies renovables ha estat acabat també aquest any, de manera que coincideix amb aquesta declaració. Així, es produeix una coincidència entre el moment d’elaboració d’aquest treball i l’any dedicat a aquestes energies.

L’energia, avui en dia, i des de sempre, ha estat indispensable. Els éssers humans, per exemple, necessitem energia constantment, només pel simple fet de viure. El els nutrients representen la nostra font d’energia bàsica.

A més a més, utilitzem energia en el nostre entorn, per a construir el què tenim, per al transport... En la prehistòria i Edat Antiga el sol i el vent, entre d’altres, eren fonts d’energia que ja s’utilitzaven. Tanmateix, l’aparició d’altres fonts d’energia, en especial la utilització del carbó en el segle XVIII, i més tard el petroli, van experimentar un gran creixement i canvi.

Les fonts d'energies que més s'utilitzen habitualment són aquestes energies, les anomenades energies no renovables. El carbó, el petroli o el gas, com la resta de les energies no renovables, presenten dos greus inconvenients. El primer és que són exhauribles i, el segon, que són molt contaminants. Les energies renovables, en canvi, no presenten aquests problemes.

La motivació que ha impulsat aquest treball ha sigut, bàsicament, aquests desavantatges de les energies no renovables. Tots sabem que contaminem però, en part, no podem evitar-ho, hi ens podem arribar a sentir impotents. Les calefaccions, els cotxes, la xarxa elèctrica, etc. funcionen gràcies a les energies no renovables. Tanmateix les energies renovables podrien suposar una alternativa viable.

Per aquest motiu he volgut realitzar un treball sobre altres fonts d'energia que, avui per avui, són encara poc utilitzades. A més a més, l'aula d'energies renovables de l'institut Guindàvols m'ha ofert la possibilitat de conèixer fonts d'energia renovables de més a prop, estudiant-la i determinant experimentalment diferents paràmetres.

L'objectiu alhora de fer aquest treball ha sigut conèixer les energies renovables i l'aula d'energies renovables de l'institut Guindàvols. Com ja he dit, les energies renovables són poc utilitzades en relació a les no renovables i per aquest raó he decidit endinsar-me una mica més en aquest tema i saber els seus avantatges, el seu funcionament i els usos que se'n pot donar. L'aula ha sigut una manera d'introduir-me i de poder veure una instal·lació real, a partir de la qual he realitzat diferents determinacions experimentals.

Aquest treball ha estat estructurat en dues grans parts. La primera part ha consistit, fonamentalment, en una recerca d'informació sobre les energies renovables i, més en concret, sobre l'energia solar tèrmica, l'energia solar fotovoltaica i l'energia eòlica. Aquests tres tipus de fonts d'energia han estat escollits per la seva presència en l'esmentada aula d'energies renovables.

La segona part del treball està integrada per diferents determinacions experimentals. En total han sigut set, de les quals cinc no hagués pogut ser possibles sense l'aula d'energies.

La metodologia seguida en les dues parts, per tant, difereix bastant. En la primera part la recerca s'ha dut a terme a partir de diferents llibres especialitzats i pàgines webs. L'extensió de la informació trobada ha estat molt extensa i s'ha hagut de resumir i de verificar, sobretot en el de la informació d'Internet. Les pàgines webs consultades han estat de nivell internacionals i en diferents llengües. En algun cas, el nivell de coneixements demanat per a poder entendre els textos ha sigut força elevat.

El procediment en la segona part ha sigut diferent. En primer lloc, durant els mesos d'estiu en els que l'institut ha romàs obert, he pres diferents mesures de dades, havent fixat prèviament una meta, i he realitzat càlculs de la potència de l'aula d'energies. Després, basant-me en estadístiques, he treballat amb les dades de la potència, per obtenir el rendiment i, finalment, he calculat la intensitat solar i la calor específica de l'anticongelant. Els problemes trobats en aquesta segona part han sigut la incoherència d'algunes dades que he eliminat i han suposat la repetició d'algunes determinacions experimentals, així com la dependència de la meteorologia.

2.OBJECTIUS

- I. Conèixer les energies renovables.
- II. Conèixer el funcionament dels sistemes d'aprofitament de l'energia solar tèrmica.
- III. Conèixer el funcionament dels sistemes d'energia fotovoltaics.
- IV. Conèixer el funcionament dels sistemes d'energia eòlica.
- V. Conèixer l'aula d'energies renovables de l'institut.
- VI. Determinar experimentalment la potència desenvolupada per la instal·lació i pels col·lectors de l'aula d'energies renovables, quan aquests estan connectats en sèrie.
- VII. Determinar experimentalment la potència desenvolupada per la instal·lació i pels col·lectors de l'aula d'energies renovables, quan aquests estan connectats en paral·lel.
- VIII. Determinar experimentalment el rendiment de la instal·lació i dels col·lectors de l'aula d'energies renovables, quan aquests estan connectats en sèrie.
- IX. Determinar experimentalment el rendiment de la instal·lació i dels col·lectors de l'aula d'energies renovables, quan aquests estan connectats en paral·lel.
- X. Determinar experimentalment la potència desenvolupada per la placa fotovoltaica.
- XI. Determinar experimentalment el rendiment de la placa fotovoltaica.
- XII. Determinar experimentalment la potència de l'aerogenerador.

- XIII. Determinar experimentalment el rendiment de l'aerogenerador.
- XIV. Determinar experimentalment la intensitat i la constant solar.
- XV. Determinar experimentalment la calor específica de l'anticongelant.
- XVI. Realitzar un plànol de la instal·lació de l'aula d'energies renovables.
- XVII. Ajudar a informar sobre les energies renovables.

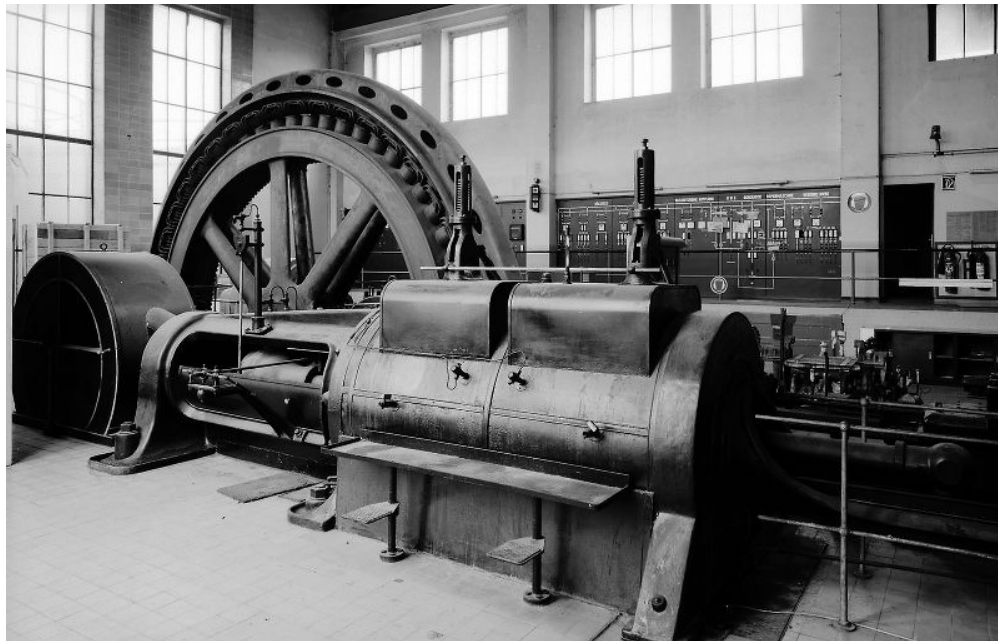
**LES ENERGIES
RENOVABLES: SOLAR
TÈRMICA, SOLAR
FOTOVOLTAICA I EÒLICA**

3. ENERGIES RENOVABLES

Les fonts d'energia són els recursos naturals dels quals es pot obtenir energia per produir calor, llum i potència. Al llarg del temps, la utilització d'aquest recursos ha anat variant.

Els pobles primitius únicament utilitzaven l'energia muscular però més endavant van fer servir la força dels animals i van començar a fer foc. Es van utilitzar la fusta i els residus vegetals o animals per satisfer les necessitats energètiques primàries, llum i calor. Més tard es va recórrer a l'energia del vent i l'energia de l'aigua.

Aquestes van ser les principals fonts d'energia fins a la Revolució Industrial que va tenir lloc durant els segles XVIII i XIX. Durant aquesta època es va popularitzar l'ús de la màquina de vapor (imatge 1), inventada per Thomas Savery i posteriorment millorada per James Watt, que utilitzava el carbó com a combustible. Aquesta màquina, que va ser molt usual a les fàbriques, produïa vapor a partir del carbó i posteriorment en transformava l'energia en treball mecànic.



Imatge 1. Fotografia d'una màquina de vapor.

El primer carbó que es va utilitzar va ser el vegetal, però degut a la seva escassetat i al seu poc poder calorífic, va ser substituït pel carbó mineral, que a finals del segle XIX proporcionava el 59% de l'energia consumida.

Avenços tècnics a finals del segle XIX i principis del segle XX, com la invenció del motor d'explosió, van donar lloc a la utilització massiva de combustibles derivats del petroli. A la dècada dels anys 70 del segle passat aquest combustible era la font d'energia més utilitzada amb aproximadament el 50% el consum mundial d'energia. Tanmateix, es va originar la crisi de l'energia amb l'inici de la guerra araboisraeliana i els preus del petroli es van triplicar.

L'ús del gas natural es va començar a impulsar després de la Segona Guerra Mundial. L'ús de l'energia nuclear va començar el 1942 amb la construcció de la primera pila atòmica i l'any 1954 es va posar en funcionament a l'antiga URSS la primera central nuclear de fissió.

En les últimes dècades s'ha començat a buscar noves fonts d'energia degut a problemes com la crisi del petroli i l'augment del preu d'aquest, l'esgotament de recursos, els accidents nuclears, la falta de solució al problema dels recursos radioactius, la contaminació (imatge 2) i l'escassetat dels combustibles fòssils.



Imatge 2. Fotografia dels fums contaminants d'un vehicle.

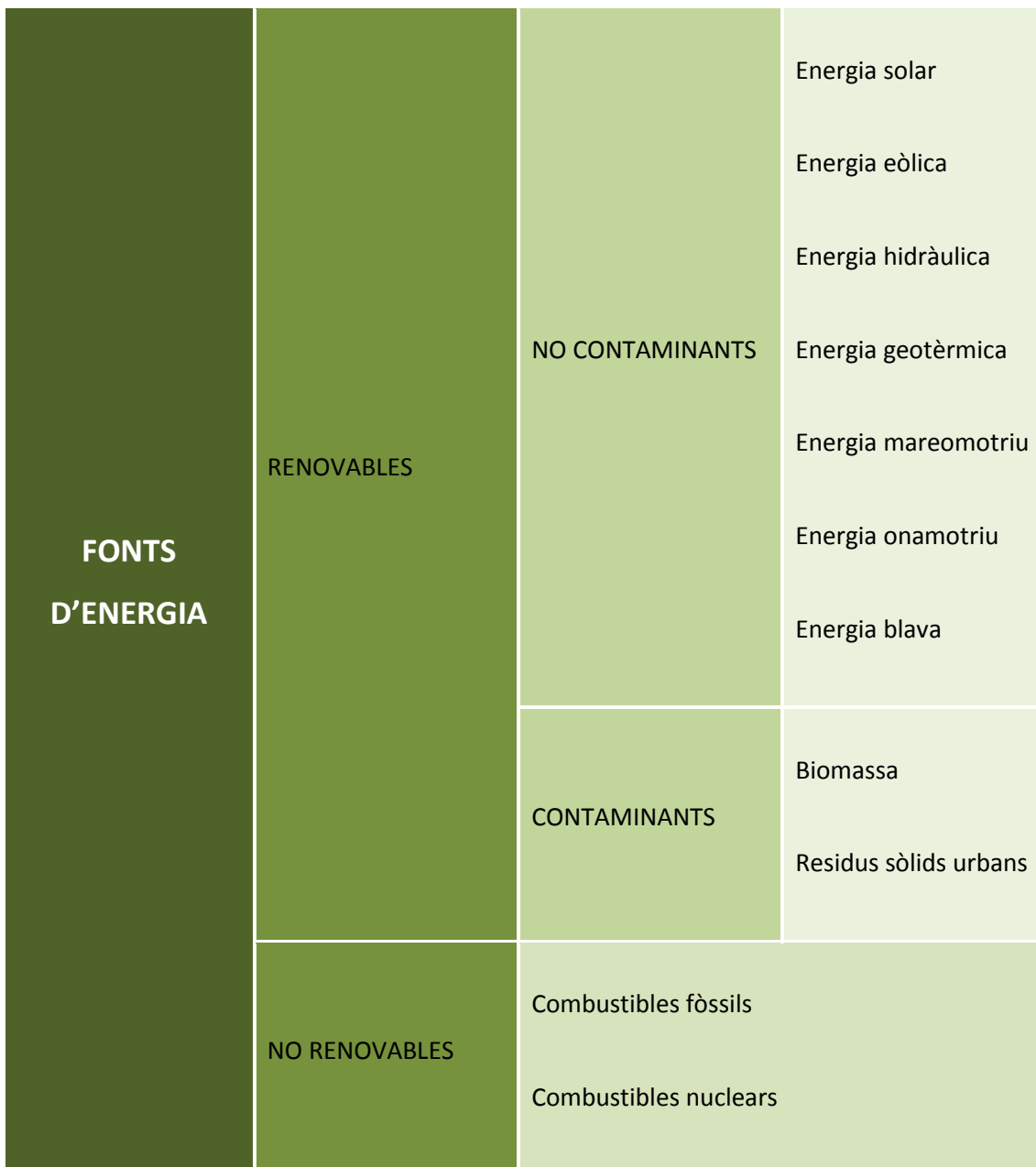
Actualment les fonts d'energia es poden classificar, segons les seves reserves disponibles en **renovables** i **no renovables** o exhauribles. Aquesta classificació es basa en la comparació entre el ritme de regeneració de les fonts d'energia i el seu ritme de consum.

Les fonts d'energia renovables es regeneren contínuament. Poden classificar-se, al seu torn, en no contaminants, sostenibles o netes i contaminants. Les energies renovables no contaminants són aquelles que no s'utilitzen com a combustible i no generen residus contínuament. El que sí que poden produir és impacte sobre el medi. Exemples d'energies renovables no contaminants són:

- L'energia solar, basada en la radiació solar.
- L'energia eòlica, basada en l'aprofitament de l'energia cinètica del vent.
- L'energia hidràulica, basada en l'aprofitament de les corrents d'aigua dolça.
- L'energia geotèrmica, basada en el gradient tèrmic, és a dir, l'elevada temperatura de l'interior de la Terra.
- L'energia mareomotriu, basada en la diferència d'altura entre les mareas.
- L'energia onomotriu, basada en el moviment de les ones.
- L'energia blava, basada en la diferència en la concentració de sal entre l'aigua de mar i l'aigua de riu.

Les fonts d'energia renovables contaminants són la biomassa i l'aprofitament dels residus sòlids urbans. Aquestes fonts d'energia s'utilitzen com a combustibles i, per tant, presenten un dels problemes que també presenta l'energia provinent dels combustibles fòssils: emeten diòxid de carboni, produeixen gasos d'efecte hivernacle i sovint són més contaminants, ja que la seva combustió no és tant neta, emeten partícules sòlides. La biomassa es considera renovable perquè mentre es puguin cultivar els vegetals dels quals prové no s'esgotarà. Els residus sòlids urbans es consideren renovables perquè és obvi que els humans no parem de generar residus, tot i que se'n pugui reduir la seva creació.

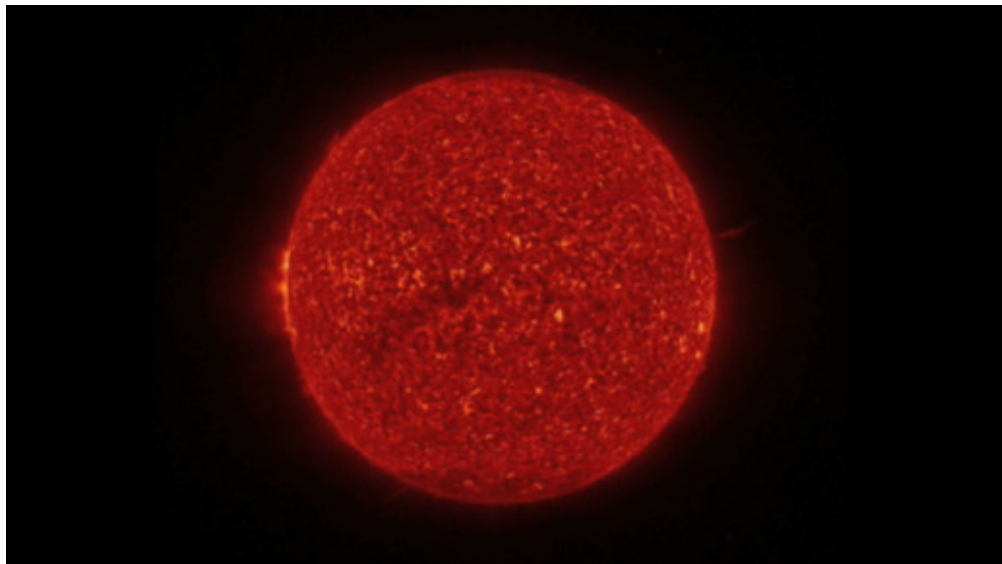
Les fonts d'energia no renovables són els combustibles fòssils i els combustibles nuclears. Aquestes fonts d'energia no són renovables perquè els jaciments dels combustibles fòssils es poden esgotar perquè la seva demanda és superior a la seva regeneració. Amb els combustibles nuclears passa el mateix, són limitats.



Imatge 3. Classificació de les fonts d'energia.

4.SOL COM A FONT D'ENERGIA

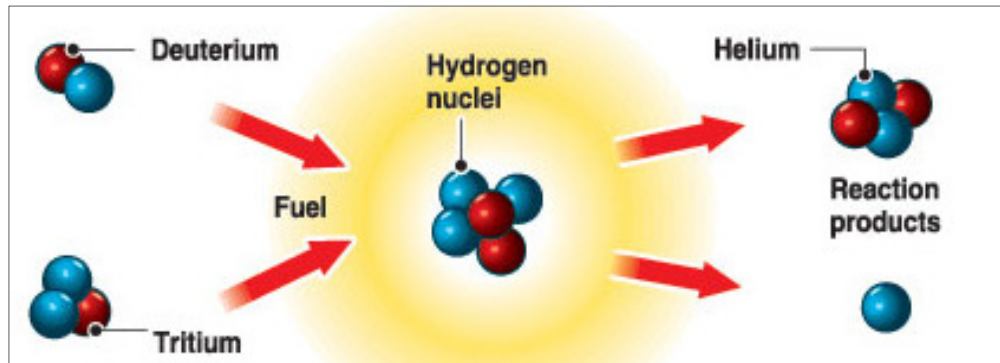
El Sol és una estel a l'entorn del qual gira la Terra. Porta milers de milions d'anys brillant i la seva energia la rebem en forma de llum i calor. Com a estel que és, es pot dir que és tracta d'una esfera de plasma que manté la seva forma gràcies a un equilibri de forces anomenat equilibri hidrostàtic i brilla amb llum pròpia. Té un diàmetre de $19,92 \times 10^5$ km i una massa d' $1,99 \times 10^{30}$ kg; la seva densitat mitjana és, doncs, d' $1,41 \text{ g/cm}^3$. Segons càlculs actuals al centre del Sol existeix una pressió de cent mil milions d'atmosferes i una temperatura de vint milions de graus.



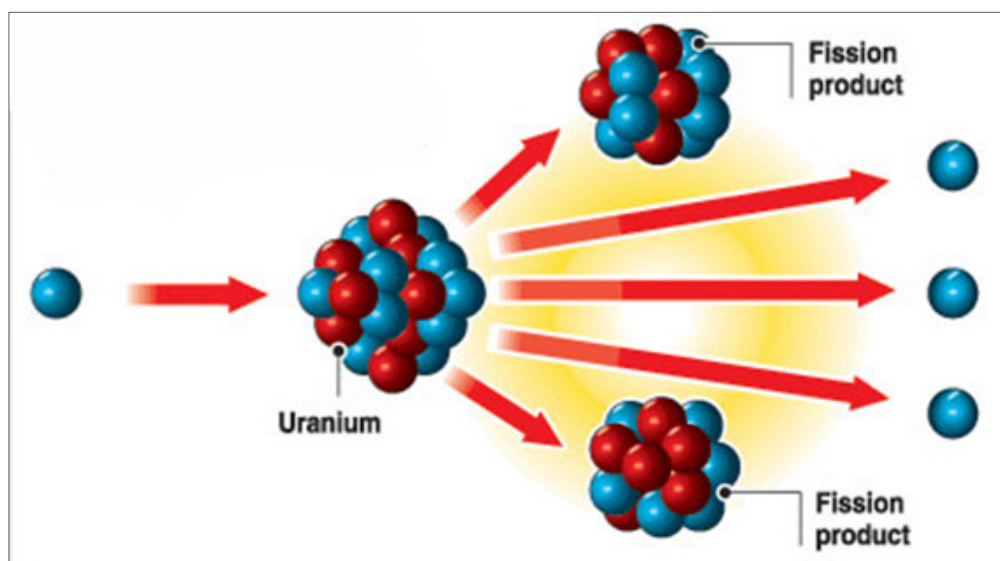
Imatge 4. Fotografia del sol realitzada per STEREO's Extreme Ultraviolet Imaging Telescope (Telescopi d'Imatges Ultraviolades STEREO) de l'agència dels E.U.A. NASA (National Aeronautics Space Administration) el Març del 2007. El telescopi STEREO pot veure el sol amb diferents longituds d'ona, de manera que permet veure diferents característiques d'aquest astre.

Per a generar l'energia del Sol, dins seu es produeixen una sèrie de reaccions nuclears de fusió. La reacció nuclear de fusió és un dels dos tipus de reaccions nuclears que existeixen, que són les reaccions de fusió i les de fissió. En la fissió nuclear un nucli atòmic pesant es divideix en dos o més nuclis lleugers i potser altres subproductes. En la fusió nuclear s'uneixen nuclis d'elements lleuger per formar nuclis més pesats. En les estrelles, i al Sol com a tal, el tipus de reacció que

s'esdevé generalment és la reacció de fusió perquè la de fissió no pot mantenir la lluminositat a causa del seu baix rendiment energètic.



Imatge 5. Esquema de la reacció nuclear de fusió. Dos nuclis lleugers, deuteri i triti, s'uneixen per formar un nucli més pesat, d'heli.



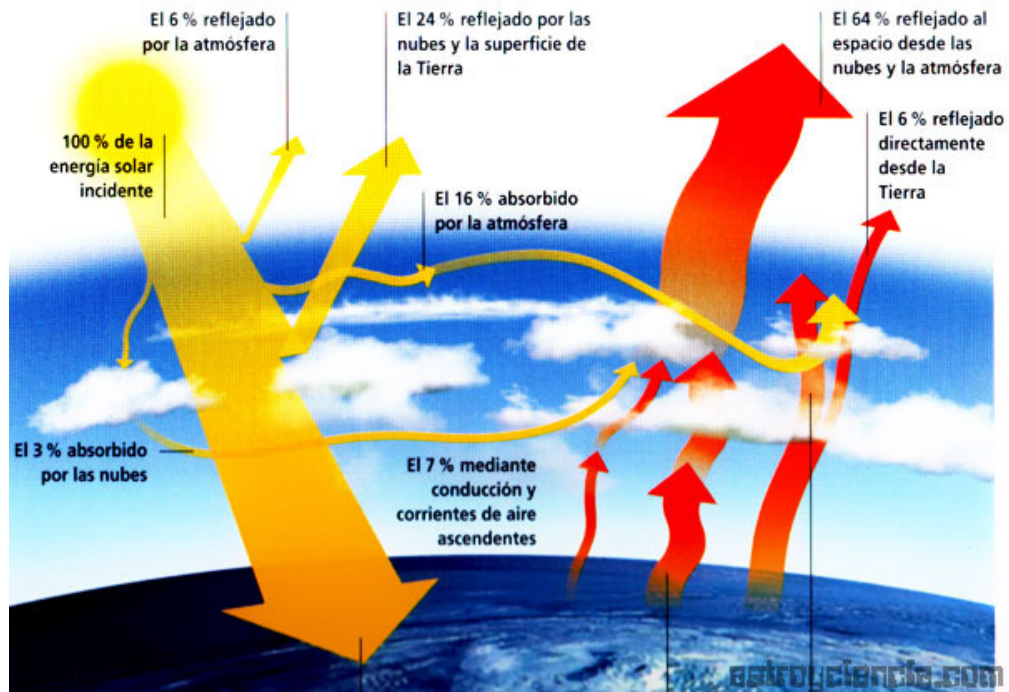
Imatge 6. Esquema de la reacció nuclear de fissió. Un nucli atòmic pesant d'urani es divideix en dos nuclis lleugers i en altres subproductes.

Les reaccions que tenen lloc dins dels nuclis dels estels depenen de la seva massa i composició. Normalment, la combustió nuclear s'inicia al voltant d'un 75% d'hidrogen i un 25% d'heli juntament amb petits fragments d'altres elements. En el Sol l'hidrogen es fusiona per formar heli. D'aquesta manera es produeix l'energia

que posteriorment aquest astre emet. Aquesta emissió de calor es concentra en la forma física anomenada radiació.

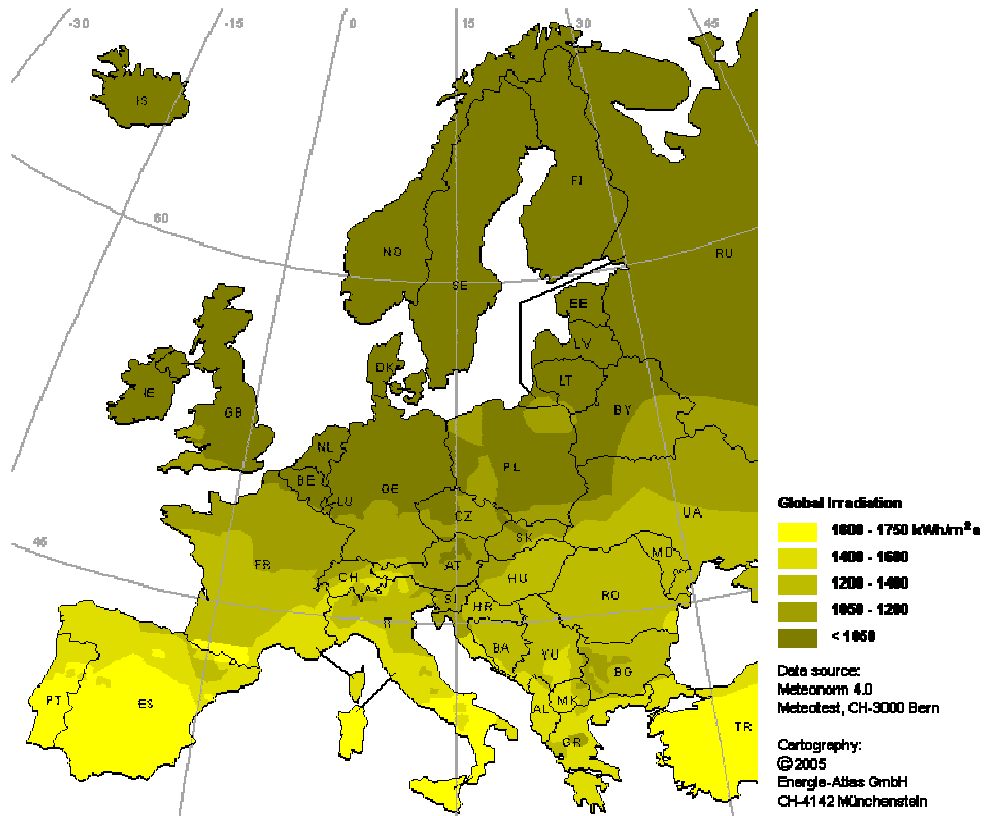
L'energia provinent del Sol ha permès la vida i el desenvolupament dels éssers vius actuals a la Terra. Actualment, representa la font d'energia més gran que es coneix que, a més a més, és inesgotable, neta i no contamina. Els raigs del Sol transmeten a la Terra l'energia corresponent a dos milions de vegades el consum necessari actual. Aquesta quantitat, però, suposa només dos mil·lionèsimes parts de tota l'energia irradiada pel Sol. Per aquesta raó podem parlar del Sol com una de les fonts d'energia més importants que existeix i que cal aprofitar perquè és no contamina directament i és molt més abundant que els combustibles fòssils.

La radiació està composta per rajos infraroigs, llum visible i raigs ultraviolats en proporcions del 46%, 47% i del 7% respectivament. Aquests components compleixen la funció de transportar l'energia solar. La intensitat de la radiació solar que arriba a l'exterior de l'atmosfera terrestre es coneix com a **constant solar**. S'ha determinat que la constant solar es troba entre 1353 i 1368 W/m², tot i que pot oscil·lar entre 1300 i 1400 W/m². No obstant això, l'energia no tota l'energia arriba a la superfície terrestre degut a la densitat de l'atmosfera. La radiació solar, després de travessar les diferents capes de l'atmosfera terrestre, perd part del seu component energètic per reflexió i absorció per part de l'oxigen, el nitrogen, l'ozó, el vapor d'aigua, la pols... Així, s'ha calculat que el valor mig de la intensitat de la radiació solar que es rep a la superfície terrestre és d'aproximadament la meitat de la constant solar.



Imatge 7. Radiació solar que arriba a la Terra.

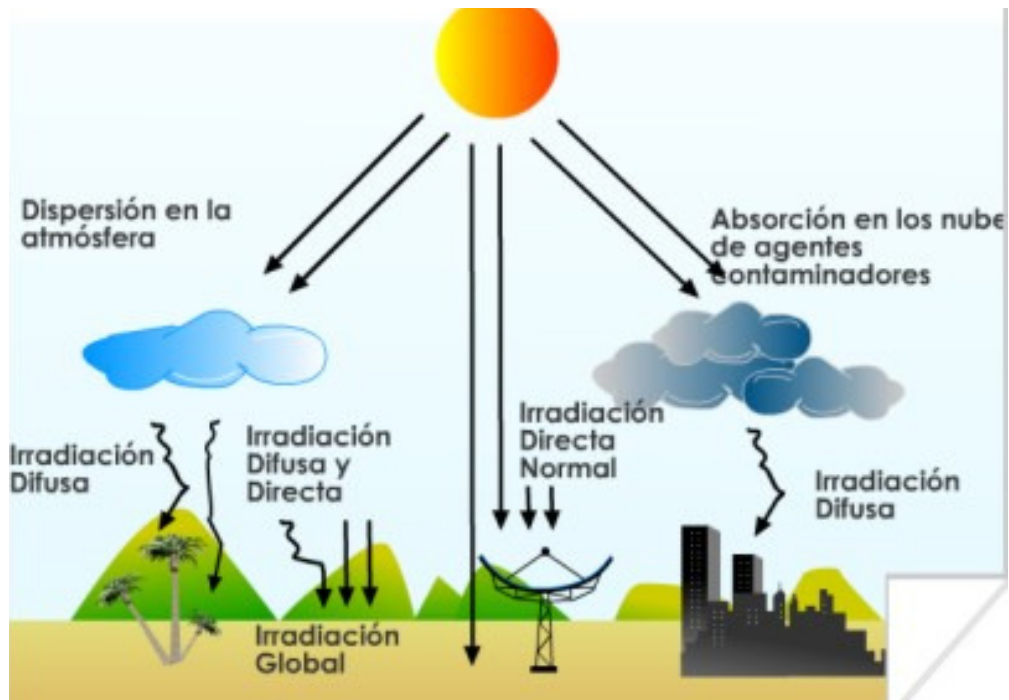
La intensitat de la radiació solar, tanmateix, no és constant ni al llarg del dia, ni al llarg de l'any ni és igual a tota la superfície terrestre. Les circumstàncies que poden portar a aquesta desviació són varies. Pel moviment de rotació de la terra sobre el seu eix es pot diferenciar el dia i la nit i, per tant, quan es pot aprofitar l'energia provinent del Sol i quan no. A més a més, a l'hivern la radiació solar arriba amb menys intensitat que a l'estiu. Això representa un inconvenient perquè durant l'hivern és quan més energia, sobretot en forma de calor, és necessita. També és important dir que quan més a prop s'està de l'equador la radiació arriba amb més intensitat i l'angle d'incidència és diferent és més proper a l'angle recte, és a dir, els rajos són més perpendiculars a la superfície. Cal afegir que l'energia solar no és controlable i està influenciada negativament pels fenòmens atmosfèrics i meteorològics com núvols, contaminació o boires.



Imatge 8. Mapa d'Europa en el qual es pot observar la variació de la potència de la radiació solar.

Espanya té una situació privilegiada en aquest sentit respecte a d'altres països europeus, ja que de mitjana rep una energia de 1500 kWh per any i metre quadrat, és a dir, aproximadament 4 kWh per dia i metre quadrat. Són unes xifres, doncs, que cal tenir en compte ja que aquest tipus d'energia ofereix diversos avantatges enfront de les fonts d'energia tradicionals.

A la superfície de la Terra arriben tres tipus de radiació. La **radiació directa** és la que arriba en línia recta des del Sol i és la que, generalment, s'aprofita. La **radiació difusa** és la que es difon i es dispersa al xocar amb l'atmosfera. Sofreix molts canvis de direcció i per aquest motiu dóna la sensació que prové de l'esfera celeste. És capaç d'arribar a una superfície encara que no estigui exposada al sol. Per últim, la **radiació reflectida** és aquella radiació rebuda per una superfície després de que la radiació solar s'hagi reflectit sobre un cos proper.



Imatge 9. Esquema de la radiació que arriba a la superfície terrestre: directa i difusa.

La irradiació és la quantitat d'energia que arriba a un cos quan està exposat a la radiació solar. Per a mesurar-la en el Sistema Internacional s'utilitza el Joule, tot i que també es poden emprar altres unitats, com el gray, el röntgen, el rad o el rem.

La irradiància és la quantitat d'energia provinent de la radiació que arriba a una superfície determinada en un temps establert. Respon a la fórmula següent:

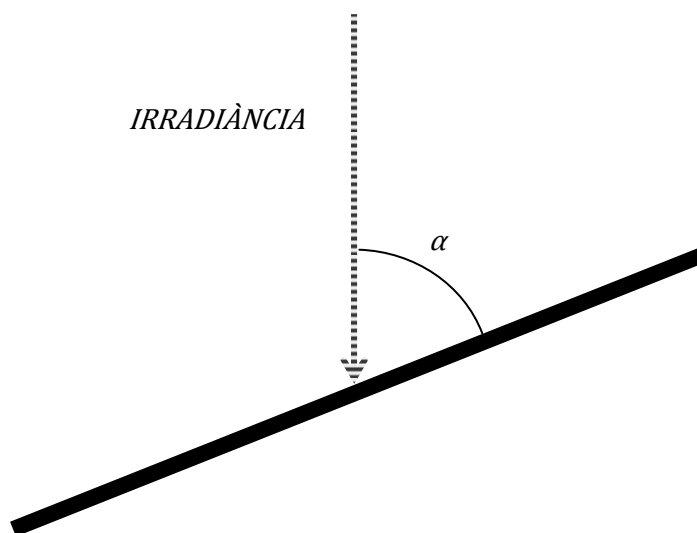
$$I = \frac{E}{s \cdot t}$$

on I és la irradiància, E és l'energia rebuda o irradiació, s és la superfície i t és el temps. En el Sistema Internacional la irradiància es mesura en W/m^2 , ja que $1 W$ és equivalent a $1 J/s$ i l'energia rebuda és mesura en J , la superfície en m^2 i el temps en segons.

L'energia, deguda a la radiació directa, que pot interceptar una superfície exposada als raigs solars depèn de l'angle que forma amb els rajos. Aquesta energia es pot trobar segons la fórmula:

$$I' = I \cdot \cos \alpha$$

on I' és l'energia que rep un cos que forma un angle α amb la radiació i I és la irradiància sobre el pla horitzontal.



Imatge 10. Esquema de la irradiància i l'angle que forma amb una superfície.

A més a més, l'energia rebuda també es pot mesurar amb un aparell anomenat piranòmetre.

Aquesta energia irradiada pel Sol i que es rep a la superfície terrestre es pot aprofitar de dues maneres diferents. La primera i la més senzilla, consisteix a aprofitar la temperatura i l'escalfor que transmet. Aquesta forma d'aprofitar l'energia es basa en l'efecte hivernacle que s'explicarà més endavant.

La segona forma d'aprofitar l'energia solar es basa en un altre efecte diferent, l'efecte fotovoltaic, que també s'explicarà més endavant. En aquesta altra forma l'objectiu és obtenir directament electricitat a partir de la radiació solar.

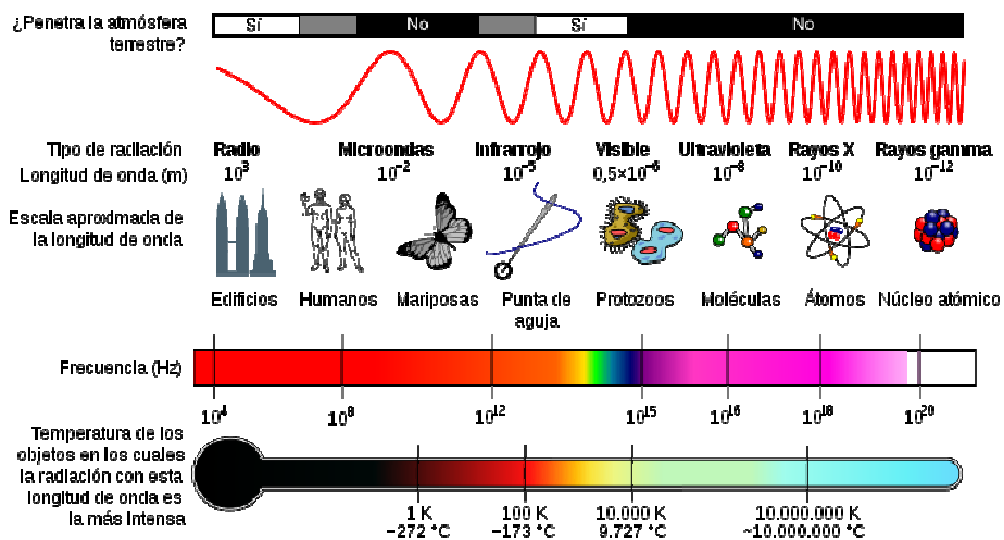
5. ENERGIA SOLAR TÈRMICA

L'energia solar tèrmica o termosolar, com ja s'ha esmentat anteriorment, consisteix en l'aprofitament de l'energia del Sol per a produir calor. L'energia solar tèrmica es pot utilitzar bàsicament amb l'objectiu final d'escalfar i produir calor o per produir vapor i posteriorment electricitat, de manera semblant a com es fa en una central tèrmica convencional. L'avantatge principal de l'aprofitament tèrmic és que s'aconsegueixen rendiments de fins al 65% en la transformació d'energia radiant en energia tèrmica.

L'aprofitament tèrmic es pot realitzar mitjançant sistemes actius o sistemes passius. Alguns sistemes actius són captadors amb o sense concentració de la radiació i centrals termosolars per a la producció d'energia elèctrica. L'aprofitament passiu és possible amb la construcció d'edificis amb un disseny arquitectònic adaptat a l'entorn i el clima que els envolta.

Els sistemes actius poden classificar-se en instal·lacions de baixa, mitjana i alta temperatura. Els sistemes de temperatura baixa més utilitzats són els captadors plans o col·lectors solars, que es basen en l'efecte hivernacle. En les instal·lacions de mitjana i alta temperatura els sistemes que s'utilitzen són diferents.

La transmissió de calor per radiació es produeix en forma d'ones electromagnètiques. L'espectre electromagnètic (imatge 11) és la descomposició de la radiació solar en els seus components de longituds d'ona o de freqüència característics. La suma d'energia que correspon a cada tipus de la descomposició coincideix amb la constant solar. Les longituds d'ona de la radiació solar a nivell del sòl estan compreses entre 0,29 i 2,5 μm .



Imatge 11. Esquema de l'espectre solar.

Abans de començar a explicar l'efecte hivernacle cal saber que hi ha unes característiques que defineixen el comportament d'un cos davant de la radiació solar incident. Quan un cos rep energia radiant, una part d'aquesta es absorbidada, una altra part reflectida i la resta el travessa amb un efecte anomenat transmissió. A l'augmentar la temperatura, qualsevol cos es converteix en emissor d'energia radiant, les característiques del qual no depenen de la radiació incident, sinó del propi cos, del seu estat i les característiques de la seva superfície.

- La transmitància (T) és una magnitud que mesura la capacitat d'una substància per a transmetre la radiació electromagnètica, expressada com la relació entre el flux de radiació transmesa i el flux de radiació incident.

$$T = \frac{I}{I_0}$$

on T és la transmitància, I_0 és la intensitat del raig incident i I és la intensitat de la radiació transmesa.

La intensitat és una mesura del flux d'energia, com a mitjana durant el període de l'ona. Es calcula:

$$I = d \cdot v$$

on I és la intensitat, d és la densitat d'energia i v és la velocitat a la qual viatja l'ona. La densitat d'energia és la quantitat d'energia acumulada en una regió per unitat de volum.

- L'absorbància (A) és la relació entre la quantitat d'energia de radiació que absorbeix un cos i la que absoriria el cos negre sotmès a la mateixa radiació.

$$A = \frac{a}{a_0}$$

on A és l'absorbància, a és la quantitat d'energia de radiació que absorbeix un cos i a_0 és la quantitat d'energia de radiació que absoriria el mateix cos negre.

- La reflectància (R) és el quocient entre la radiació reflectida per una superfície, un cos, etc., i la radiació que hi incideix.

$$R = \frac{r_i}{r_r}$$

on R és la reflectància, r_i és la radiació incident i r_r és la radiació reflectida.

- L'emitància (E) és la relació entre la quantitat de la radiació que emet un cos a una determinada temperatura i la que emetria el cos negre a la mateixa temperatura.

$$E = \frac{e}{e_0}$$

on E és l'emitància, e és la quantitat de radiació que emet un cos i e_0 és la quantitat de radiació que emetria el mateix cos negre.

- L'efectivitat és el quocient entre l'absorbància i l'emitància.

$$Ef = \frac{A}{E}$$

on Ef és l'efectivitat, A és l'absorbància i E és l'emitància.

EL COS NEGRE

Un cos negre és un objecte ideal que absorbeix tota la radiació electromagnètica que hi incideix, mantenint l'equilibri tèrmic. La radiació no pot ser reflectida ni pot travessar un cos negre. Tanmateix aquest cos sí que emet radiació, anomenada radiació del cos negre. Aquest cos s'anomena negre perquè a temperatura ambient gairebé no emet llum visible, de manera que és negre per a un observador.

Gustav Kirchhoff va demostrar que un cos emet la mateixa quantitat de radiació, a una temperatura i freqüència donada, que la que absorbeix. La demostració es basa en el fet de que si suposem que un cos pot absorbir més energia de la que emet, llavors, en una sala plena d'objectes, absorbiria la radiació dels altres objectes. Així aquest s'escalfaria i la resta es refredarien.

Stefan-Boltzmann i Wilhelm Wien, a partir de la demostració de Gustav Kirchhoff i de la teoria del cos negre van elaborar dues lleis, la llei d'Stefan-Boltzmann i la llei del desplaçament de Wien, respectivament.

La llei d'Stefan (1879) diu que la potència total P irradiada des d'un metre quadrat d'una superfície negra a una temperatura T és igual a:

$$P = \sigma \cdot T^4$$

on P és la potència total irradiada des d'un metre quadrat d'una superfície negra, T és la temperatura de la superfície i σ és la constant d'Stefan-Boltzmann:

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$$

La llei de desplaçament de Wien diu que la freqüència és directament proporcional a la temperatura:

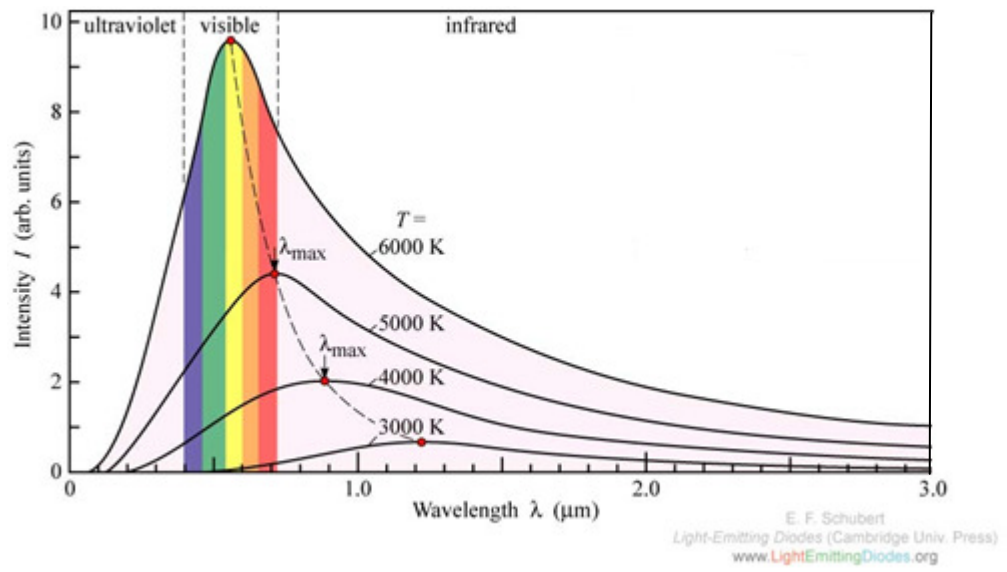
$$f_{m\grave{a}x} \propto T$$

A partir d'aquí,

$$\lambda_{m\grave{a}x} \cdot T = k$$

on $\lambda_{m\grave{a}x}$ és la longitud d'ona màxima que pot emetre un cos a una temperatura T ; k és la constant de Wien:

$$0,0028976 (m \cdot ^\circ K)$$



Imatge 12. Gràfic longitud d'ona - temps de la radiació emesa per un cos negre en diferents temperatures.

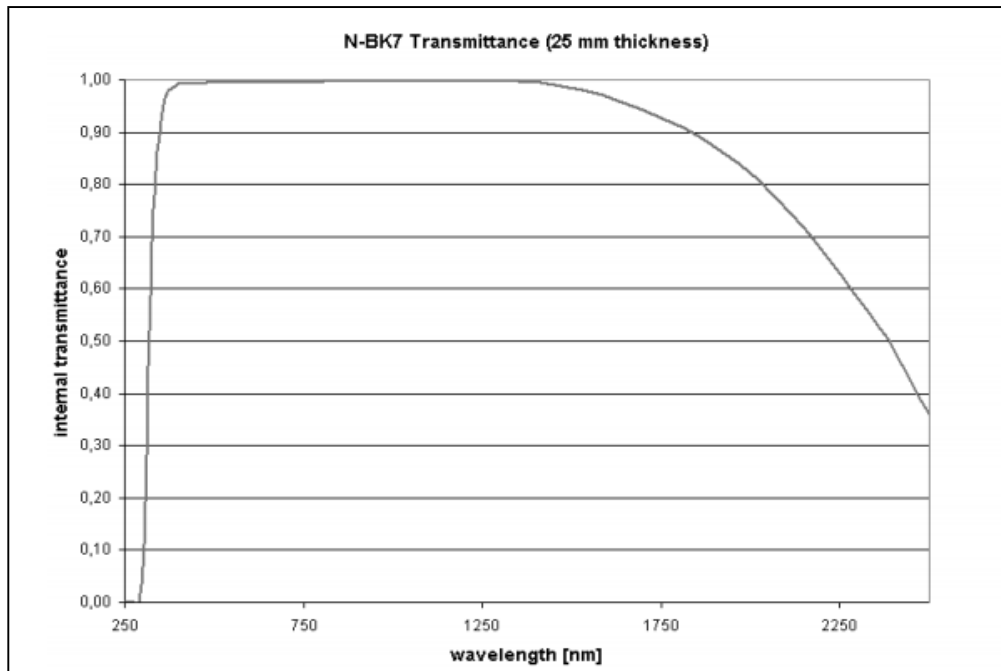
L'EFECTE HIVERNACLE

L'efecte hivernacle consisteix en impedir la fuga a l'exterior de la radiació emesa per la superfície d'un objecte. Això es pot impedir, per exemple, amb un vidre. El vidre té la propietat de permetre el pas de radiació solar en sentit incident i d'impedir la fuga d'energia que emet la superfície calenta. D'aquesta manera s'aconsegueix augmentar la temperatura de la superfície d'una manera similar l'efecte hivernacle que es produeix a l'atmosfera.

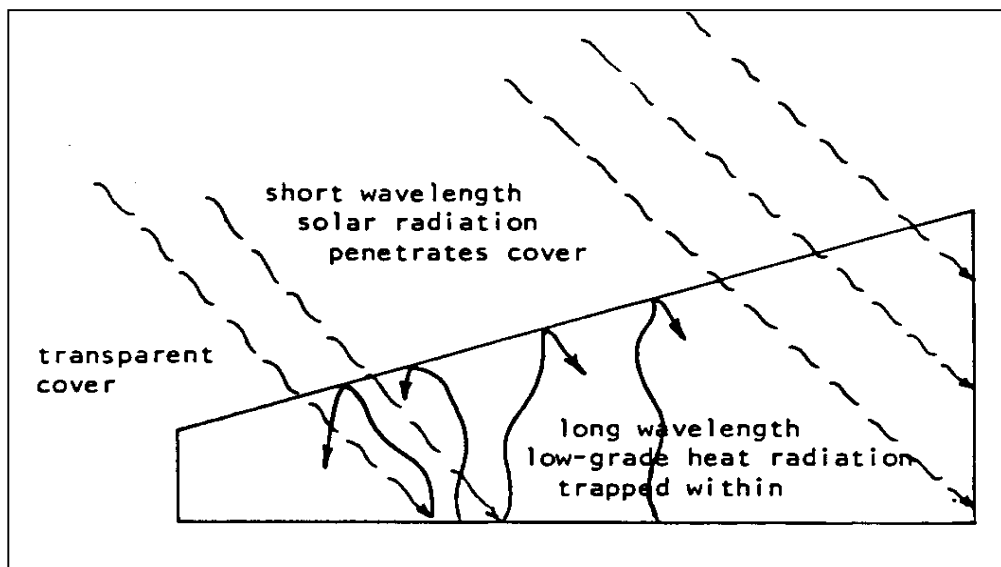
El motiu d'aquest comportament és que la radiació electromagnètica, a l'incidir sobre un cos, pot ser absorbida total o parcialment, pot reflectir-se una part i una tercera travessar el cos. Cada cos té els seus propis coeficients de reflexió, transmissió i absorció. L'energia que és absorbida pel cos fa que aquest s'escalfi i emeti, a la vegada, radiació. Tanmateix la longitud d'ona predominant dependrà de la temperatura.

Un cos transparent deixa passar a través seu la radiació electromagnètica. No obstant això, en la majoria de casos els materials o cossos només són transparents per a una determinada longitud d'ona de la radiació i per aquest motiu poden comportar-se com un cos negre en algunes circumstàncies. L'exemple més comú és el del vidre. Aquest material és conegut per ser transparent, però no ho és en totes les situacions. La longitud d'ona perquè es comporti d'aquesta manera ha d'estar compresa entre 0,3 i 1,3 μm . Per tant, per a la majoria de la llum solar resulta ser un material transparent, ja que, com s'ha dit anteriorment la longitud d'ona de la radiació solar es troba entre 0,29 i 2,5 μm . Per a una longitud d'ona diferent resulta opac.

Els rajos solars poden travessar el vidre però al transmetre energia calorífica canvia la longitud d'ona i aquesta se situa entre 4 i 7 μm . És per aquest motiu que la radiació que si cobrim un cos amb una placa de vidre la temperatura aconseguida serà molt alta perquè la radiació solar pot entrar i escalfar el cos interior però no pot sortir.



Imatge 13. Gràfic longitud d'ona – transmissió d'un vidre de 25 mm de gruix. Com es pot observar el vidre pot ser travessat per ones la longitud d'ona de les quals es troba entre 0,3 i 1,5 μm . Per a altres longituds d'ona no resulta completament transparent.



Imatge 14. Esquema en el qual es veu gràficament que una coberta és transparent per una longitud d'ona determinada, però quan aquesta canvia al transferir energia a un altre cos i és reflectida la coberta ja no es comporta com a transparent, sinó com un cos negre.

A la vida real l'efecte hivernacle el trobem present en diferents situacions. En la naturalesa es produeix l'efecte hivernacle, el qual permet la vida a la Terra tot adequant la temperatura. Si aquest efecte no es produís faria molt més fred. Malgrat això, a causa dels gasos contaminants produït en les combustions aquest efecte s'està intensificant i pot arribar a ser un greu problema perquè pot fer augmentar la temperatura a la Terra considerablement.

Un altre lloc on es troba present aquest efecte és, lògicament, en els hivernacles. En aquests recintes es cultiven plantes i altres vegetals a una temperatura superior a la de l'exterior gràcies a que els vidres o plàstics permeten entrar la radiació solar però no la deixen sortir.

Un altre exemple d'aquest efecte podria ser l'escalfor i la temperatura a que arriben a estar els cotxes a l'estiu, si es deixen al carrer i amb ple sol. La temperatura a l'interior dels vehicles puja tant que, fins i tot, supera a l'exterior a causa de l'efecte anteriorment explicat.

5.1. INSTAL·LACIONS DE BAIXA TEMPERATURA

En les instal·lacions de baixa temperatura normalment s'utilitzen captadors plans, també anomenats col·lectors. Aquests sistemes utilitzen l'energia solar per escalfar un fluid, habitualment aire o aigua. Són bastant útils en habitatges per obtenir l'aigua calenta sanitària o per la calefacció. Aquestes instal·lacions estan formades per varis sistemes o subsistemes.

SISTEMA DE CAPTACIÓ

El subsistema de captació està format bàsicament pels col·lectors i els elements que enllacen amb l'emmagatzematge com canonades o bombes. El col·lector és l'element principal de la instal·lació, encarregat de captar l'energia de la radiació solar i transferir-la al fluid que s'ha d'escalfar. El tipus de col·lector més emprat és el col·lector solar pla, amb el qual s'aconsegueixen temperatures de fins a 60 graus. També hi n'hi ha d'altres tipus com els captadors cilíndrics parabòlics i els captadors plans de tubs de buit. En l'últim tipus les temperatures que s'aconsegueixen volten els 120 graus.

Els col·lectors plans s'han d'orientar cap al sud a l'hemisferi nord i cap al nord a l'hemisferi sud. L'angle amb l'horitzontal ha de ser igual a la latitud. Ha de ser així per obtenir el màxim rendiment. Amb aquesta posició els captador solars reben radiació durant el màxim nombre d'hores possibles i aquesta forma un angle amb el captador que és el que més s'apropa a 90 graus. D'aquesta manera durant tot l'any s'aconseguiria el millor rendiment tot i que si cada mes el col·lector es pogués moure i col·locar en la posició adequada el rendiment seria superior ja que durant l'any la direcció de la radiació solar canvia.

Els elements principals d'un captador pla són la placa absorbent, la coberta transparent, l'aïllament tèrmic i la caixa contenidora.

La placa absorbent és l'element encarregat d'absorbir la radiació solar i cedir-la en forma de calor al fluid caloportador. Està formada per un conjunt de tubs per on

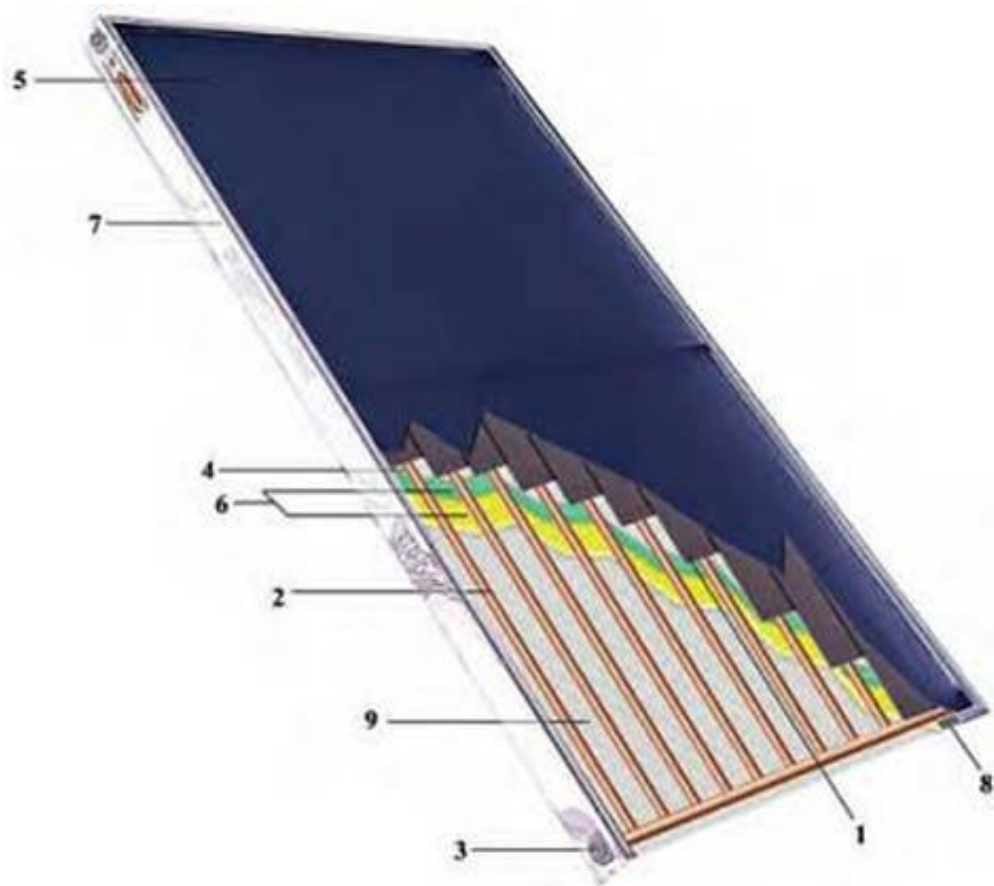
circula el fluid i una superfície, normalment metàl·lica, de captació (coure, alumini, acer inoxidable), amb un tractament selectiu per aconseguir l'absorció màxima de la radiació solar i el mínim d'emissió d'energia a l'exterior.

La coberta transparent té la finalitat de reduir les pèrdues, protegir la placa absorbent de la intempèrie i crear l'efecte hivernacle, ja explicat. El material més utilitzat és el vidre, que ha de tenir dues condicions: aguantar possibles cops i tenir un baix contingut en òxid fèrric, ja que aquest absorbeix la radiació solar abans d'arribar a la placa. Les cobertes de plàstic transparents són menys fràgils, més lleugeres i econòmiques però presenten l'inconvenient del seu envelliment més ràpid.

L'aïllament tèrmic redueix les pèrdues de calor a través del fons i parets laterals del captador. Els materials més utilitzats són la llana i el vidre, el poliestirè expandit i l'escuma de poliuretà. És convenient incorporar una làmina reflectant a la cara superior de l'aïllant per evitar el seu contacte i reflectir cap a la capa absorbent la radiació infraroja que aquesta emet.

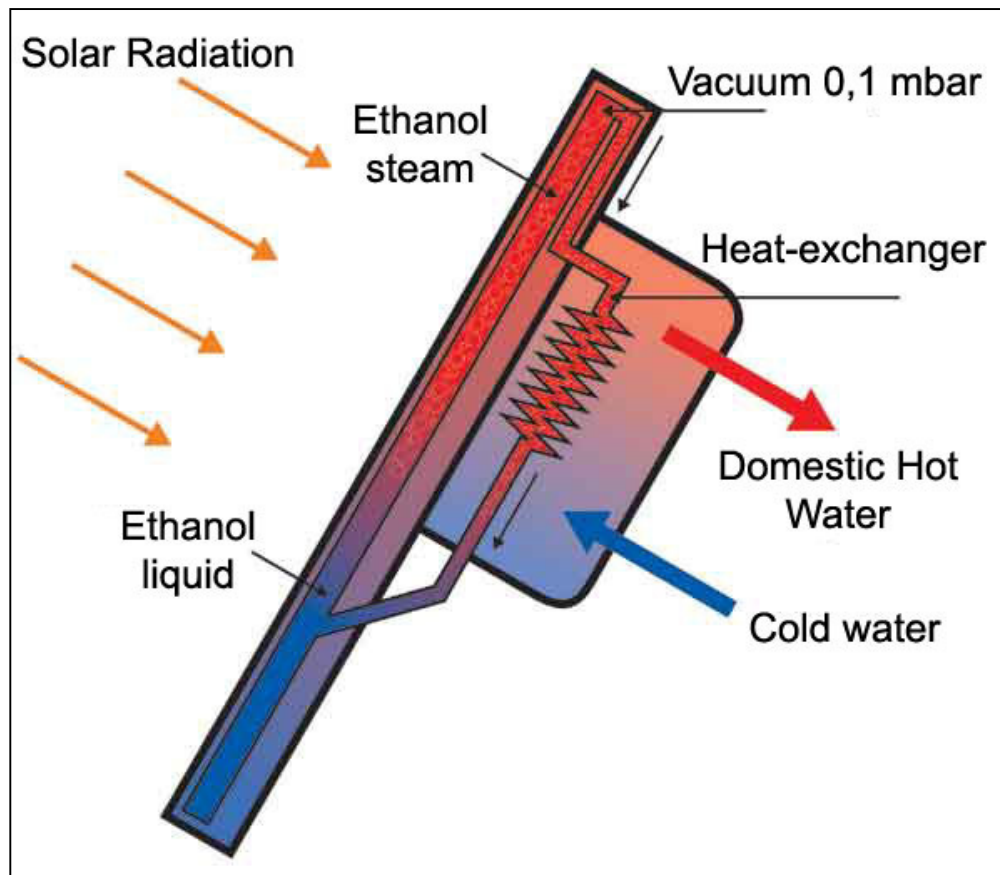
A la caixa contenidor s'allotgen tots els elements del col·lector. Ha de donar rigidesa i estanquitat al conjunt, a més de ser resistent a la intempèrie. Pot ser de material plàstic, encara que és més normal que sigui d'acer.

El primer element que és col·loca és el vidre, a sota la placa absorbent, a sota l'aïllament tèrmic i això dins la caixa contenidora.



Imatge 15. Esquema de les parts d'un captador solar. 1- Superfície d'absorció. 2- Xarxa de conductes. 3- Connexió de canonada. 4- Alumini reflectant. 5- Vidre. 6- Aïllant. 7- Caixa contenidora 8- Segellat adaptable a les dilatacions. 9- Placa absorbent.

Els captadors plans de tubs de buit estan formats per uns tubs de vidre muntats verticalment, per l'interior dels quals hi ha uns altres tubs i entre ambdós s'ha fet el buit. En els tubs interiors hi ha un fluid que, a l'incidir-hi la radiació solar, s'evapora, puja a la part superior, escalfa el fluid caloportador, es condensa i torna a baixar a la part inferior (imatge 16).



Imatge 16. Esquema del funcionament dels captadors solars plans de tubs de buit. En aquest cas, l'etanol s'evapora, escalfa l'aigua i es torna a condensar.

En els captadors solars plans de tubs de buit les pèrdues de calor són molt reduïdes degut al buit. El seu rendiment es superior als captadors convencionals perquè l'estructura cilíndrica dels tubs actua com un seguidor solar. A més a més, la inclinació d'aquests captadors pot variar en 20° respecte de la latitud. Tanmateix, aquests captadors són bastant més cars.



Imatge 17. Fotografia d'un captador solar de tubs de buit.

SISTEMA D'EMMAGATZEMATGE

El subsistema d'emmagatzematge actua d'intermediari entre la captació i el consum. Com que en la majoria de casos quan s'escalfa l'aigua no s'utilitza en el mateix instant, cal emmagatzemar-la per no malbaratar energia.

En alguns casos per la instal·lació hi circula el fluid que s'ha d'escalfar però en la majoria de casos el fluid que hi circula és un fluid transportador d'energia, la funció del qual és escalfar posteriorment l'aigua. Per tant, en el primer cas només existeix un circuit, però en el segon cas existeixen dos circuits. El circuit primari és el que circula per l'interior dels col·lectors i el secundari és el que és vol escalfar.

En el cas que només hi ha un circuit el fluid s'escalfa i s'emmagatzema en uns dipòsits acumuladors. Quan es vol utilitzar, s'obté del dipòsit acumulador.

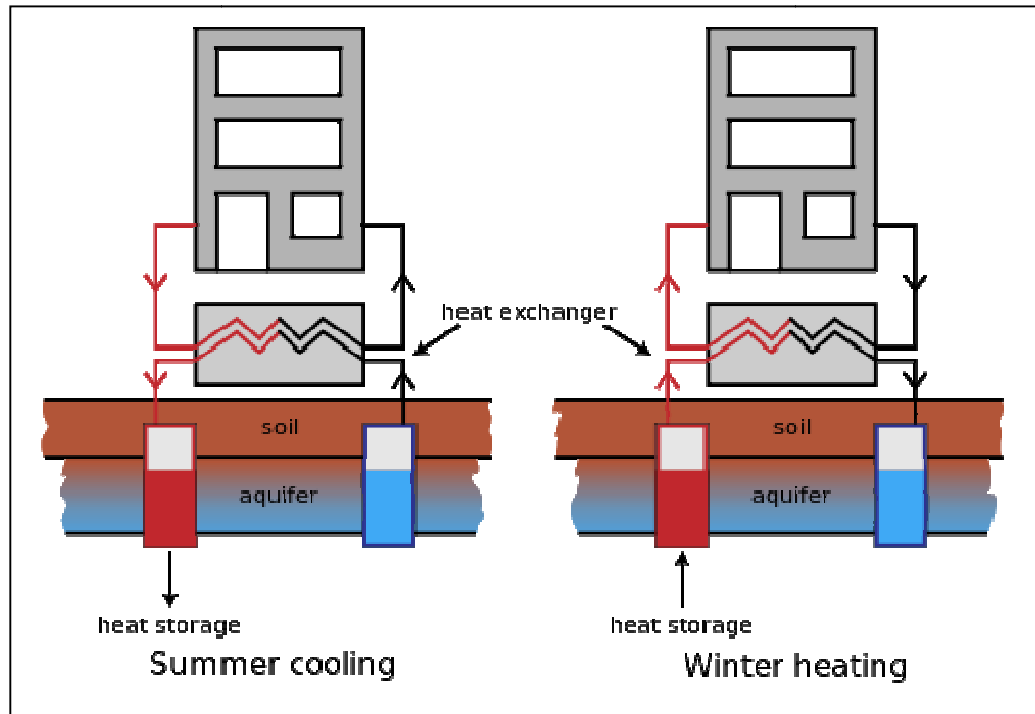
En el cas que hi hagi dos circuits, el fluid calorportador pot ser un fluid líquid com l'aigua i l'anticongelant o aire. En el primer cas l'intercanvi d'energia entre els fluids del circuit primari i del circuit secundari té lloc en un intercanviador. Els intercanviadors també poden fer la funció de dipòsit. En aquests, s'emmagatzema l'aigua sanitària que es vol escalfar i per un tub hi circula el fluid del circuit primari. Com que el fluid transportador de calor està calent escalfa l'aigua sanitària.

Quan el fluid de transport és aire, l'emmagatzematge i l'intercanvi de calor s'efectua escalfant un dipòsit pla ple de pedres, anomenat jaç de còdols, a través de les quals es fa circular l'aire calent.

A més a més, es poden diferenciar dos grans tipus de sistemes d'emmagatzematge: el sistema de curt termini i el sistema de llarg termini. La seva principal diferència és que, en els sistemes de curt termini, la calor s'utilitza en poc temps i no s'emmagatzema per a més de pocs dies, mentre que, en els sistemes de llarg termini, la calor s'emmagatzema, normalment, a l'estiu per utilitzar-la a l'hivern.

En els sistemes de llarg termini, els acumuladors en aquests sistemes són més grans i es solen situar al subsòl i a una determinada profunditat. A l'estiu, s'escalfa un fluid mitjançant els sistemes oportuns i aquest, al seu torn, escalfa el fluid de

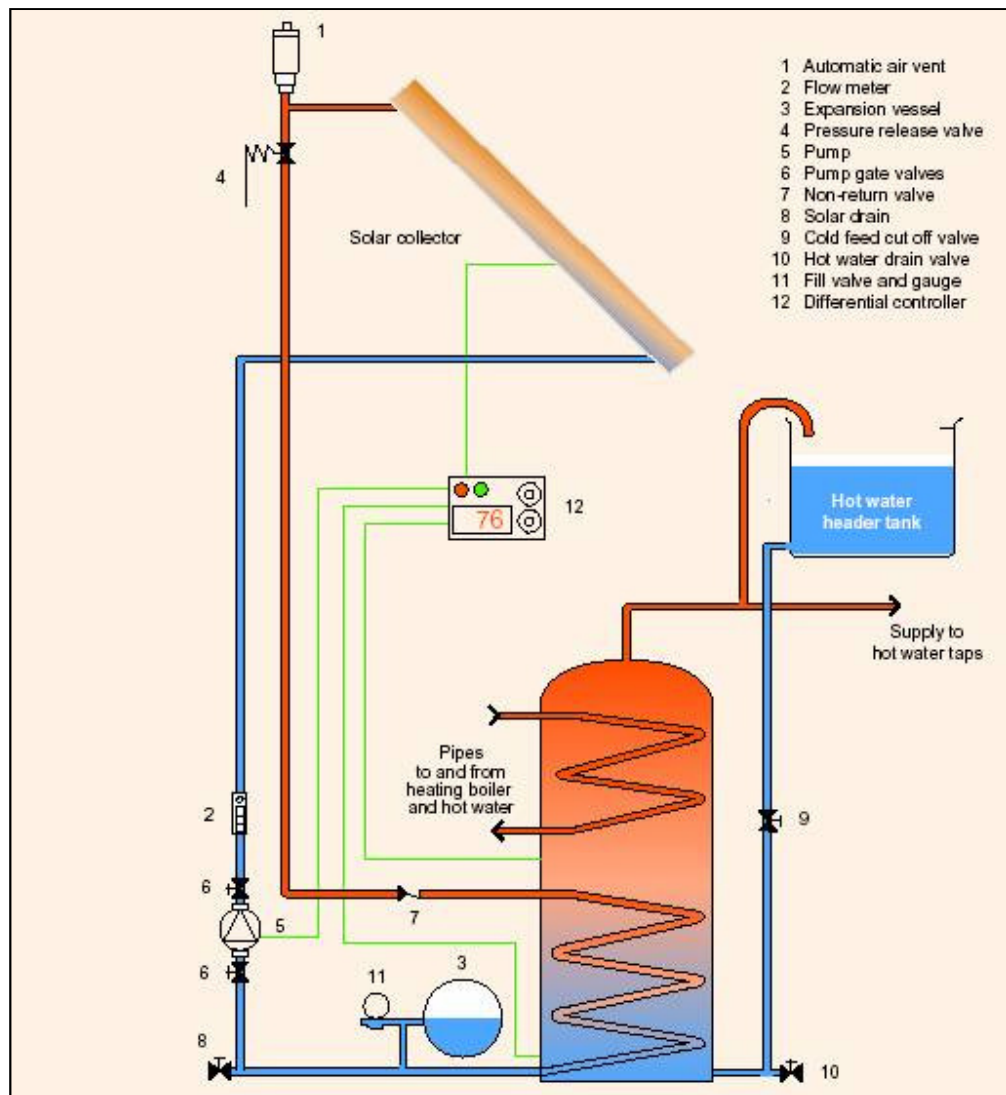
l'acumulador, de manera que el fluid de l'acumulador refreda l'altre. A l'hivern l'operació es realitza al revés, el fluid de l'acumulador escalfa l'altre fluid i, aquest fluid, a l'estar més fred, refreda el fluid de l'acumulador (imatge 18).



Imatge 18. Esquema d'un sistema d'escalfament i refredament d'un habitatge, semblant al sistema d'emmagatzematge de llarg termini, però amb la peculiaritat que és un aqüífer el que actua com a acumulador.

SISTEMA DE CONSUM

El subsistema de consum està format per les canonades i els elements que enllacen l'emmagatzematge amb els diferents punts de demanda, així com per altres elements com poden ser purgadors, cabalímetres. Una part important d'aquest subsistema és l'equip d'energia auxiliar encarregat de facilitar un suport energètic a la instal·lació en cas de manca d'energia solar per escalfar el fluid. Aquest equip auxiliar és comandat pel sistema de control de la instal·lació en funció de les dades obtingudes a través dels diferents termòstats.



Imatge 19. Esquema d'una instal·lació solar tèrmica de baixa temperatura. Es pot observar alguns elements que no apareixen en totes les instal·lacions: purgador d'aigua automàtic (automatic air vent), cabalímetre (flow meter), vas d'expansió (expansion vessel), vàlvula limitador de pressió (pressure release valve), bomba (pump), vàlvules de la bomba (pump gate valves), vàlvula antiretorn (non-return valve), desguàs de l'aigua de la instal·lació (solar drain), vàlvula de tall (cold feed cut off valve), vàlvula de desguàs de l'aigua calenta (hot water drain valve), vàlvula d'ompliment i de calibre (fill valve and gauge) i controlador diferencial (differential controller).

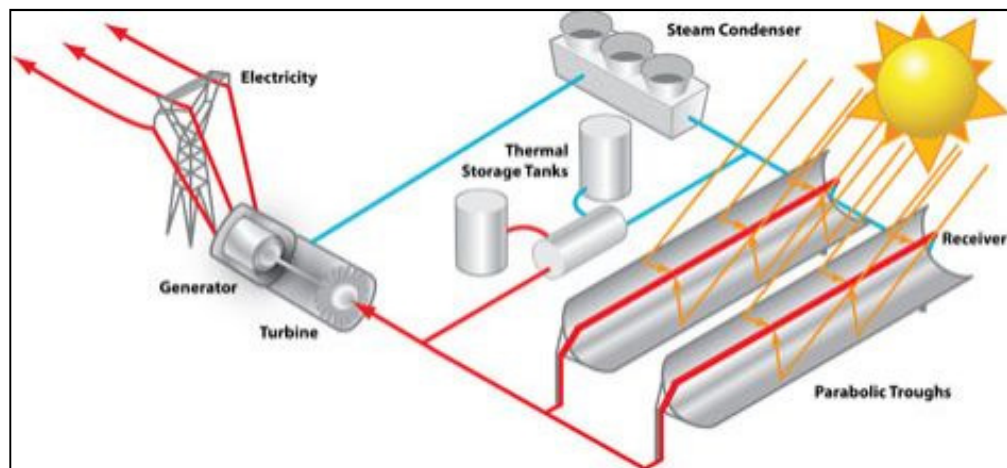
5.2. INSTAL·LACIONS DE MITJANA I ALTA TEMPERATURA

Els sistemes de mitjana i alta temperatura més utilitzats i coneguts són les centrals termosolars. En aquestes centrals sempre se segueix el mateix procés. Primerament la radiació solar es concentra sobre un fluid i es transforma en energia tèrmica. Posteriorment el fluid escalfat es fa passar per un intercanviador on produeix vapor que acciona un grup turboalternador amb el qual s'obté energia elèctrica com en les centrals tèrmiques convencionals. Actualment les centrals termosolars més experimentades poden ser de dos tipus. El primer tipus són les centrals amb col·lectors distribuïts i el segon tipus són les centrals solars de torre central.

Les centrals termosolars amb col·lectors distribuïts (DCS, Distributed Collector System) utilitzen col·lectors de concentració. Aquestes centrals són considerades de mitjana temperatura perquè no arriben a temperatures tant elevades com les centrals solars de torre central. Els col·lectors de concentració que utilitzen tenen la peculiaritat que concentren la radiació solar que reben en la superfície d'un element receptor d'una mida molt reduïda perquè són miralls còncaus i els rajos del sol es concentren al focus (imatge). Per aquest mateix punt hi ha un tub pel qual hi circula un fluid. D'aquesta manera es poden aconseguir temperatures de fins a 300°C, que són suficients per obtenir vapor. La principal limitació d'aquest tipus de col·lector és que només pot aprofitar la radiació directa. Per aquest motiu no són apropiats per les zones climàtiques que són relativament nuvoloses.



Imatge 20. Fotografia de detall dels col·lectors de concentració de *Solar Energy Generating Systems (SEGS)*, que és la instal·lació d'energia solar més gran al món. Té 9 plantes d'energia solar i està situada al desert de Mojave a l'estat de Califòrnia, EUA. La insolació es troba entre les més elevades d'E.U.A. i el conjunt de la instal·lació té una potència de 354 MW, de manera que pot alimentar 230.000 habitatges.



Imatge 21. Esquema de funcionament d'una central d'alta temperatura de tipus DCS. Es poden observar els captadors parabòlics (parabolic troughs), el tub receptor (receiver), el condensador de vapor (steam condenser), la turbina (turbine), el generador (generator) i els tancs d'emmagatzematge tèrmic (thermal storage tanks).
Figura preparada pel National Renewable Energy Lab per a U.S. Department of Energy (Departament d'Energia dels Estats Units).

Per a rebre la màxima insolació els col·lectors han de disposar d'un sistema de seguiment del sol que els permeti variar la posició respecte de dos eixos, l'horitzontal o d'elevació i vertical o azimuth. Els sistemes de seguiment estan accionats per un servomotor comandat per un microordinador o per un rellotge solar.

Per a la producció d'energia elèctrica el fluid circula consecutivament per diferents col·lectors fins arribar a la temperatura necessària per obtenir vapor a l'intercanviador. Abans, però, el fluid passa per un dipòsit d'emmagatzematge que li permet guardar part de l'energia per evita d'interrompre el cicle de producció d'energia elèctrica per causes meteorològiques.

Les centrals solars de torre central (CRS, Central Receiver System), considerades d'alta temperatura, aprofiten l'energia solar a alta temperatura. El sistema de captació està format per una gran superfície coberta d'heliòstats, anomenada camp d'heliòstats, que concentra la radiació solar en un receptor instal·lat a l'extrem superior d'una torre.

Un heliòstat és un mirall, normalment pla, que reflecteix la radiació solar cap al receptor. Els heliòstats disposen un mecanisme que els permet moure, com en el cas dels col·lectors de concentració, en l'eix d'elevació i en l'eix d'azimut. La superfície del mirall es posa perpendicular a la bisectriu de l'angle entre la direcció del sol i del receptor. Actualment la majoria dels heliòstats moderns estan controlats per ordinador.



Imatge 22. Fotografia de la central termosolar PS10. Aquesta central és la primera central comercial de torre central d'Europa i està situada a Sanlúcar la Mayor, Sevilla. Consta de 624 heliòstats i té una potència de 11 MW. Va ser inaugurada el 2007, se li preveu una vida útil de 25 anys i va costar 35 milions d'euros. Actualment existeix una altra central termosolar, PS20, situada a l'oest d'aquesta i que té una potència de 20 MW.

En aquest tipus de centrals la transformació de l'energia tèrmica en energia elèctrica segueix el mateix procés que en les centrals amb col·lectors distribuïts, però el seu rendiment és més elevat perquè la temperatura aconseguida en el fluid primari, que normalment és sodi, és molt superior. Actualment la majoria de centrals que es construeixen són d'aquest tipus.

5.3. L'ENERGIA SOLAR TÈRMICA A L'ACTUALITAT

Espanya és un estat privilegiat en l'aprofitament de l'energia solar perquè és molt assolellat i, per aquest motiu, es realitzen nombroses tasques d'investigació i desenvolupament de les tècniques d'aprofitament solar. Segons l'Asociació Española en la Industria Solar Termoelèctrica, es calcula que destinar l'1% del territori espanyol a la producció d'electricitat a partir de l'energia solar tèrmica seria suficient per garantir el consum d'electricitat.

Des dels anys 1970 i 1980 s'ha donat bastant importància a l'aprofitament de les energies renovables i s'han construït nombroses centrals termosolars, algunes de les més importants d'Europa. Actualment n'hi ha 21 d'operatives que ocupen una superfície de 3002 hectàrees, que equival a 0,006% del territori. Per l'any 2014 es preveu que hi hagin 61 centrals. Tanmateix, l'energia solar tèrmica, igual que la resta d'energies renovables, és encara una font d'energia poc utilitzada comparant-la amb altres fonts d'energia.

6. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

L'energia solar fotovoltaica consisteix en l'aprofitament de l'energia del Sol per a, directament, produir electricitat. Per a realitzar aquesta conversió a partir de la radiació solar s'utilitzen uns panells fotovoltaics que es basen en l'efecte fotovoltaic.

6.1. LA MATÈRIA I ELS ÀTOMS

Tota la matèria està formada per àtoms. L'àtom és la partícula més petita constitutiva d'un element químic, elèctricament neutra, indivisible mitjançant processos químics encara que està formada per l'aglomeració d'un determinat nombre de partícules elementals subatòmiques. És la quantitat més petita dels elements que pot intervenir en les reaccions químiques i, sola o combinada amb altres, constitueix les molècules dels cossos. La paraula àtom prové del llatí *atomum* que, al seu torn, prové del grec *ἄτομον*; *a* significa no i *tomo* part, per tant, àtoms significava no parts, és a dir, indivisible.

Al segle V a.C. els grecs van començar a creure que si es dividia la matèria s'arribaria a una part que ja no es podria dividir. A aquesta partícula la van anomenar àtom. Tanmateix, no va ser fins a principis del segle XIX que es va postular el primer model atòmic amb bases científiques. Aquesta teoria va ser desenvolupada per John Dalton el 1803. Aquest científic afirmava que els elements estan formats per partícules discretes, diminutes i indivisibles, els àtoms; els àtoms d'un mateix element són tots iguals en massa, dimensió i la resta de propietats; els compostos es formen per la unió d'àtoms segons una relació numèrica, senzilla i constant.

El 1897 J. J. Thomson va arribar més enllà de la teoria de Dalton. L'àtom és una esfera positiva on es troben els electrons incrustats. Aquest model va ser acceptat durant bastants anys perquè explicava diferents fenòmens com els raigs catòdics, la formació de ions o l'electrització.

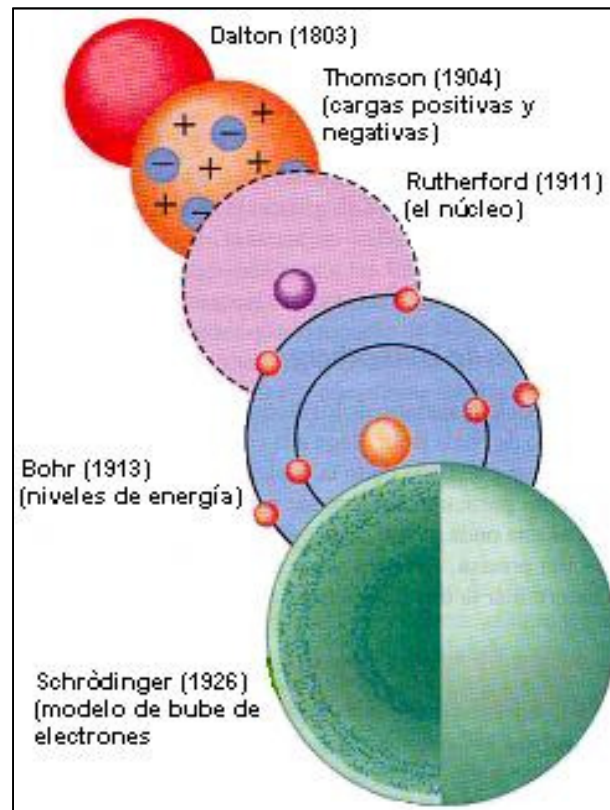
Alguns anys després Ernest Rutherford va descobrir que l'àtom té un nucli central on hi ha concentrada la càrrega positiva i gairebé tota la massa. Al voltant d'aquest nucli es troben els electrons orbitant a gran velocitat i que estan separats d'aquest per molta distància. L'àtom es fonamentalment un espai buit i el nucli és molt dens i petit. Perquè sigui elèctricament neutre ha de tenir el mateix nombre de protons que d'electrons. Per aquest descobriment va guanyar el Premi Nobel el 1908.

El 1913 un físic danès, Neil Bohr va realitzar una sèrie d'estudis en àtoms d'hidrogen i va millorar el model de Rutherford. Bohr va afegir que els electrons giren al voltant del nucli dibuixant òrbites circulars i s'organitzen en diferents capes o nivells energètics. La distribució dels electrons a les capes energètiques s'anomena configuració electrònica i sempre segueix el mateix esquema. A la primera capa hi poden haver, com a màxim, 2 electrons; a la segona capa hi poden haver 8 electrons i a la tercera capa n'hi poden haver 18. Els electrons de valència són aquells que es troben a l'última capa i són responsables dels canvis químics dels àtoms. El model atòmic de Bohr, tanmateix, funcionava per als àtoms d'hidrogen, però per a d'altres elements es podia observar que els electrons d'un mateix nivell energètic tenien diferent energia.

El 1916 un físic alemany, Arnold Sommerfeld, va perfeccionar el model atòmic de Bohr. Va incloure que les òrbites que segueixen els electrons al voltant del nucli no són circulars sinó que són el·líptiques. Els electrons estan en diferents nivells energètics i dins de cada nivell energètic, a partir del primer nivell, hi ha subnivells energètics.

El model atòmic actual és diferent dels anteriors i es basa en la mecànica quàntica. Segons la mecànica quàntica, la informació que es pot arribar a tenir del moviment d'una partícula és limitada i, per tant, no es poden conèixer amb precisió totes les variables dinàmiques. Com a conseqüència d'aquesta limitació no es pot utilitzar el concepte clàssic de trajectòria per a la descripció del moviment d'una partícula. Les òrbites dels electrons del model anterior són substituïdes per núvols de probabilitat que assenyalen on es pot trobar un electró i on no és possible. Aquestes zones a l'entorn del nucli tenen una forma matemàtica determinada, que s'obtenen com a solucions d'una equació dinàmica, anomenada equació d'Schrödinger. Així, un àtom consisteix d'un nucli dens compost per protons i neutrons i aquest nucli està

envoltat per electrons que estan en diferents núvols i en diferents nivells d'energia. Tot i que el model atòmic actual difereix dels precedents, en determinades situacions, s'utilitzen els esquemes dels models atòmics anteriors per poder simplificar algunes explicacions.

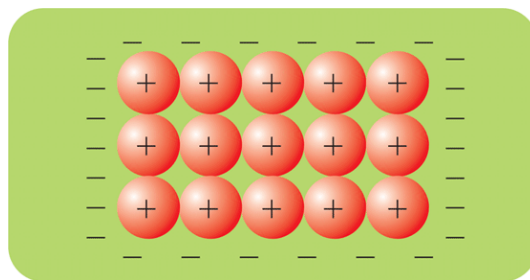


Imatge 23. Comparació gràfica dels models atòmics de Dalton, Thomson, Rutherford, Bohr i Schrödinger.

Els electrons tenen una massa 1800 vegades inferior a la dels neutrons i protons. Per aquest motiu gairebé no contribueixen a la massa total de les substàncies. El seu moviment, però, genera un corrent elèctric. Depenent del tipus d'estructura molecular en la que es trobin, els electrons necessiten més o menys energia.

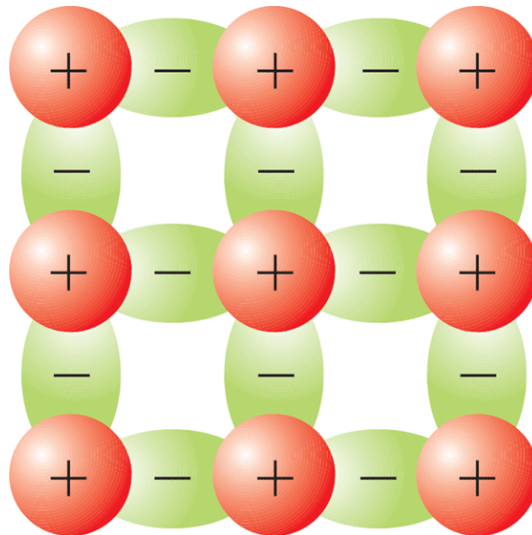
Els elements químics són substàncies que no poden ser descompostes en altres tipus de substàncies mitjançant mètodes químics. Els àtoms d'un mateix element tenen el mateix nombre de protons i, per tant, d'electrons, però el nombre de neutrons pot variar. Els elements químics s'agrupen a la taula periòdica, formulada al segle XIX pel químic rus Dmitri Mendeléiev, seguint un determinat ordre que es basa en les característiques que defineixen els elements. Una regla, anomenada regla de l'octet i anunciada pel químic nord-americà Gilbert Newton diu que: *“La tendència dels àtoms dels elements del sistema periòdic és completar els seus darrers nivells d'energia (nivell de valència) amb una quantitat d'electrons tal que adquireix una configuració similar a la d'un gas noble”*. Els gasos nobles, heli (he), neó (Ne), argó (Ar), criptó (Kr), xenó (Xe) i radó (Rn), estan ubicats a l'extrem dret de la taula periòdica i és molt difícil que reaccionin amb un altre element perquè tenen les capes electròniques completes, amb 8 electrons. Si els àtoms perden o guanyen electrons s'anomenen ions i poden ser cations o anions. Els cations són àtoms que han perdut electrons mentre que els anions n'han guanyat.

Els altres elements, en canvi, tendeixen a unir-se. Segons com s'uneixen, la seva estructura molecular és una o una altra i, aquesta determina les propietats del material. Així, els metalls, que acostumen a formar cations, tenen una estructura molecular amb concentracions grans d'electrons lliures o mòbils (imatge 24). Per aquest motiu, els metalls són bons conductors de l'electricitat.



Imatge 24. Esquema de l'estructura interna d'un material conductor.

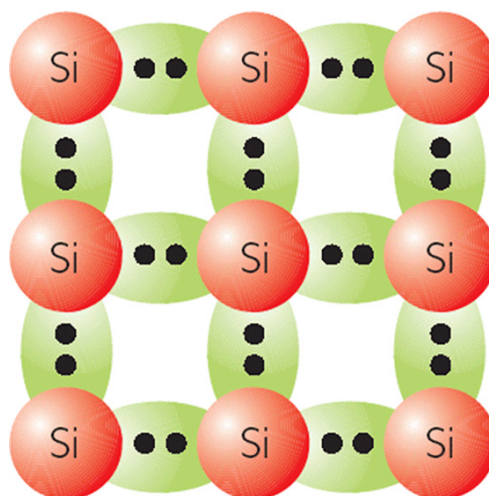
Hi ha àtoms d'elements que s'uneixen formant altres estructures en les quals els electrons estan més lligats al nucli dels àtoms (imatge 25). Els materials que tenen aquestes característiques no són bons conductors de l'electricitat, és a dir, són els anomenats materials aïllants.



Imatge 25. Esquema de l'estructura d'un material aïllant.

Font: Enciclopedia online Kalipedia, de Santillana

A més a més, hi ha un tercer tipus de materials anomenats materials semiconductors. Aquests materials tenen unes propietats diferents que els altres dos tipus i es poden comportar com a conductors o com aïllats depenent de diversos factors, com per exemple el camp elèctric, el camp magnètic, la pressió, la radiació incident, la temperatura... Els electrons de valència dels materials semiconductors estan més lligats al nucli que en els conductors, però amb una petita quantitat d'energia els semiconductors es poden comportar com a conductors. Els materials d'aquest tipus més coneguts són el silici i el germani (imatge 26).



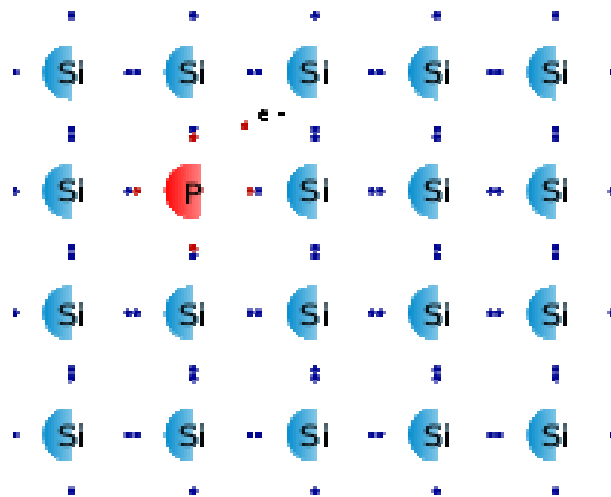
Imatge 26. Esquema de l'estructura interna d'un material semiconductor.

6.2. FUNCIONAMENT DE LES CÈL·LULES FOTOVOLTAIQUES: EFECTE FOTOVOLTAIC

Les cèl·lules solars són dispositius que converteixen l'energia solar en electricitat directament, mitjançant l'efecte fotovoltaic. L'efecte fotovoltaic és un procés pel qual la llum que incideix sobre un dispositiu semiconductor de dues capes produeix una diferència de potencial. Aquesta diferència de potencial o voltatge és capaç de produir un corrent elèctric a través d'un circuit extern, a conseqüència de les característiques d'aquests materials.

Les cèl·lules solars, generalment, estan constituïdes per dues capes de silici, creant una unió positiu negatiu. Aquesta unió s'aconsegueix dopant el material amb impureses, procediment que es fa, normalment, a altes temperatures.

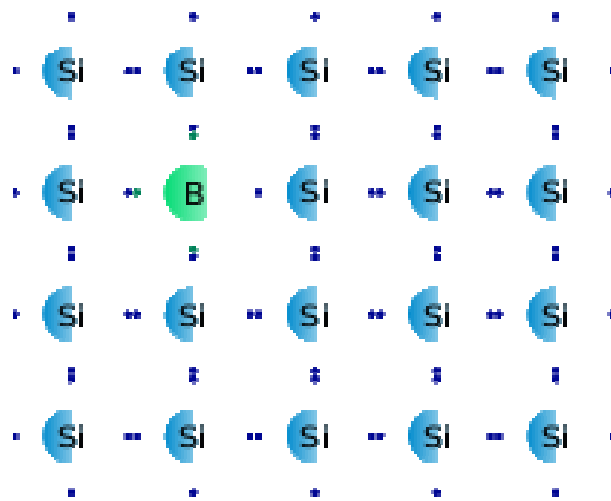
Per a dopar un semiconductor s'incorporen àtoms que tenen una estructura diferent. El silici té quatre electrons de valència i es dopa amb àtoms de 3 i 5 electrons de valència. Per aconseguir el silici de tipus negatiu, aquest es dopa amb àtoms de fòsfor, ja que aquest element té 5 electrons de valència. Així s'aconsegueix que els electrons dels àtoms de fòsfor quedin lliures (imatge 27).



Imatge 27. Esquema de l'estructura interna del silici de tipus negatiu.

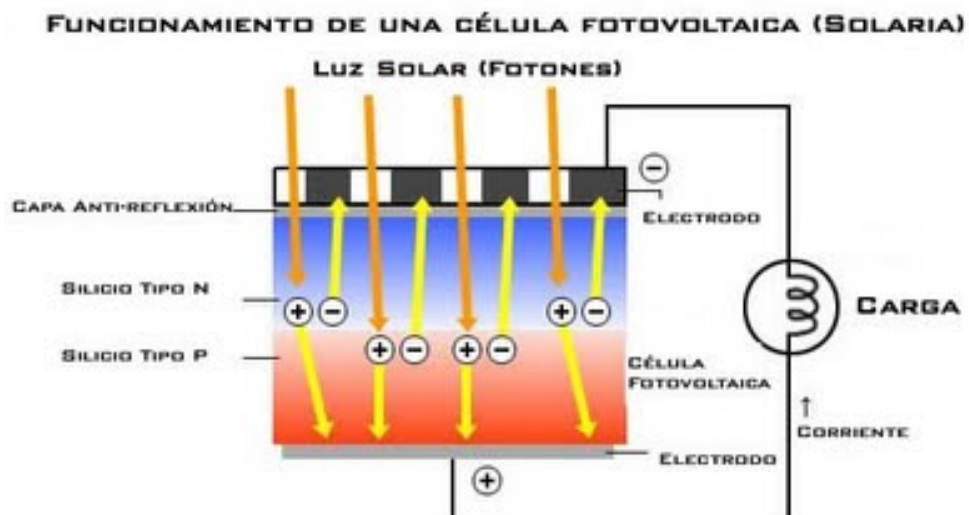
En el cas del silici de tipus positiu, enlloc de dopar-lo amb un àtom de 5 electrons de valència, es dopa amb un àtom de 3 electrons de valència, normalment bor

(imatge 28). D'aquesta manera, per aconseguir que tots els àtoms de silici fossin estables, es necessitaria un electró més.



Imatge 28. Esquema de l'estructura interna del silici de tipus positiu.

Els rajos del sol arriben a les cèl·lules solar per la capa de silici de tipus negatiu. Llavors els fotons transmeten energia al silici i alliberen electrons que passen a l'altra cara. Així s'aconsegueix un corrent elèctric. Per continuar amb el moviment dels electrons cal afegir un circuit elèctric perquè els electrons retornin de la capa inferior a la superior.



Imatge 29. Esquema del funcionament d'una cèl·lula solar.

Actualment les cèl·lules solars es poden classificar segons el procediment mitjançant el qual es construeixen. Independentment de la manera de fabricació el primer pas consisteix a obtenir el silici per reducció de la sílice. Aquest silici ha de ser pur al 98%.

Les cèl·lules de silici monocristal·lí es fabriquen a partir de planxes monocristal·lines de silici. Aquestes planxes tenen, aproximadament, entre un terç i mig mil·límetre de gruix. El silici es fon a una temperatura de 1400 graus i es deixa solidificar formant un únic cristall de grans dimensions. Posteriorment es talla el silici. El material ha de ser d'una puresa molt elevada i ha de tenir una estructura cristal·lina quasi perfecta. És un procediment costós però, mitjançant el qual es poden aconseguir els rendiments de fins al 25%. Les cèl·lules obtingudes mitjançant aquest procediment són d'un color blau uniforme.

Les cèl·lules de silici policristal·lí es fabriquen a partir de planxes de silici policristal·lí. Aquestes planxes policristal·lines s'aconsegueixen fonent el silici i refredant-lo en uns motlles, formant diferents cristalls. Posteriorment també es talla en capes fines. Aquestes cèl·lules són més barates de produir però no són tant eficients degut a les imperfeccions resultat del procés d'emmotllament. Aquestes cèl·lules són d'un color blavós no uniforme.

Per a les cèl·lules de silici amorf, les planxes es creen dipositant el silici sobre una làmina de vidre on es projecta un gas que produeix el silici durant la seva transformació. Aquest procediment permet obtenir unes cèl·lules fotovoltaïques més barates, que poden funcionar amb llum difosa, es poden produir en massa i es poden integrar fàcilment sobre suports flexibles i rígids. Tanmateix el seu rendiment és més baix i decreix amb el temps. Aquestes cèl·lules són de color gris fosc i s'utilitzen en calculadores i rellotges.

Les cèl·lules tàndem i les cèl·lules multiunió es fabriquen apilant dues planxes diferents. Mitjançant aquesta combinació es millora el rendiment perquè poden treballar amb un ampli rang de longituds d'ona. El principal inconvenient es que el seu cost és més elevat.

6.3. COMPONENTS D'UNA INSTAL·LACIÓ FOTOVOLTAICA

Les instal·lacions fotovoltaïques o sistemes fotovoltaïcs són aquells que permeten alimentar càrregues elèctriques o injectar energia a la xarxa a partir de l'energia procedent del Sol. Els seus components varien segons el tipus d'aplicació, autònoma o connectada a la xarxa, i segons les característiques de la instal·lació. En tots els casos aquests sistemes es componen d'un o més panells fotovoltaïcs, d'un inversor o condicionador, un regulador de càrrega i els corresponents elements de protecció. Les instal·lacions connectades a la xarxa no incorporen acumuladors, ja que l'energia es lliura a la xarxa, enlloc d'emmagatzemar-la. En el cas de les instal·lacions autònomes cal uns sistemes d'emmagatzematge, normalment unes bateries.

PANEL·L FOTOVOLTAIC

Les plaques fotovoltaïques o panells fotovoltaïcs són els encarregats de captar i de convertir la radiació solar en corrent elèctric en forma de corrent continu. Les plaques estan formades per un conjunt de cèl·lules solars agrupades i que es connecten entre elles en sèrie o en paral·lel.



Imatge 30. Fotografia d'uns panells fotovoltaïcs.

El paràmetre de potència dels panells solars és la màxima potència que correspon a la que poden donar en unes condicions de temperatura de la cèl·lula de 25 graus i una radiació de 1000 W/m^2 . Per a optimitzar el rendiment de les plaques fotovoltaïques cal orientar-les al sud i amb una inclinació determinada per la latitud i l'època de l'any.

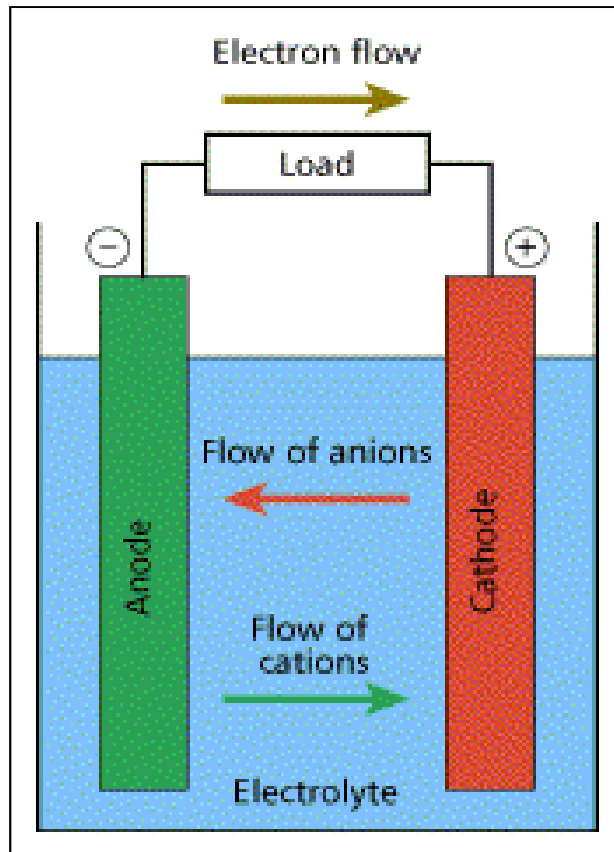
Els panells es comercialitzen en diferents models, formes i dimensions. Normalment tenen una estructura rígida i consten de 30 a 48 cèl·lules de silici i tenen una superfície entre 0,5 i 0,8 m^2 . Els objectius dels panells solars són assegurar una estanquitat suficient, afavorir la màxima captació de la radiació, garantir una adequada resistència mecànica i contra agents externs i evacuar la calor de les cèl·lules per obtenir el màxim rendiment, perquè el rendiment d'un panell depèn de la temperatura de les cèl·lules. Els panells solars tenen una coberta de vidre especial resistent als impactes i una superfície exterior llisa perquè no es retengui brutícia. La coberta inferior és opaca i el seu objectiu és donar resistència mecànica al panell.

Actualment s'estan desenvolupant nous panells solar més petits que consisteixen en unes lents que concentren els raigs. Aquests nous panells solars són més petits, més barats i més eficients. El principal problema és que les cèl·lules solars han d'estar refrigerades perquè assoleixen temperatures més elevades i, quan es produeix un increment de la temperatura hi ha una disminució del rendiment.

ACUMULADORS

En els acumuladors, bateries o piles secundàries s'emmagatzema l'energia elèctrica per tal de poder-la utilitzar posteriorment, en moments en que la demanda sigui superior a la producció instantània del generador. El motiu és lògic: la radiació solar no és constant ni al llarg del dia ni al llarg de l'any.

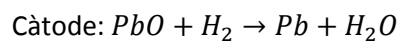
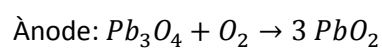
Aquestes bateries, que poden ser de diferents tipus, estan formades per un dos elèctrodes o plaques, un de positiu i un de negatiu; un electròlit, que condueix ions i un separador, que també conductor de ions.



Imatge 31. Esquema del funcionament d'una bateria on es pot observar l'ànode, el càtode, l'electròlit, el flux d'anions, el flux de cations, el flux d'electrons i la càrrega.

L'acumulador de plom és el més emprat i conegut, i va ser ideat per G. Planté el 1859. Està format per jocs de plaques, que constitueixen els elèctrodes, i per àcid sulfúric (H_2SO_4) com a electròlit. Les plaques estan formades, majoritàriament, per plom, igual que els accessoris com els barres col·lectores i els pals.

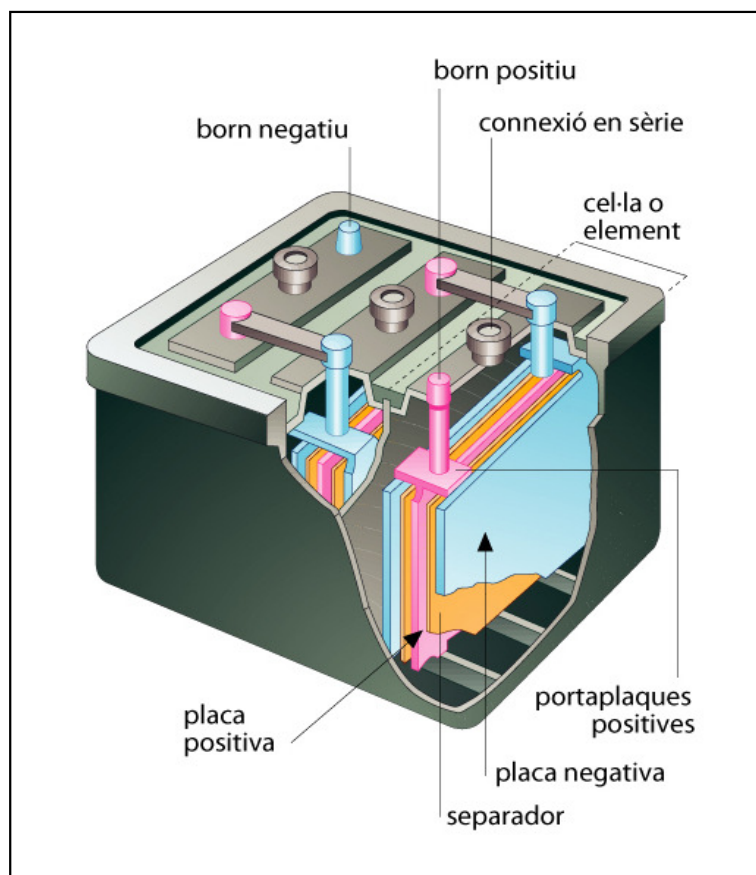
Les plaques positives han de tenir PbO_2 per a la descàrrega i s'omplen inicialment per mini (Pb_3O_4), H_2SO_4 i $(NH_4)SO_4$. Les plaques negatives han de ser de plom per a la descàrrega i s'omplen inicialment per una barreja de litargiri (PbO), H_2SO_4 , $MgSO_4$ i $BaSO_4$. Les plaques se sotmeten a una electròlisi durant la qual se produeixen les següents reaccions:



Aquests acumuladors no es formen mai amb una placa positiva i una negativa, sinó que, com a mínim, es fabriquen en jocs de quatre plaques positives i cinc de negatives separades les unes de les altres per separadors de plàstic porós o fibra de vidre.

Per cada cel·la formada per una placa positiva i una negativa s'obté una força electromotriu que està entre 1,8 i 2,5 V i que, quan assoleix l'equilibri, és de 2 V. Per fabricar acumuladors amb voltatges diferents s'acoblen, en sèrie, el número de cel·les que faci falta.

Els acumuladors de plom presenten el problema de l'elevada toxicitat d'aquest element metàl·lic, que s'acumula a l'organisme. Per aquest motiu algunes de les aplicacions tradicionals d'aquest material s'han abandonat completament, però en el cas de les bateries en continua el seu ús.



Imatge 32. Secció d'una bateria.

També s'utilitzen l'acumulador alcalí, que utilitza un electròlit bàsic en lloc d'àcid, generalment una dissolució de potassa (KOH). L'acumulador de níquel-ferro (Ni-Fe) o acumulador Edison utilitza níquel i ferro com a elèctrodes. Actualment també s'utilitzen els acumulador de níquel-cadmi (Ni-Cd) i d'argent-zinc (Ag-Zn).

La capacitat d'emmagatzematge d'electricitat necessària per a una aplicació determinada es calcula sobre la base del consum diari estimat i del nombre de dies d'autonomia que es consideri convenient. Cal dimensionar correctament aquesta capacitat per evitar quedar-se sense electricitat quan se'n necessita i per evitar que les bateries no es descarreguin i així, que es malmetin.

REGULADOR DE CÀRREGA

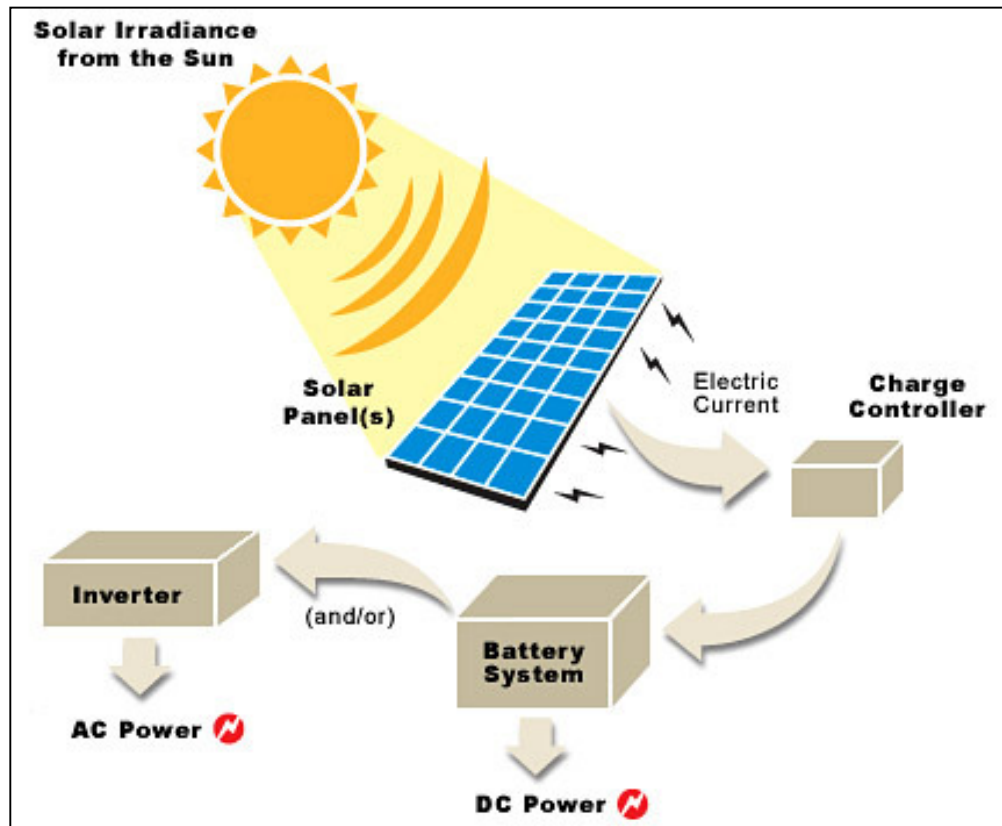
La funció del regulador de càrrega és protegir els acumuladors contra la sobrecàrrega i la descàrrega excessiva. En cas de sobrecàrrega, posa les plaques en curtcircuit i talla el pas de corrent cap als acumuladors. En el cas de descàrrega excessiva, o bé avisa el consumidor mitjançant una alarma o talla el subministrament si el consum continua sense càrrega suficient. Els reguladors més avançats també poden realitzar altres funcions com regular el voltatge en funció de la temperatura, seleccionar el tipus de càrrega (càrrega a fons o càrrega en flotació)...

Els sistemes de regulació són importants per aprofitar al màxim l'energia subministrada pels panells fotovoltaics i per protegir i garantir el correcte manteniment de la bateria i evitar sobretensions que puguin destruir-la.

INVERSOR

L'inversor, el convertidor o el condicionador és l'encarregat de transformar el corrent continu aconseguit en corrent altern. És necessari per a poder lliurar l'electricitat a la xarxa o per utilitzar-la, ja que molts aparells funcionen amb corrent

altern. Tanmateix per emmagatzemar-la en bateries o per a utilitzar-la en forma de corrent continu no és necessari aquest element.



Imatge 33. Esquema dels components d'una instal·lació fotovoltaica: panell solar (solar panel), regulador de càrrega (charge controller), acumuladors (battery system) i inversor (inverter). Es pot observar que el corrent que surt dels acumuladors és continu (DC power, Direct Current) i l'inversor el transforma en corrent altern (AC power, Alternating Current).

6.4. SISTEMES FOTOVOLTAICS

Actualment els sistemes fotovoltaics s'utilitzen en sistemes autònoms i sistemes connectats a la xarxa elèctrica. Els sistemes autònoms s'utilitzen per a cobrir petits consums com és el cas de l'electrificació rural i d'edificis aïllats, enllumenat públic, aplicacions agrícoles, senyalització i comunicacions... Pel que fa als sistemes connectats a la xarxa elèctrica poden ser centrals fotovoltaïques o sistemes integrats en edificis connectats a la xarxa elèctrica.



Imatge 34. Parc solar fotovoltaic a El Poal (Lleida). Aquest parc solar fotovoltaic és un dels més grans de Catalunya i té una potència de 2.000 kW.

6.5. UNA MICA D'HISTÒRIA

L'efecte fotovoltaic va ser conegut per primera vegada el 1838 pel físic francès Alexandre-Edmond Becquerel. Els seus estudis sobre l'espectre solar, el magnetisme, electricitat i òptica són les bases del desenvolupament de l'energia fotovoltaica. El 1873 l'enginyer elèctric anglès Willoughby Smith va descobrir l'efecte fotovoltaic en sòlids.

La primera cèl·lula solar va ser construïda per l'inventor nord-americà Charles Fritts el 1883. Aquella cèl·lula era de Seleni, tenia una capa fina d'or i un rendiment de només un 1%. Degut a l'alt cost de la cèl·lula va ser utilitzada per com a sensors de llum en càmeres fotogràfiques.

La possibilitat d'una aplicació pràctica de l'efecte fotovoltaic no va arribar fins als anys 50 del XX. El 1953 Gerald Pearson dels Laboratoris Bell va fabricar una cèl·lula fotovoltaica de silici molt més eficient.

6.6. L'ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA A L'ACTUALITAT

Als anys 80 van aparèixer els primers edificis amb electrificació fotovoltaica, als països desenvolupats. A la dècada dels anys 90 el cost de les cèl·lules solar va començar a baixar progressivament, amb el consegüent important augment d'aquestes sistemes. Actualment Alemanya és un dels països capdavanters en aquest sector.

A Espanya els projectes i instal·lacions fotovoltaïques construïdes han sigut considerables des dels anys 90. Per exemple, a Catalunya, en aquella dècada els principals projectes realitzats van ser 11: Solsonès, Transpirinenc I, Transpirinenc II, L'Alt Urgell, Bombament fotovoltaic a l'Alt Empordà...

Actualment s'està treballant en nous projectes i hi ha diferents congressos i fires d'energia solar. El Solar Decathlon és una competició internacional de cases sostenibles, eficients i autosuficients alimentades exclusivament per energia solar. El 2010 va tenir lloc a Madrid i hi van participar 17 equips universitaris de 7 països i 3 continents.



Imatge 35. La Casa Lumenhaus, guanyadora de la competició Solar Decathlon 2010 i construïda per l'equip Virginia Polytechnic Institute & State University.

6.7. ELS RÈCORDS DE L'ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

La central d'energia fotovoltaica més gran del món fins l'any 2004 es trobava a Alemanya. Tenia 33.500 panells solars monocristal·lins i amb una capacitat de producció de 5 MW, suficient per abastir 1800 habitatges. La inversió va costar 20 milions d'euros segons les empreses constructores, Shell Solar i Geosol. Actualment hi ha una nova central d'energia fotovoltaica encara més gran, també a Alemanya. Aquesta té una capacitat de producció de 12 MW.

El juny del 2008 General Motors va anunciar que planejava construir el sistema d'energia solar fotovoltaica sobre un sostre més gran del món a la seva fàbrica de Figueruelas (Saragossa). La inversió inicial va ser de 50 milions d'euros per a cobrir una superfície de 138.000 m² amb 85.000 mòduls. Aquesta instal·lació té una capacitat de 10 MW i permet, aproximadament, la reducció anual de 6.700 tones de diòxid de carboni.

7. ENERGIA EÒLICA

L'energia eòlica consisteix en l'aprofitament de l'energia cinètica del vent, que es defineix com un moviment de l'aire degut a causes naturals, i per transformar-la en energia mecànica o elèctrica.

En primer lloc, el vent té energia cinètica perquè, per definició, es mou. Aquest moviment es provocat per l'escalfament de la terra causat per la radiació solar. Aquest escalfament és desigual i provoca canvis de temperatura i pressió entre les masses d'aire de diferents punts del planeta. Aquestes diferències de temperatura i pressió originen aquest moviment de masses d'aire, que anomenem vent. A partir de diferents estudis i investigacions es creu que si es pogués aprofitar el 10% de l'energia eòlica a la superfície de la terra obtindríem una energia que representaria vint vegades el consum energètic actual. Per aquest motiu l'energia eòlica pot ser, juntament amb l'energia solar, una alternativa viable per fer front a la demanda d'energia sense haver de dependre dels combustibles fòssils.

Tanmateix la transformació de l'energia eòlica en mecànica o elèctrica presenta uns inconvenients a resoldre. Aquesta energia depèn del vent i aquest no té una velocitat constant i és desigual per tot el planeta. Això significa que en determinats indrets on no hi acostuma a bufar el vent aquesta energia no es pot aprofitar. Al contrari, als llocs on hi acostuma a bufar el vent aquesta és una bona alternativa. A més a més, la no constància del vent i la impossibilitat de regular-lo fa que en determinats moments l'energia que es produeix no es necessiti.

Per a poder aprofitar l'energia eòlica d'un indret determinat es requereixen velocitats del vent superiors als 5-6 m/s i una disponibilitat mínima del recurs amb aquestes condicions de 2500 h/any per garantir el rendiment econòmic.

Cal, doncs, localitzar els indrets més apropiats per les instal·lacions eòliques. Per aquest motiu a la Unió Europea s'han realitzat estudis; aquests revelen que hi ha extenses àrees geogràfiques on la velocitat mitjana del vent pot arribar fins als 10-11 m/s.

Com anteriorment s'ha esmentat, en el cas de l'energia eòlica, es poden distingir dos tipus d'aplicacions: la producció d'energia mecànica i la producció d'energia elèctrica o electricitat. Actualment la transformació de l'energia cinètica del vent en mecànica s'utilitza bàsicament per al bombejament d'aigua.

Pel que fa a les instal·lacions de producció d'electricitat es poden distingir les instal·lacions aïllades no connectades a la xarxa elèctrica i les instal·lacions connectades a la xarxa elèctrica de distribució general o parcs eòlics. Les instal·lacions aïllades cobreixen aplicacions de poca potència, normalment d'electrificació rural. En canvi, els parcs eòlics permeten obtenir un aprofitament energètic més gran de l'energia del vent i presenten unes millors expectatives de creixement.

7.1. TECNOLOGIA EÒLICA

Les màquines que aprofiten l'energia del vent s'anomenen aeroturbines o molins de vent. Més concretament, les aeroturbines que s'utilitzen per al bombejament d'aigua s'anomenen aerobombes o aeromotors, i les aeroturbines que s'utilitzen per a produir electricitat s'anomenen aerogeneradors. En ambdós casos s'intenta extreure part de l'energia cinètica del vent mitjançant un sistema de captació, anomenat rotor, que acostuma a estar format per pales que giren solidàries a un eix. El rotor s'acoba a un eix i a un generador o bomba. Segons l'eix de rotació de les pales, les turbines es poden classificar en dos grans grups: aeroturbines d'**eix horitzontal** i aeroturbines d'**eix vertical**.



Imatge 36. Fotografia d'unes aerobombes.

El que caracteritza el funcionament d'una aeroturbina és la seva corba i el seu coeficient de potència. La corba de potència indica el rang de velocitats de vent en els que pot operar l'aeroturbina i la potència que pot operar en cada cas.

La corba de potència també mostra el valor mínim de velocitat de vent necessari perquè un aerogenerador comenci a funcionar. És anomenat *cut-in speed* i sol tenir un valor entre els 5 i 7 m/s. A partir d'aquest valor, i a mesura que augmenta la velocitat del vent, la potència proporcionada per l'aerogenerador també augmenta fins a arribar a un valor de potència màxima. Per a velocitats de vent superiors l'aerogenerador ha de frenar-se per raons de seguretat. Aquest valor és anomenat *cut-out speed* i acostuma a trobar-se entre els 25 i 28 m/s.

El coeficient de potència o rendiment aerodinàmic és la relació entre la potència proporcionada per l'aerogenerador i la potència disponible pel vent. És calcula de la següent forma:

$$\eta = \frac{P_u}{P_c}$$

on η és el rendiment, P_u és la potència útil desenvolupada per l'aeroturbina i P_c és la potència consumida o potència del vent. Aquesta, al seu torn, es calcula amb l'expressió següent:

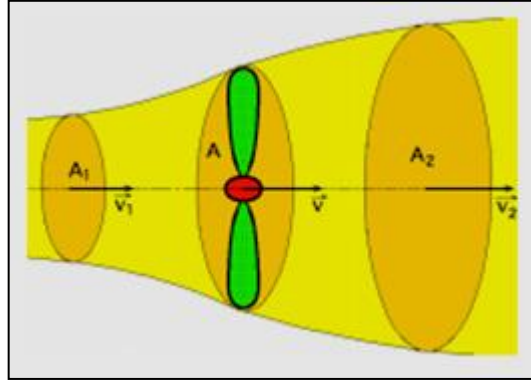
La potència de qualsevol aeroturbina es calcula mitjançant l'expressió següent:

$$P = \frac{1}{2} \cdot A \cdot v^3 \cdot \rho$$

on P és la potència en W, A és la superfície d'escombrada de les pales en m^2 , v és la velocitat del vent en m/s i ρ és la densitat de l'aire, d'aproximadament $1,225 \text{ kg/m}^3$ en condicions normals.

El rendiment aerodinàmic té un límit teòric màxim del 59,3%, anomenat límit de Betz. Aquest límit és una llei física que indica que la potència teòrica màxima desenvolupada per una aeroturbina és igual a $16/27$ (0,592592) vegades la potència incident del vent que passa per l'aerogenerador. Aquest nombre és

conegut com el coeficient de Betz. Aquest coeficient es calcula tenint en compte que aeroturbina aprofita la velocitat del vent que hi incideix, que surt amb una velocitat inferior, però mai és nul·la i, per tant, no s'aprofita tota l'energia cinètica.



Imatge 37. Esquema en el que es basa el càlcul del límit de Betz.

La relació de velocitat perifèrica, TSR (Tip-Speed-Ratio), velocitat específica o coeficient lambda λ és la relació entre la velocitat perifèrica de les pales i la velocitat del vent.

$$\lambda = \frac{v_{perifèrica}}{v_{vent}}$$

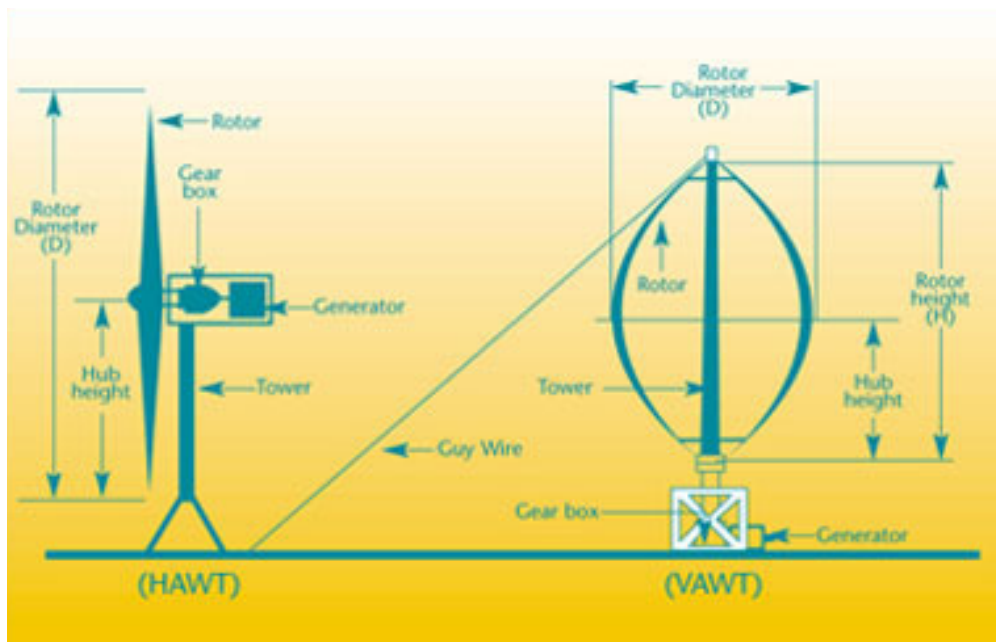
on λ és la relació de velocitat perifèrica, $v_{perifèrica}$ és la velocitat perifèrica de la pala del rotor de l'aeroturbina i v_{vent} és la velocitat del vent. Aquesta relació s'utilitza per comparar l'eficiència de diferents aeroturbines.

7.2. TIPUS D'AEROTURBINES: aeromotors i aerogeneradors

Els aeromotors i els aerogeneradors, a més a més de diferenciar-se pel seu ús, també es diferencien per les seves característiques.

Els aeromotors són màquines lentes d'eix horitzontal formades per un rotor amb nombroses pales, entre 12 i 24 i amb un diàmetre de fins a 8 metres. El seu rendiment és baix però necessiten una velocitat de vent baixa, de 2 m/s, per començar a funcionar. La potència màxima també és baixa i es troba entre 0,5 i 20 kW. S'utilitzen bàsicament per bombejar aigua.

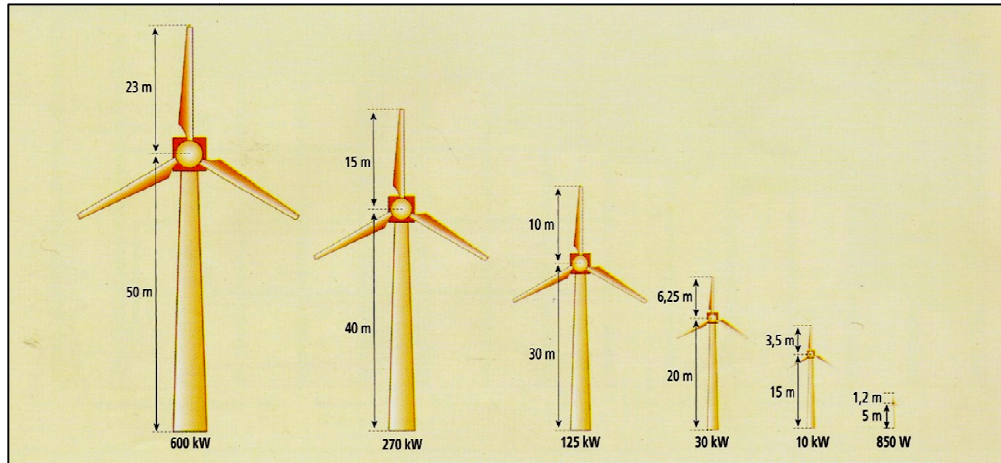
Els aerogeneradors són màquines ràpides. Els més coneguts, utilitzats i que presenten un major rendiment són els d'eix horitzontal. Els d'eix vertical són en molts casos prototips i gairebé no s'utilitzen.



Imatge 38. Comparació d'un aerogenerador d'eix horitzontal (Horizontal Axis Wind Turbine) i d'un tipus concret d'aerogenerador d'eix vertical (Vertical Axis Wind Turbine).

Els aerogeneradors d'eix horitzontal disposen d'1, 2 o 3 pales de perfil aerodinàmic de diàmetres molt variables. S'aconsegueixen rendiments molt més elevats però la

velocitat del vent també ha de ser més elevada, entre 4 i 5 m/s. Aconsegueixen la potència màxima amb velocitats entre els 10 i 14 m/s. La gamma de potències està entre 25 kW i 1500 kW.



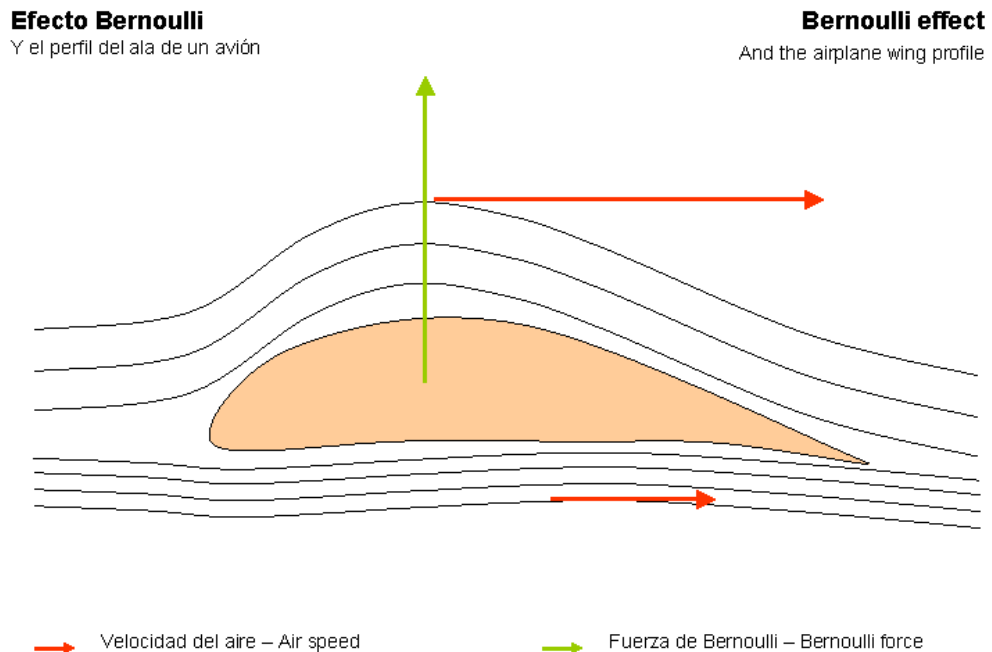
Imatge 39. Relació entre la llargària de les pales, l'alçada d'un aerogenerador i la potència desenvolupada.

7.3. FUNCIONAMENT DELS AEROGENERADORS D'EIX HORIZONTAL

La majoria dels aerogeneradors gira en el sentit de les agulles del rellotge. El motiu és bàsicament per establir una unificació global en el sentit de rotació. Tanmateix també podrien girar en el sentit oposat a les agulles del rellotge, ja que en els inicis n'hi havia que seguien aquest moviment.

Les bases del moviment de les pales dels aerogeneradors és semblant al funcionament de les pales dels avions. Les pales dels aerogeneradors tenen una forma semblant a les ales d'aquest mitjà de transport perquè el científic suís Daniel Bernoulli (1700-1782) va descobrir que a mesura que la velocitat a la que viatja un líquid o un gas augmenta, la seva pressió disminueix.

En el cas dels avions, l'aire que passa per la part inferior de l'ala exerceix més pressió que l'aire que passa per superior de l'ala. És així perquè la superfície superior és més llarga i l'aire passa a més velocitat. Per aquest motiu els avions poden volar.



Imatge 40. Esquema de la pressió que el vent exerceix sobre l'ala d'un avió.

En el cas dels aerogeneradors el funcionament és semblant. Les pales són més amples d'un costat i més primes de l'altre, de manera que també hi ha una diferència de pressió. A un costat de la pala el vent exerceix més pressió que a l'altre costat i fa girar les pales.

7.4. COMPONENTS DELS AEROGENERADORS D'EIX HORIZONTAL

ROTOR

Els components bàsics de qualsevol aerogenerador d'eix horitzontal són el rotor, la bancada i la torre. El rotor és l'element encarregat de transformar l'energia cinètica del vent en energia mecànica. Està format per unes pales, un eix de gir i un element que uneix les pales i l'eix de gir, anomenat caixa.

En funció del número de pales del rotor, els aerogeneradors es poden classificar en monopala, bipala, tripala o multipala. En general els aerogeneradors tripala són els que combinen millors rendiments i millors característiques de funcionament ja que permeten aconseguir rendiments de fins al 40%. Per a aplicacions eòliques d'elevada potència són actualment els més emprats.

El diàmetre del rotor és el diàmetre de la circumferència que dibuixen les pales i, per tant, el radi del rotor és la llargada de les pales. Les pales són les encarregades de captar l'energia cinètica del vent.

Les pales estan formades per un travesser resistent i una envoltant de secció i perfil variable i aerodinàmic. Actualment es fabriquen amb materials lleuger com el carboni o la fibra de vidre. La superfície d'escombrada de les pales és l'àrea de captació del sistema, que determina la potència de l'aeroturbina. Per tant, si el diàmetre de les pales s'augmenta, la superfície de captació de les pales també s'augmenta i, així, la potència que l'aerogenerador pot subministrar també s'augmenta. No obstant, els diàmetres màxims de les pales dels aerogeneradors estan marcats per la resistència mecànica del material. A partir de determinats valors de diàmetre, les elevades velocitats dels extrems de les pales fan que aquestes estiguin sotmeses a intenses càrregues aerodinàmiques que porten al límit la resistència del material. Així, doncs, cal prudència per evitar que les pales es puguin malmetre o trencar. Aquest fet converteix aquest component dels aerogeneradors en el més crític de la turbina eòlica i els que solen causar més problemes de disseny.



Imatge 41. Fotografia de dues aeroturbines monopala.



Imatge 42. Fotografia d'una turbina bipala.

Pel que fa als rotors, se'n poden distingir de dos tipus segons si permeten el gir de les pales sobre el seu propi eix o no. El que en permeten el gir s'anomenen de **pas variable**, mentre que els que no en permeten s'anomenen de **pas fix**.

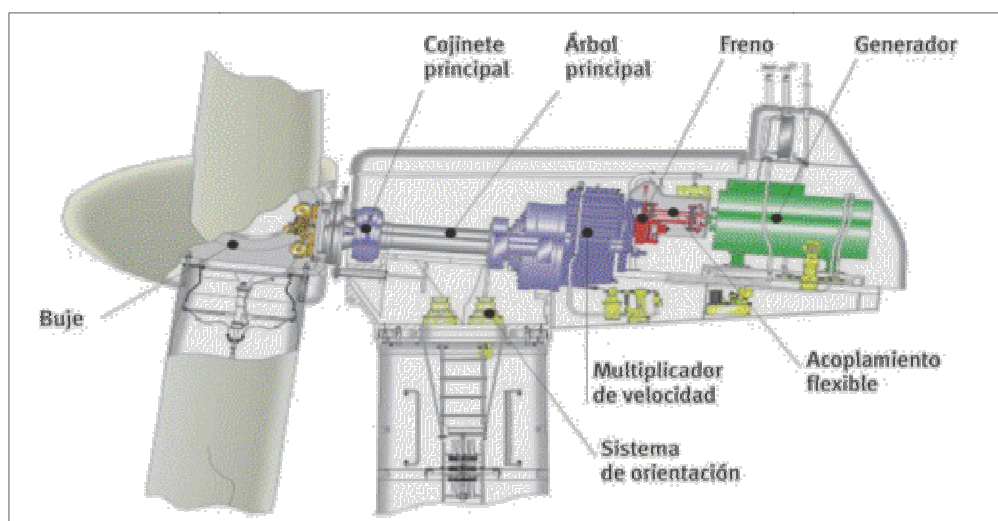
BANCADA

La bancada allotja el generador elèctric, els multiplicadors, el convertidor elèctric i els sistemes hidràulics de control, orientació i fre de la màquina, és a dir, els equips mecànics i elèctrics. Aquests equips permeten la transformació de l'energia mecànica subministrada pel rotor en energia elèctrica.

MULTIPLICADOR

Un eix principal està adaptat al rotor mitjançant un embragatge. El moviment rotacional del rotor és transmes a un mitjançant l'eix principal i un multiplicador de velocitat fins al generador. El multiplicador adapta la baixa velocitat de rotació de l'eix del rotor a les necessitats de gir del generador elèctric per a produir electricitat.

La velocitat de gir del generador depèn de la freqüència del corrent elèctric i del nombre de parells de pols de la màquina. La relació de transmissió del multiplicador està determinada pel seu tren d'engranatges, que als aerogeneradors moderns està format per rodes dentades cilíndriques. També existeixen, però, aerogeneradors sense caixa multiplicadora.



Imatge 43. Representació esquemàtica de la bancada d'un aerogenerador.

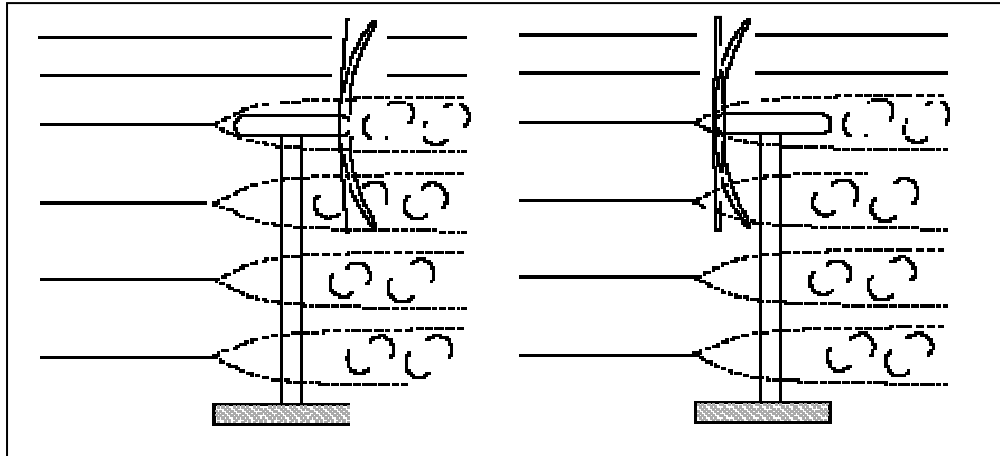
GENERADOR

Per a turbines de gran potència, els aerogeneradors més utilitzats són els asincrònics doble alimentats. Aquests, respecte als generadors sincrònics, es poden connectar directament a la xarxa, són més robusts, necessiten un menor manteniment i la seva construcció és menys complicada. Els generadors sincrònics de velocitat constant connectats a la xarxa presenten problemes tècnics difícils d'eliminar.

SISTEMA D'ORIENTACIÓ

El sistema d'orientació, de forma activa o passiva, és present en tots els aerogeneradors. Té l'objectiu de col·locar el rotor en l'angle òptim respecte al vent, és a dir, perpendicular a aquest perquè es pugui aprofitar al màxim la seva energia. En general, els aerogeneradors d'eix horitzontal poden utilitzar dos sistemes diferents: el passiu i l'actiu.

Els sistemes passius corresponen als aerogeneradors el rotor dels quals treballa d'esquena al vent, també conegut com a sotavent (imatge 44). Aquests sistemes no necessiten motors elèctrics perquè les turbines d'aquest tipus d'aerogeneradors posseeixen un penell, amb el qual es determina la direcció del vent. Aquest sistema té una limitació que és el pes de la bancada i el rotor. Per aquesta raó només s'utilitza en aerogeneradors on el diàmetre del rotor no supera els 10 metres.



Imatge 44. Esquema de funcionament d'un aerogenerador de sotavent i un aerogenerador de sobrevent, respectivament.

Els sistemes actius s'utilitzen en els aerogeneradors que treballen a sobrevent (imatge 44). En aquests sistemes un o varis motors fan girar la bancada. Actualment els aerogeneradors estan equipats amb un microprocessador, per agilitzar aquesta i altres operacions, que permet regular i controlar l'angle d'inclinació de les pales i la posició del rotor respecte del vent per aconseguir el màxim rendiment.

Pel que fa als sistemes d'orientació cal afegir que existeix un sistema de seguretat específic per evitar que els cables elèctrics que porten el corrent elèctric des del generador cap a baix al llarg de la torre patissin una força de tracció a causa d'un descontrol o per un accident. Així aquest sistema pararia l'aerogenerador.

També disposen d'un sistema de seguretat que bloqueja les pales en cas de necessitat. En els aerogeneradors de pas variable, per a frenar les pales, aquestes es canvien de direcció.

En els aerogeneradors de pas fix, el perfil de les pales es dissenya de forma que el control de potència es realitzi per pèrdua aerodinàmica de les pales i aquestes incorporen uns frens aerodinàmics al seu extrem. Els frens aerodinàmics dels aerogeneradors aprofiten la resistència aerodinàmica de les superfícies i tenen un funcionament semblant als frens aerodinàmics utilitzats en aviació. A més a més, en

ambdós casos, hi ha uns frens de suport, normalment de disc per a aturar completament la màquina.

SISTEMA DE REGULACIÓ

A més a més del sistema d'orientació, els aerogeneradors també disposen d'un sistema de regulació. La funció d'aquest sistema és disminuir la velocitat d'engegada, mantenir la potència i la velocitat del rotor i aturar-lo quan el vent sobrepassi una determinada velocitat. Per a fer això la bancada disposa de sensors i instruments de mesura que constantment mesuren la velocitat i la direcció del vent, la velocitat del rotor i del generador, la temperatura ambient i dels components, la pressió de l'oli, l'angle de pas i azimuth, magnituds elèctriques i les vibracions de la gòndola. Aquestes dades també són processades pel microprocessador i en cas que sigui necessari, aquest pot aturar l'aerogenerador.

TORRE

La torre és el suport de tot l'equip i té la funció d'elevat el rotor per millorar la captació i absorbir les vibracions que es produeixen. Per garantir l'estabilitat de la torre s'han de construir les cimentacions adequades. Aquestes poden ser superficials o profundes i depenen de la consistència del sòl on s'instal·la l'aerogenerador. Segons el material que s'utilitza per a la construcció de les torres, se'n defineixen de diferents tipus.

Les torres tubulars d'acer s'utilitzen en la majoria dels grans aerogeneradors. Es fabriquen en seccions de 20 a 30 metres amb brides a cada un dels extrems que són unides mitjançant perns. Les seccions es transporten i s'uneixen en el lloc de construcció. Les torres tenen forma de tronc cònic, és a dir, tenen un diàmetre decreixent des de la part inferior a la part superior, per augmentar la resistència i estalviar material.

Les torres de formigó també es construeixen en el mateix emplaçament. Eviten el problema del transport però estan limitades per l'alçada. En el cas de les torres de formigó prefabricat els segments també es col·loquen un sobre l'altre en el mateix lloc de les obres.

Les torres de gelosia es fabriquen utilitzant perfils d'acer soldats. La gelosia es una forma estructural formada per la interconnexió de barres rectes, sovint formant unitats triangulars. El principal avantatge d'aquestes torres és el seu cost, ja que necessita menys material que les torres tubulars o de formigó. El seu principal inconvenient és la seva aparença visual, el poc aïllament que ofereixen respecte de les torres tubulars, la menor seguretat i la dificultat en cas de manteniment i reparació. El seu ús en l'actualitat queda restringit als aeromotors.

Les torres de masteler tensat és una solució per als aerogeneradors petits. Eren més habituals en el passat i el principal avantatge és el menor pes i cost. Aquestes torres es poden construir sense necessitat de grues.

A més a més, també existeixen torres híbrides que combinen alguns dels sistemes de construcció anteriors.

Els aerogeneradors de grans dimensions presenten els avantatges següents: poden subministrar electricitat a un cost més baix que les màquines més petites; es poden adaptar per construir al mar i en llocs on és difícil construir més d'una turbina amb una torre més alta i s'utilitzen els recursos eòlics d'una manera més eficient. Tanmateix les torres representen un 20% del cost de l'aerogenerador.. Construir una torre alta, doncs, té el principal avantatge que pot aprofitar vents més ràpids, però presenta l'inconvenient de que el seu cost és superior.

Els avantatges dels aerogeneradors més petits són que la xarxa elèctrica local no ha de ser tan complexa com per a manipular la producció d'energia d'una gran màquina; hi ha menys oscil·lació en l'electricitat produïda; el cost de les grues i infraestructures per al transport de les peces és menor; amb varis aerogeneradors més petits el risc de fallada temporal és reparteix i, a més a més, aquests representen un menor impacte visual.

SEGURETAT

Els aerogeneradors han de disposar d'un sensor de vibracions que pugui desconnectar l'aparell en cas de fortes vibracions. Aquest sensor és un dels dispositius més senzills. Consisteix, bàsicament, en una bola que s'aguanta amb un anell. La bola està connectada a un interruptor a través d'una cadena. Si l'aerogenerador vibra excessivament la bola cau i l'aparell es desconnecta.

Els aerogeneradors moderns normalment utilitzen torres tubulars d'acer, de manera que el manteniment i la reparació és més segura que en d'altres tipus de torres. Un dels problemes de les torres és l'alçada i, per aquest motiu, els aerogeneradors generalment disposen de protecció per a una caiguda. Aquesta protecció consisteix en un sistema de cables o cordes amb un sistema amortidor on és lliguen els treballadors. A més a més, les escales estan a una distància de la paret perquè el personal de servei s'hi pugui recolzar.

Els aerogeneradors estan exposats a les descàrregues elèctriques, també degut a la seva alçada. Generalment aquestes descarregues incideixen sobre les puntes del rotor. Per absorbir les descàrregues la solució més estesa és fer baixar el corrent elèctric dels llamps amb materials conductors fins al sòl.

Als aerogeneradors, també s'hi inclouen extintors i sistemes detectors i extintors de foc automàtics.

REFREDAMENT I ESCALFAMENT

La temperatura dins de la bancada pot ser alta per la calor despresada per la caixa multiplicadora i el generador elèctric. Això pot fer necessari un sistema de refredament, sobretot als països on el clima és més càlid. Aquests sistemes de refredament consisteixen en uns ventiladors especials per refredar la bancada. A més a més, poden tenir algun altre sistema específic per a la caixa multiplicadora.

Als països on el clima és més fred, on a l'hivern les temperatures són bastant inferiors al zero graus i a l'estiu la temperatura no és alta, cal disposar d'un sistema d'escalfament. Aquests sistemes mantenen la temperatura de l'oli de la caixa multiplicadora, els anemòmetres i altres aparells a una temperatura adequada per al seu funcionament.

7.5. COMPONENTS DELS AEROGENERADORS D'EIX VERTICAL

Els aerogeneradors d'eix horitzontal comparteixen molts dels seus components amb els aerogeneradors d'eix vertical. Com és d'esperar, però, aquests components estan distribuïts d'una altra manera.

En el cas d'aquest tipus d'aerogeneradors el rotor també pot tenir varies pales o, en algun cas alguna forma diferent. Aquí el diàmetre del rotor no és la llargada de les pales, sinó la circumferència que dibuixen. Cal distingir entre el diàmetre del rotor i l'alçada del rotor, que és la distància des d'on comença la pala fins a la màxima alçada.

No existeix bancada com en el cas dels aerogeneradors d'eix horitzontal perquè els elements estan a la superfície terrestre. Per aquest motiu generalment el manteniment i les reparacions del generador i de la caixa multiplicadora són més senzilles. No obstant, per canviar alguna de les peces pot ser necessari desmuntar-ne les pales.



Imatge 45. Fotografia d'un aerogenerador d'eix vertical del tipus Darrieus a les Illes de la Magdalena, Canadà.

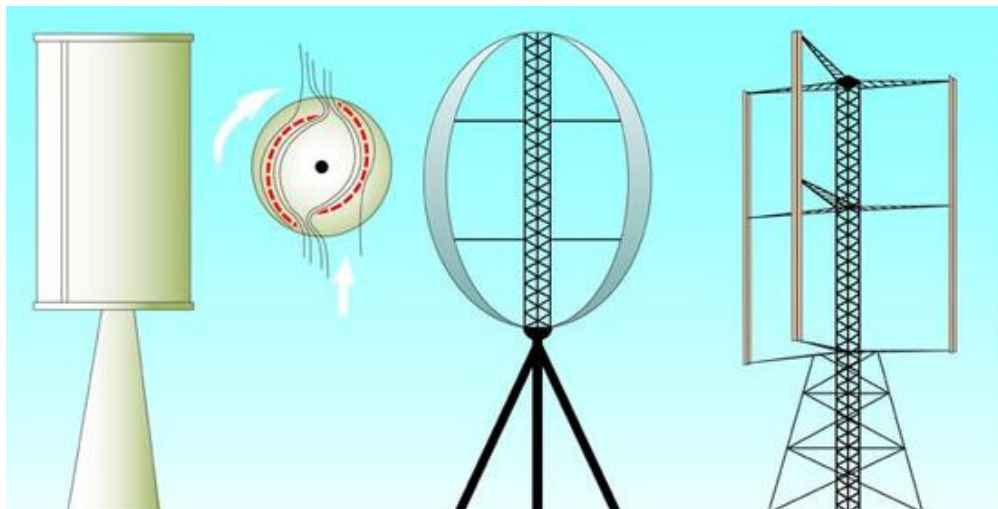
Els aerogeneradors d'eix horitzontal necessiten algun sistema d'orientació, ja sigui passiu o actiu. Aquests, en canvi, no necessiten cap sistema d'orientació perquè les pales estan acoblades al llarg de la torre i poden aprofitar el vent sigui quina sigui la seva direcció.

El que si necessiten els aerogeneradors d'eix vertical és un sistema regulador, no només per parar-lo, sinó per arrancar-lo: degut a la simetria de les seves pales no permeten l'autoarrancada. Per realitzar-la, en aquests sistemes, s'utilitza el mateix generador.

També necessiten tenir una torre, però no és necessària l'accessibilitat que als aerogeneradors d'eix horitzontal perquè els mecanismes estan a la superfície del sòl. També necessiten, però, sistemes de seguretat, refredament i escalfament semblants.

TIPUS D'AEROGENERADORS D'EIX VERTICAL

Els tipus d'aerogeneradors d'eix vertical més coneguts són els aerogeneradors Savonius, Darrieus i Giromill (imatge 46).



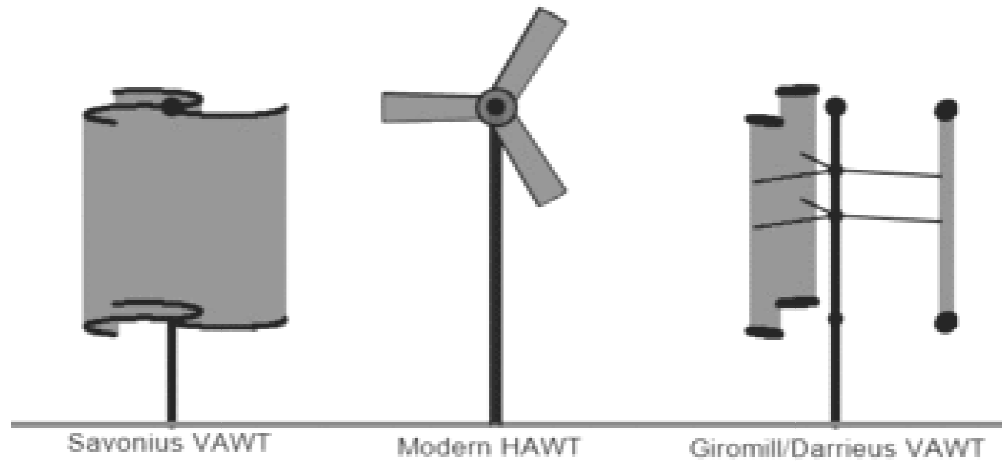
Imatge 46. Comparació entre tres tipus diferents d'aerogeneradors d'eix vertical: el Savonius, el Darrieus i el Giromill.

Els aerogeneradors Savonius tenen un funcionament semblant a un anemòmetre. Es basen en un dispositiu d'arrossegament amb normalment dues pales amb forma de cassoles, com les d'un anemòmetre, però no són semiesfèriques sinó que són mig cilindre. Aquest tipus d'aerogeneradors són bastant fiables però tenen un baix rendiment. Poden arrancar per si sols si tenen més de dos pales.

Els aerogeneradors Darrieus tenen forma de batedora. El seu inventor va ser el francès Georges Darrieus. Aquests aerogeneradors tenen un bon rendiment però tenen poca fiabilitat perquè produeixen una gran ondulació del parell i la tensió cíclica de la torre. Necessiten ser arrancats. Aquests són els únics aerogeneradors d'eix vertical que s'han comercialitzat.

Els aerogeneradors Giromill es poden considerar un subtipus dels aerogeneradors Darrieus perquè tenen unes pales rectes. Aquests aerogeneradors poden arrancar per ells mateixos. Els avantatges respecte als Darrieus són que tenen un alt parell d'arrancada i un major rendiment.

En general, els avantatges dels aerogeneradors d'eix vertical respecte als d'eix horitzontal són que el generador, el multiplicador i altres elements es poden col·locar a nivell del sòl i no necessiten un mecanisme d'orientació. Els seus inconvenients són que les velocitats del vent a prop del nivell del terra són molt baixes; el seu rendiment és més baix; no acostumen a poder arrancar per si mateixos; poden necessitar cables tensors i per substituir el coixinet principal del rotor cal desmuntar-lo tot, incloent-hi les pales.



Imatge 47. Esquema dels diferents tipus d'aerogeneradors: tant dels d'eix vertical (en anglès Vertical Axis Wind Turbine o VAWT) com dels d'eix horitzontal (en anglès Horizontal Axis Wind Turbine o HAWT).

7.6. PARCS EÒLICS

Les centrals eòliques de mitjana o elevada potència s'anomenen parcs eòlics. Aquestes instal·lacions generalment tenen una potència instal·lada entre 4-5 MW fins a 50-60 MW i el número d'aerogeneradors és molt variable. Els parcs eòlics, avui dia, es poden instal·lar a terra o al mar. Els terrestres són els més habituals des del inici, però els parcs marítims estan en procés d'expansió perquè poden aprofitar velocitats de vent més elevades.



Imatge 48. Parc eòlic marítim a Copenhaguen.

7.7. UNA MICA D'HISTÒRIA

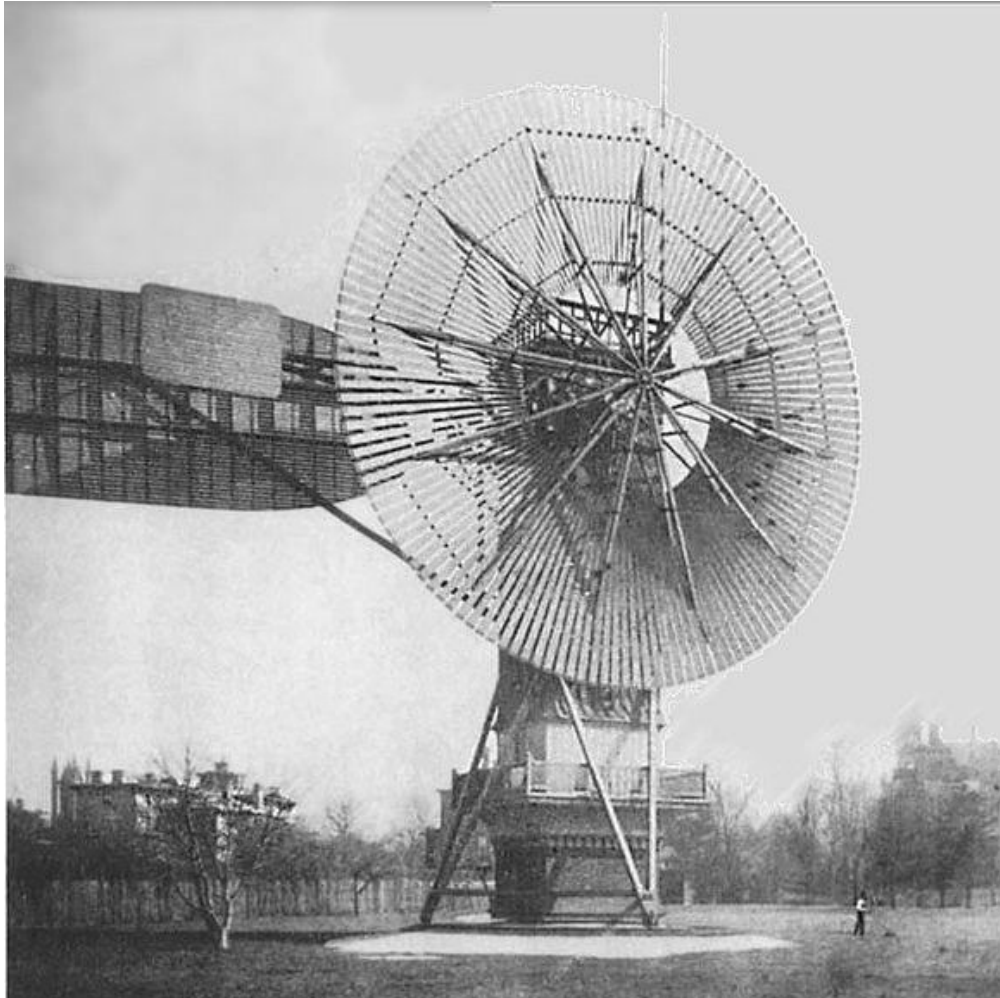
L'energia eòlica ha estat utilitzada des de l'antiguitat. Fa més de 5.500 anys aquesta energia es va començar a utilitzar en vaixells de vela. Més tard l'energia eòlica es va utilitzar per produir energia mecànica i per a regar.

Els primers molins de vent coneguts amb utilitat pràctica es van construir entre el segle VII i IX en una regió situada a l'actual Iran i Afganistan. Aquests molins de vent eren d'eix vertical i s'utilitzaven per a moldre blat de moro, per a moldre la canya de sucre i per a bombejar aigua. L'ús dels molins de vent es va estendre primer per l'Orient Mitjà i l'Àsia Central, i després per la Xina i l'Índia.

A partir del segle X els molins de vent es van començar a utilitzar pel nord-oest d'Europa. Aquests molins, però, eren d'eix horitzontal. Al segle XIV els molins de vent eren utilitzats a Holanda per drenar l'aigua del delta del riu Rin.

El primer aerogenerador per a la producció d'electricitat va ser construït el 1887 a Escòcia per l'enginyer James Blyth. Tenia 10 metres d'alçada i les seves pales eren de tela. L'aerogenerador carregava uns acumuladors fabricats per l'enginyer Camille Alphonse Faure per il·luminar la casa. Va ser instal·lat al jardí de la segona residència del mateix Blyth.

A l'altre costat de l'Atlàntic, a Cleveland (Ohio), entre el 1887 i 1888, Charles F. Brush va construir un aerogenerador més potent amb un rotor de 17 metres de diàmetre i una torre de 18 metres (imatge 49). Proporcionava 12 kW i tenia 144 pales. Aquest aerogenerador tenia una dinamo connectada que podia fer funcionar 100 bombetes incandescents, tres làmpades d'arc i varis motors del laboratori de Brush. La màquina va caure en desús el 1900 quan l'electricitat va arribar a Cleveland i va ser posteriorment abandonat definitivament el 1908.



Imatge 49. Fotografia de l'aerogenerador construït per Charles F. Brush.

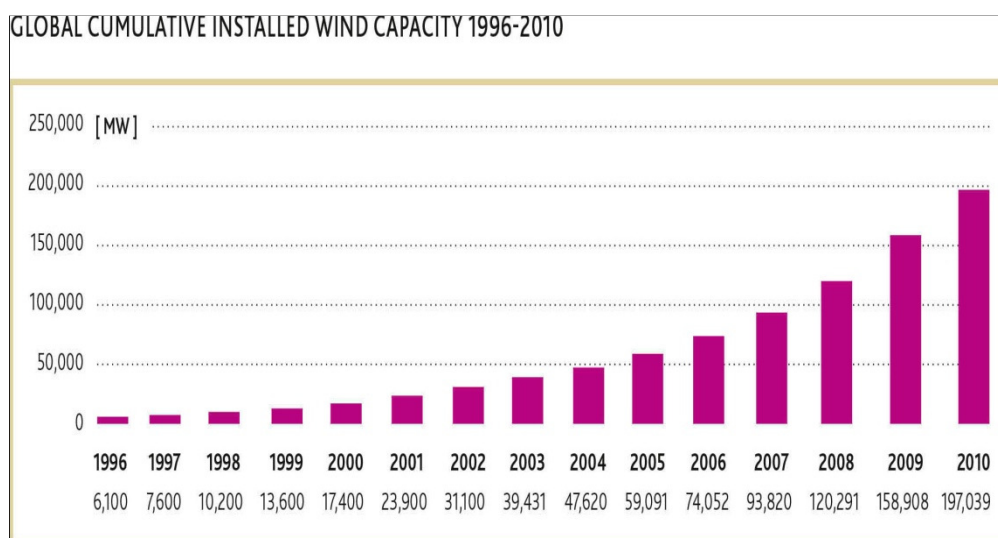
Durant el primer quart del segle XX, a Dinamarca, es van utilitzar aerogeneradors per a la producció descentralitzada d'electricitat. Als Estats Units, el 1927 es va inaugurar una fàbrica que es dedicava a la construcció d'aerogeneradors amb la finalitat de subministrar electricitat a granges on la xarxa elèctrica no hi arribava. Durant els anys trenta l'ús d'aerogeneradors ja era bastant habitual.

Malgrat les bones previsions que aquests fets podien provocar, a principis de la segona meitat del segle XX la construcció d'aerogeneradors va disminuir a causa del baix preu del petroli. No obstant això, la crisi del petroli i la preocupació pel medi ambient va donar un nou impuls a aquest tipus d'energia durant els últims anys del segle passat.

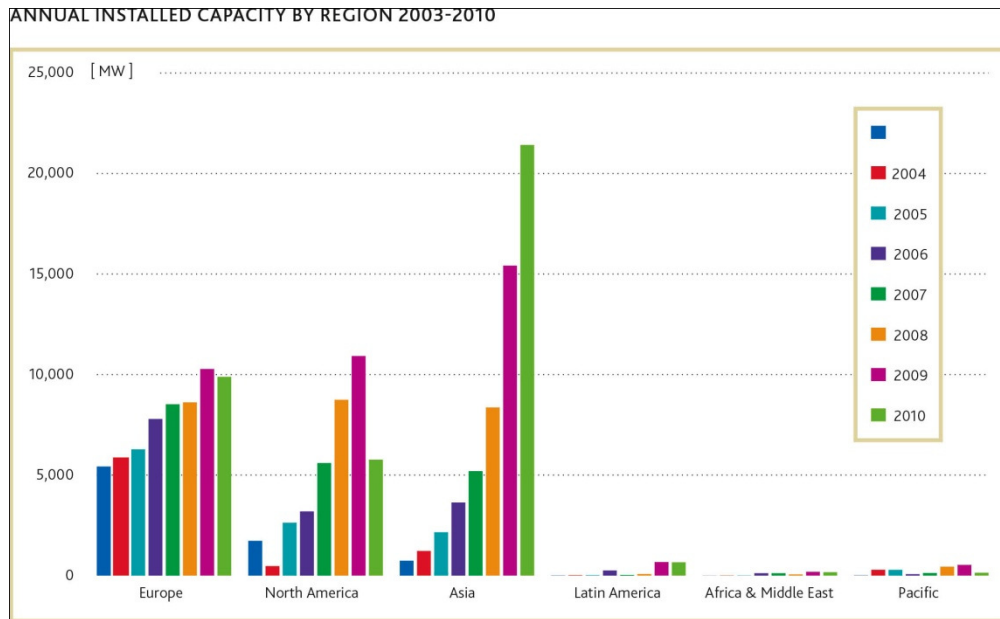
7.8. L'ENERGIA EÒLICA A L'ACTUALITAT

Durant els darrers anys l'obtenció d'electricitat a partir de l'energia eòlica ha incrementat considerablement. L'any 1996 la potència instal·lada al món arribava als 6000 MW, dels quals 3000 MW corresponien a Europa. Al 2007 aquestes xifres eren molt grans comparades amb les de l'any 1996 i ja s'havia arribat als 100 GW de potència instal·lada mundial. Al 2009 la potència instal·lada gairebé arribava als 160 GW i el 2010 als 200 GW. Segons la World Wind Energy Association es preveu que al 2015 s'assoleixin els 600 GW de potència instal·lada al món i pel 2020 els 1500 GW.

A les dades mundials cal afegir que el creixement de l'energia eòlica l'any 2010 va ser el més baix des de l'any 2004. Els Estats Units d'Amèrica va perdre el lideratge mundial i molts països d'Europa occidental mostren un estancament. La Xina s'ha convertit amb el país amb major capacitat instal·lada a nivell mundial. Alemanya manté la primera posició a Europa seguida per Espanya. Àfrica i Llatinoamèrica tenen un paper poc important.

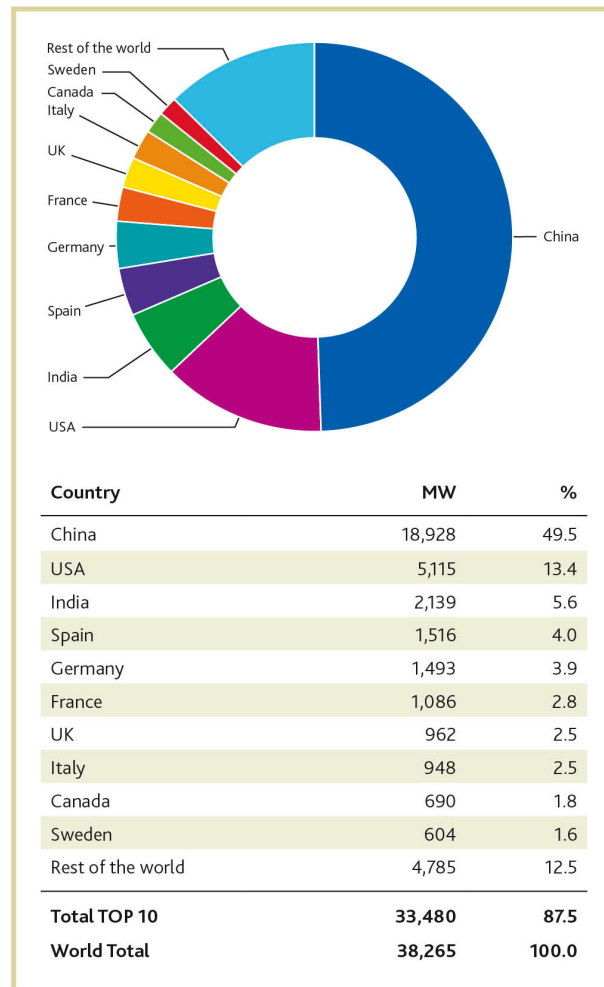


Imatge 50. Potència d'energia eòlica instal·lada mundial acumulativa des de l'any 1996 al 2010, en gigawatts.



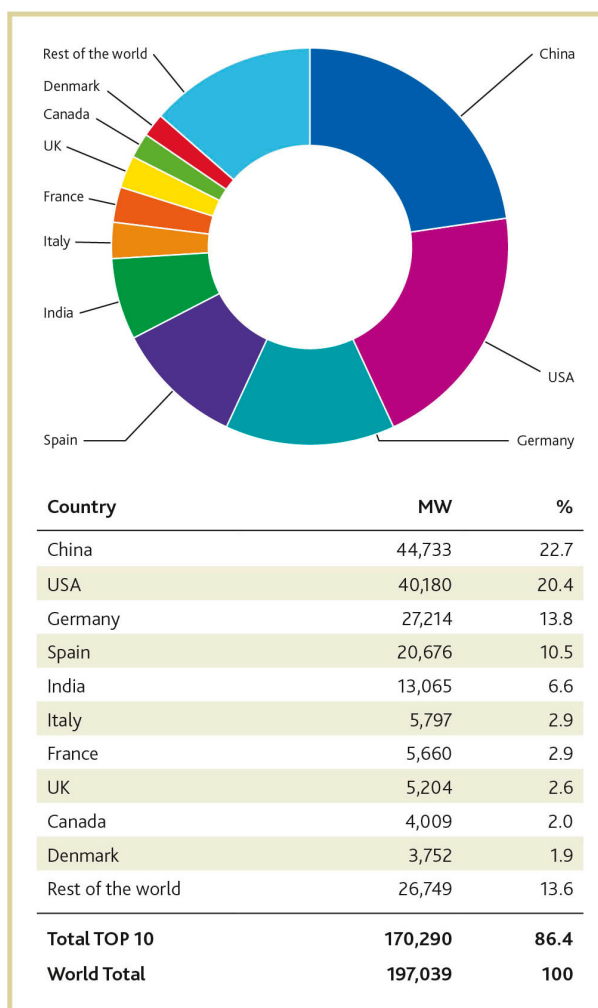
Imatge 51. Gràfic de l'evolució de la potència eòlica instal·lada per continents.

TOP 10 NEW INSTALLED CAPACITY JAN-DEC 2010



Imatge 52. Gràfic i taula que mostra la potència instal·lada durant l'any 2010, per països.

TOP 10 CUMULATIVE CAPACITY DEC 2010



Imatge 53. Gràfic i taula que mostra la potència instal·lada total fins a l'any 2010, per països.

7.9. ELS RÈCORDS DE L'ENERGIA EÒLICA

L'aerogenerador de més potència és l'Enercon E-126. Aquest aerogenerador té una potència instal·lada de 7,5 MW, té una alçada total de 198 metres i un diàmetre de 126 metres. Tanmateix cinc empreses estan treballant en el desenvolupament d'un aerogenerador de 10 MW.

L'aerogenerador que té una àrea de captació del vent més gran és el prototip G10X instal·lat prop de Saragossa. Aquest aerogenerador té una potència de 4,5 MW i el ser rotor té un diàmetre de 128 metres.



Imatge 54. L'aerogenerador que està a més alçada. Està situat a la serralada dels Andes, Argentina.

L'aerogenerador més alt és el Fuhrländer Wind Turbine Laasow. Té una torre de 160 metres d'alçada i un rotor de 90 metres de diàmetre. Arriba als 205 metres d'alçada màxima. Té una potència de 2,5 MW.

L'aerogenerador d'eix vertical més gran té una alçada de 110 metres i una potència de 3,8 MW. Està situat al Quebec, Canadà.

Els aerogeneradors situats més al sud són tres Enercon E-33, que alimenten la Base Scott de Nova Zelanda i Base McMurdo dels Estats Units, a l'Antàrtida.

Els aerogeneradors més productius es troben a Dinamarca i el 2010 havien produït 62,3 GW·h.

L'aerogenerador que està situat a més altitud es troba a Argentina i està a 4.100 metres per sobre del nivell del mar. Té una potència de 2.000 KW.

L'aerogenerador flotant més gran té 2,3 MW de potència i està situat a 10 quilòmetres de Noruega, al sud-oest del país.

**DESCRIPCIÓ DE L'AULA
D'ENERGIES
RENOVABLES DE
L'INSTITUT GUINDÀVOLS
(LLEIDA)**

8. DESCRIPCIÓ DE L'AULA. ENERGIA SOLAR TÈRMICA

A l'institut Guindàvols de Lleida hi ha una aula destinada a l'estudi de les energies renovables. Aquesta aula permet analitzar i observar l'ús de les energies solar tèrmica, solar fotovoltaica i eòlica, ja que disposa de quatre col·lectors solars, dels quals actualment tres estan en funcionament, una placa fotovoltaica i un petit aerogenerador amb els corresponents aparells i components necessaris per al funcionament d'aquests.

Tots aquests sistemes estan instal·lats a la coberta de l'institut. Per arribar-hi cal entrar al taller de mecànica i, des del segon pis, s'hi accedeix directament.



Imatge 55. Aula d'energies renovables de l'Institut Guindàvols.

La instal·lació solar tèrmica és de baixa temperatura i està formada per tres col·lectors solar en funcionament, que anomenarem primer, segon i tercer segons la imatge 55, i que corresponen a dos tipus diferents.

El primer tipus està fabricat per l'empresa *IPeaguas* i construït al 100% per plàstic, de manera que s'evita la corrosió i les incrustacions calcàries. Aquest col·lector l'analitzarem com a una unitat, però està format per tres col·lectors semiesfèrics individuals, la instal·lació dels quals es pot realitzar en sèrie o en paral·lel. En aquest cas estan instal·lats en sèrie.

Cada col·lector individual està format per un absorbidor, aïllament, una coberta aïllant, una cúpula exterior i una cúpula interior. Entre les dues cúpules hi ha un tub corrugat de polipropilè, és a dir, l'absorbidor. L'aïllament és espuma de poliuretà i la coberta aïllant d'alumini anticorrosiu. Les cúpules són de polimetacrilat de metiló.

La superfície de la cúpula exterior és de $1,0053 \text{ m}^2$. La pressió màxima de treball d'aquest tipus de col·lector és de 2 bars i la pèrdua de càrrega per col·lector és de 0,06 bars. El cabal hauria d'estar entre 0,83 i 1,67 litres per minut per al bon funcionament de la instal·lació. El coeficient de pèrdues de l'absorbidor és de $18 \text{ W/m}^2\text{K}$. Aquest tipus d'instal·lació solar té una vida útil en servei continu de 20 anys i una durabilitat dels components de 40 anys.

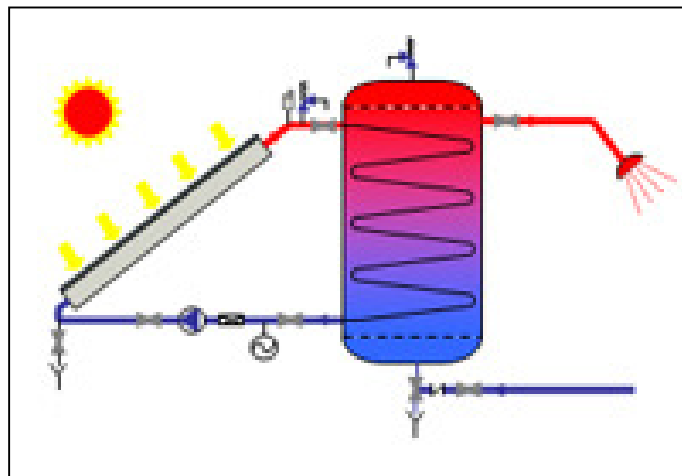


Imatge 56. Fotografia detall d'un col·lector solar semiesfèric fabricat per l'empresa *IPeaguas*.

El segon i el tercer col·lectors són gairebé idèntics, però fabricats per empreses diferents, *PILKINGTON SOLALITE* i *Takama*, respectivament. La segona placa termosolar està col·locada en posició vertical, mentre que la tercera horitzontal. Estan encarades cap al sud geogràfic, la seva superfície de captació és de 2 m² i formen un angle de 48° amb el pla horitzontal.

També hi ha un altre col·lector de tipus pla de tubs de buit, el qual no està en funcionament, però, per aquest motiu, no tractarem.

En la instal·lació hi ha dos circuits. El circuit primari és un circuit tancat que transporta el fluid caloportador per l'interior dels col·lectors solars i per l'intercanviador de calor. El circuit secundari és pel que circula l'aigua calenta sanitària, la qual s'escalfa a l'intercanviador amb l'energia procedent del circuit primari.



Imatge 57. Esquema d'una instal·lació amb el corresponent circuit primari i secundari.

Pel circuit primari, com s'ha dit anteriorment, hi circula el fluid caloportador. Aquest fluid pot ser aigua o anticongelant, per evitar que a l'hivern la instal·lació es

pugui malmetre. Disposa d'una bomba que impulsa el fluid, un piano de vàlvules i diversos sensors de temperatura.

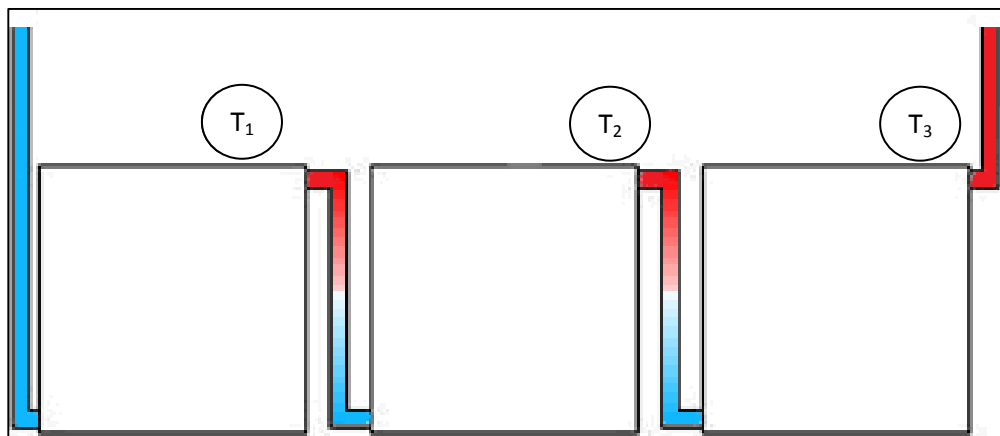
La bomba que impulsa el fluid del circuit primari és de l'empresa *GRUNDFOS*. És del tipus de rotor encapsulat, és a dir, la bomba i el motor formen una unitat íntegra sense tancament y amb només dos juntes per al segellat. Els coixinets estan lubricats pel líquid bombejat. La bomba es caracteritza per tenir l'eix i els coixinets radials de ceràmica, el coixinet de fons de carboni, la camisa del rotor y la placa de suport d'acer inoxidable, l'impulsor resistent a la corrosió, components resistents al glicol i el cos de la bomba de fosa tractada per cataforesis. Cal afegir que la bomba té tres velocitats, la temperatura del líquid ha d'estar compresa entre 2 i 110 graus centígrads, la pressió de treball màxima és 10 bars, la temperatura de l'ambient ha d'estar entre 0 i 40 graus centígrads i la humitat relativa ha de ser inferior al 95%. La potència elèctrica pot estar entre 65 i 80 watts, la intensitat del corrent entre 0,28 i 0,34 ampers i la tensió ha de ser 230 V. El pes net de la bomba és de 2,6 quilograms.

L'aigua del circuit primari és impulsada per aquesta bomba des de l'interior de l'edifici i surt a l'exterior. Passa per un piano de vàlvules i tot seguit per les diferents plaques. Després torna a l'interior i passa per un intercanviador acumulador, on hi ha dipositada aigua sanitària. Al passar l'aigua del circuit de les plaques per l'acumulador hi ha una transferència de calor ja que l'aigua sanitària està més freda. D'aquesta manera l'aigua sanitària s'escalfa i l'altra es refreda. L'aigua del circuit tancat repeteix el cicle perquè està impulsada per la bomba. Si l'aigua calenta sanitària no s'utilitza, a mesura que passa el dia –sempre quan faci sol-, la seva temperatura va pujat progressivament. El motiu és que està acumulada i gairebé no perd temperatura.



Imatge 58. Fotografia de l'acumulador intercanviador i la bomba.

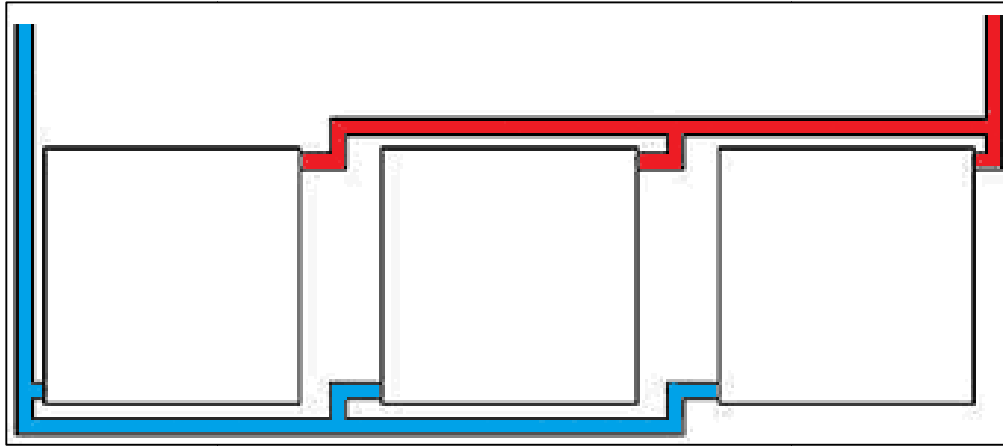
El piano de vàlvules esmentat anteriorment serveix per variar la disposició de les plaques sense haver de canviar la seva posició o haver d'afegir canonades. Aquest piano permet connectar les plaques en sèrie, en paral·lel o en un circuit mixt. Quan es connecten en sèrie l'aigua passa per sempre en el mateix ordre: entra per la primera placa, surt de la primera placa i entra a la segona, surt de la segona i entra a la tercera i finalment surt de la tercera i torna a l'acumulador. D'aquesta manera s'aconsegueix més temperatura (imatge 59).



Imatge 59. Esquema de la connexió de col·lectors en sèrie, on $T_1 < T_2 < T_3$.

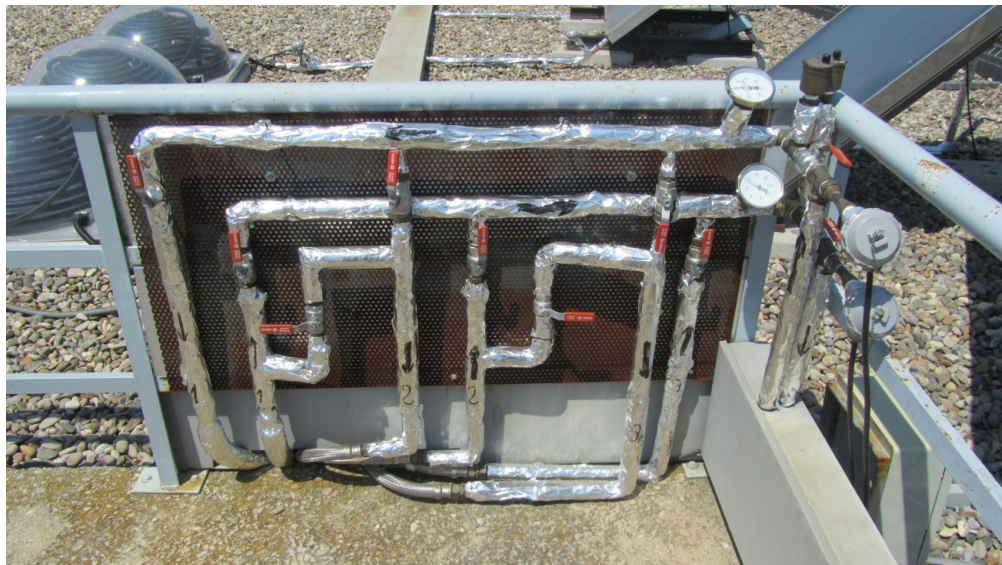
Per aconseguir més cabal s'han de connectar les plaques en paral·lel. En aquest cas l'aigua entra per les tres plaques a la vegada, surt de les plaques i torna cap a

l'acumulador. Així s'aconsegueix més cabal però té l'inconvenient de que la temperatura aconseguida és inferior que en el cas de la connexió en sèrie (imatge 60).



Imatge 60. Esquema de la connexió de col·lectors en paral·lel.

Les plaques termosolars també es poden connectar de manera mixta, és a dir, combinant la connexió en sèrie en dos col·lectors, i connectant aquest grup en paral·lel amb el col·lector restant. En aquest cas, les plaques en sèrie poden ser la primera i la segona o la segona i la tercera. L'altra es connecta amb paral·lel amb aquestes.



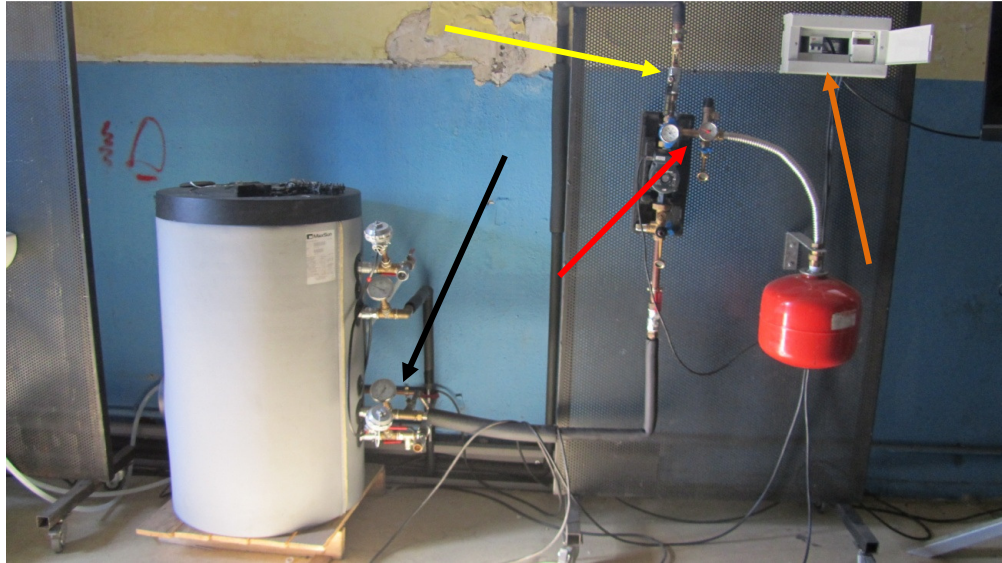
Imatge 61. Fotografia de detall del piano de vàlvules de la instal·lació per a l'aprofitament de l'energia solar tèrmica. En aquest cas, els col·lectors estan en paral·lel.

Es disposa de deu sondes de temperatura que estan situades a l'entrada i sortida de cada placa, així com també a l'entrada i a la sortida d'aigua de la instal·lació i a l'entrada i sortida de l'aigua sanitària a l'acumulador. Aquestes dades s'envien a un ordinador de tal manera que es pot observar diferents gràfics que il·lustren la transferència d'energia i el canvi de temperatures.

A l'ordinador hi ha un programa informàtic, STEP, que permet enregistrar les dades rebudes de les sondes tèrmiques i en dibuixa el gràfic corresponent, de manera que es pot observar l'evolució de la temperatura del fluid caloportador durant el procés del circuit i durant un temps determinat: un dia, un mes, un any... Per exemple, en realitzar una prova amb la instal·lació, el mes de Juny es va poder observar que entre les 13 i les 14 hores, l'augment de temperatura era màxim. Una altra observació va ser que durant la nit, en el cas que la instal·lació restés funcionant sense parar, l'aigua de l'acumulador es refredava.

POSADA EN FUNCIONAMENT

1	S'omple el circuit primari amb aigua o anticongelant. Si s'utilitza aigua, només cal obrir l'aixeta assenyalada amb una fletxa negra en la imatge 62. Cal tenir en compte, però, que si el circuit està buit, les aixetes de sortida del fluid, de cada col·lector, estan obertes i, per tant, cal tancar-les.
2	S'engega la bomba amb l'interruptor marcat amb una fletxa taronja. Es pot canviar la velocitat de la bomba amb el selector de l'aparell.
3	Es comprova la pressió del circuit amb el manòmetre i el cabal amb el cabalímetre, assenyalats amb vermell i groc, respectivament.
4	S'engega l'ordinador i s'obra el programa STEP. Selecciónt diferents paràmetres es pot observar el gràfic històric, gràfic instantani, es poden enregistrar dades...
5	Es pot comprovar o utilitzar l'aigua calenta produïda, que surt per la pica.
6	Per a parar el sistema es tanca el programa STEP, s'apaga l'ordinador, es para la bomba i es buida el circuit primari amb les aixetes que hi ha a cada col·lector solar.



Imatge 62. Fotografia de l'interior de l'aula de les energies renovables amb les indicacions per a la posada en funcionament.

Per a poder veure gràficament la instal·lació se n'ha realitzat un plànol en el que es pot veure els tres col·lectors i la resta d'elements de la instal·lació (pàgina 103).

9. DESCRIPCIÓ DE L'AULA. ENERGIA SOLAR FOTVOLTAICA I EÒLICA

Pel que fa a l'obtenció d'electricitat es disposa d'una placa fotovoltaica i d'un petit aerogenerador. La placa fotovoltaica està muntada sobre un motor seguidor del Sol, però per problemes tècnics no està en funcionament. L'aerogenerador està muntat a una alçada superior a la del terrat i la resta de la instal·lació (imatge 55). El funcionament tant de les plaques com de l'aerogenerador és molt similar i s'explicarà a continuació.

La placa fotovoltaica està formada per dos mòduls iguals de la marca SOLARWORLD model SW170 mono. Cada una d'aquestes peces fa 161 centímetres de llargada i 81 centímetres d'amplada. Estan unides una al costat de l'altra de manera que l'aresta que comparteixen és la més llarga. Així la placa té unes mides de 162x161 centímetres. El gruix de la placa és de 3,4 centímetres. A més a més, està formada per tres capes. La capa superior és de vidre temperat, la intermèdia està formada per cèl·lules solars cristal·lines encapsulades amb EVA (etilè vinil acetat). Les cèl·lules solars són de silici monocristal·lí, tenen unes dimensions de 125x125 mm² i n'hi ha 72 en cada mòdul. La superfície de captació, per tant, és de 2,25 m².

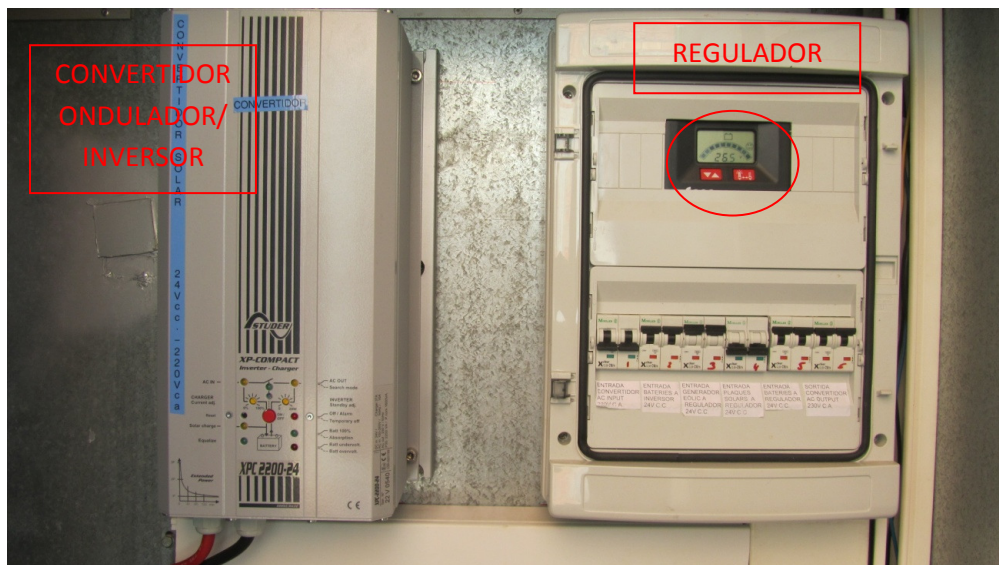
Les característiques de cada mòdul donades pel mateix fabricant són les següents: 170 watts de potència màxima, 44,2 volts de voltatge del circuit obert, 35,5 volt de voltatge màxim en el punt de potència, 5,2 amperes de corrent del circuit curt i 4,79 amperes de corrent màxim en el punt de potència (annex).

L'electricitat obtinguda en la placa fotovoltaica i en l'aerogenerador és en forma de corrent continu i, per tant, no pot ser utilitzada directament. El corrent produït té una tensió aproximada de 24 volts. Tanmateix la seva intensitat pot variar.

El corrent obtingut passa per un regulador que permet la lectura de la informació corresponent a les diferents fases del cicle. Aquest regulador també porta incorporats diferents sistemes de seguretat com interruptors magnetotèrmics. Tot seguit aquest corrent s'emmagatzema en unes bateries per poder ser utilitzat

posteriorment. Després de les bateries passa per un convertidor ondulator per on entra en forma de corrent continu amb una tensió de 24 volts i en surt en forma de corrent altern amb una tensió de 230 volts (imatge 60). Finalment aquest corrent ja pot ser incorporat a la xarxa elèctrica de l'institut o utilitzar per fer funcionar un focus per il·luminar el pati durant la nit (imatge 63).

Aquest focus es pot fer funcionar amb l'electricitat de la xarxa elèctrica o amb l'energia obtinguda a partir de la instal·lació del mateix institut. Normalment funciona automàticament mitjançant el segon tipus d'energia; quan està fosc un sensor de llum acciona el focus. L'electricitat utilitzada per il·luminar queda enregistrada per un comptador de manera que és pot saber l'estalvi que suposa el fet de tenir aquesta instal·lació.



Imatge 63. Detall del regulador que incorpora els interruptors magnetotèrmics i del convertidor ondulator. En vermell, pantalla que ens informa sobre la tensió i la intensitat.



Imatge 64. Detall de la bateria.

Com en el cas de la instal·lació solar tèrmica, també s'ha realitzat un plànol per veure gràficament el funcionament de la instal·lació elèctrica (pàgina 104).

DETERMINACIONS EXPERIMENTALS

10. CONEIXEMENTS PREVIS

10.1. TERMODINÀMICA

La termodinàmica és la part de la física que, a partir dels principis de conservació de l'energia, estudia les relacions entre els fenòmens mecànics, químics, elèctrics, magnètics, etc., i els calorífics.

CALOR I ENERGIA

La calor és la manifestació de l'energia interna d'un sistema que es mesura per mitjà de la temperatura. La calor també és l'energia que es transfereix entre dos cossos que es troben a diferent temperatura.

L'energia és la capacitat d'un sistema físic per a produir un treball, per aquest motiu, el treball i l'energia es mesuren en la mateixa unitat que, en el Sistema Internacional d'Unitats és el Joule.

CAPACITAT CALORÍFICA I CALOR ESPECÍFICA

En termodinàmica la capacitat calorífica és la quantitat de calor necessària per a augmentar en un grau la temperatura d'un cos, sempre que no tinguin lloc canvis de fase o reaccions químiques. Si la massa del sistema és un gram, llavors la capacitat calorífica s'anomena també calor específica, mentre que si la massa del sistema és un mol, llavors la capacitat calorífica s'anomena calor molar.

El valor de la calor específica depèn de les condicions de pressió i volum en les que s'efectua l'increment de temperatura. Malgrat això normalment es tenen en compte uns valors estàndards que, en el cas de l'aigua, és de:

$$c_e = \frac{1 \text{ cal}}{g \cdot ^\circ\text{C}} = \frac{4,1813 \text{ J}}{g \cdot ^\circ\text{C}}$$

QUANTITAT DE CALOR, ENERGIA I TREBALL

Si dos cossos que tenen diferent temperatura estan en contacte, hi ha un intercanvi de calor. Per definició de calor específica, la quantitat de calor o energia necessària per a elevar la temperatura d'un fluid es pot saber mitjançant la fórmula següent:

$$E = m \cdot c_e \cdot \Delta T$$

on E és la quantitat d'energia tèrmica necessària per elevar la temperatura d'un cos, m és massa o quantitat que a la que se li vol elevar la temperatura, c_e és la calor específica i ΔT és l'augment de temperatura.

Per elevar la temperatura d'un cos es necessita una quantitat de calor, és a dir, energia. Com que l'energia és la capacitat d'un sistema per a produir treball, l'energia que es necessita per elevar la temperatura d'un cos és el treball que s'ha de realitzar.

POTÈNCIA

La potència en un sistema físic, és una magnitud escalar que mesura l'esforç que ha de fer el sistema per executar un treball. És a dir, és a relació entre el treball realitzat per unitat de temps:

$$P = \frac{W}{t}$$

on P és la potència, W és el treball i t és el temps. En el Sistema Internacional d'Unitats la potència es mesura en Watts, és a dir:

$$1 \text{ W} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ s}}$$

Per a calcular la potència que un sistema té per a elevar la temperatura d'un fluid s'utilitza la fórmula següent, ja que el treball equival a l'energia.

$$P = \frac{W}{t} = \frac{E}{t} = \frac{m \cdot c_e \cdot \Delta T}{t}$$

on P és la potència, W és el treball, t és el temps, E és l'energia necessària per elevar la temperatura d'un fluid, m és la massa a la que se li vol elevar la temperatura, c_e és la calor específica fluid i ΔT és l'augment de temperatura.

Aquesta fórmula també es pot expressar d'una altra manera ja que la massa d'un fluid que circula en la unitat de temps és el cabal:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{E}{t} = \frac{m \cdot c_e \cdot \Delta T}{t} = Q \cdot c_e \cdot \Delta T$$

on P és la potència, W és el treball, t és el temps, E és l'energia necessària per elevar la temperatura d'un cos, m és massa a la que se li vol elevar la temperatura, c_e és la calor específica, ΔT és l'augment de temperatura i Q és el cabal del fluid.

Per a aconseguir que el resultat d'aquesta fórmula sigui en Watts (Unitat del Sistema Internacional) el cabal ha d'estar en litres per segon, la calor específica en joules dividit entre el producte d'un quilogram per un grau centígrad, i l'augment de temperatura també en graus centígrads. D'aquesta manera es "cancel·len" les unitats i queda joules dividit per segon. Per definició de potència 1 joule dividit per 1 segon és igual a 1 W. A continuació s'il·lustra l'explicació:

$$POTÈNCIA = \frac{\text{kg} \cdot \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot ^\circ\text{C}}{\text{s}} = \frac{\text{J}}{\text{s}} = \text{W}$$

10.2. ELECTRICITAT

CORRENT ELÈCTRIC

L'àtom és la part més petita d'un element químic. És elèctricament neutra i està formada per una agrupació de partícules elementals subatòmiques. Aquestes partícules són els protons, neutrons i electrons.

Els àtoms són elèctricament neutres, és a dir el seu nombre d'electrons és igual al de protons. Si s'extreuen o s'afegeixen electrons en un cos, aquest té càrrega elèctrica.

El corrent elèctric és el desplaçament d'electrons a través d'un material, entre dos cossos amb càrrega elèctrica.

Generalment es determina el corrent elèctric en continu o altern. El corrent continu és el que es crea en les plaques fotovoltaïques i és el que es pot emmagatzemar en bateries. El corrent altern és el que s'utilitza habitualment a les llars i a altres centres de consum.

VOLTATGE, INTENSITAT I RESISTÈNCIA

El voltatge o tensió és la magnitud que expressa la diferència de potencial elèctric entre dos punts d'un camp elèctric. Es mesura en volts (V), en honor a Alessandro Volta.

La intensitat és la càrrega elèctrica que un corrent transporta per unitat de temps. Es mesura en amperes (A), en honor a André-Marie Ampère.

$$I = \frac{Q}{t}$$

on I és la intensitat en amperes (A), Q és la quantitat de càrregues elèctriques que passen en un circuit i t és el temps, en segons (s). La quantitat de càrregues elèctriques que passen en un circuit es mesuren en coulombs (C), en honor a Charles-Augustin de Coulomb.

La resistència és l'oposició que presenta un cos a ésser travessat per un corrent elèctric, fet que converteix l'energia elèctrica en calor. És mesura en ohms (Ω), en honor a Georg Simon Ohm.

LLEI D'OHM

Georg Simon Ohm (1789-1854) va ser un físic alemany que va descobrir experimentalment la relació entre la intensitat, el voltatge i la resistència:

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

on I és la intensitat en amperes (A), V és el voltatge en volts (V) i R la resistència en ohms (Ω).

TREBALL ELÈCTRIC

És l'energia que s'utilitza per desplaçar les càrregues elèctriques Q en un circuit amb una tensió V :

$$W = Q \cdot V$$

on W és el treball elèctric en joules (J), Q són les càrregues elèctriques en coulombs C i V és el voltatge en volts (V).

POTÈNCIA ELÈCTRICA

La potència elèctrica és el treball elèctric desenvolupat en unitat de temps:

$$P = \frac{W}{t}$$

on P és la potència en watts (W), W és el treball en joules (J) i t és el temps en segons (s). Si incorporem les fórmules de la intensitat i del treball elèctric obtenim que:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{Q \cdot V}{t} = \frac{I \cdot t \cdot V}{t} = I \cdot V$$

on P és la potència en watts (W), t és el temps en segons (s), W és el treball en joules (J), Q és el nombre de càrregues elèctriques en coulombs (C), V és el voltatge en volts (V) i I és la intensitat en amperes (A).

10.3. RENDIMENT

El rendiment (η) d'una màquina és la relació que hi ha entre el treball, energia o potència consumits i el treball, energia o potència útils o lliurats. L'expressió per calcular el rendiment és, doncs, la següent:

$$\eta = \frac{W_u}{W_c} = \frac{E_u}{E_c} = \frac{P_u}{P_c}$$

on E_u és l'energia útil, E_c és l'energia consumida, P_u és la potència útil, P_c és la potència consumida, W_u és el treball útil i W_c és el treball consumit.

Per a calcular el rendiment de la instal·lació solar i fotovoltaica utilitzarem el quocient entre la potència útil i la potència consumida, ja que són els valors que més fàcilment es poden obtenir.

10.4. INTENSITAT SOLAR

Les mostres per determinar la potència es mesuraran al juny i per tant s'ha de saber la intensitat solar a Lleida durant aquest mes. Per a calcular-la utilitzarem la radiació solar mitjana diària i les hores de sol de mitjana (ambdós dades del mes de Juny).

Radiació solar (annex):

$$6,28 \frac{kW \cdot h}{m^2 \cdot dia}$$

$$1 kW \cdot h = 1000 W \cdot 3600 s = 3,6 \cdot 10^6 \frac{J}{s} \cdot s = 3,6 \cdot 10^6 J$$

$$6,28 \frac{\cancel{kW \cdot h}}{m^2 \cdot dia} \cdot \frac{3,6 \cdot 10^6 J}{1 \cancel{kW \cdot h}} = 2,26 \cdot 10^7 \frac{J}{m^2 \cdot dia}$$

Hores de sol (annex):

$$322 \frac{hores de sol}{mes} \cdot \frac{1 mes}{30 dies} = 10,7 \frac{hores de sol}{dia}$$

Intensitat solar:

$$2,26 \cdot 10^7 \frac{J}{m^2 \cdot dia} \cdot \frac{1 dia}{10,7 \cancel{hores de sol}} \cdot \frac{1 hora}{3600 segons} = 585 \frac{J}{m^2 \cdot s} = 585 \frac{W}{m^2}$$

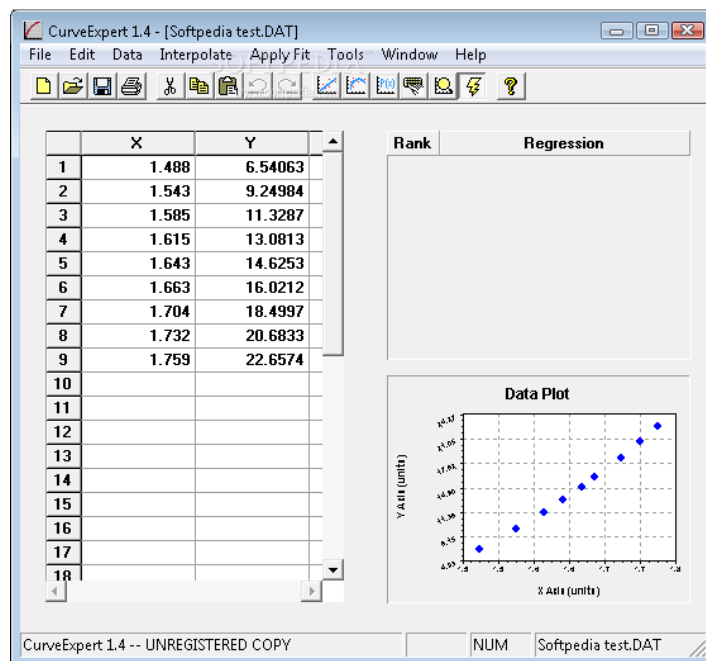
10.5. PROGRAMES INFORMÀTICS

CURVEEXPERT

El *CurveExpert* és un programa informàtic per a Windows que permet realitzar corbes a partir de diferents dades. N'hi ha dues versions, la versió *CurveExpert Basic* i *CurveExpert Pro*. La versió *CurveExpert Basic* és més simple i més senzilla que l'altra, però té l'avantatge que és gratuïta i, per tant, és la que utilitzarem.

CurveExpert Basic és un sistema en el qual es poden introduir dades X i Y i ell mateix dibuixa el gràfic corresponent. A partir d'una barra d'eines les dades poden ser modelades seguint diferents patrons: regressió lineal, regressió no lineal, interpolació o splines. A més a més, el programa obté l'equació corresponent a cada model.

En aquest treball utilitzarem aquest programari per a introduir punts, dibuixar gràfics, ajustar-los a una paràbola i trobar-ne la seva equació.



Imatge 65. Imatge corresponent a la pantalla del programa CurveExpert 1.4.

MULTILAB

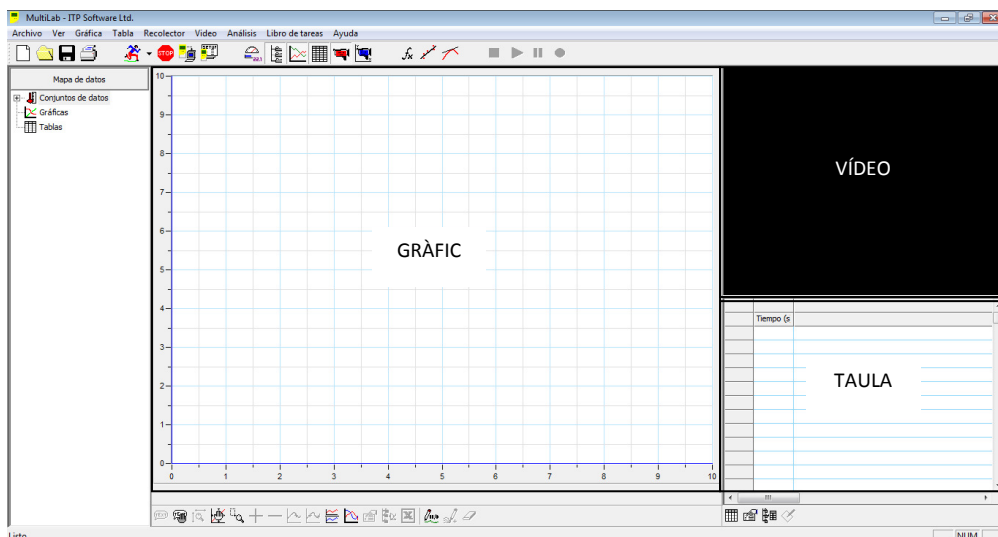
El *MultiLab* és un programa informàtic compatible amb Windows i Macintosh. Aquest programa permet realitzar i estudiar gràfics, taules i videoclips tot introduint les dades automàticament.

Les dades s'introdueixen a partir de diferents sensors: temperatura, humitat relativa, flux lluminós, pressió... Aquests sensors es connecten a una consola, anomenada *MultiLog PRO* que, al seu torn, es connecta a l'ordinador. Per obtenir les dades a l'ordinador es pot fer de dues maneres. La primera consisteix en obtenir les dades a la consola i després extreure-les a l'ordinador i, la segona, en connectar la consola a l'ordinador i donar-li la tasca d'obtenir les dades directament a l'ordinador.

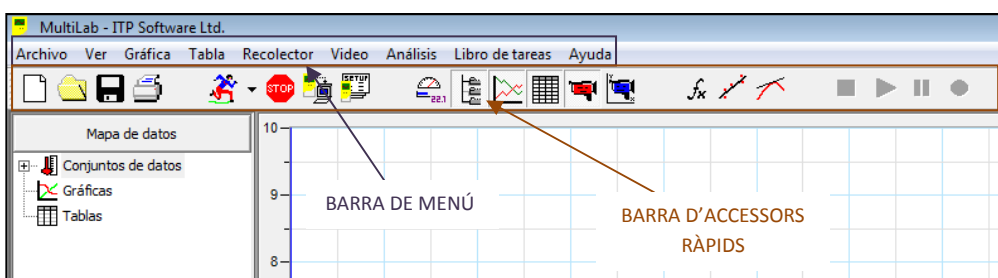
Amb aquest programa la presa de dades i la realització de gràfics i dades es simplifica considerablement. A més a més, les dades es poden ajustar a una funció, de la qual en dóna l'equació.

Per a realitzar de les determinacions experimentals de la potència dels col·lectors solars i de la placa fotovoltaica utilitzarem aquest programari, la consola *MultiLog PRO* i els sensors de temperatura, humitat relativa i flux lluminós. Aquests sensors els connectarem a la consola i obtindrem les dades en la mateixa consola perquè no serà necessari passar-les a l'ordinador, tot i que també es podria fer.

En la pràctica en la que es calcula la calor específica de l'anticongelant s'utilitzarà un sensor de temperatura que també es connectarà a la consola i, en aquest cas, si que es passaran les dades a l'ordinador per a poder treballar millor.



Imatge 66. Pantalla programa MultiLab.



Imatge 67. Fotografia de detall de la barra de menú i de la barra d'accessors ràpids del programa MultiLab.

El programa *MultiLab* és bastant senzill d'utilitzar perquè és bastant intuïtiu. En la seva configuració bàsica consta de dues barres d'eines: una barra de menú i una barra d'accessors ràpids (imatge 67). Per realitzar les diferents tasques es pot fer a partir de la barra de menú i en alguns casos a partir de la barra d'accessors ràpids.

Dins de la finestra del mateix programa hi ha tres grans zones, una on hi apareix una taula, una on hi apareix un gràfic i una altra on hi apareix un vídeo, si és el cas (imatge 66). Per inserir les dades es va a *recolector* i s'elegeix l'opció desitjada. Tot seguit, amb la barra d'accessors ràpids es pot canviar la configuració de la pantalla i ampliar, per exemple, la taula o el gràfic.

10.6. DADES

Per realitzar algunes de les pràctiques experimentals necessitarem saber algunes dades prèvies:

La superfície de captació del primer captador és la seva superfície de projecció que, per la latitud de Lleida (42°) és de (annex):

$$0,397 \frac{m^2}{\text{mòdul}} \cdot \frac{3 \text{ mòduls}}{1 \text{ captador}} = 1,191 m^2$$

La superfície de captació del segon i del tercer col·lector és de:

$$2 m^2$$

La superfície de captació de la placa fotovoltaica és de:

$$1,125 m^2$$

11. DETERMINACIÓ EXPERIMENTAL DE LA POTÈNCIA DESENVOLUPADA A L'AULA D'ENERGIES RENOVABLES PER LA INSTAL·LACIÓ I PELS COL·LECTORS SOLARS EN SÈRIE

11.1. INTRODUCCIÓ

En aquesta part del treball es determinarà experimentalment la potència de la instal·lació solar i dels col·lectors solars quan aquests estan connectats en sèrie.

11.2. OBJECTIUS

- I. Determinar experimentalment la potència desenvolupada pel conjunt de la instal·lació termosolar quan els col·lectors estan connectats en sèrie.
- II. Determinar experimentalment la potència desenvolupada pel primer col·lector solar quan està connectat en sèrie amb la resta de col·lectors.
- III. Determinar experimentalment la potència desenvolupada pel segon col·lector solar quan està connectat en sèrie amb la resta de col·lectors.
- IV. Determinar experimentalment la potència desenvolupada pel tercer col·lector solar quan està connectat en sèrie amb la resta de col·lectors.

11.3. METODOLOGIA

DESCRIPCIÓ DE L'EXPERIMENT

L'experiment consisteix en determinar experimentalment la potència que pot desenvolupar la instal·lació termosolar quan els col·lectors estan connectats en sèrie. Per a realitzar-lo s'ha de prendre dades de l'augment de temperatura de l'aigua entre l'entrada i la sortida de la instal·lació i de cada un dels col·lectors. També cal saber el cabal i, i tot seguit, es pot calcular la potència amb la fórmula de corresponent.

El cabal que s'utilitza està marcat pel cabal màxim que poden suportar els col·lectors. El cabal màxim més baix és de 100 l/h (0,0277 l/s) i és, per tant, el que s'ha d'utilitzar per no malmetre la instal·lació (annex).

La calor específica ve donada pel fluid que s'utilitza. En aquest cas es va utilitzar aigua, que té una calor específica aproximada de 4,184 KJ/g·°C.

UTILLATGE

- Instal·lació solar tèrmica.
- Aigua.
- Cabalímetre, precisió \pm 100 l/h.
- Sensors de temperatura, precisió \pm 0,01°C.
- Sensor de llum, precisió \pm 0,01 lm.
- Sensor d'humitat, precisió \pm 0,1 %
- Consola *MultiLog PRO*
- Programari Curve Expert.

PROCEDIMENT

1. Posem en funcionament la instal·lació termosolar.
2. Mesurem l'augment de temperatura total i parcial de la instal·lació periòdicament.
3. Calculem la potència a partir de les dades obtingudes.
4. Dibuixem un gràfic potència-temps amb el programa *CurveExpert*.

DIBUIX (fotografia)



Imatge 68. Fotografia de l'aula d'energies renovables. En vermell, les sondes de temperatura

11.4. RESULTATS OBTINGUTS. ANÀLISI I DISCUSSIÓ.

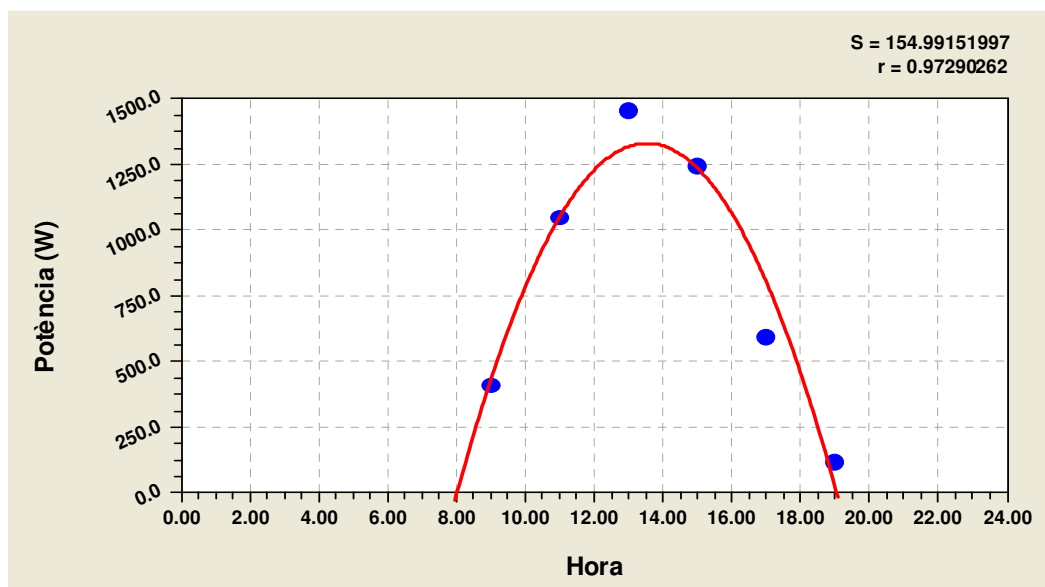
Per a calcular la potència donada per a cada un dels col·lectors i pel conjunt de la instal·lació, quan aquests estan connectats en sèrie, el dia 28 juny es van prendre dades de l'augment de temperatura i d'altres paràmetres amb la consola *Multilog PRO* i els respectius sensors. Els resultats de les mostres són els següents:

Hora	Temperatura (°C)	Flux lluminós (klx)	Humitat relativa (%)	ΔT_1 (°C)	ΔT_2 (°C)	ΔT_3 (°C)	ΔT (°C)
9:00	27,30	105,30	50,3	3,1	0,9	0,6	3,5
11:00	29,33	138,10	45,0	4,6	4,2	2,6	9
13:00	32,10	131,00	39,0	4,9	7,5	4	12,5
15:00	34,46	136,08	35,2	4,2	7,3	3,8	10,7
17:00	37,18	136,08	27,4	3,2	3,9	2,3	5,1
19:00	36,99	108,54	26,3	2,1	0,4	0,2	1
				3,68	4,03	2,25	6,97

$$P = \frac{m_{H_2O} \cdot c_{H_2O} \cdot \Delta T}{t}$$

CÀLCUL DE LA POTÈNCIA DE LA INSTAL·LACIÓ

9:00	$P = 0,0277 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 3,5^\circ C = 0,4068 \frac{KJ}{s} = 407 W$
11:00	$P = 0,0277 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 9^\circ C = 1,046 \frac{KJ}{s} = 1046 W$
13:00	$P = 0,0277 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 12,5^\circ C = 1,4528 \frac{KJ}{s} = 1453 W$
15:00	$P = 0,0277 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 10,7^\circ C = 1,2436 \frac{KJ}{s} = 1244 W$
17:00	$P = 0,0277 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 5,1^\circ C = 0,5927 \frac{KJ}{s} = 593 W$
19:00	$P = 0,0277 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 1^\circ C = 0,1162 \frac{KJ}{s} = 116 W$
	$P = 0,0277 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 6,97^\circ C = 0,8101 \frac{KJ}{s} = 810 W$



Imatge 69. Gràfic de l'evolució de la potència desenvolupada pel conjunt de la instal·lació solar durant el dia 28 de juny.

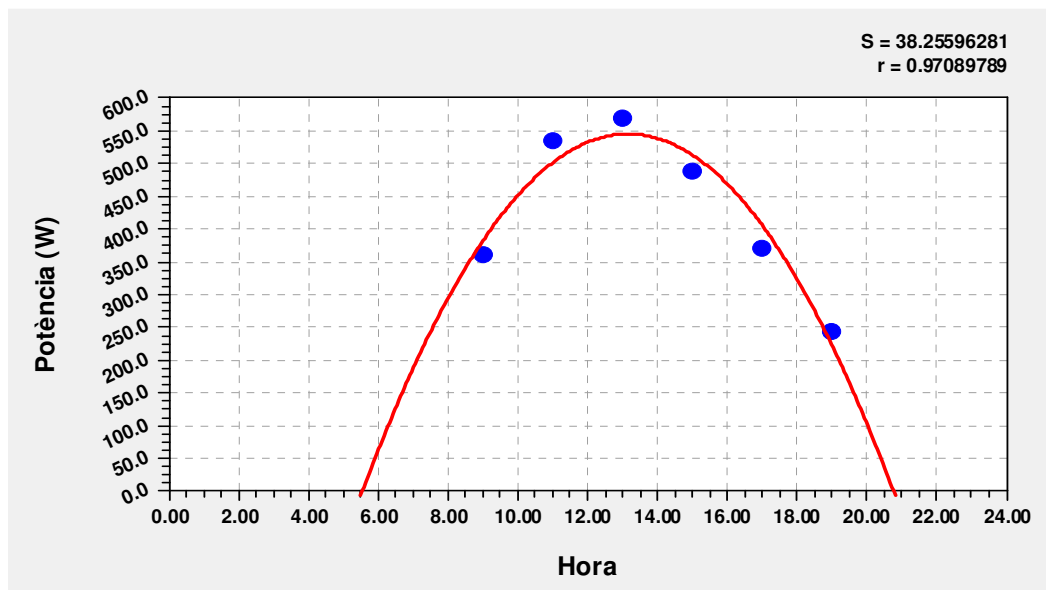
La variació de la potència respecte de l'hora es pot ajustar a una paràbola, l'equació de la qual és:

$$P = -4,38 \cdot 10 \cdot t^2 + 1,18 \cdot 10^3 \cdot t - 6,66 \cdot 10^3$$

on P és la potència en W i t és el temps en hores (hora oficial).

CÀLCUL DE LA POTÈNCIA DEL PRIMER COL·LECTOR

9:00	$P = 0,0277 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 3,1^\circ C = 0,3603 \frac{KJ}{s} = 360 W$
11:00	$P = 0,0277 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 4,6^\circ C = 0,5346 \frac{KJ}{s} = 535 W$
13:00	$P = 0,0277 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 4,9^\circ C = 0,5695 \frac{KJ}{s} = 570 W$
15:00	$P = 0,0277 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 4,2^\circ C = 0,4881 \frac{KJ}{s} = 488 W$
17:00	$P = 0,0277 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 3,2^\circ C = 0,3719 \frac{KJ}{s} = 372 W$
19:00	$P = 0,0277 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 2,1^\circ C = 0,2441 \frac{KJ}{s} = 244 W$
	$P = 0,0277 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 3,68^\circ C = 0,4277 \frac{KJ}{s} = 428 W$



Imatge 70. Gràfic de l'evolució de la potència desenvolupada pel primer col·lector solar durant el dia 28 de juny.

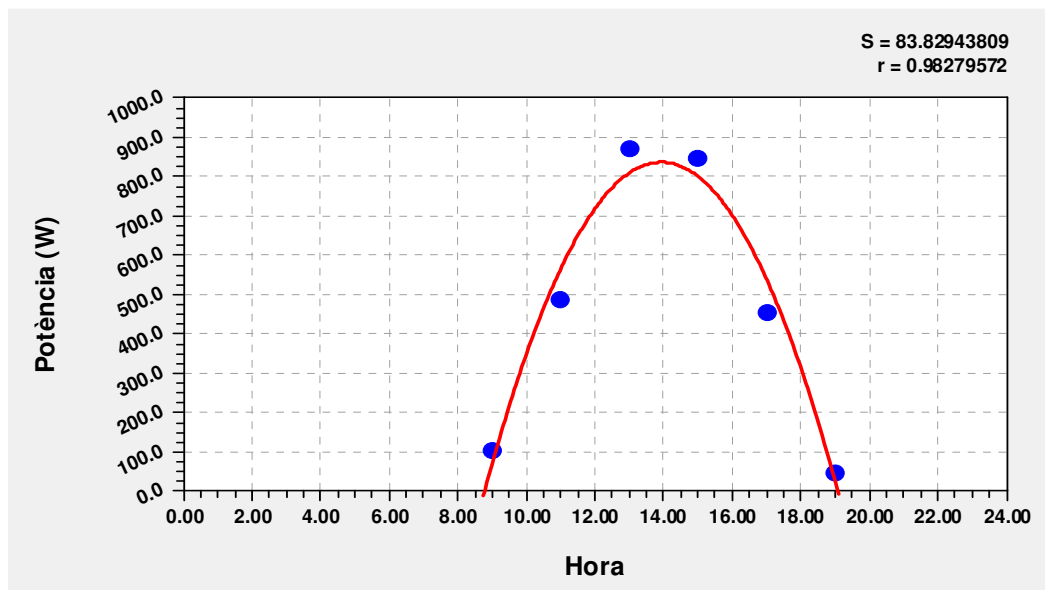
La variació de la potència respecte de l'hora es pot ajustar a una paràbola, l'equació de la qual és:

$$P = -9,43 \cdot t^2 + 2,48 \cdot 10^2 \cdot t - 1,08 \cdot 10^3$$

on P és la potència en W i t és el temps en hores (hora oficial).

CÀLCUL DE LA POTÈNCIA DEL SEGON COL·LECTOR

9:00	$P = 0,0277 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 0,9^\circ C = 0,1046 \frac{KJ}{s} = 105 W$
11:00	$P = 0,0277 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 4,2^\circ C = 0,4881 \frac{KJ}{s} = 488 W$
13:00	$P = 0,0277 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 7,5^\circ C = 0,8717 \frac{KJ}{s} = 872 W$
15:00	$P = 0,0277 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 7,3^\circ C = 0,8484 \frac{KJ}{s} = 848 W$
17:00	$P = 0,0277 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 3,9^\circ C = 0,4533 \frac{KJ}{s} = 453 W$
19:00	$P = 0,0277 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 0,4^\circ C = 0,0465 \frac{KJ}{s} = 47 W$
	$P = 0,0277 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 4,03^\circ C = 0,4684 \frac{KJ}{s} = 468 W$



Imatge 71. Gràfic de l'evolució de la potència desenvolupada pel segon col·lector solar durant el dia 28 de juny.

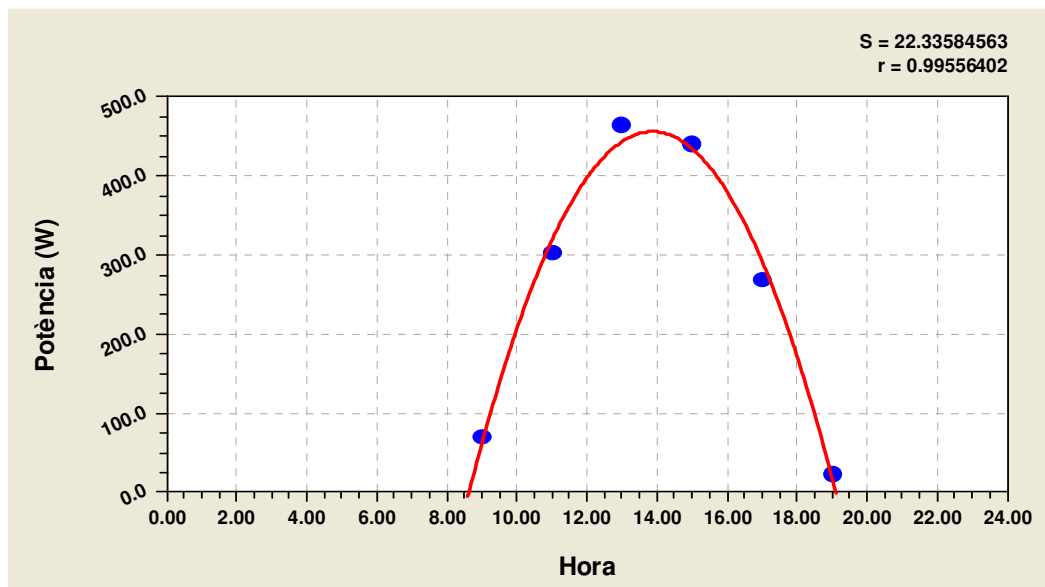
La variació de la potència respecte de l'hora es pot ajustar a una paràbola, l'equació de la qual és:

$$P = -3,15 \cdot 10 \cdot t^2 + 8,77 \cdot 10^2 \cdot t - 5,26 \cdot 10^3$$

on P és la potència en W i t és el temps en hores (hora oficial).

CÀLCUL DE LA POTÈNCIA DEL TERCER COL·LECTOR

9:00	$P = 0,0277 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 0,6^\circ C = 0,0697 \frac{KJ}{s} = 70 W$
11:00	$P = 0,0277 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 2,6^\circ C = 0,3022 \frac{KJ}{s} = 302 W$
13:00	$P = 0,0277 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 4^\circ C = 0,4649 \frac{KJ}{s} = 465 W$
15:00	$P = 0,0277 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 3,8^\circ C = 0,4416 \frac{KJ}{s} = 442 W$
17:00	$P = 0,0277 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 2,3^\circ C = 0,2673 \frac{KJ}{s} = 267 W$
19:00	$P = 0,0277 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 0,2^\circ C = 0,0232 \frac{KJ}{s} = 23 W$
	$P = 0,0277 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 2,25^\circ C = 0,2615 \frac{KJ}{s} = 262 W$



Imatge 72. Gràfic de l'evolució de la potència desenvolupada pel tercer col·lector solar durant el dia 28 de juny.

La variació de la potència respecte del temps es pot ajustar a una paràbola, l'equació de la qual és:

$$P = -1,67 \cdot 10 \cdot t^2 + 4,61 \cdot 10^2 \cdot t - 2,74 \cdot 10^3$$

on P és la potència en W i t és el temps en hores (hora oficial).

11.5. CONCLUSIONS PARCIALS

A partir de les anàlisi i discussió dels resultats obtinguts, estem en condicions d'afirmar que:

- I. La potència desenvolupada per la instal·lació és de:

$$810 W$$

- II. La potència desenvolupada pel primer col·lector és de:

$$428 W$$

- III. La potència desenvolupada pel segon col·lector és de:

$$468 W$$

- IV. La potència desenvolupada pel tercer col·lector és de:

$$262 W$$

- V. La variació de la potència respecte del l'hora es pot ajustar a una paràbola. L'equació d'aquesta en el cas de la potència desenvolupada en la instal·lació és:

$$P = -4,38 \cdot 10 \cdot t^2 + 1,18 \cdot 10^3 \cdot t - 6,66 \cdot 10^3$$

on P és la potència en W i t és el temps en hores (hora oficial).

- VI. L'hora de l'horari d'estiu en la que s'aconsegueix la màxima potència és:

$$14 \text{ hores}$$

- VII. La temperatura augmenta a mesura que passen les hores.

- VIII. La humitat relativa de l'aire descendeix a mesura que passen les hores.

- IX. El flux lluminós segueix aproximadament en els mateixos valors de les 11 hores fins a les 19 hores. Pot variar, però, a causa de la nuvolositat.

12. DETERMINACIÓ EXPERIMENTAL DE LA POTÈNCIA DESENVOLUPADA A L'AULA D'ENERGIES RENOVABLES PER LA INSTAL·LACIÓ I PELS COL·LECTORS SOLARS EN PARAL·LEL

12.1. INTRODUCCIÓ

En aquesta part del treball es determinarà experimentalment la potència de la instal·lació solar i dels col·lectors solars quan aquests estan connectats en paral·lel.

12.2. OBJECTIUS

- I. Determinar experimentalment la potència desenvolupada pel conjunt de la instal·lació termosolar quan els col·lectors estan connectats en paral·lel.
- II. Determinar experimentalment la potència desenvolupada pel primer col·lector solar quan està connectat en paral·lel amb la resta de col·lectors.
- III. Determinar experimentalment la potència desenvolupada pel segon col·lector solar quan està connectat en paral·lel amb la resta de col·lectors.
- IV. Determinar experimentalment la potència desenvolupada pel tercer col·lector solar quan està connectat en paral·lel amb la resta de col·lectors.

12.3. METODOLOGIA

DESCRIPCIÓ DE L'EXPERIMENT

L'experiment consisteix en determinar experimentalment la potència que pot desenvolupar la instal·lació termosolar quan els col·lectors estan connectats en paral·lel. Per a realitzar-lo s'ha de prendre dades de l'augment de temperatura de l'aigua entre l'entrada i la sortida de la instal·lació i de cada un dels col·lectors. També cal saber el cabal i, i tot seguit, es pot calcular la potència amb la fórmula de corresponent.

El cabal que s'utilitza està marcat pel cabal màxim que poden suportar els col·lectors. El cabal màxim més baix és de 100 l/h (0,0277 l/s). Quan els col·lectors estan connectats en paral·lel el cabal total és la suma dels cabals que hi ha en cada col·lector. Per tant, el cabal màxim que es pot utilitzar és de és de 300 l/h (0,0833 l/s), per no malmetre la instal·lació (annex).

La calor específica ve donada pel fluid que s'utilitza. En aquest cas s'utilitzarà aigua, que té una calor específica aproximada de 4,184 KJ/g·°C.

UTILLATGE

- Instal·lació solar tèrmica.
- Sensor de llum, precisió $\pm 0,01$ lm.
- Aigua.
- Sensor d'humitat, precisió $\pm 0,1$ %
- Cabalímetre, precisió ± 100 l/h.
- Consola *MultiLog PRO*
- Sensors de temperatura, precisió $\pm 0,01$ °C.
- Programari Curve Expert.

PROCEDIMENT

1. Posem en funcionament la instal·lació termosolar.
2. Mesurem l'augment de temperatura total i parcial de la instal·lació periòdicament.
3. Calculem la potència a partir de les dades obtingudes.
4. Dibuixem un gràfic potència-temps amb el programa *CurveExpert*.

DIBUIX (fotografia)



Imatge 73. Fotografia de l'aula d'energies renovables. En vermell, les sondes de temperatura.



Imatge 74. Fotografia del piano de vàlvules quan els col·lectors estan connectats en paral·lel.

12.4. RESULTATS OBTINGUTS. ANÀLISI I DISCUSSIÓ

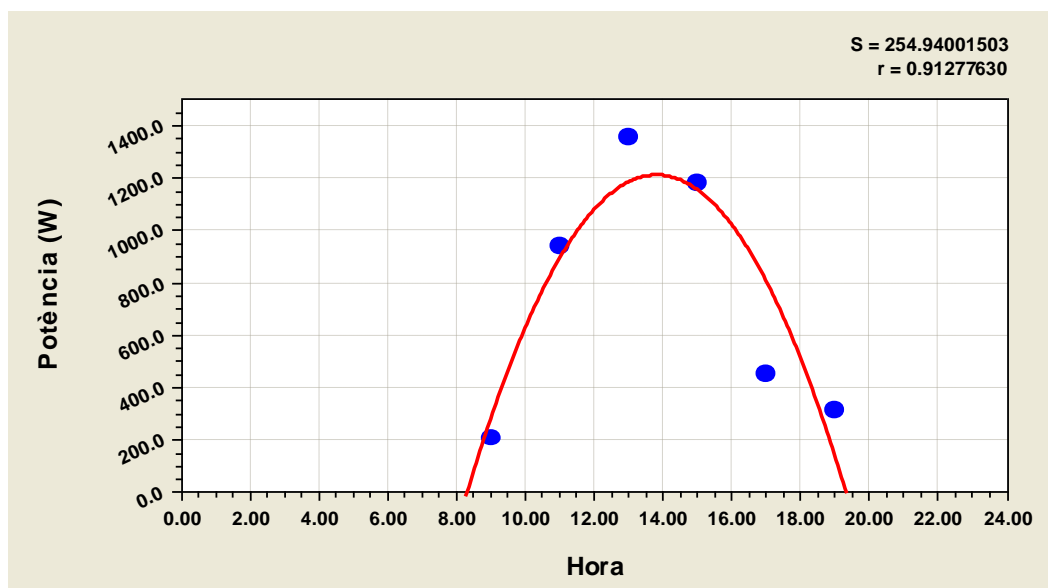
Per a calcular la potència donada per a cada un dels col·lectors i pel conjunt de la instal·lació, quan aquests estan connectats en sèrie, el dia 29 juny es van prendre dades de l'augment de temperatura i d'altres paràmetres amb la consola *Multilog PRO* i els respectius sensors. Els resultats de les mostres són els següents:

Hora	Temperatura (°C)	Flux lluminós (klx)	Humitat relativa (%)	ΔT_1 (°C)	ΔT_2 (°C)	ΔT_3 (°C)	ΔT (°C)
9:00	25,07	108,81	40,1	3	0,4	0,3	0,6
11:00	28,82	138,10	37,7	5	3,9	2,7	2,7
13:00	34,56	138,10	39,6	5,4	6,5	3,8	3,9
15:00	34,27	138,10	35,8	4,6	6,5	3,9	3,4
17:00	35,53	134,32	34,1	3,8	3,4	2,3	1,3
19:00	36,70	91,12	35,3	2,4	0,6	0,5	0,9
				4,03	3,55	2,25	2,13

$$P = \frac{m_{H_2O} \cdot c_{H_2O} \cdot \Delta T}{t}$$

CÀLCUL DE LA POTÈNCIA DE LA INSTAL·LACIÓ

9:00	$P = 0,0833 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 0,6^\circ C = 0,2092 \frac{KJ}{s} = 209 W$
11:00	$P = 0,0833 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 2,7^\circ C = 0,9414 \frac{KJ}{s} = 941 W$
13:00	$P = 0,0833 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 3,9^\circ C = 1,3598 \frac{KJ}{s} = 1360 W$
15:00	$P = 0,0833 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 3,4^\circ C = 1,1855 \frac{KJ}{s} = 1186 W$
17:00	$P = 0,0833 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 1,3^\circ C = 0,4533 \frac{KJ}{s} = 453 W$
19:00	$P = 0,0833 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 0,9^\circ C = 0,3138 \frac{KJ}{s} = 314 W$
	$P = 0,0833 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 2,13^\circ C = 0,7427 \frac{KJ}{s} = 743 W$



Imatge 75. Gràfic de l'evolució de la potència desenvolupada pel conjunt de la instal·lació solar el dia 29 de juny.

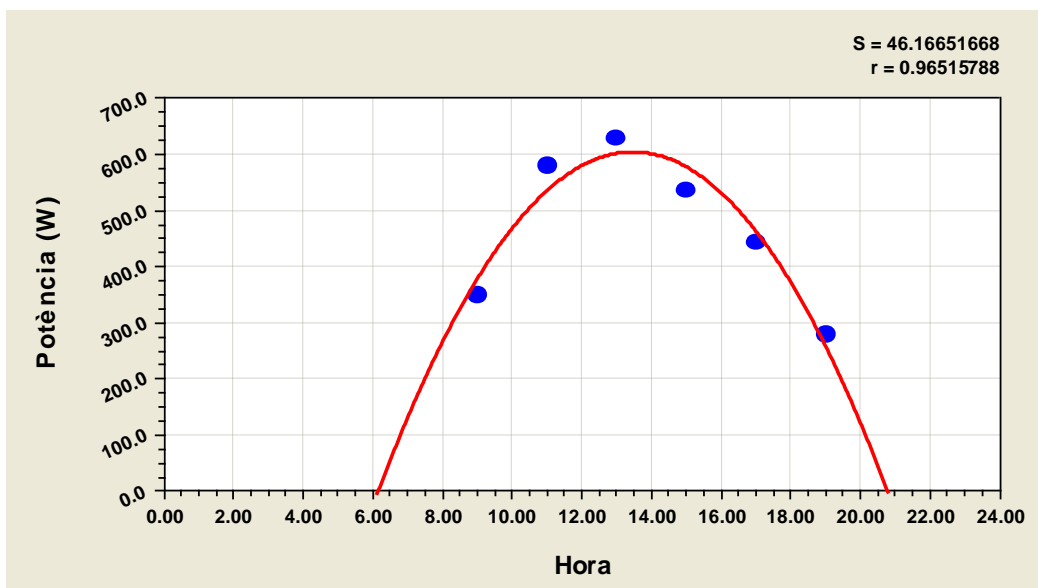
La variació de la potència respecte de l'hora es pot ajustar a una paràbola, l'equació de la qual és:

$$P = -4 \cdot 10^3 \cdot t^2 + 1,10 \cdot 10^3 \cdot t - 6,41 \cdot 10^3$$

on P és la potència en W i t és el temps en hores (hora oficial).

CÀLCUL DE LA POTÈNCIA DEL PRIMER COL·LECTOR

9:00	$P = 0,0277 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 3^\circ C = 0,3487 \frac{KJ}{s} = 349 W$
11:00	$P = 0,0277 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 5^\circ C = 0,5811 \frac{KJ}{s} = 581 W$
13:00	$P = 0,0277 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 5,4^\circ C = 0,6276 \frac{KJ}{s} = 628 W$
15:00	$P = 0,0277 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 4,6^\circ C = 0,5346 \frac{KJ}{s} = 535 W$
17:00	$P = 0,0277 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 3,8^\circ C = 0,4416 \frac{KJ}{s} = 442 W$
19:00	$P = 0,0277 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 2,4^\circ C = 0,2789 \frac{KJ}{s} = 279 W$
	$P = 0,0277 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 4,03^\circ C = 0,4684 \frac{KJ}{s} = 468 W$



Imatge 76. Gràfic de l'evolució de la potència desenvolupada pel primer col·lector solar durant el dia 29 de juny.

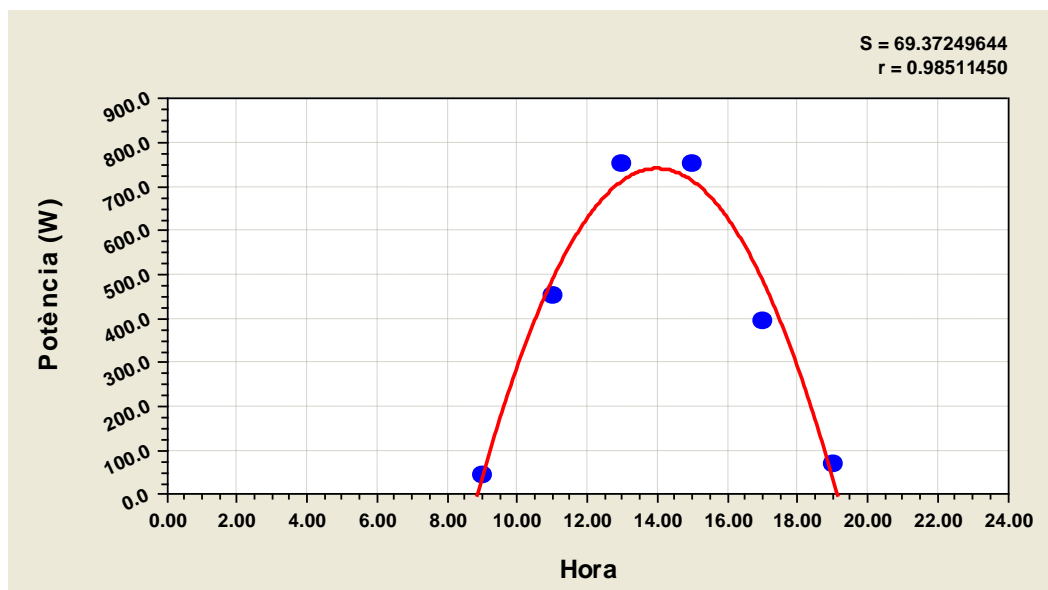
La variació de la potència respecte de l'hora es pot ajustar a una paràbola, l'equació de la qual és:

$$P = -1,13 \cdot 10 \cdot t^2 + 3,05 \cdot 10^2 \cdot t - 1,45 \cdot 10^3$$

on P és la potència en W i t és el temps en hores (hora oficial).

CÀLCUL DE LA POTÈNCIA DEL SEGON COL·LECTOR

9:00	$P = 0,0277 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 0,4^\circ C = 0,0465 \frac{KJ}{s} = 47 W$
11:00	$P = 0,0277 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 3,9^\circ C = 0,4533 \frac{KJ}{s} = 453 W$
13:00	$P = 0,0277 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 6,5^\circ C = 0,7554 \frac{KJ}{s} = 755 W$
15:00	$P = 0,0277 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 6,5^\circ C = 0,7554 \frac{KJ}{s} = 755 W$
17:00	$P = 0,0277 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 3,4^\circ C = 0,3952 \frac{KJ}{s} = 395 W$
19:00	$P = 0,0277 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 0,6^\circ C = 0,0697 \frac{KJ}{s} = 70 W$
	$P = 0,0277 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 3,55^\circ C = 0,4126 \frac{KJ}{s} = 413 W$



Imatge 77. Gràfic de l'evolució de la potència desenvolupada pel segon col·lector solar durant el dia 29 de juny.

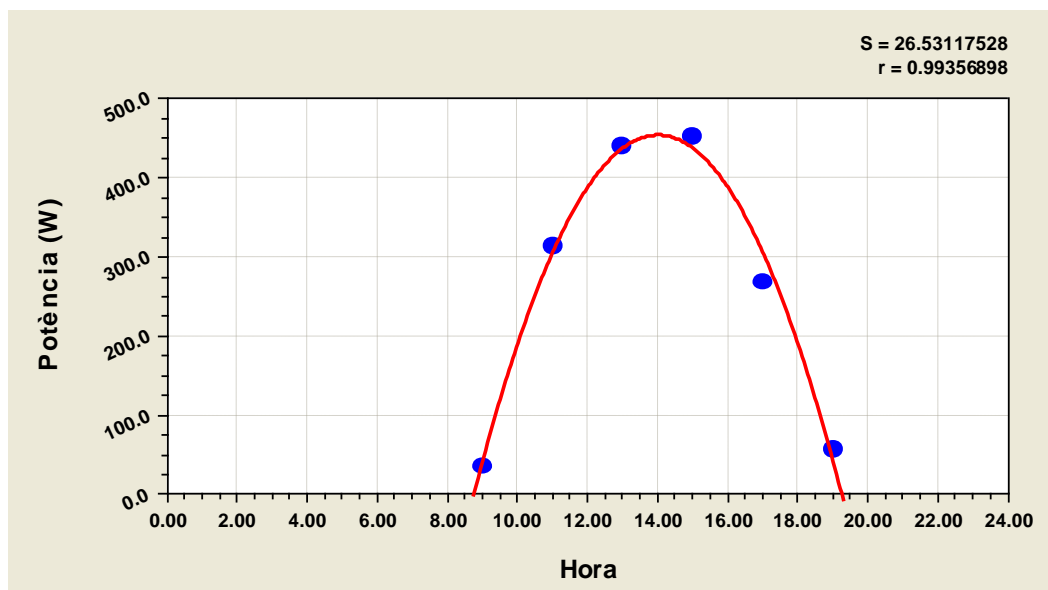
La variació de la potència respecte de l'hora es pot ajustar a una paràbola, l'equació de la qual és:

$$P = -2,81 \cdot 10 \cdot t^2 + 7,87 \cdot 10^2 \cdot t - 4,76 \cdot 10^3$$

on P és la potència en W i t és el temps en hores (hora oficial).

CÀLCUL DE LA POTÈNCIA DEL TERCER COL·LECTOR

9:00	$P = 0,0277 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 0,3^\circ C = 0,0349 \frac{KJ}{s} = 35 W$
11:00	$P = 0,0277 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 2,7^\circ C = 0,3138 \frac{KJ}{s} = 314 W$
13:00	$P = 0,0277 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 3,8^\circ C = 0,4416 \frac{KJ}{s} = 442 W$
15:00	$P = 0,0277 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 3,9^\circ C = 0,4533 \frac{KJ}{s} = 453 W$
17:00	$P = 0,0277 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 2,3^\circ C = 0,2673 \frac{KJ}{s} = 267 W$
19:00	$P = 0,0277 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 0,5^\circ C = 0,0581 \frac{KJ}{s} = 58 W$
	$P = 0,0277 \frac{l}{s} \cdot 4,184 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 2,25^\circ C = 0,2615 \frac{KJ}{s} = 262 W$



Imatge 78. Gràfic de l'evolució de la potència desenvolupada pel tercer col·lector solar durant el dia 29 de juny.

La variació de la potència respecte de l'hora es pot ajustar a una paràbola, l'equació de la qual és:

$$P = -1,65 \cdot 10 \cdot t^2 + 4,62 \cdot 10^2 \cdot t - 2,78 \cdot 10^3$$

on P és la potència en W i t és el temps en hores (hora oficial).

12.5. CONCLUSIONS

A partir de les anàlisi i discussió dels resultats obtinguts, estem en condicions d'afirmar que:

- I. La potència desenvolupada per la instal·lació és de:

$$743 \text{ W}$$

- II. La potència desenvolupada pel primer col·lector és de:

$$468 \text{ W}$$

- III. La potència desenvolupada pel segon col·lector és de:

$$413 \text{ W}$$

- IV. La potència desenvolupada pel tercer col·lector és de:

$$262 \text{ W}$$

- X. La variació de la potència respecte del l'hora es pot ajustar a una paràbola. L'equació d'aquesta en el cas de la potència desenvolupada en la instal·lació és:

$$P = -4 \cdot 10^3 \cdot t^2 + 1,10 \cdot 10^3 \cdot t - 6,41 \cdot 10^3$$

on P és la potència en W i t és el temps en hores (hora oficial).

- V. L'hora de l'horari d'estiu en la que s'aconsegueix la màxima potència és:

$$14 \text{ hores}$$

- VI. La temperatura augmenta a mesura que passen les hores.

- VII. La humitat relativa de l'aire descendeix a mesura que passen les hores.

- VIII. El flux lluminós segueix, aproximadament, en els mateixos valors de les 11 hores fins a les 19 hores. Pot variar, però, a causa de la nuvolositat.

13. DETERMINACIÓ EXPERIMENTAL DEL RENDIMENT, A L'AULA D'ENERGIES RENOVABLES, DE LA INSTAL·LACIÓ I DELS COL·LECTORS EN SÈRIE

13.1. INTRODUCCIÓ

En aquesta part del treball es determinarà experimentalment el rendiment de la instal·lació solar i dels col·lectors solars quan aquests estan connectats en sèrie. Per a calcular el rendiment cal calcular la potència, que s'ha fet anteriorment.

13.2. OBJECTIUS

- I. Determinar experimentalment el rendiment del conjunt de la instal·lació termosolar quan els col·lectors estan connectats en sèrie.
- II. Determinar experimentalment el rendiment del primer col·lector solar quan està connectat en sèrie amb la resta de col·lectors.
- III. Determinar experimentalment el rendiment del segon col·lector solar quan està connectat en sèrie amb la resta de col·lectors.
- IV. Determinar experimentalment el rendiment del tercer col·lector solar quan està connectat en sèrie amb la resta de col·lectors.

13.3. METODOLOGIA

DESCRIPCIÓ DE L'EXPERIMENT

L'experiment consisteix en calcular el rendiment de la instal·lació termosolar i dels col·lectors quan estan connectats en sèrie. Per realitzar-lo ens basarem en el càlculs de la potència de l'apartat de la determinació experimental de la potència desenvolupada per la instal·lació i pels col·lectors solars en sèrie (apartat 11, pàgina 117) i de la intensitat del sol durant el mes de juny (apartat 10.4, pàgina 112).

UTILLATGE

- Dades de la potència desenvolupada per la instal·lació solar i pels col·lectors solars.
- Dades de la intensitat solar.

PROCEDIMENT

1. Obtenim les dades de la potència de la instal·lació solar i dels col·lectors solars quan estan connectats en sèrie (apartat 11, pàgina 117)
2. Obtenim les dades de la intensitat solar (apartat 10.4, pàgina 112).
3. Calculem el rendiment a partir de les dades anteriors.

13.4. RESULTATS OBTINGUTS. ANÀLISI I DISCUSSIÓ.

Per a calcular el rendiment obtingut amb cada un dels col·lectors i amb el conjunt de la instal·lació, cal saber la superfície de captació dels col·lectors solars i la intensitat solar:

$$1r \text{ col·lector: } 1,191 \text{ m}^2$$

$$2n \text{ col·lectors: } 2 \text{ m}^2$$

$$3r \text{ col·lector: } 2 \text{ m}^2$$

$$\text{Total: } 5,191 \text{ m}^2$$

$$\text{Intensitat solar: } 585 \text{ W/m}^2$$

CÀLCUL DEL RENDIMENT DEL CONJUNT DE LA INSTAL·LACIÓ

$$\eta = \frac{P_U}{P_C} = \frac{810 \text{ W}}{(1,191 + 2 + 2) \text{ m}^2 \cdot 585 \text{ W/m}^2} = 0,27$$

$$\eta = 27\%$$

CÀLCUL DEL RENDIMENT DEL PRIMER COL·LECTOR

$$\eta = \frac{P_U}{P_C} = \frac{428 \text{ W}}{1,191 \text{ m}^2 \cdot 585 \text{ W/m}^2} = 0,61$$

$$\eta = 61\%$$

CÀLCUL DEL RENDIMENT DEL SEGON COL·LECTOR

$$\eta = \frac{P_U}{P_C} = \frac{468 \text{ W}}{2 \text{ m}^2 \cdot 585 \text{ W/m}^2} = 0,4$$

$$\eta = 40\%$$

CÀLCUL DEL RENDIMENT DEL TERCER COL·LECTOR

$$\eta = \frac{P_U}{P_C} = \frac{262 \text{ W}}{2 \text{ m}^2 \cdot 585 \text{ W/m}^2} = 0,22$$

$$\eta = 22\%$$

13.5. CONCLUSIONS PARCIALS

A partir de les anàlisi i discussió dels resultats obtinguts, estem en condicions d'afirmar que:

- I. El rendiment obtingut amb el conjunt de la instal·lació és de:

27 %

- II. El rendiment obtingut amb el primer col·lector és de:

61 %

- III. El rendiment obtingut amb el segon col·lector és de:

40 %

- IV. El rendiment obtingut amb el tercer col·lector és de:

22 %

- V. Així, doncs, podem dir que el col·lector que té un rendiment més elevat és el primer. Per tant, és el col·lector que més aprofita l'energia rebuda del sol per escalfar aigua.

- VI. El rendiment baix de la instal·lació, respecte al rendiment dels col·lectors el podem atribuir a pèrdues de calor.

14. DETERMINACIÓ EXPERIMENTAL DEL RENDIMENT, A L'AULA D'ENERGIES RENOVABLES, DE LA INSTAL·LACIÓ I DELS COL·LECTORS EN PARAL·LEL

14.1. INTRODUCCIÓ

En aquesta part del treball es determinarà experimentalment el rendiment de la instal·lació solar i dels col·lectors solars quan aquests estan connectats en paral·lel. Per a calcular el rendiment cal calcular la potència, que s'ha fet anteriorment.

14.2. OBJECTIUS

- I. Determinar experimentalment el rendiment del conjunt de la instal·lació termosolar quan els col·lectors estan connectats en paral·lel.
- II. Determinar experimentalment el rendiment del primer col·lector solar quan està connectat en paral·lel amb la resta de col·lectors.
- III. Determinar experimentalment el rendiment del segon col·lector solar quan està connectat en paral·lel amb la resta de col·lectors.
- IV. Determinar experimentalment el rendiment del tercer col·lector solar quan està connectat en paral·lel amb la resta de col·lectors.

14.3. METODOLOGIA

DESCRIPCIÓ DE L'EXPERIMENT

L'experiment consisteix en calcular el rendiment de la instal·lació termosolar i dels col·lectors quan estan connectats en paral·lel. Per realitzar-lo ens basarem en el resultat de la potència obtinguts en la determinació experimental de la potència desenvolupada per la instal·lació i pels col·lectors solars en paral·lel (apartat 12, pàgina 127) i en la intensitat solar (apartat 10.4, pàgina 112).

UTILLATGE

- Dades de la potència desenvolupada per la instal·lació solar i pels col·lectors solars quan estan en paral·lel.
- Dades de la intensitat solar.

PROCEDIMENT

1. Obtenim les dades de la potència de la instal·lació en la determinació experimental de la potència de la instal·lació solar i dels col·lectors en paral·lel (apartat 12, pàgina 127).
2. Obtenim les dades de la intensitat solar (apartat 10.4, pàgina 112).
3. Calculem el rendiment a partir de les dades anteriors.

14.4. RESULTATS OBTINGUTS. ANÀLISI I DISCUSSIÓ.

Per a calcular el rendiment obtingut amb cada un dels col·lectors i amb el conjunt de la instal·lació, cal saber la superfície de captació dels col·lectors solars i la intensitat solar:

$$1r \text{ col·lector: } 1,191 \text{ m}^2$$

$$2n \text{ col·lectors: } 2 \text{ m}^2$$

$$3r \text{ col·lector: } 2 \text{ m}^2$$

$$\text{Total: } 5,191 \text{ m}^2$$

$$\text{Intensitat solar: } 585 \text{ W/m}^2$$

CÀLCUL DEL RENDIMENT DEL CONJUNT DE LA INSTAL·LACIÓ

$$\eta = \frac{P_U}{P_C} = \frac{743 \text{ W}}{(1,191 + 2 + 2) \text{ m}^2 \cdot 585 \text{ W/m}^2} = 0,25$$

$$\eta = 25\%$$

CÀLCUL DEL RENDIMENT DEL PRIMER COL·LECTOR

$$\eta = \frac{P_U}{P_C} = \frac{468 \text{ W}}{1,191 \text{ m}^2 \cdot 585 \text{ W/m}^2} = 0,67$$

$$\eta = 67\%$$

CÀLCUL DEL RENDIMENT DEL SEGON COL·LECTOR

$$\eta = \frac{P_U}{P_C} = \frac{413 \text{ W}}{2 \text{ m}^2 \cdot 585 \text{ W/m}^2} = 0,35$$

$$\eta = 35\%$$

CÀLCUL DEL RENDIMENT DEL TERCER COL·LECTOR

$$\eta = \frac{P_U}{P_C} = \frac{262 \text{ W}}{2 \text{ m}^2 \cdot 585 \text{ W/m}^2} = 0,22$$

$$\eta = 22\%$$

14.5. CONCLUSIONS PARCIALS

A partir de les anàlisi i discussió dels resultats obtinguts, estem en condicions d'afirmar que:

- I. El rendiment obtingut amb el conjunt de la instal·lació és de:

25 %

- II. El rendiment obtingut amb el primer col·lector és de:

67 %

- III. El rendiment obtingut amb el segon col·lector és de:

35 %

- IV. El rendiment obtingut amb el tercer col·lector és de:

22 %

- V. Així, doncs, podem dir que el col·lector que té un rendiment més elevat és el primer. Per tant, és el col·lector que més aprofita l'energia rebuda del sol per escalfar aigua.

- VI. El rendiment baix de la instal·lació, respecte al rendiment dels col·lectors el podem atribuir a pèrdues de calor.

15. DETERMINACIÓ EXPERIMENTAL DE LA POTÈNCIA DESENVOLUPADA A L'AULA D'ENERGIES RENOVABLES PER LA PLACA FOTOVOLTAICA I DEL RENDIMENT

15.1. INTRODUCCIÓ

En aquesta part del treball es determinarà experimentalment la potència de la placa fotovoltaica i el seu rendiment respecte de la potència rebuda pel sol.

15.2. OBJECTIUS

- I. Determinar experimentalment la potència desenvolupada per la placa fotovoltaica.
- II. Determinar experimentalment el rendiment de la placa fotovoltaica.

15.3. METODOLOGIA

DESCRIPCIÓ DE L'EXPERIMENT

L'experiment consisteix en determinar experimentalment la potència que pot desenvolupar la placa fotovoltaica. Per a realitzar-lo s'ha de prendre dades de la intensitat i tensió instantània que proporciona la instal·lació fotovoltaica.

Per a calcular el rendiment s'utilitzarà la potència desenvolupada per la placa fotovoltaica i intensitat solar (apartat 10.4, pàgina 112).

UTILLATGE

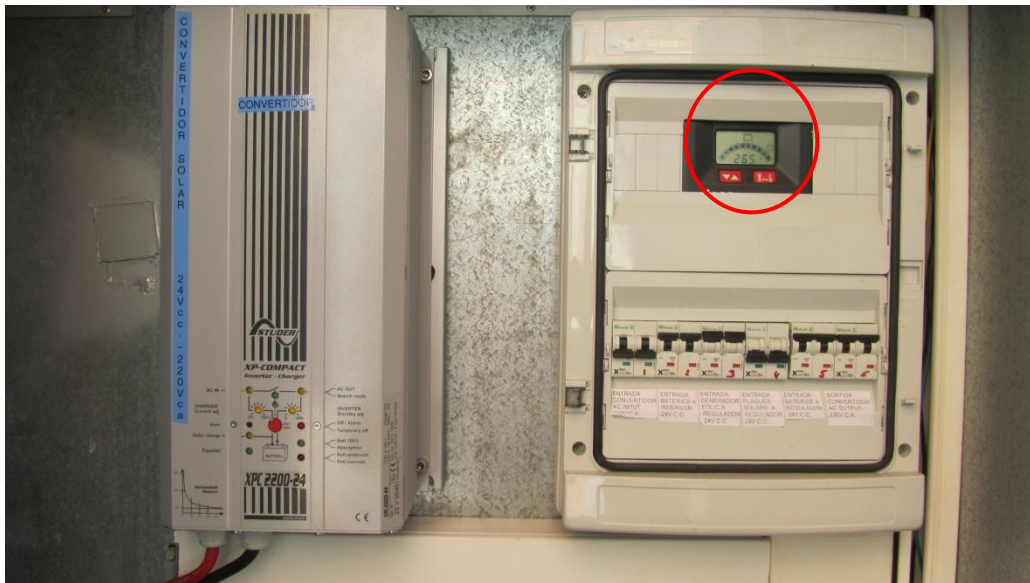
- Instal·lació fotovoltaica.
- Sensors de temperatura, precisió $\pm 0,01^{\circ}\text{C}$.
- Sensor de llum, precisió $\pm 0,01$ lm.
- Sensor d'humitat, precisió $\pm 0,1$ %.
- Consola *MultiLog PRO*.
- Programari Curve Expert.
- Regulador de càrrega amb voltímetre i amperímetre.

PROCEDIMENT

1. Obtenim el valor de la intensitat.
2. Obtenim el valor de la tensió.

3. Calculem la potència.
4. Dibuixem un gràfic potència-temps amb el programa *CurveExpert*.
5. Calculem el rendiment de la instal·lació.

DIBUIX (fotografia)



Imatge 79. Fotografia del regulador de la instal·lació fotovoltaica. En vermell, pantalla que ens informa sobre la tensió i la intensitat.

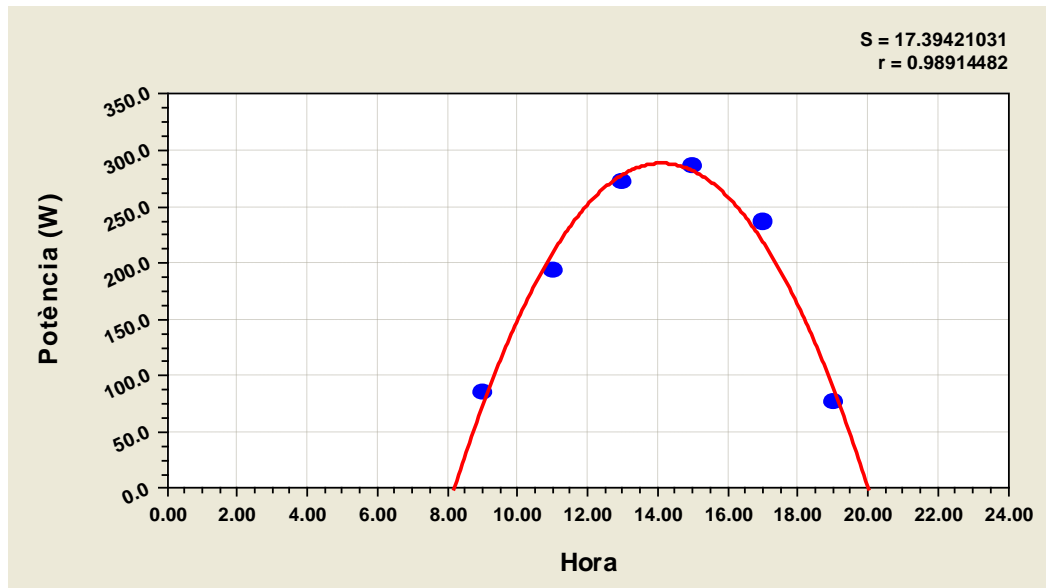
15.4. RESULTATS OBTINGUTS. ANÀLISI I DISCUSSIÓ. CÀLCUL DE LA POTÈNCIA

Per a calcular la potència de la placa fotovoltaica es van prendre dades els dies 27, 28 i 29 de juny. Les dades que es van prendre cada dues hores de 9 del matí a 7 de la tarda. Les mostres són de temperatura, flux lluminós, humitat relativa, tensió i intensitat:

$$P = V \cdot I$$

CÀLCUL DE LA POTÈNCIA DE LA PLACA FOTOVOLTAICA EL DIA 27 DE JUNY

Hora	Temperatura (°C)	Flux lluminós (klx)	Humitat relativa (%)	Tensió (V)	Intensitat (A)	Potència (W) [Tensió x Intensitat]
9:00	28,92	112,72	34,6	26,5	3,2	85
11:00	31,16	115,15	29,6	27,6	7,0	193
13:00	36,12	138,10	27,3	27,8	9,8	272
15:00	40,50	138,10	28,2	27,8	10,3	286
17:00	38,64	131,89	32,3	27,5	8,6	237
19:00	37,18	103,00	83,6	26,6	2,9	77
				27,3	6,97	190



Imatge 80. Gràfic de l'evolució de la potència desenvolupada per la placa fotovoltaica durant el dia 27 de juny.

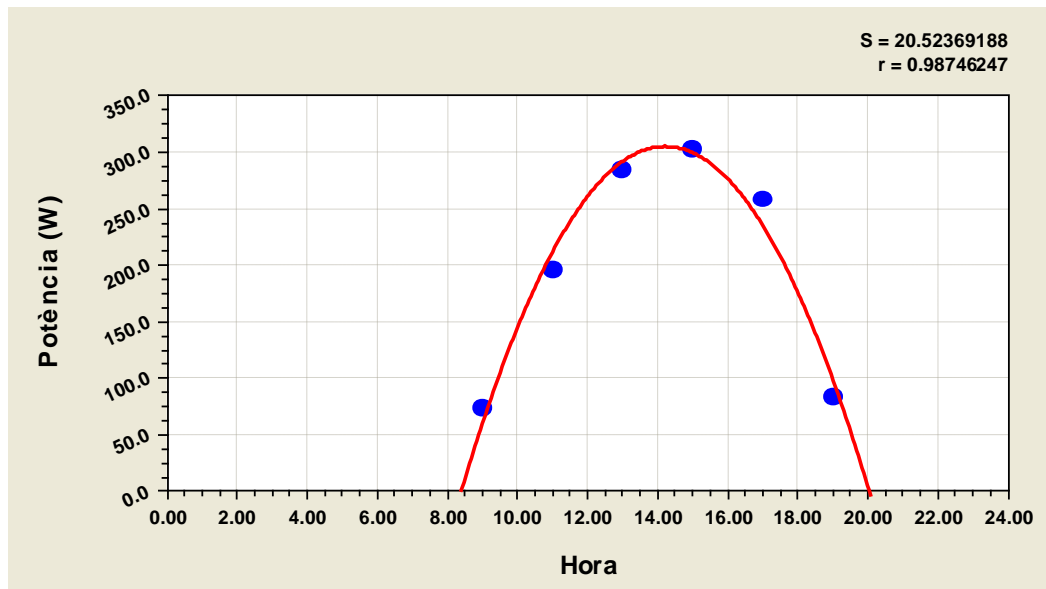
La variació de la potència respecte de l'hora es pot ajustar a una paràbola, l'equació de la qual és:

$$P = -8,27 \cdot t^2 + 2,33 \cdot 10^2 \cdot t - 1,35 \cdot 10^3$$

on P és la potència en W i t és el temps en hores (hora oficial).

CÀLCUL DE LA POTÈNCIA DE LA PLACA FOTOVOLTAICA EL DIA 28 DE JUNY

Hora	Temperatura (°C)	Flux lluminós (klx)	Humitat relativa (%)	Tensió (V)	Intensitat (A)	Potència (W) [Tensió x Intensitat]
9:00	27,30	105,30	50,3	27,1	2,7	73
11:00	29,33	138,10	45,0	26,8	7,3	196
13:00	32,10	131,00	39,0	26,8	10,6	284
15:00	34,46	136,08	35,2	26,8	11,3	303
17:00	37,18	136,08	27,4	26,6	9,7	258
19:00	36,99	108,55	26,3	26,9	3,1	83
				26,83	7,45	200



Imatge 81. Gràfic de l'evolució de la potència desenvolupada per la placa fotovoltaica durant el dia 28 de juny.

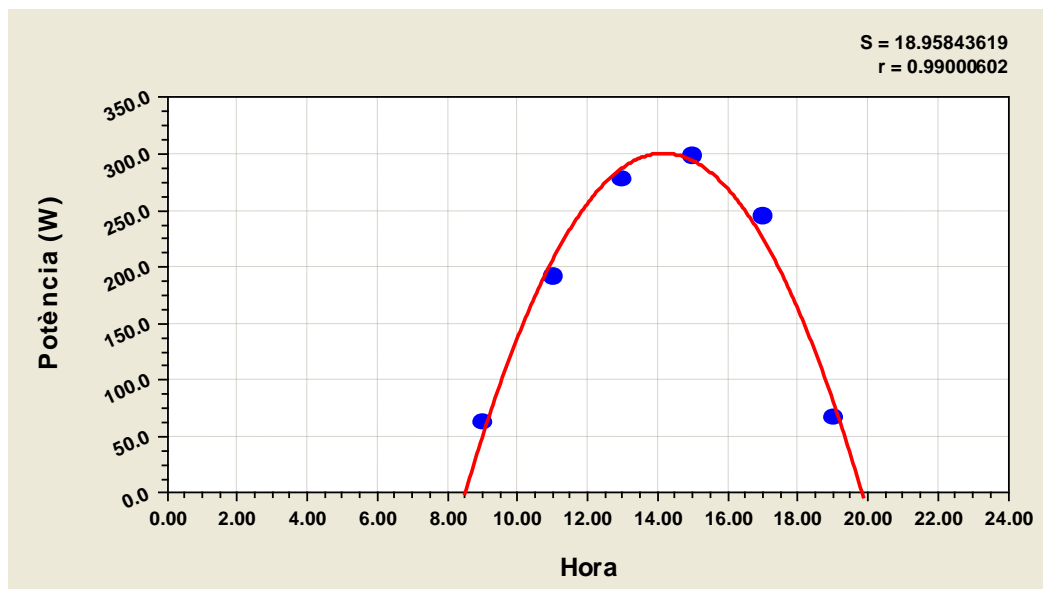
La variació de la potència respecte de l'hora es pot ajustar a una paràbola, l'equació de la qual és:

$$P = -9,03 \cdot t^2 + 2,56 \cdot 10^2 \cdot t - 1,52 \cdot 10^3$$

on P és la potència en W i t és el temps en hores (hora oficial).

CÀLCUL DE LA POTÈNCIA DE LA PLACA FOTOVOLTAICA EL DIA 29 DE JUNY

Hora	Temperatura (°C)	Flux lluminós (klx)	Humitat relativa (%)	Tensió (V)	Intensitat (A)	Potència (W) [Tensió x Intensitat]
9:00	25,07	108,81	40,1	27,0	2,3	62
11:00	28,82	138,10	37,7	27,1	7,1	192
13:00	34,56	138,10	39,6	27,0	10,3	278
15:00	34,27	138,10	35,8	27,2	11,0	299
17:00	35,53	134,32	34,1	27,0	9,1	246
19:00	36,7	91,12	35,3	26,9	2,5	67
				27,03	7,05	191



Imatge 82 Gràfic de l'evolució de la potència desenvolupada per la placa fotovoltaica durant el dia 29 de juny.

La variació de la potència respecte del temps es pot ajustar a una paràbola, l'equació de la qual és:

$$P = -9,38 \cdot t^2 + 2,66 \cdot 10^2 \cdot t - 1,58 \cdot 10^3$$

on P és la potència en W i t és el temps en hores (hora oficial).

CÀLCUL DE LA POTÈNCIA MITJANA DESENVOLUPADA

$$P_{mitjana} = \frac{190 + 200 + 191}{3} = 193,67 \text{ W} \approx 194 \text{ W}$$

15.5. RESULTATS OBTINGUTS. ANÀLISI I DISCUSSIÓ. CÀLCUL DEL RENDIMENT

En aquest apartat es calcularà el rendiment que va desenvolupar la placa fotovoltaica a partir de les dades utilitzades per a calcular la potència, sabent que la superfície de la placa i la intensitat solar són:

Superfície placa fotovoltaica: 2,25 m²

Intensitat solar: 585 W/m²

CÀLCUL DEL RENDIMENT EL DIA 27 DE JUNY

$$\eta = \frac{P_U}{P_C} = \frac{190 \text{ W}}{2,25 \text{ m}^2 \cdot 585 \text{ W/m}^2} = 0,14$$

$$\eta = 14\%$$

CÀLCUL DEL RENDIMENT EL DIA 28 DE JUNY

$$\eta = \frac{P_U}{P_C} = \frac{200 \text{ W}}{2,25 \text{ m}^2 \cdot 585 \text{ W/m}^2} = 0,15$$

$$\eta = 15\%$$

CÀLCUL DEL RENDIMENT EL DIA 29 DE JUNY

$$\eta = \frac{P_U}{P_C} = \frac{191 \text{ W}}{2,25 \text{ m}^2 \cdot 585 \text{ W/m}^2} = 0,15$$

$$\eta = 15\%$$

CÀLCUL DEL RENDIMENT MITJÀ

$$\eta = \frac{14\% + 15\% + 15\%}{3} = 14,66\% \approx 15\%$$

15.6. CONCLUSIONS PARCIAIS

A partir de les anàlisi i discussió dels resultats obtinguts, estem en condicions d'afirmar que:

- I. La potència mitjana desenvolupada per la placa fotovoltaica el dia 27 de juny és de

$$190 \text{ W}$$

- II. La potència mitjana desenvolupada per la placa fotovoltaica el dia 28 de juny és de:

$$200 \text{ W}$$

- III. La potència mitjana desenvolupada per la placa fotovoltaica el dia 29 de juny és de:

$$191 \text{ W}$$

- IV. La potència mitjana desenvolupada per la placa fotovoltaica és de:

$$194 \text{ W}$$

- V. La variació de la potència respecte del l'hora es pot ajustar a una paràbola. L'equació de la paràbola que representaria la mitjana dels tres dies és:

$$P = -8,89 \cdot t^2 + 251 \cdot t - 1.483$$

on P és la potència en W i t és el temps en hores (hora oficial).

- VI. L'hora de l'horari d'estiu en la que s'aconsegueix la màxima potència és:

$$14 \text{ hores}$$

- VII. La temperatura augmenta a mesura que passen les hores.

- VIII. La humitat relativa descendeix a mesura que passen les hores.
- IX. El flux lluminós segueix aproximadament en els mateixos valors de les 11 hores a les 19 hores. Pot variar, però, a causa de la nuvolositat.
- X. El rendiment obtingut el dia 27 de juny és de:
- 14 %*
- XI. El rendiment obtingut el dia 28 de juny és de:
- 15 %*
- XII. El rendiment obtingut el dia 29 de juny és de:
- 15 %*
- XIII. El rendiment mitjà obtingut és de:
- 15 %*

16. DETERMINACIÓ EXPERIMENTAL DE LA INTENSITAT SOLAR A LA SUPERFÍCIE TERRESTRE

16.1. INTRODUCCIÓ

En aquesta part del treball es determinarà experimentalment la constant solar i la intensitat solar a la superfície terrestre, és a dir, la potència o energia del sol que arriba a la terra per segon i per metre quadrat i la que arriba a l'exterior de l'atmosfera.

16.2. OBJECTIUS

- I. Determinar experimentalment la intensitat solar.
- II. Determinar experimentalment la constant solar.

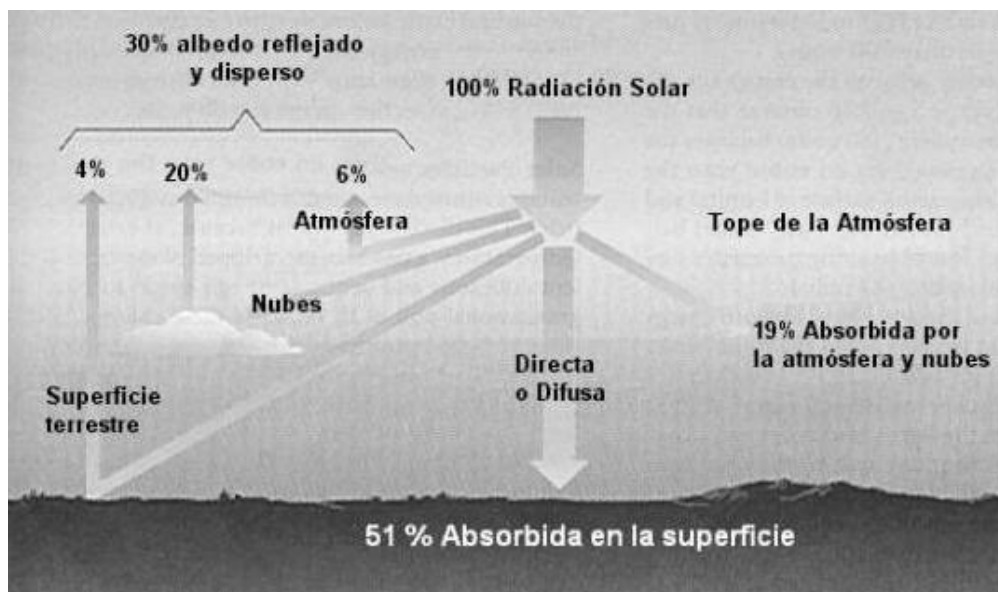
16.3. METODOLOGIA

DESCRIPCIÓ DE L'EXPERIMENT

L'experiment consisteix en calcular l'energia que rebem del Sol a la superfície de la Terra i a l'exterior de l'atmosfera. Per realitzar-lo ens basarem en l'energia necessària per augmentar la temperatura de l'aigua, i per tant, en la seva calor específica.

Utilitzarem dos pots de vidre que es puguin tancar, els omplirem d'aigua i un l'encararem al Sol i l'altre el deixarem a l'ombra. Al que encararem al Sol li taparem la part posterior, per dins, amb un plàstic o material negre per no deixar escapar la radiació solar incident. Si els posem a zero graus hem de mesurar l'augment de temperatura durant un temps determinat, de manera que sabent la diferència de temperatura final entre el pot del Sol i de l'ombra podrem saber la intensitat o potència de la radiació solar.

Per saber la constant solar ens basarem en l'estimació de la radiació solar que arriba a la superfície de la terra, que és d'aproximadament la meitat que la constant solar (imatge 83).



Imatge 83. Esquema de la radiació solar que és absorbida per la superfície terrestre, que és el 51% de la radiació que arriba a l'exterior de l'atmosfera, és a dir, la constant solar.

UTILLATGE

- Dos pots de vidre.
- Plàstic o material negre.
- Aigua.

- Termòmetre, precisió $\pm 1^\circ\text{C}$.
- Cronòmetre, precisió $\pm 0,01$ s.
- Regle, precisió ± 1 mm.

PROCEDIMENT

1. Un cop aconseguits els pots de vidre, tapem la part posterior d'un d'ells, per dins, amb un plàstic negre.
2. Posem aigua a zero graus.
3. Col·loquem els pots a l'exterior: el que té la part posterior tapada, encarat al Sol, i l'altre a l'ombra.
4. Al cap de 15 minuts (també pot ser més temps) mesurem la temperatura de l'aigua dels pots.
5. Calculem la massa de l'aigua que s'ha escalfat.
6. Sabent la diferència de l'augment de temperatura entre el Sol i l'ombra podem aconseguir l'energia que ha arribat del Sol, sabent la calor específica de l'aigua.
7. Si sabem l'energia del Sol i el temps que l'aigua ha estat exposada a la radiació solar, podem obtenir la potència del Sol a la superfície terrestre.
8. Un cop obtinguda la potència del Sol a la superfície terrestre podem determinar la constant solar:

$$P = 0,51 \cdot C \rightarrow C = \frac{P}{0,51}$$

on P és la potència solar a la superfície terrestre i C és la constant solar.

DIBUIX (fotografia)



Imatge 84. Fotografia dels dos pots, en la qual es pot observar que un d'ells té la part posterior tapada amb un plàstic negre.

16.4. RESULTATS OBTINGUTS. ANÀLISI I DISCUSSIÓ.

L'augment de temperatura de l'aigua del pot que s'ha exposat al sol ha sigut de:

$$\Delta T_S = 5^\circ\text{C}$$

L'augment de temperatura de l'aigua del pot que s'ha deixat a l'ombra ha sigut de:

$$\Delta T_0 = 3^\circ\text{C}$$

La diferència entre la variació de temperatura al sol i ha l'ombra ha sigut de:

$$\Delta T = 5^\circ\text{C} - 3^\circ\text{C} = 2^\circ\text{C}$$

El volum d'aigua és el volum del pot:

$$v = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

on v és el volum, r és el radi del pot i h és l'alçada del pot:

$$v = \pi \cdot r^2 \cdot h = \pi \cdot \left(\frac{7,4 \text{ cm}}{2}\right)^2 \cdot 14 \text{ cm} = 6 \cdot 10^2 \text{ cm}^3 = 0,60 \text{ dm}^3 = 0,60 \text{ l}$$

La massa d'aigua del pot és:

$$m = 0,60 \text{ l} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1 \text{ l}} = 0,60 \text{ kg}$$

Llavors l'energia que s'ha utilitzar per a incrementar la temperatura d'aquesta massa en 2°C és l'energia que hem rebut del sol:

$$E = m \cdot c_e \cdot \Delta T = 0,60 \text{ kg} \cdot \frac{4,18 \text{ kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 2^\circ\text{C} = 5 \text{ kJ}$$

La superfície de captació del pot és l'àrea del rectangle imaginari que té per costats el diàmetre del pot i la seva alçada.

$$S = d \cdot h$$

on S és la superfície de captació del pot, d és el diàmetre del pot i h és l'alçada.

Per tant,

$$S = d \cdot h = 7,4 \text{ cm} \cdot 14 \text{ cm} = 1 \cdot 10^2 \text{ cm}^2 = 1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Les dades de l'energia que hem rebut del sol i el temps que els pots han estat a l'exterior ens permeten esbrinar la potència:

$$P = \frac{E}{t} = \frac{5 \text{ kJ}}{15 \text{ min}} \cdot \frac{1000 \text{ J}}{1 \text{ kJ}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ segons}} = 5,6 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 5,6 \text{ W}$$

La potència per unitat de superfície es pot calcular amb superfície de captació del pot i la potència que ens dóna el sol:

$$P = \frac{5,6 \text{ W}}{1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2} = 560 \text{ W/m}^2$$

La constant solar es calcula a partir de la potència solar a la superfície terrestre:

$$C = \frac{P}{0,51} = \frac{560 \text{ W}}{0,51} = 1098 \text{ W}$$

16.5. CONCLUSIONS PARCIAIS

- I. La intensitat de la radiació solar és de:

$$560 \text{ W/m}^2$$

- II. La constant solar és de:

$$1098 \text{ W/m}^2$$

17. CÀLCUL DE LA CALOR ESPECÍFICA DE L'ANTICONGELANT

17.1. INTRODUCCIÓ

En aquest apartat del treball es determinarà experimentalment la calor específica de l'anticongelant, tot comparant-la amb la de l'aigua.

17.2. OBJECTIUS

- I. Determinar experimentalment la calor específica de l'anticongelant.

17.3. METODOLOGIA

DESCRIPCIÓ DE L'EXPERIMENT

L'experiment consisteix en determinar experimentalment la calor específica de l'anticongelant. S'escalfa una massa d'aigua amb un calefactor elèctric per immersió i es calcula la calor que aquest cedeix. S'escalfa una massa d'anticongelant i s'escalfa durant el mateix temps que l'aigua, de manera que la calor que cedeix el calefactor elèctric és la mateixa. Així, i sabent la variació de temperatura, es pot saber la calor específica de l'anticongelant.

UTILLATGE

- Vas de precipitats.
- Anticongelant.
- Aigua.
- Resistència elèctrica de potència 150 W.
- Balança, precisió $\pm 0,01$ g.
- Sensor de temperatura, precisió $\pm 0,001^\circ\text{C}$.
- Consola *MultiLog PRO*.
- Programari *MultiLab*.

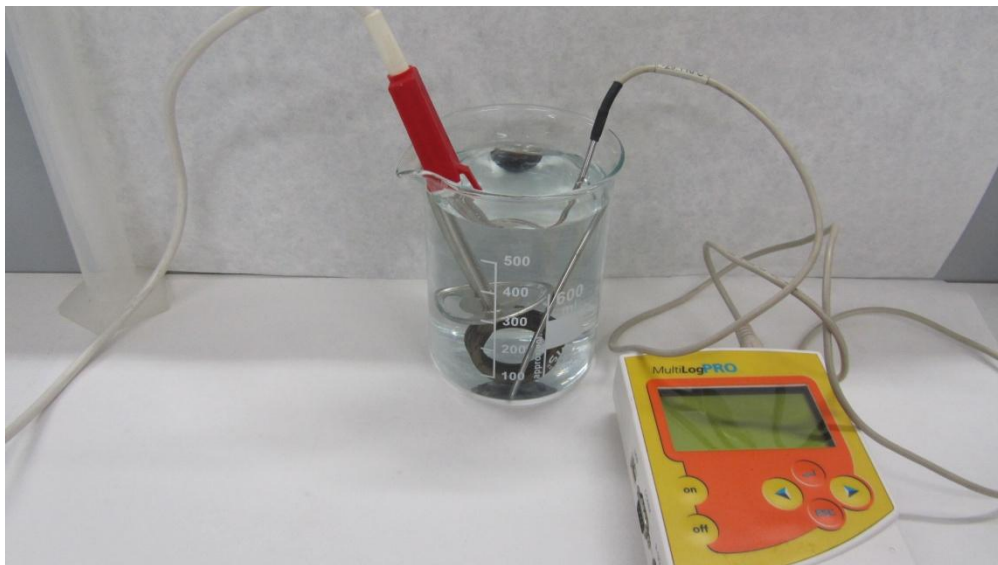
PROCEDIMENT

1. Posem aigua dins d'un vas de precipitats de forma que cobreixi tota la resistència elèctrica.
2. Mesurem la massa de l'aigua.
3. Escalfem l'aigua durant un cert temps.
4. Calculem l'augment de temperatura de l'aigua.
5. Calculem l'energia que el calefactor ha cedit a l'aigua.
6. Posem l'anticongelant dins d'un vas de precipitats.
7. Mesurem la massa de l'anticongelant.
8. Escalfem l'anticongelant durant el mateix temps que l'aigua.
9. Calculem l'augment de temperatura de l'anticongelant.
10. Sabent l'augment de temperatura de l'anticongelant i l'energia que li ha cedit el calefactor elèctric, calculem la seva calor específica.

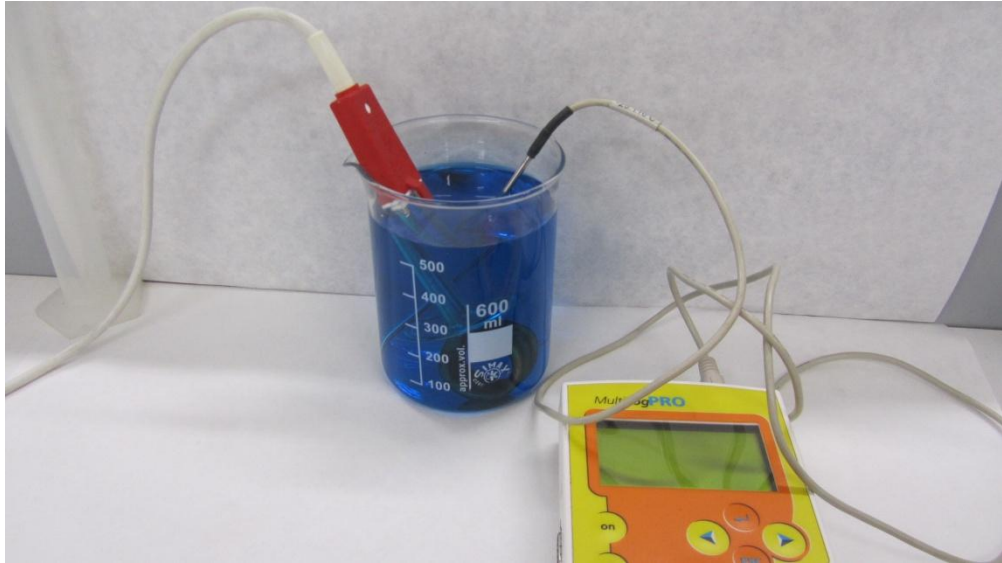
DIBUIX (fotografies)



Imatge 85. Fotografia de tot l'utilatge.



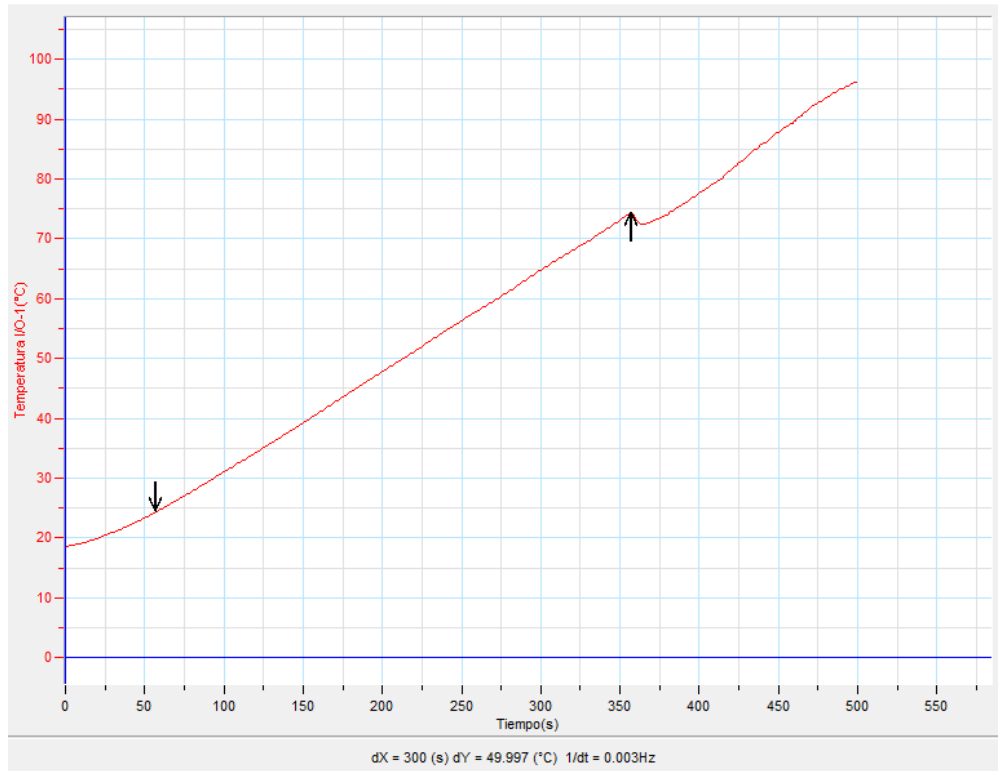
Imatge 86. Fotografia del procés d'escalfar l'aigua i mesurar-ne l'augment de temperatura.



Imatge 87. Fotografia del procés d'escalfar l'anticongelant i mesurar-ne l'augment de temperatura.

17.4. RESULTATS OBTINGUTS. ANÀLISI I DISCUSSIÓ.

AIGUA



Imatge 88. Gràfic de l'increment de temperatura de l'aigua (temperatura- temps), obtingut amb el programa MultiLab.

Massa d'aigua que s'escalfa:

$$m = 412,66 \text{ g}$$

Temps que s'escalfa:

$$t = 300 \text{ s}$$

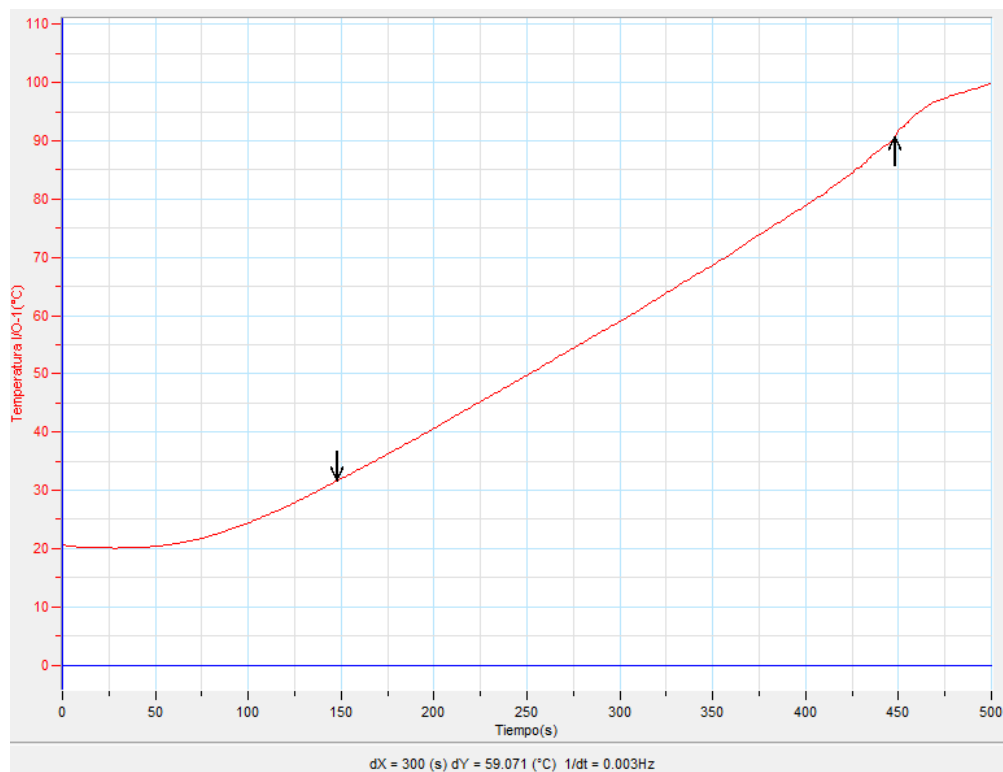
Increment de temperatura:

$$\Delta T = 49,997^\circ\text{C}$$

L'energia que cedeix el calefactor elèctric és de:

$$E = m \cdot c_e \cdot \Delta T = 412,66 \text{ g} \cdot \frac{1 \text{ cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 49,997^\circ\text{C} = 20.631 \text{ cal}$$

ANTICONGELANT



Imatge 89. Gràfic de l'increment de temperatura de l'anticongelant (temperatura-temps), obtingut amb el programa MultiLab.

Massa d'anticongelant que s'escalfa:

$$m = 395,52 \text{ g}$$

Temps que s'escalfa:

$$t = 300 \text{ s}$$

Increment de temperatura:

$$\Delta T = 59,071 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Calculem la calor específica de l'anticongelant:

$$c_e = \frac{E}{m \cdot \Delta T} = \frac{20.631,7620 \text{ cal}}{395,52 \text{ g} \cdot 59,071^{\circ}\text{C}} = 0,90 \text{ cal/g} \cdot ^{\circ}\text{C}$$

$$c_e = 0,8831 \frac{\text{cal}}{\text{g}^{\circ}\text{C}} \cdot \frac{4,18 \text{ J}}{1 \text{ cal}} = 3,7 \text{ J/g} \cdot ^{\circ}\text{C}$$

17.5. CONCLUSIONS PARCIALS

- I. La calor específica de l'anticongelant és:

$$c_e = 0,9 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C} = 3,7 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C}$$

- II. Es necessita més energia per a elevar una massa d'aigua des d'una temperatura T_1 a una temperatura T_2 que la mateixa massa d'anticongelant des de la mateixa temperatura T_1 a la mateixa temperatura T_2 .

**CONCLUSIONS,
BIBLIOGRAFIA I
AGRAÏMENTS**

18. CONCLUSIONS

- I. Les fonts d'energia es poden classificar en renovables i no renovables.
- II. Les fonts d'energia no renovables es regeneren contínuament, per tant, no són exhauribles, i es poden classificar en contaminants i no contaminants. Les no contaminants són la solar, l'eòlica, la hidràulica, la geotèrmica, la mareomotriu, l'onamotriu i la blava. Les contaminants són la biomassa i l'aprofitament dels residus sòlids urbans.
- III. Les fonts d'energia no renovables es regeneren a un ritme inferior a la seva demanda i són contaminants. Les fonts d'energia no renovables són els combustibles fòssils i els combustibles nuclears.
- IV. L'energia que prové del Sol és extremadament gran i, si es pogués aprofitar tota, superaria la demanda mundial actual. Aquesta energia té l'inconvenient que és variable al llarg del dia i al llarg de l'any.
- V. L'energia solar tèrmica consisteix en l'aprofitament de l'energia del Sol per a produir calor. És neta, barata i es basa en l'efecte hivernacle. Hi ha dos sistemes d'aprofitament: els sistemes de baixa temperatura i els sistemes de mitjana i alta temperatura. Generalment, els primers s'utilitzen per a escalfar i els segons per a produir electricitat.
- VI. L'energia solar fotovoltaica es basa en l'aprofitament de l'energia del Sol per a produir electricitat. Es basa en l'efecte fotovoltaic que té lloc en els panells fotovoltaics, els quals estan formats per dues capes d'un material semiconductor, el silici. Una d'aquestes capes està dopada negativament i l'altra positivament. Aquesta energia és alliberada a la xarxa elèctrica o s'emmagatzema en bateries.
- VII. L'energia eòlica consisteix en l'aprofitament de l'energia cinètica del vent per transformar-la en mecànica o elèctrica. El vent es un fenomen causat per la diferència de temperatura i pressió i, si s'aprofités la seva energia totalment,

superaria la demanda d'energia mundial actual. Generalment, l'energia eòlica es transforma en elèctrica. Aquesta energia pot ser alliberada a la xarxa elèctrica o emmagatzemada. Per a que sigui rentable cal buscar els indrets on la velocitat mitjana del vent és entre 5 i 6 m/s.

- VIII. Els aerogeneradors són els aparells que transformen l'energia cinètica del vent en eòlica. N'hi ha de diferents tipus i formes.
- IX. Les energies renovables, per tant, podrien satisfer la demanda actual d'energia mundial, només aprofitant-ne una part. Així, es podria aconseguir energia neta que evitaria la contaminació i fenòmens com l'efecte hivernacle.
- X. Les energies renovables, en les dues últimes dècades, han crescut molt als països d'Europa i als E.U.A. En els últims anys el creixement en aquests països ha sigut menor degut, segurament a la crisi econòmica. Tanmateix, Xina s'ha implicat més en les energies renovables i s'hi ha construït noves instal·lacions.
- XI. L'aula d'energies de l'institut Guindàvols ens permet estudiar les energies solar tèrmica, solar fotovoltaica i eòlica. En el cas de la solar tèrmica també ens permet estudiar diferents tipus de col·lectors i connectar-los de maneres diferents.
- XII. La potència de la instal·lació solar tèrmica pot arribar als 810 W amb els col·lectors en sèrie i als 743 W amb els col·lectors en paral·lel.
- XIII. La potència del primer col·lector pot arribar als 428 W amb els col·lectors en sèrie i als 468 W amb els col·lectors en paral·lel.
- XIV. La potència del segon col·lector pot arribar als 468 W amb els col·lectors en sèrie i als 413 W amb els col·lectors en paral·lel.
- XV. La potència del tercer col·lector pot arribar als 262 W amb els col·lectors tant en sèrie com en paral·lel.

- XVI. La diferència de potència entre el circuit en sèrie i el circuit en paral·lel pot ser degut a que en sèrie, l'augment de temperatura parcial dels col·lectors sigui més baixa i, en paral·lel, possiblement hi hagi més pèrdua de temperatura respecte l'augment de temperatura total. A més a més, també ha pogut influir la meteorologia. Com a conseqüència, aquesta diferència en la potència també influirà en el rendiment, ja que s'ha basat la intensitat solar en una estadística i s'ha suposat aquesta ha sigut igual els dos dies.
- XVII. El rendiment de la instal·lació solar tèrmica pot arribar al 27% amb els col·lectors en sèrie i al 25% amb els col·lectors en paral·lel.
- XVIII. El rendiment del primer col·lector pot arribar al 61% amb els col·lectors en sèrie i al 67% amb els col·lectors en paral·lel.
- XIX. El rendiment del segon col·lector pot arribar al 40% amb els col·lectors en sèrie i al 35% amb els col·lectors en paral·lel.
- XX. El rendiment del tercer col·lector pot arribar al 22% amb els col·lectors tant connectats en sèrie com en paral·lel.
- XXI. La potència de la placa fotovoltaica pot arribar a 200 W.
- XXII. El rendiment de la placa fotovoltaica pot arribar al 15%.
- XXIII. La determinació de la intensitat solar a Lleida ha donat 560 W/m^2 .
- XXIV. La determinació de la constant sola ha donat 1098 W/m^2 .
- XXV. La calor específica de l'anticongelant és de $0,9 \text{ cal}/(\text{g}\cdot^\circ\text{C})$ o, el que és el mateix, $3,7 \text{ J}/(\text{g}\cdot^\circ\text{C})$. Per tant, es necessita menys energia per elevar la mateixa massa d'anticongelant que d'aigua, una certa temperatura. Així, els materials utilitzats en instal·lacions on circula anticongelant han de ser resistents a més altes temperatures.

XXVI. La potència i el rendiment de la instal·lació eòlica no s'han pogut calcular perquè no es pot saber la intensitat i el voltatge que desenvolupa i, per aquest motiu, no n'he pogut una pràctica.

Personalment, m'ha agradat força treballar sobre aquest tema. Crec els meus coneixements sobre les energies renovables s'han ampliat molt i, a més a més, he après a estructurar un treball d'aquestes característiques.

En aquest cas els problemes trobats no han sigut molt greus. L'excessiva troballa d'informació s'ha resolt resumint-la i, algunes informacions contradictòries s'han contrastat amb altres fonts, de manera que es pogués arribar a unes conclusions correctes. També s'ha trobat que alguns resultats eren contradictoris amb algunes dades, de manera que s'han tornat a elaborar alguns càlculs i s'han revisat les dades.

Després d'haver realitzat aquest treball penso que seria molt interessant realitzar una recerca d'informació sobre altres fonts d'energia, tant renovables com no renovables, i realitzar un estudi de l'aula d'energies renovables de l'institut Guindàvols durant tot un any, afegir-hi alguns altres sistemes i millorar la connexió del sistema eòlic. A més a més, també es podria donar un ús real a la instal·lació per poder subministrar energia a l'institut, per a ser més ecològics i evitar el malbaratament d'aquesta.

19. BIBLIOGRAFIA

Aragón Digital (2008) *GM instala en Zaragoza la mayor planta solar sobre tejado con una capacidad de diez megavatios*. Biodisol.com

<http://www.biodisol.com/medio-ambiente/gm-instala-en-zaragoza-la-mayor-planta-solar-sobre-tejado-con-una-capacidad-de-diez-megavatios-energias-limpas-energia-solar-fotovoltaica/>

Biblioteca de Consulta Microsoft Encarta (2005) *Energía Solar*. Buenos Aires. C.A.D.E.A. (Centro Argentino de Energías Alternativas)

http://www.oni.escuelas.edu.ar/2007/BUENOS_AIRES/1246/solar.htm

Castro M., Carpio J., Guirado A., Colmenar A., Dávila L. (2000) *Energía solar fotovoltaica*. Mairena del Aljarafe, Sevilla. PROGENSA.

Censolar. *La energía solar*. <http://www.censolar.es/menu2.htm>

Colordo D. *El sol: fuente de energía*. <http://mundoastronomia.portalmundos.com/el-sol-fuente-de-energia/>

CyberCivilian. (2011) *What you need to know about the solar feed-in tariff*. Solar energy. <http://solarenergynews.cybercivilian.com/solar-energy/what-you-need-to-know-about-the-solar-feed-in-tariff/>

Danish Wind Industry Association (2003) *Wind know-how. All you need to know –and more*. D.W.I.A.

http://www.motiva.fi/myllarin_tuulivoima/windpower%20web/core.htm

Energía solar térmica. <http://energiasolartermica.blogspot.com/>

Energua.com (2003) *Cómo conservar el medio ambiente. El sol como fuente de energía*. <http://www.mailxmail.com/curso-como-conservar-medio-ambiente/sol-como-fuente-energia-1>

Escoda, S. (2005) *Energía solar térmica*. Salvador Escoda S.A.

<http://www.salvadorescoda.com/tecnico/CE/Manual-EnergiaSolar-2a-ed.pdf>

- Fernández Díez, P. (2000-2009) *Biblioteca sobre Ingeniería Energética. Libros sobre Ingeniería Energética*. Redsauce Engineering Services.
<http://es.libros.redsauce.net/index.php>
- Fowler M. (2008) *Modern physics. Black body radiation*. University of Virginia.
http://galileo.phys.virginia.edu/classes/252/black_body_radiation.html
- García Badell J., Moreno Fernández M.A. (2009) *Energía verde*. Madrid. Bellisco Ediciones.
- Global Wind Energy Council (2010) *Global Wind Report 2010*. G.W.E.C.
<http://www.gwec.net/index.php?id=180>
- Gómez del Rey C. (2008) *¿Cómo utilizamos el fenómeno de efecto invernadero en un colector solar de placa plana?* El rincón de la Ciencia. Revista de divulgación del I.E.S. Victoria Kent. <http://centros5.pntic.mec.es/ies.victoria.kent/Rincon-C/Curiosid2/rc-109/rc-109.htm>
- Google Inc. (2010) *Google Translate*. <http://translate.google.es/>
- Grup Enciclopèdia Catalana (2008-2011) *enciclopèdia.cat* Enciclopèdia Catalana, SAU
<http://www.enciclopedia.cat/>
- Institut Català d'Energia (1997) *Les energies renovables a Catalunya. Tecnologies avançades en estalvi i eficiència energètica*. Barcelona. Viking S.A.
- Institut d'Estudis Catalans (2007) *Diccionari de la llengua catalana. Segona edició*. Institut d'Estudis Catalans. <http://dlc.iec.cat/>
- Instituto Nacional de Estadística (2011). *Temperaturas medias, horas de sol y precipitación acuosa*. INE 2011. <http://www.ine.es/daco/daco42/bme/c19.pdf>
- IPEaguas (2007) *IPEol. Captador solar. Manual técnico, montaje*. IPEaguas-IPEsol-MaxSun
http://www.ipeaguas.com/desc/IPEsol/IPESOL_MANUAL_TECNICO_AG07.pdf
- Joseph J., Hoyos R., Garravé J., Garófano F., Vila F. (2008) *Tecnología industrial 1 Batxillerat*. Madrid. McGraw-Hill.

KWSOL *Instalaciones de Aire caliente solar*. DOVIBLOCK, S.L.

<http://www.kwsol.es/producto.asp?prod=1&tecnologia=Aire%20caliente%20solar>

Li Dessau, K. (2010) *Concentrating Solar Thermal: Sun Power Even in the Dark*. Solar Novus Today.

http://www.solarnovus.com/index.php?option=com_content&view=article&id=1073:concentrating-solar-thermal-sun-power-even-in-the-dark&catid=38:application-tech-features&Itemid=246

Mercadé J., Serra S., Armengol M. (2009) *Física 2 Batxillerat*. Madrid. McGraw-Hill.

Miliarium.com (2001-2008) *Energía Solar Térmica*.

<http://www.miliarium.com/Bibliografia/Monografias/Energia/EnergiasRenovables/EnergiaSolarTermica.asp>

Moreno Figueredo C. (2000-2011) *Componentes de una turbina eólica de eje horizontal. Breve guía de los principales elementos que conforman los aerogeneradores actuales*. Cubasolar.

<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia36/HTML/articulo03.htm>

NEXTERA ENERGY (2011) *A Leader in Clean Energy*. NextEra Energy Resources, LLC.

<http://www.nexteraenergyresources.com/who/index.shtml>

Peña Pintado L. (2009) *El sol: fuente de energía*.

<http://www.monografias.com/trabajos70/sol-fuente-energia/sol-fuente-energia.shtml#elsolcomoa>

Ramírez Carreras, R. *Hypertexto web sobre energía eólica*. Universidad de Córdoba. Escuela Politécnica Superior

<http://rabfis15.uco.es/lvct/tutorial/41/INDEX.htm#>

Robinson H., Hewitt P. G. (1998) *Manual de laboratorio de física*. Longman. Pearson Educación.

Röbke-Doerr P. (2000) *Energía solar*. Barcelona. Ediciones Ceac.

ROCA. *Monografía Técnica. Utilización de la energía solar por medio de captadores*

planos. Barcelona. Roca Calefacción, S.L.

Sitiosolar.com *La historia de la energía fotovoltaica.*

<http://www.sitiosolar.com/La%20historia%20de%20la%20energia%20solar%20fotovoltaica.htm#fase1>

Solar&Climate. *Solar Power.* Soliclíma Energías Renovables, S.L.

<http://www.sunandclimate.com/products/1-solar-power.html>

Solarweb.net (2002-2011) *Energía solar térmica.* [http://www.solarweb.net/solar-](http://www.solarweb.net/solar-termica.php)

[termica.php](http://www.solarweb.net/solar-termica.php)

SolarWorld (2007) *Sunmodule SW 160/165/170/175/180/185 mono* SolarWorld

<http://ebookbrowse.com/db-mo-sp-sw-160-185-mono-2007-05-en-pdf-d52226944>

SpectralCalc.com *Calculation of Blackbody Radiance.* SpectralCalc.com

<http://www.spectralcalc.com/blackbody/blackbody.html>

TextosCientíficos (2005) *Celdas solares.* TextosCientíficos.com

<http://www.textoscientificos.com/energia/celulas>

TextosCientíficos. *Montaje de los colectores solares.* Textoscientíficos.com

<http://www.textoscientificos.com/energia/calentador-solar/montaje-colectores-solares>

The renewable energy centre (2000-2011) *Wind power.* The renewable energy centre

<http://www.therenewableenergycentre.co.uk/wind-power/>

Velasco, D. *División de Energía Solar Térmica.* Instalaciones y montajes eléctricos D.

Velasco, S.A.

<http://www.velascoinstalaciones.com/actividad.php?id=11&pa=tipos&cat=2&&PHPSESSID=8e36e85b08392799bfe2bf7b918852b6>

West, C (2011) *Wind Power Pros and Cons.* Expert Energy. Renewable Energy

Resources & Ideas. <http://expert-energy.com/500/wind-power-pros-and-cons/>

20. REFERÈNCIES DE LES IMATGES

Imatge 1. Finster H. (2002) *Paper mil steam engine*. StahlArt

<http://www.hfinster.de/StahlArt2/archive-paperfactory-BW-142-12-23.04.2002-en.html>

Imatge 2. Soy Rural-Internet S.L. (2011)

<http://www.soyrural.es/leon/comarca/nacional/noticia/medio-ambiente-ocho-ciudades-francesas-prohibiran-el-acceso-sus-nucleos-urb>

Imatge 4. Dunbar B., Stoyanovas S. (2008) *The Sun In Different Wavelengths Movie*.

NASA.

http://www.nasa.gov/mission_pages/stereo/multimedia/AllColorFullMovie.html

Imatge 5. The How it Works Illustrated Science and Invention Encyclopedia. *Nuclear Fission and Fusion. How is nuclear fusion achieved?*

<http://salasalappu.com/wp-content/uploads/2011/06/NUCLEAR-FISSION-AND-FUSION.jpg>

Imatge 6. The How it Works Illustrated Science and Invention Encyclopedia. *Nuclear Fission and Fusion. How is nuclear fission achieved?*

<http://salasalappu.com/wp-content/uploads/2011/06/NUCLEAR-FISSION-AND-FUSION.jpg>

Imatge 7. González Mármol J. M. (2008) *El ciclo de la energía en la Tierra*.

Astroyciencia.com <http://www.astroyciencia.com/2008/05/20/el-ciclo-de-la-energia-en-la-tierra/>

Imatge 8. Energie-Atlas GmbH (2005) *Solar Energy in Europe. Global Irradiation*. GENI (Global Energy Network Institute).

<http://www.geni.org/globalenergy/library/renewable-energy-resources/world/europe/solar-europe/index.shtml>

Imatge 9. Ener-t (2009) *La Tecnología del Cilindro Parabólico. Irradiación Directa, Normal, Difusa y Global*. Ener-t.

http://www.enertglobal.com/technology_s.html

Imatge 11. NASA (2008) *EM Spectrum Properties es.svg* Traduït al castellà per Wikipedia.

http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:EM_Spectrum_Properties_es.svg

Imatge 12. Cambridge University Press *Spectral intensity distribution of Planck's black-body radiation as a function of wavelenght for different temperatures.*

Cambridge University Press. <http://www.ecse.rpi.edu/~schubert/Light-Emitting-Diodes-dot-org/chap18/chap18.htm>

Imatge 13. SCHOTT (2005) *Technical Information. N-BK7 Transmittance (25 mm thickness).* SCHOTT AG.

http://www.schott.com/advanced_optics/german/download/schott_tie-35_transmittance_october_2005_en.pdf

Imatge 14. Gregoire R. G., Flomenhoft M. G., LeNormand J.L. *Greenhouse effect.* VITA (Volunteers in Technical Assistance).

http://www.cd3wd.com/cd3wd_40/vita/soldry/en/soldry.htm

Imatge 15. Gómez del Rey C. (2008) *Elementos que forman parte de un colector de placa solar plana.* El rincón de la Ciencia.

<http://centros5.pntic.mec.es/ies.victoria.kent/Rincon-C/Curiosid2/rc-109/rc-109.htm>

Imatge 16. ACRUX *Heat-Pipe compact solar collector for domestic hot water preparation.* <http://www.acrux.hu/en/sun/solarcollector4.html#>

Imatge 17. Crisflor S.L. *Captador solar tubo vacío*

<http://www.crisenergiasolar.com/productos-colectores.php>

Imatge 18. Wikipedia (2010) *Heat and Cold Storage With Heat Pump.* Wikipedia Foundation, Inc.

<http://en.wikipedia.org/wiki/File:HeatAndColdStorageWithHeatPump.svg>

Imatge 20. Next Era Energy Resources *Solar Electric Generating Systimes.* NextEra Energy Resources, LLC.

http://www.nexteraenergyresources.com/pdf_redesign/segs.pdf

- Imatge 21.** National Renewable Energy Lab (2010) *Energy Storage in Concentrating Solar Power (CSP) System*. Solar Novus Today.
http://www.solarnovus.com/index.php?option=com_content&view=article&id=1073:concentrating-solar-thermal-sun-power-even-in-the-dark&catid=38:application-tech-features&Itemid=246
- Imatge 22.** Solarweb.net (2008) *Torre SOLUCAR PS10 y seguidores FV de concentración 2X*. vBulletin
<http://www.solarweb.net/forosolar/members/solarweb-albums-fotografias-la-planta-solucar-ps10-picture2-torre-solucar-ps10-seguidores-fv-concentracion-2x.html>
- Imatge 23.** Cortez Gómez M., Cortez Monroy E., Hernández Martínez M. C., López Carballo M., Moreno Mercado R., Rivera Villagrán E. (2008) *Evolución del Atomo*. Modelos atómicos powered by Blogger
http://modelosatomicoscbtis229.blogspot.com/2008_11_01_archive.html
- Imatge 24.** Enciclopedia online Kalipedia, de Santillana. *Esquema de la estructura interna de un material conductor*. Prisa Digital S.L.
http://www.kalipedia.com/graficos/esquema-estructura-interna-material.html?x=20070822klpinctn_102.Ges
- Imatge 25.** Enciclopedia online Kalipedia, de Santillana. *Esquema de un material aislante*. Prisa Digital S.L.
http://www.kalipedia.com/tecnologia/tema/electronica/aislantes.html?x=20070822klpinctn_123.Kes&ap=1
- Imatge 26.** Enciclopedia online Kalipedia, de Santillana. *Formación de enlaces covalentes en átomos de silicio, un material semiconductor*. Prisa Digital S.L.
http://www.kalipedia.com/tecnologia/tema/electronica/semiconductores.html?x=20070822klpinctn_123.Kes&ap=2
- Imatge 27.** Academic. *Dopaje de tipo N*. Esacademic.com
<http://www.esacademic.com/dic.nsf/eswiki/388497>
- Imatge 28.** Academic. *Dopaje de tipo P*. Esacademic.com

<http://www.esacademic.com/dic.nsf/eswiki/388497>

Imatge 29. Biblioteca de Consulta Microsoft Encarta (2005) *Funcionamiento de una célula fotovoltaica*. C.A.D.E.A. (Centro Argentino de Energías Alternativas)

Imatge 30. Textoscientificos (2005) *Paneles fotovoltaicos*. TextosCientificos.com
<http://www.textoscientificos.com/energia/paneles-fotovoltaicos>

Imatge 31. Bellis M. *Parts of a Battery*. About.com Inventors
<http://inventors.about.com/od/bstartinventions/ss/How-A-Battery-Works.htm>

Imatge 32. Fototeca.cat (1999-2011) *Secció d'una bateria d'acumuladors*. Gran Enciclopèdia Catalana (Enciclopèdia Catalana, SAU)
http://www.enciclopedia.cat/fitxa_v2.jsp?NDCHEC=0219755&BATE=acumulador

Imatge 33. CyberCivilian (2011) *Solar Irradiance from the Sun*. Solar Energy In The 21st Century, powered by WordPress.
<http://solarenergynews.cybercivilian.com/solar-energy/what-you-need-to-know-about-the-solar-feed-in-tariff/>

Imatge 34. Sofos energies (2010) *Parc NUFRI - El Poal (Lleida)* Sofos Energies, S.L.
<http://www.sofos.es/ca/referencies/parc-nufri-el-poal-lleida/>

Imatge 35. Vivienda Saludable (2010) *La Casa Lumenhaus gana Solar Decathlon 2010* Vivienda Saludable. <http://www.viviendasaludable.es/blog/la-casa-lumenhaus-gana-solar-decathlon-2010/>

Imatge 36. Ramírez Carreras, R. *Aerobomba mecànica de gran diàmetre*. Universidad de Córdoba. Escuela Politécnica Superior.
<http://rabfis15.uco.es/lvct/tutorial/41/tema25/tema25-2.htm>

Imatge 37. Fernández Díez P. (2000-2009) *Modelo de Betz*. Redsauce Engineering Services.
<http://libros.redsauce.net/EnergiasAlternativas/eolica/PDFs/02Eolo.pdf>

Imatge 38. The renewable energy centre. *Horizontal and Vertical Axis Turbines (HAWT and VAWT)*. The renewable energy centre.

<http://www.therenewableenergycentre.co.uk/wind-power/>

Imatge 39. Institut Català d'Energia (1997) *Les energies renovables a Catalunya. Tecnologies avançades en estalvi i eficiència energètica*. Barcelona. Viking S.A.

Imatge 40. Artigoo.com *Efecto Bernoulli y el perfil del ala de un avión*. Artigoo.com Beta <http://artigoo.com/por-que-vuelan-los-aviones>

Imatge 41. EWEA: The European Wind Energy Association *Single-bladed wind turbine*. Easy-Concept <http://www.wind-energy-the-facts.org/fr/part-i-technology/chapter-3-wind-turbine-technology/the-technical-challenge-of-a-unique-technology/design-styles.html>

Imatge 42. J. (2010) *Two Blade Wind Turbine – Aerostar 6 metre Wind Turbine Picker* <http://windturbinepicker.com/>

Imatge 43. Moreno Figueredo C. (2000-2011) *Tren de Fuerza Cubasolar*. <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia36/HTML/articulo03.htm>

Imatge 44. Casanova Treto P. (2000-2011) *Barlovento. Sotavento*. Cubasolar. <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar11/HTML/articulo02.htm>

Imatge 45. Wikipedia (2007) *Darrieus Windmill*. Wikipedia. <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Darrieus-windmill.jpg>

Imatge 46. I.E.S. Maria Aurèlia Capmany *Aerogeneradors d'eix vertical: Savonius, Giromill i Darrieus*. Tecnomac. <http://tecnomac.wikispaces.com/E%C3%92LICA>

Imatge 47. Bright Hub *Modern HAWT and VATW*. Bright Hub Inc. http://images.brighthub.com/cb/0/cb06740f1a6ed5a8a217f02d61121c57c5e8b31c_large.jpg

Imatge 48. Wikipedia (2006) *Danish Wind Turbines*. Wikipedia. <http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:DanishWindTurbines.jpg>

Imatge 49. (1888-1908) *Wind turbine 1888 Charles Brush*. Wikipedia. http://en.wikipedia.org/wiki/File:Wind_turbine_1888_Charles_Brush.jpg

- Imatge 50.** GWEC: Global Wind Energy Council (2011) *Global Wind Report Annual Market Update. Global Cumulative Installed Wind Capacity 1996-2010*. GWEC
[http://www.gwec.net/fileadmin/images/Publications/GWEC_annual_market_update_2010 - 2nd edition April 2011.pdf](http://www.gwec.net/fileadmin/images/Publications/GWEC_annual_market_update_2010_-_2nd_edition_April_2011.pdf)
- Imatge 51.** GWEC: Global Wind Energy Council (2011) *Global Wind Report Annual Market update. Annual Installed Capacity by Region 2003-2010*. GWEC
http://www.gwec.net/fileadmin/images/Publications/4Annual_installed_capacity_by_region_2003-10.jpg
- Imatge 52.** GWEC: Global Wind Energy Council (2011) *Global Wind Report Annual Market update. Top 10 New Installed Capacity Jan-Dec 2010*. GWEC
http://www.gwec.net/fileadmin/images/Publications/8Top_10_new_installed_capacity_Jan-Dec_2010.jpg
- Imatge 53.** GWEC: Global Wind Energy Council (2011) *Global Wind Report Annual Market update. Top 10 Cumulative Capacity Dec 2010*. GWEC
http://www.gwec.net/fileadmin/images/Publications/7Top_10_cumulative_capacity_Dec_2010.jpg
- Imatge 54.** Wikipedia (2010) *Veladero 01*. Wikipedia.
http://en.wikipedia.org/wiki/File:Veladero_01.png
- Imatge 56.** IPEaguas (2007) *IPEol. Captador solar. Manual técnico, montaje*. IPEaguas-IPESol-MaxSun
http://www.ipeaguas.com/desc/IPESol/IPESOL_MANUAL_TECNICO_AG07.pdf
- Imatge 57.** Velasco, D. *División de Energía Solar Térmica. Instalaciones y montajes eléctricos* D. Velasco, S.A.
<http://www.velascoinstalaciones.com/actividad.php?id=11&pa=tipos&cat=2&&PHPSESSID=8e36e85b08392799bfe2bf7b918852b6>
- Imatge 83.** Instituto Meteorológico Nacional (2009) *Representación de la absorción de la radiación solar en la atmósfera*. San José, Costa Rica. Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica. <http://www.imn.ac.cr/>

21. AGRAÏMENTS

Un cop acabat aquest treball m'agradaria agrair l'ajut prestat per diferents persones:

En primer lloc, al meu tutor del treball de recerca, Anicet Cosials, que m'ha ajudat a estructurar, organitzar i elaborar el treball.

En segon lloc, als professors de cicles de fred i calor, en especial a l'Ambròs Palau, que m'han ensenyat l'aula d'energies i que, en part gràcies a ells, l'aula d'energies renovables és una realitat.

En tercer lloc, al Santiago Rodao, que m'ha ajudat realitzar un plànol de les instal·lacions tèrmica i elèctrica, per aquest treball.

Per últim, al centre, per tenir aquesta aula i per la utilització de diferents objectes i productes del laboratori.

ANNEX

1. Temperaturas medias, horas de sol y precipitación acuosa

(Continuación)

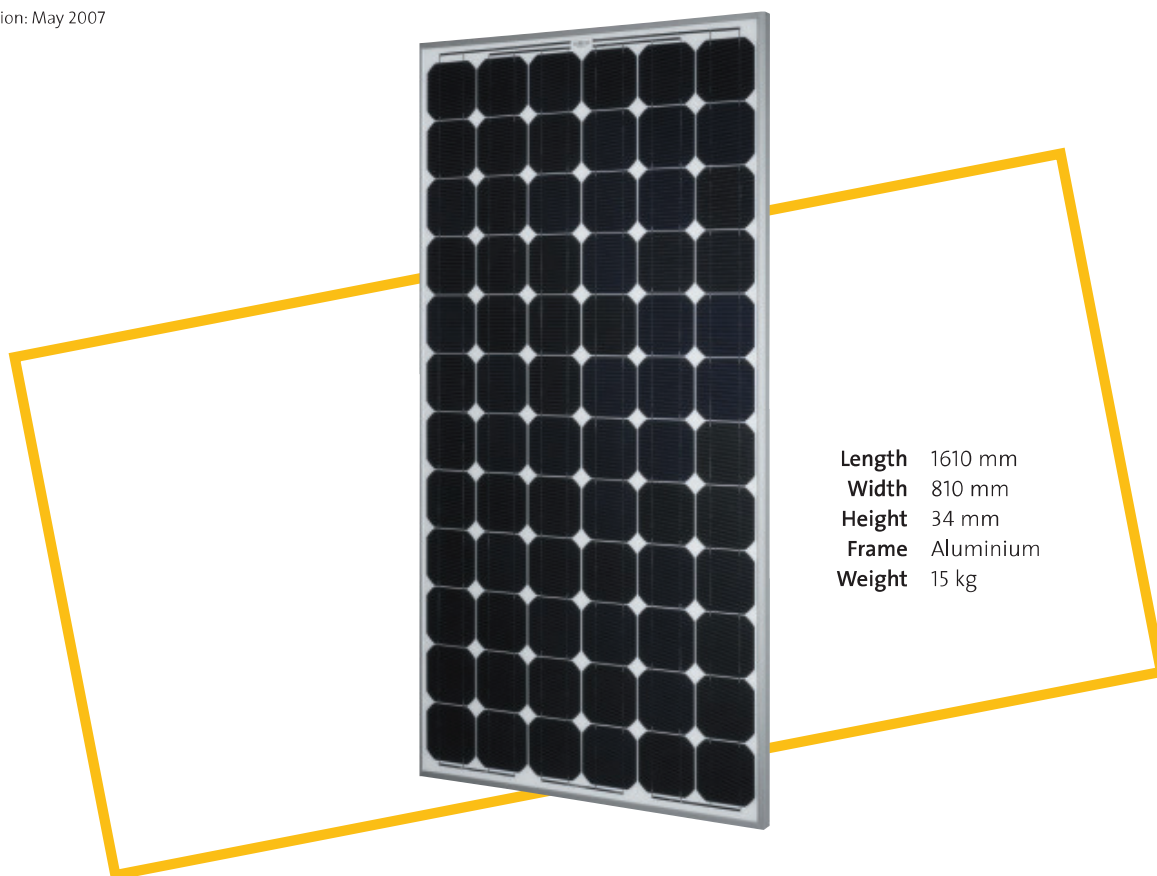
1.1. Por comunidades y observatorios meteorológicos

Castilla-La Mancha					Cataluña				Año
Albacete (Los Llanos)	Ciudad Real (observatorio)	Cuenca	Guadalajara	Toledo	Barcelona (aeropuerto)	Girona (aeropuerto)	Lleida	Tarragona (Tortosa)	Mes
Temperatura media (grados centígrados)									
15,1	16,6	14,3	11,4	16,7	17,4	15,9	15,8	18,5	2006
14,3	15,3	13,5	-	15,4	16,9	15,2	15,1	18,1	2007
14,4	15,4	13,4	-	15,8	16,5	14,3	15,1	17,7	2008
15,2	16,6	14,5	13,7	16,7	16,7	15,9	16,0	18,5	2009
14,2	15,7	13,1	12,8	15,7	15,8	15,1	14,8	17,4	2010
6,1	7,4	5,4	5,1	6,9	9,6	9,3	6,4	10,3	Diciembre 2009
5,2	6,1	4,3	4,5	6,3	7,9	7,0	6,0	9,2	Enero 2010
6,8	7,7	5,3	5,3	7,6	8,7	7,7	7,0	9,8	Febrero
8,8	10,1	7,7	7,7	10,2	10,2	10,6	10,0	12,1	Marzo
13,3	15,3	12,5	12,6	15,2	14,1	14,3	14,5	16,2	Abril
15,2	17,5	14,1	13,8	16,9	16,5	16,3	17,0	19,2	Mayo
20,4	22,5	19,1	19,4	22,3	20,9	20,9	21,4	23,6	Junio
26,7	28,6	25,8	24,7	28,2	26,1	25,4	26,8	28,2	Julio
25,5	27,4	24,0	23,5	27,3	25,2	24,1	25,0	26,9	Agosto
20,3	21,7	19,2	18,3	22,0	22,0	20,5	20,8	23,4	Septiembre
14,2	15,1	13,0	12,0	15,4	17,2	15,9	15,2	18,1	Octubre
8,1	9,2	7,1	6,9	9,7	11,9	10,7	9,3	13,4	Noviembre
6,1	7,1	5,5	5,1	7,0	9,0	8,1	5,2	9,3	Diciembre
Número de horas de sol									
2.766	2.659	2.584	2.570	2.920	2.337	2.329	2.689	2.800	2006
2.777	2.807	2.765	-	3.040	2.194	2.373	2.843	2.840	2007
2.782	-	2.575	-	2.935	-	2.196	2.631	2.619	2008
2.870	-	2.650	2.635	3.123	-	-	2.898	2.770	2009
2.691	2.522	-	-	2.859	-	-	2.858	2.735	2010
121	67	88	101	92	-	127	113	120	Diciembre 2009
105	78	93	67	112	-	109	115	114	Enero 2010
116	96	98	97	126	73	-	153	149	Febrero
192	176	166	167	193	-	-	212	191	Marzo
200	230	197	172	264	128	202	218	213	Abril
300	224	246	-	340	185	167	303	298	Mayo
297	288	262	-	310	157	-	322	292	Junio
358	382	-	301	370	195	233	383	358	Julio
318	320	281	289	334	-	265	342	305	Agosto
277	275	255	-	261	-	220	265	249	Septiembre
236	218	216	-	237	-	193	227	225	Octubre
165	135	124	139	192	-	174	185	193	Noviembre
128	101	110	115	120	-	145	136	150	Diciembre
Precipitación acuosa (milímetros)									
288,9	454,0	546,9	491,8	373,6	361,6	549,1	239,8	528,5	2006
271,5	479,4	488,3	-	382,5	534,6	427,0	202,3	516,2	2007
508,5	518,9	632,7	525,8	396,2	509,5	680,3	427,1	630,1	2008
368,2	430,8	530,4	369,3	333,5	408,8	521,9	398,1	339,7	2009
615,0	709,3	734,5	716,1	543,0	585,2	711,3	375,7	433,5	2010
117,8	182,0	182,1	150,6	142,5	54,6	16,9	43,1	32,4	Diciembre 2009
82,8	101,7	65,0	69,4	58,3	63,4	43,2	73,3	66,8	Enero 2010
65,0	117,4	85,2	108,5	86,7	93,4	93,8	25,7	28,4	Febrero
54,1	46,7	39,8	68,3	74,5	53,4	39,4	34,3	21,7	Marzo
45,2	54,1	89,9	90,2	58,3	15,4	33,1	25,5	26,7	Abril
46,2	9,5	66,5	65,6	34,0	88,4	143,3	36,8	47,0	Mayo
38,5	45,9	80,5	57,5	64,4	24,3	48,7	91,7	33,7	Junio
0,4	0,3	0,9	8,5	5,5	1,5	1,9	2,2	4,9	Julio
81,5	13,7	85,6	4,0	3,4	59,0	81,2	5,1	31,9	Agosto
62,1	70,7	34,4	56,4	19,3	100,7	89,8	23,0	50,7	Septiembre
40,0	52,7	60,1	54,3	49,0	55,9	76,0	38,0	102,0	Octubre
31,6	34,3	43,3	41,4	28,2	5,9	32,9	12,3	11,2	Noviembre
67,6	162,3	83,3	92,0	61,4	23,9	28,0	7,8	8,5	Diciembre

Tabla de radiación solar por meses en las diferentes ciudades de España

 kWh / m² / día

	LAT	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
ÁLAVA	43	1,28	1,92	3,11	3,61	4,11	4,61	5,03	4,81	3,97	2,64	1,53	1,14	3,15
ALBACETE	39	1,86	2,92	4,17	5,33	5,89	6,97	7,42	6,44	5,22	3,44	2,33	1,78	4,48
ALICANTE	38	2,36	3,33	4,53	5,25	6,42	6,89	7,17	6,25	5,08	3,86	2,72	2,11	4,66
ALMERÍA	36,9	2,47	3,39	4,56	5,44	6,42	6,83	7,03	6,25	5,14	3,86	2,78	2,22	4,70
ASTURIAS	43	1,47	2,14	2,94	3,39	4,17	4,22	4,67	4,11	3,44	2,72	1,64	1,28	3,02
ÁVILA	40,7	1,67	2,53	3,75	4,92	5,39	6,19	7,31	7,03	5,22	3,11	1,92	1,44	4,21
BADAJOS	39	1,81	2,78	3,78	5,19	6,06	6,83	7,19	6,61	4,97	3,42	2,28	1,72	4,39
BALEARES	39,6	2,00	2,97	4,00	4,50	5,83	6,31	6,72	5,72	4,56	3,36	2,36	1,81	4,18
BARCELONA	41,4	1,81	2,64	3,58	4,47	5,17	5,64	6,00	5,03	4,06	3,00	2,00	1,61	3,75
BURGOS	42,3	1,42	2,19	3,44	4,44	5,19	5,97	6,39	5,75	4,64	2,81	1,81	1,25	3,78
CÁCERES	39,5	1,89	2,78	4,08	5,44	6,14	6,97	7,81	7,06	5,47	3,53	2,47	1,28	4,58
CÁDIZ	36,5	2,25	3,19	4,36	5,14	6,17	6,61	7,19	6,39	5,03	3,94	2,78	2,06	4,59
CANTABRIA	43,5	1,39	2,06	3,06	3,61	4,47	4,72	5,11	4,31	3,61	2,64	1,61	1,25	3,15
CASTELLÓN	40	2,22	3,39	4,31	4,83	5,72	5,94	6,64	5,42	4,61	3,64	2,39	2,03	4,26
CEUTA	35,9	2,47	3,64	5,17	5,83	6,75	7,42	7,44	6,75	5,31	3,94	3,06	2,39	5,01
CIUDAD REAL	39	1,94	2,81	4,17	5,19	5,94	6,58	7,03	6,44	5,22	3,47	2,42	1,81	4,42
CÓRDOBA	37,9	2,00	2,81	4,19	5,14	6,06	7,19	7,92	6,97	5,53	3,50	2,39	1,92	4,63
LA CORUÑA	43,4	1,50	2,22	3,17	3,44	4,28	4,50	4,83	4,25	3,86	3,03	1,78	1,42	3,19
CUENCA	40,1	1,64	2,44	3,58	4,83	5,19	6,11	7,11	6,19	4,86	3,11	2,00	1,53	4,05
GERONA	42	1,97	2,92	3,94	4,42	5,19	5,28	6,19	5,14	4,14	3,25	2,17	1,83	3,87
GRANADA	37,2	2,17	3,00	4,22	5,14	6,08	6,89	7,42	6,28	5,22	3,58	2,67	1,97	4,55
GUADALAJARA	40,6	1,81	2,56	3,89	4,97	5,39	6,31	6,94	6,44	4,94	3,25	2,17	1,56	4,19
GUIPÚZCOA	43,3	1,53	2,14	3,14	3,25	4,06	4,50	4,47	3,78	3,53	2,86	1,72	1,39	3,03
HUELVA	37,3	2,11	3,14	4,44	5,42	6,69	7,11	7,97	7,11	5,89	4,03	2,56	2,08	4,88
HUESCA	42,1	1,69	2,67	3,97	5,19	5,64	6,14	6,42	5,81	4,69	3,14	2,00	1,42	4,06
JAÉN	37,8	1,86	2,81	4,00	5,00	5,64	6,78	7,42	6,69	5,33	3,31	2,25	1,81	4,41
LEÓN	42,6	1,61	2,42	3,83	4,78	5,42	6,14	6,72	5,81	4,78	2,89	1,94	1,33	3,97
LÉRIDA	41,7	1,67	2,75	5,00	5,22	5,81	6,28	6,61	5,92	4,67	3,36	2,00	1,33	4,22
LUGO	43	1,42	2,11	3,25	4,22	4,75	5,42	5,61	5,11	4,17	2,75	1,72	1,25	3,48
MADRID	40,4	1,86	2,94	3,78	5,22	5,81	6,53	7,22	6,42	4,69	3,17	2,08	1,64	4,28
MÁLAGA	36,7	2,31	3,33	4,31	5,14	6,44	6,81	7,36	6,44	5,28	3,78	2,58	2,22	4,67
MELILLA	35,3	2,61	3,50	4,78	5,64	6,39	6,89	6,89	6,28	5,08	3,94	3,03	2,42	4,79
MURCIA	38	2,81	4,11	4,61	5,67	6,72	7,11	7,69	6,53	5,44	3,86	2,72	2,25	4,96
NAVARRA	42,8	1,39	2,06	3,42	4,03	4,75	5,25	5,69	5,06	4,50	2,83	1,67	1,25	3,49
ORENSE	42,3	1,31	2,03	3,14	3,89	4,50	4,89	5,08	4,61	3,97	2,61	1,56	1,19	3,23
PALENCIA	42	1,47	2,50	3,67	4,86	5,47	6,06	6,69	6,00	4,75	3,03	1,83	1,28	3,97
LAS PALMAS	28,2	3,11	3,94	4,94	5,44	6,03	6,25	6,75	6,08	5,50	4,19	3,42	2,97	4,89
PONTEVEDRA	42,4	1,53	2,28	3,61	4,36	4,86	5,67	6,11	5,25	4,19	3,14	1,89	1,53	3,70
LA RIOJA	42,5	1,56	2,44	3,81	4,61	5,33	5,94	6,47	5,78	4,50	2,97	1,89	1,33	3,89
SALAMANCA	41	1,69	2,64	3,75	4,75	5,47	6,33	6,83	6,28	4,86	3,14	2,06	1,44	4,10
STA.C. TENERIFE	28,5	2,97	3,69	5,03	5,97	7,14	7,36	8,14	7,39	5,89	4,50	3,00	2,58	5,31
SEGOVIA	41	1,58	2,44	3,72	5,11	5,67	6,28	7,14	6,92	5,22	3,17	1,89	1,42	4,21
SEVILLA	37,4	2,03	3,03	4,00	5,33	6,22	6,75	6,92	6,39	4,97	3,42	2,44	1,92	4,45
SORIA	41,8	1,64	2,42	3,56	4,75	5,47	6,06	6,69	6,19	4,86	3,08	2,11	1,56	4,03
TARRAGONA	41,1	2,03	2,97	4,14	4,89	5,61	6,25	6,61	5,69	4,56	3,42	2,44	1,75	4,20
TERUEL	40,4	1,69	2,44	3,58	4,64	5,11	5,72	6,06	5,75	4,69	3,06	1,97	1,47	3,85
TOLEDO	39,9	1,72	2,64	3,89	5,36	5,83	6,78	7,56	6,81	5,03	3,31	2,11	1,56	4,38
VALENCIA	39,5	2,11	2,94	4,14	5,03	5,72	6,33	6,61	5,75	4,64	3,33	2,42	1,83	4,24
VALLADOLID	41,7	1,53	2,44	3,86	4,78	5,53	6,28	6,97	6,39	5,08	3,11	1,92	1,17	4,09
VIZCAYA	43,3	1,39	1,97	3,00	3,53	4,31	4,64	4,97	4,36	3,64	2,58	1,67	1,28	3,11
ZAMORA	41,5	1,50	2,47	3,67	4,81	6,17	6,00	6,53	6,11	4,78	3,08	1,86	1,28	4,02
ZARAGOZA	41,7	1,75	2,72	4,22	5,08	6,06	6,72	6,97	6,50	5,08	3,36	2,06	1,58	4,34



Sunmodule⁺

SW 160/165/170/175/180/185 mono

The Sunmodule Plus heralds an innovative new module concept from SolarWorld. The Plus-sort (based on a SolarWorld flash report) and five watt model stepping ensures true, highest system efficiency and dispenses with the time-consuming task of sorting the modules on site. The fully automated production process at the SolarWorld factories creates a module quality that is consistently high, which in turn will ensure high yields for the long term.

The glass is set deep into the module frame and they are firmly attached to each other by silicone that is applied with continuous precision. This guarantees exceptional rigidity for the entire module and stops any possible loosening of the frame as a result of strong outward forces in cases such as sliding of heavy snow. Tests carried out in accordance with IEC 61215, applying loads up to 5.4 kN/m², confirm that the module can withstand high loads such as heavy accumulations of snow and ice.

The patented, flat and compact junction box provides perfect protection against corrosion, as well as a capacity to rapidly dissipate any excess heat providing lower operating temperature. The junction box is reliably connected by a solid, welded bond to guarantee lasting functionality. In addition, high-quality, robust cables with factory-equipped connectors are used. The ability to recycle the modules and a 25-year performance warranty are the finishing touches to this top-quality product.



SW 160/165/170/175/180/185 mono

Performance under standard test conditions

		SW 160	SW 165	SW 170	SW 175	SW 180	SW 185
Maximum power	P_{max}	160 Wp	165 Wp	170 Wp	175 Wp	180 Wp	185 Wp
Open circuit voltage	V_{oc}	43.8 V	44.0 V	44.2 V	44.4 V	44.6 V	44.8 V
Maximum power point voltage	V_{mpp}	35.0 V	35.3 V	35.5 V	35.8 V	36.0 V	36.3 V
Short circuit current	I_{sc}	5.00 A	5.10 A	5.20 A	5.30 A	5.40 A	5.50 A
Maximum power point current	I_{mpp}	4.58 A	4.68 A	4.79 A	4.89 A	5.01 A	5.10 A

Performance at 800 W/m², NOCT, AM 1.5

		SW 160	SW 165	SW 170	SW 175	SW 180	SW 185
Maximum power	P_{max}	114.4 Wp	118.0 Wp	121.5 Wp	125.1 Wp	128.7 Wp	132.3 Wp
Open circuit voltage	V_{oc}	39.6 V	39.8 V	40.0 V	40.2 V	40.4 V	40.5 V
Maximum power point voltage	V_{mpp}	31.4 V	31.6 V	31.9 V	32.1 V	32.3 V	32.5 V
Short circuit current	I_{sc}	4.13 A	4.22 A	4.30 A	4.38 A	4.46 A	4.55 A
Maximum power point current	I_{mpp}	3.64 A	3.73 A	3.81 A	3.90 A	3.98 A	4.06 A

Minor reduction in efficiency under partial load conditions at 25°C: at 200 W/m², 95% (+/- 3%) of the STC efficiency (1000 W/m²) is achieved.

Component materials

Cells per module	72
Cell type	monocrystalline silicon
Cell dimensions	125 x 125 mm ²

System integration parameters

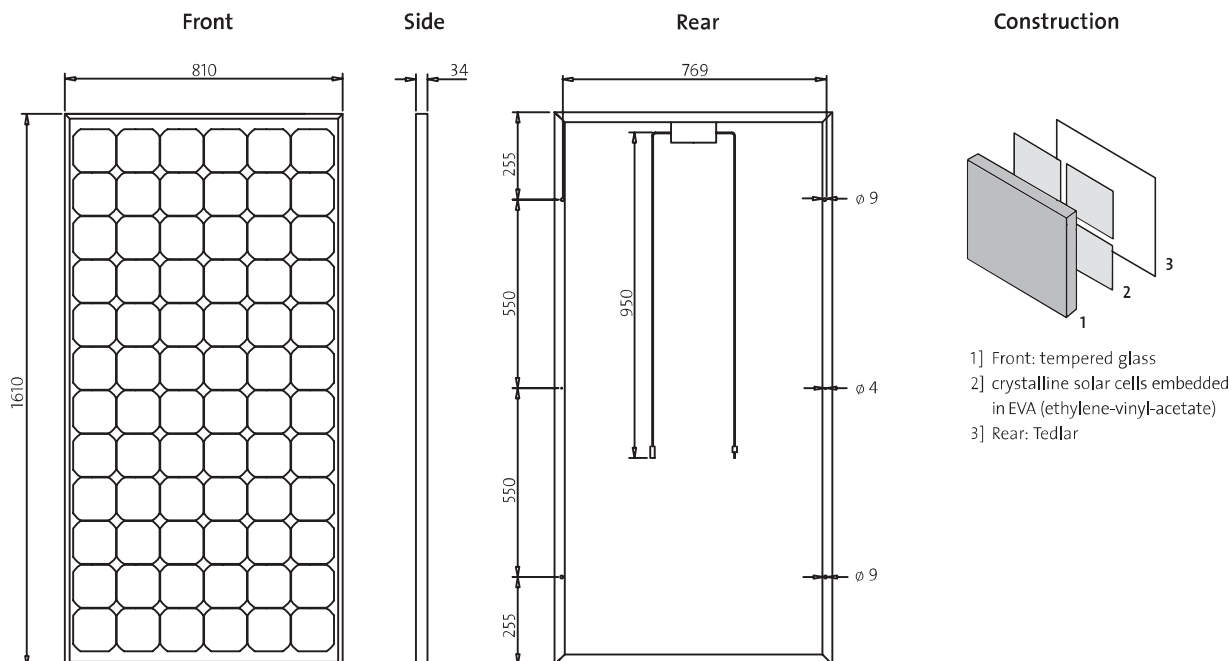
Maximum system voltage SC II	1,000 V _{DC}
Maximum reverse current	Do not apply external voltages larger than V _{oc} to the module

Thermal characteristics

NOCT	46°C
TC I _{sc}	0.036 %/K
TC V _{oc}	-0.33 %/K

Additional data

Power tolerance	+/- 3 %
Junction box	IP 65
Connector	MC type 4

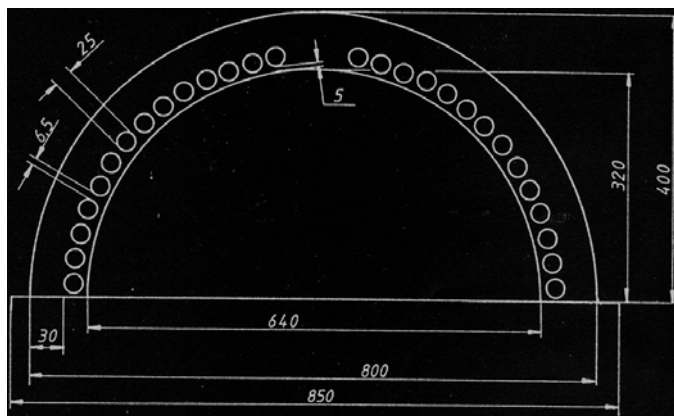


Introducción

El IPESOL es un colector que facilita el aprovechamiento de la energía solar. Por su forma semiesférica, recibe siempre la radiación del Sol, sin precisar de una orientación o inclinación determinada. Ideal para días nublados. Es ligero, pesa 8 kg y ocupa poco espacio, de montaje sencillo, ahorrando tiempo y mano de obra. Es un colector formado íntegramente por materiales plásticos, por lo que está libre de corrosión e incrustaciones calcáreas. Se puede utilizar directamente, por ejemplo, con el agua de una piscina. A pesar de ser ligero, es robusto y resistente a las adversidades climáticas, viento, tormentas, heladas o granizo.

Características técnicas

Dimensiones



Datos técnicos del colector

Característica	Valor	Unidad de medida
Ancho	860	mm
Longitud	860	mm
Altura	430	mm
Cúpula exterior		
- diámetro	800	mm
- radio	400	mm
Superficie bruta (base cuadrada)	0,7396	m ²
Superficie de apertura (base círculo)	0,5027	m ²
Superficie cúpula exterior	1,0053	m ²
Superficie de proyección Absorbedor (min/max)	0,256 - 0,503	m ²
Superficie exterior total	1,2422	m ²
Espesor de cubierta	3	mm
Espesor del aislamiento	20	mm
Diámetro del absorbedor	25	mm
Superficie del absorbedor	3	m ²
Peso en vacío	8	kg
Contenido de fluido	9	litros
Fluido caloportador	agua	
Presión de servicio	0,5	bar
Presión máxima de trabajo	2	bar
Presión máxima a 20°C	4	bar
Presión máxima a 40°C	2,5	bar
Pérdida de carga por colector	0,06	bar
Caudal	50-100	l/h
Temperatura máxima reposo	95	°C (media)
Temperatura máxima de operación	120	°C
Temperatura de estancamiento 1000 W/m ² y 30°C ambiente	125	°C
Vida útil en servicio continuo	20	años
Durabilidad de componentes	40	años
Rendimiento máximo de la superficie de proyección	100	%
Coefficiente de pérdidas del absorbedor	18	W/m ² K

COLECTOR SOLAR IPESOL												
Superficies de proyección medias en un día medio de cada mes según la latitud y el mes												
Latitud	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
44°	0,316	0,326	0,360	0,379	0,385	0,396	0,393	0,391	0,375	0,338	0,324	0,308
43°	0,320	0,328	0,363	0,380	0,384	0,398	0,393	0,392	0,358	0,342	0,326	0,312
42°	0,322	0,330	0,365	0,380	0,386	0,397	0,394	0,392	0,360	0,344	0,331	0,314
41°	0,326	0,334	0,369	0,381	0,387	0,399	0,394	0,393	0,362	0,346	0,335	0,318
40°	0,328	0,336	0,310	0,383	0,486	0,398	0,395	0,395	0,363	0,350	0,337	0,322
39°	0,333	0,338	0,373	0,385	0,487	0,400	0,396	0,396	0,365	0,352	0,341	0,324
38°	0,337	0,342	0,374	0,386	0,489	0,399	0,396	0,398	0,367	0,354	0,343	0,328
37°	0,339	0,344	0,376	0,388	0,410	0,400	0,397	0,397	0,369	0,356	0,332	0,330
36°	0,343	0,346	0,380	0,389	0,411	0,400	0,397	0,399	0,370	0,359	0,328	0,335
29°												
28°	0,377	0,403	0,429	0,438	0,444	0,457	0,457	0,447	0,438	0,413	0,386	0,381
27°												

COLECTOR SOLAR IPESOL												
Factor por geometría y radiación difusa												
Latitud	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
44°	1,720	1,570	1,400	1,330	1,290	1,280	1,280	1,280	1,360	1,530	1,570	1,750
43°	1,580	1,560	1,370	1,300	1,290	1,260	1,280	1,280	1,430	1,470	1,570	1,730
42°	1,580	1,550	1,370	1,300	1,290	1,260	1,280	1,280	1,380	1,460	1,550	1,730
41°	1,570	1,540	1,360	1,300	1,290	1,260	1,280	1,280	1,370	1,460	1,540	1,650
40°	1,560	1,530	0,740	1,300	1,130	1,260	1,280	1,280	1,370	1,450	1,530	1,580
39°	1,540	1,530	1,630	1,290	1,130	1,260	1,280	1,280	1,370	1,440	1,470	1,570
38°	1,530	1,470	1,360	1,290	1,130	1,260	1,280	1,270	1,370	1,440	1,470	1,560
37°	1,520	1,460	1,350	1,290	1,240	1,260	1,270	1,260	1,360	1,440	1,550	1,550
36°	1,470	1,460	1,300	1,290	1,240	1,260	1,270	1,260	1,360	1,430	1,560	1,540

