

## Resum

Aquest projecte s'emmarca dins l'àrea de l'energia solar tèrmica, centrant-se en el sobreescalfament de les instal·lacions de baixa temperatura que té lloc principalment als mesos d'estiu. Aquest problema s'origina perquè en aquest període de temps és quan la radiació solar és més elevada i en canvi la demanda d'ACS i calefacció és molt baixa.

El treball s'estructura en principalment en dues parts. En primer lloc es presenta l'estat actual de la tècnica estudiant les alternatives existents per solucionar el problema. En segon lloc es planteja el disseny d'un nou sistema de protecció integrat en captadors de placa plana.

En l'anàlisi de l'estat de la tècnica s'estudien i classifiquen els sistemes presents al mercat i de solucions patentades però no comercialitzades. La classificació està basada en la forma de combatre el problema: dissipant l'excés d'energia, aprofitant l'energia sobrant per altres aplicacions o evitant la captació d'aquesta.

El sistema dissenyat consta d'un seguit de plaquetes reflectores rectangulars situades entre l'absorbidor i vidre del captador. Aquestes plaquetes estan unides als laterals del captador de manera que giren sobre el seu eix i presenten dues posicions possibles: durant el funcionament normal de la instal·lació permeten el pas de la radiació solar, mentre que quan el sistema augmenta per sobre una temperatura determinada reflecteixen els rajos abans que arribin a l'absorbidor. Aquest sistema de protecció no necessita cap font d'alimentació extra, sinó que funciona amb els canvis de temperatura gràcies a l'acció d'una molla bimetàlica.

# Sumari

<b>RESUM</b>	<b>1</b>
<b>SUMARI</b>	<b>2</b>
<b>1. INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS DEL PROJECTE</b>	<b>4</b>
1.1. Objectius del projecte .....	4
1.2. Abast del projecte .....	4
<b>2. EL SOL COM A FONT D'ENERGIA</b>	<b>5</b>
2.1. Radiació solar incident.....	5
2.2. Aprofitament de la radiació solar .....	7
<b>3. INSTAL·LACIONS PER A LA PRODUCCIÓ D' AIGUA CALENTA SANITÀRIA</b>	<b>9</b>
3.1. Tipus d'instal·lacions segons el principi de circulació .....	9
3.1.1. Equips termosifó .....	10
3.1.2. Equips de circulació forçada .....	10
3.2. Sistema de captació. Captador solar .....	11
3.2.1. Captadors plans o de placa plana.....	11
3.2.2. Captadors plans de concentració (CPC).....	12
3.2.3. Tubs de buit .....	13
3.3. Sistema d'acumulació .....	15
3.4. Sistema d'intercanvi de calor .....	16
3.5. Circuit hidràulic.....	17
3.6. Sistema de regulació i control.....	19
3.7. Sistema auxiliar.....	21
<b>4. CAPTADORS PLANS</b>	<b>22</b>
4.1. Components.....	22
4.1.1. Coberta transparent.....	22
4.1.2. Absorbidor .....	23
4.1.3. Tubs d'intercanvi.....	23
4.1.4. Aïllament.....	24
4.1.5. Carcassa exterior.....	24
4.2. Funcionament: Efecte hivernacle.....	24
4.3. Balanç energètic i rendiment tèrmic.....	25
<b>5. PROBLEMÀTICA: SOBRESOLFAMENT DE LES</b>	

<b>INSTAL·LACIONS</b>	<b>28</b>
5.1. Solucions actuals.....	29
5.1.1. Emmagatzemar o aprofitar l'excés d'energia .....	29
5.1.2. Evitar l'acumulació d'excés d'energia.....	30
5.1.2.1. Disminuir l'efecte hivernacle.....	30
5.1.2.2. Bloquejar la radiació solar directament.....	33
5.1.3. Eliminar l'excés d'energia.....	40
5.1.3.1. Sistemes de refrigeració.....	40
5.1.3.2. Augment de les pèrdues de calor del col·lector.....	43
<b>6. IDEES PROPOSADES</b>	<b>45</b>
6.1. Elecció de la solució .....	48
<b>7. DISSENY FINAL</b>	<b>50</b>
7.1. Descripció de la invenció.....	50
7.2. Captador pla.....	52
7.3. Plaquetes reflectores.....	54
7.4. Avaluació de la solució: Posició de les plaquetes .....	60
7.5. Molla bimetàl·lica.....	67
7.6. Engranatges i corretges .....	74
<b>8. PLANIFICACIÓ</b>	<b>76</b>
<b>9. ESTUDI ECONÒMIC</b>	<b>77</b>
9.1. Costos de fabricació i de disseny del sistema.....	77
9.2. Viabilitat econòmica.....	81
<b>10. IMPACTE AMBIENTAL</b>	<b>85</b>
10.1. Materials i fabricació del sistema.....	85
10.2. Estalvi energètic .....	86
<b>11. AVALUACIÓ DEL SISTEMA DISSENYAT</b>	<b>88</b>
<b>CONCLUSIONS</b>	<b>89</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>90</b>
Referències bibliogràfiques.....	90
Bibliografia complementària.....	92

# 1. Introducció i objectius del projecte

Aquest treball presenta el disseny d'un nou sistema de protecció contra el sobreescalfament per a captadors plans d'instal·lacions solars tèrmiques de baixa temperatura.

Amb la realització d'aquest projecte es pretén entrar i aprofundir en el coneixement d'un problema present en moltes instal·lacions solars tèrmiques: el sobreescalfament de les instal·lacions. A partir de conèixer la situació actual d'aquest sector es desenvolupa un sistema alternatiu per resoldre el problema plantejat, estudiant-ne tots els aspectes necessaris per poder-ne garantir la viabilitat en tots els aspectes.

## 1.1. Objectius del projecte

Els objectius d'aquest treball són:

- Anàlisi de les alternatives presents al mercat.
- Anàlisi d'altres solucions patentades però no comercialitzades.
- Disseny i modelització d'una nova alternativa com a solució del problema.
- Presentació de la patentar la solució dissenyada.

## 1.2. Abast del projecte

El present projecte engloba l'estudi detallat de les alternatives plantejades per resoldre el problema plantejat, el disseny detallat i modelat 3D de la nova alternativa i els càlculs necessaris per comprovar el seu correcte funcionament.

Els propers aspectes que es podrien tractar d'aquest projecte seria la fase de producció de l'aparell i la posterior explotació, etapes no incloses dins els objectius del projecte.

## 2. El Sol com a font d'energia

La radiació solar és l'energia que emet el Sol en forma d'ones electromagnètiques que es desplacen en totes direccions a través d'un fluid o del buit. Al buit, aquestes ones es desplacen a 300.000km/s.

Aquesta radiació, com totes les ones electromagnètiques, transporta una quantitat d'energia proporcional a la seva freqüència i es classifica en funció de la seva longitud d'ona. Com més petita és la longitud d'ona, més gran es la freqüència i més energia transporta, tal com es mostra a la taula 2.1.

	Ultraviolat	Visible	Infraroig
Longitud d'ona ( $\mu\text{m}$ )	<0,38	0,38 -0,78	>0,78
Percentatge energètic (%)	7%	47,3%	45,7%

**Taula 2.1** Distribució espectral de la radiació solar extraterrestre (Energía Solar Térmica [1])

### 2.1. Radiació solar incident

La posició del Sol respecte la terra es mesura mitjançant diferents paràmetres, mostrats a la figura 2.1:

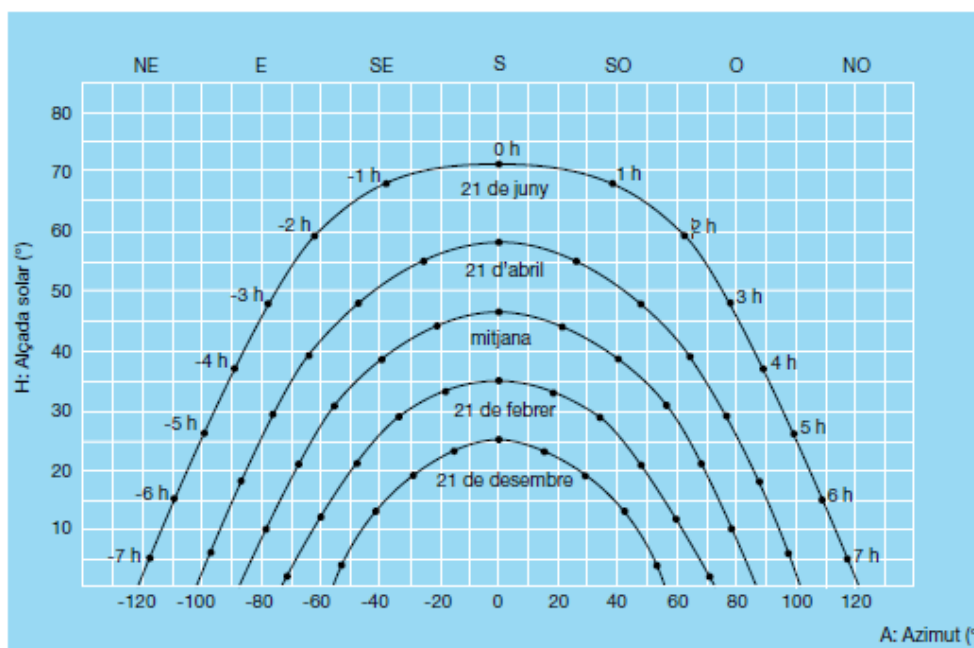
- **Azimut ( $\gamma$ ):** angle format entre la projecció del raig solars sobre el pla tangent a la superfície terrestre i la direcció Nord-Sud. Al matí pren valors positius, al mig dia  $\gamma=0^\circ$  mentre que a la tarda pren valors negatius.
- **Alçada solar ( $\alpha$ ):** angle format per un raig incident i el pla tangent a la superfície terrestre en aquell punt. A la sortida i posta del sol  $\alpha=0^\circ$  mentre que al mig dia pren el seu valor més elevat en funció del mes de l'any.
- **Declinació( $\delta$ ):** Angle format pel raig incident i el pla d'Equador, variant segons el dia de l'any.

La radiació solar és força constant abans d'entrar a l'atmosfera, però quan travessa aquesta franja d'aire passa per diferents processos que fan que el nivell de radiació que arriba a la terra sigui menor que el de la part superior de l'atmosfera. La radiació solar total que incideix sobre una superfície terrestre pot descomposar-se en tres components.

- **Radiació directe:** directe del Sol, sense canvis de direcció.
- **Radiació difusa:** canvis de direcció deguts a la difusió. La difusió és la interacció de la radiació amb els gasos atmosfèrics, vapor d'aigua i aerosols, que provoquen un canvi de direcció de la radiació en funció de la seva longitud d'ona.
- **Radiació reflectida:** procedeix del Terra i és deguda a la reflexió de les components directes i difuses de La Terra. És molt petita en comparació amb les altres dos.

Així doncs, la radiació incident depèn de diversos paràmetres:

- **Factor climatològic:** Una part de l'energia que travessa l'atmosfera arriba de manera difusa o dispersa a causa dels rajos desviats a l'atmosfera.
- **Localització geogràfica:** Com més proper a l'equador més alts són els nivells de radiació per unitat de superfície, ja que l'angle de radiació sobre la terra és més perpendicular. A Catalunya, la latitud és de 41°40'N.
- **Estacionalitat:** Les estacions de l'any estan marcades per la declinació de la terra respecte el Sol, variant així l'angle d'incidència i l'exposició diària a la radiació solar. Tal com mostra la figura 2.1 a Catalunya l'alçada màxima és al solstici d'estiu, proper als 71°C, mentre que el valor més baix és al solstici d'hivern proper als 25°C.



**Figura 2.1** Trajectòria del Sol a Catalunya (Institut Català de l'energia [25])

## 2.2. Aprofitament de la radiació solar

El Sol es pot considerar un emissor perfecte o cos negre a una temperatura de 6000K. Aquests cossos ideals emeten radiació tèrmica en forma d'ones electromagnètiques degut a la seva temperatura. D'altre banda, són capaços d'absorbir tota la radiació que incideix sobre ells i cal que siguin emissors perfectes per no anar-se escalfant. Tot i això els cossos reals no són negres, sinó que absorbeixen i emeten radiació a diferents nivells (nivells inferiors al que faria el cos negre ideal).

L'energia solar tèrmica es basa la transformació de la radiació solar en calor. Per tal d'optimitzar aquesta transformació cal que les superfícies tinguin unes propietats físiques determinades:

- **Absorbància  $\alpha$ :** relació entre radiació absorbida i radiació incident. Interessa una absorbància elevada, per tal que el material reflecteixi poc i s'escalfi molt, com és el cas del negre mate. D'altre banda, amb una superfície brillant, com un metall polit, s'aconsegueix l'efecte contrari. Aquest paràmetre pren valors compresos entre 0 – 1.
- **Emitància  $\epsilon$ :** Relació entre la radiació que emet un cos i la que emetria un cos negre a la mateixa temperatura. És un indicador de la capacitat de refredament per radiació d'un cos, per tant per tal que arribi a temperatures elevades interessa una emitància baixa. Aquest paràmetre pren valors compresos entre 0 – 1.

Així doncs, tot i que aquests valors varien amb la longitud d'ona de la radiació solar, per transformar la radiació incident en energia tèrmica es necessiten superfícies amb absorbància elevada i emitància baixa, aconseguint d'aquesta manera temperatures elevades.

**Les superfícies selectives** són les utilitzades per dur a terme aquesta funció. La superfície rebrà principalment radiació visible i infraroja propera per tant presenten una elevada absorbància per aquestes bandes. D'altre banda, suposant que la superfície estigui a 80°C, emetrà radiació infraroja mitjana i llunyana, per tant presenten una baixa emitància en aquest rang. La selectivitat és la relació entre absorbància i emitància que presenta una superfície.

Aquestes superfícies solen estar constituïdes per una placa de metall molt polit sobre la qual es dipositen partícules de tamany mitjà proper a la longitud d'ona de la radiació incident. D'aquesta manera la placa de metall aconsegueix una emitància reduïda, mentre que les partícules de la superfície no poden emetre radiació amb longitud d'ona significativament major al seu propi tamany. A la taula 2.2 es mostren algun dels tractaments selectius utilitzats:.

Tractament	Absorbància	Emitància	Selectivitat
Negre de níquel sobre níquel	0,93	0,06	15,5
Ni-Sn-S sobre níquel	0,96	0,07	13,71
Negre de crom sobre níquel	0,92	0,1	9,2
Negre de ferro sobre acer	0,9	0,1	9
Negre de zinc	0,9	0,1	9
Negre de crom	0,89	0,1	8,9
Negre de coure sobre coure	0,87	0,1	8,7
Òxid de coure sobre alumini	0,93	0,11	8,46
Esmalt	0,9	0,5	1,8
Pintura acrílica negra	0,95	0,9	1,06
Pintura de resina de silicona negra	0,93	0,9	1,03
Pintura inorgànica negra	0,94	0,92	1,02

**Taula 2.2** Selectivitat d'alguns tractaments (Energía solar tèrmica [1])



## 3. Instal·lacions per a la producció d' Aigua Calenta Sanitària

L'energia solar tèrmica està cada cop més present a edificis, cases i habitatges. Aquestes instal·lacions utilitzen col·lectors tèrmics de baixa temperatura, utilitzats tant per l'escalfament domèstic o comercial com en aplicacions industrials on les temperatures que s'utilitzen són inferiors a 90°C. En l'àmbit domèstic majoritàriament proporcionen l'aigua calenta de consum (Aigua Calenta Sanitària), tot i que també s'utilitzen com a suport a la calefacció o per a l'escalfament de piscines.

Existeixen diversos tipus de sistemes per a l'escalfament de l'aigua (ACS), classificats segons la circulació del fluid caloportador:

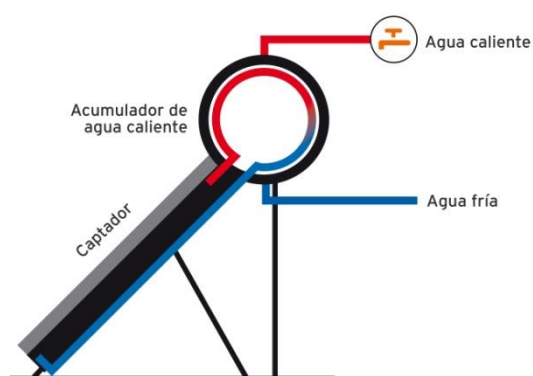
- **Circuit obert:** L'aigua de consum passa directament per les plaques solars. La instal·lació és més senzilla i és més econòmic però presenta problemes evidents per temperatures inferiors a 0°C. A més en zones amb altes concentracions de sals es poden obstruir els conductes de les plaques.
- **Circuit tancat:** Són els circuits utilitzats actualment. El fluid caloportador que circula pels captadors solars està separat del circuit de consum.
  - **Circuit primari:** Transporta la calor des del captador a l'acumulador mitjançant una mescla d'aigua i altres substàncies anomenada fluid caloportador.
  - **Circuit secundari:** On circula i s'escalfa l'aigua de consum.

### 3.1. Tipus d'instal·lacions segons el principi de circulació

En els sistemes de circuit tancat, segons la forma com circuli el fluid caloportador des del captador fins l'acumulador, cal distingir entre instal·lacions amb circulació natural i instal·lacions amb circulació forçada.

### 3.1.1. Equips termosifó

Aquests equips funcionen per circulació natural, basada en els corrents de convecció que es formen en els fluids a diferents temperatures per la diferència de densitats, tal com es mostra a la figura 3.1. A mesura que l'aigua de l'acumulador s'escalfa s'estratifica per temperatures, quedant l'aigua freda a la part inferior i la calenta a la part superior ja que perd densitat. La velocitat de circulació depèn de la diferència de temperatures entre captador i acumulador. Els principals avantatges d'aquest sistema és que no necessiten cap bomba hidràulica ni alimentació elèctrica. A la figura 3.2 es mostra un exemple de captador.



**Figura 3.1** Estratificació de temperatures dins un equip termosifó (Solar Master [22] )

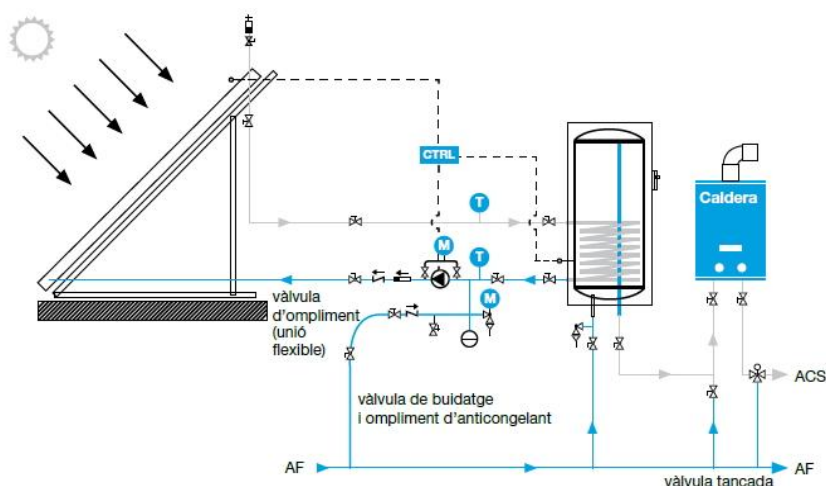


**Figura 3.2** Equip termosifó (Cliesa [24] )

En aquest tipus d'instal·lacions és imprescindible que l'acumulador estigui sempre situat a un nivell superior al captador solar. També és important que el circuit primari sigui el més curt possible per facilitar la circulació, per això els acumuladors estan situats just sobre els captadors solars. D'altra banda per tal de que les pèrdues de càrrega siguin mínimes també cal que el diàmetre dels tubs del captador siguin màxims.

### 3.1.2. Equips de circulació forçada

Aquest tipus d'instal·lació és més complexa que l'anterior però té major flexibilitat d'instal·lació, dimensionament i és més adequat per obtenir grans volums d'aigua calenta i temperatures elevades.



**Figura 3.3** Circuit de circulació forçada (Institut Català de l'energia [25])

Aquests sistemes funcionen com un circuit electromecànic convencional, amb una bomba que impulsa el fluid des de la part freda de l'acumulador cap a la part inferior dels captadors. A la figura 3.3 es mostra una instal·lació d'aquest tipus.

## 3.2. Sistema de captació. Captador solar

Transforma la radiació solar incident en energia tèrmica de manera que s'escalfa el fluid que hi circula. Els captadors solars de baixa temperatura són els utilitzats en l'edificació civil, i treballen a temperatures inferiors a 80°C.

### 3.2.1. Captadors plans o de placa plana

Són els més utilitzats en sistemes solars domèstics de calefacció i ACS, ja que aquestes aplicacions no requereixen més de 80°C. Estan formats per cinc elements bàsics: la carcassa, l'aïllant, l'absorbidor, els tubs d'intercanvi i la coberta transparent superior que redueix les pèrdues per radiació i convecció ajudant a produir l'efecte hivernacle, que és el principi d'escalfament d'aquests col·lectors. Aquests sistemes capten tant la radiació directa com la difusa. La figura 3.4 mostra un captador pla.



*Figura 3.4* Captador de placa plana (Sidite Energy[26])

### **Captadors plans sense coberta**

A diferència dels captadors plans amb coberta aquests no estan aïllats del medi exterior, resultant així més senzills i econòmics. S'utilitzen únicament per escalfar l'aigua de les piscines ja que les temperatures de treball arriben com a màxim a 40°C. La figura 3.5 mostra un captador pla sense coberta.



*Figura 3.5* Captador pla sense coberta (Salvador Escoda [37])

### **3.2.2. Captadors plans de concentració (CPC)**

El seu principi de funcionament és la concentració sobre els absorbidors cilíndrics de l'energia solar que incideix en el captador mitjançant procediments òptics de reflexió. La superfície d'absorció és menor que en els captadors plans, cosa que redueix les pèrdues tèrmiques. Capten tant la radiació directe com la difusa. La figura 3.6 mostra un captador pla de concentració.



**Figura 3.6** Captador pla de concentració (Solar Focus[27])

### Captadors cilíndrics-parabòlics (PTC)

Aquests sistemes estan dissenyats especialment per obtenir altes temperatures. Són captadors de concentració amb mecanismes de seguiment solar, que només capten la radiació directa. Estan formats per unes conduccions amb un revestiment selectiu que recorren longitudinalment el captador i que actuen d'absorbidor. Aquestes conduccions reben la radiació solar reflectida per les parets corbes que les envolten, que són unes 30 vegades majors. A la figura 3.7 es mostra un captador PTC.



**Figura 3.7** Captador cilíndric parabòlic (Purasol [28])

#### 3.2.3. Tubs de buit

Els tubs de buit estan formats per un tub de vidre transparent que envolta la làmina absorbidora. Entre el tub exterior i l'absorbidor interior s'hi ha fet el buit, de manera que s'eviten les pèrdues per convecció i això permet assolir temperatures de més de 100°C i aprofitar molt més la radiació solar difusa. A la figura 3.8 es mostra un captador d'aquest tipus.

Aquests tubs es munten en paral·lel sobre una base que conté les connexions hidràuliques i això forma el col·lector solar. Aquests col·lectors tenen una eficiència major als col·lectors de placa plana i, a més, alguns models ofereixen la possibilitat d'inclinar individualment cada tub. Tenen un major cost i menor resistència mecànica.



**Figura 3.8** Tubs de buit (Sidite Energy [26])

El que diferencia els dos tipus de captadors de tubs de buit existents és la manera com es fa la transmissió de calor des del tub de buit fins al circuit primari.

### **Captadors de buit amb fluid directe**

El funcionament és molt semblant al funcionament dels col·lectors plans. El fluid de treball flueix directament a través de l'absorbidor dins dels tubs.

Les canonades d'anada i retorn per on circula el fluid caloportador dins el tub solen estar fetes de coure i tenen dues configuracions possibles: de forma concèntrica o en paral·lel.

L'absorbidor sol ser de coure recobert d'òxid de titani i pot tenir forma de làmina plana o ser un tub concèntric als conductes i al tub exterior. Quan es tracta d'una làmina plana, aquesta es pot orientar respecte l'eix del tub per buscar la orientació òptima al sol.

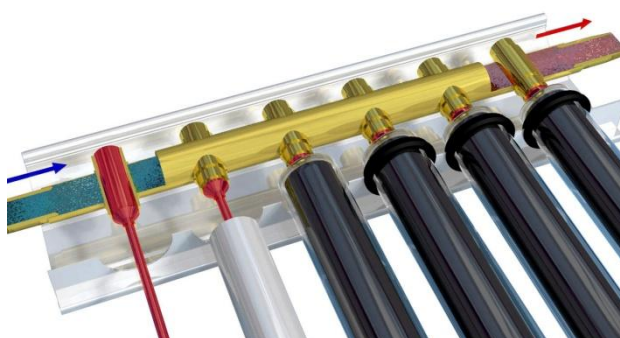
### **Heat pipe**

En aquest sistema, els captadors disposen d'un captador principal del circuit primari a la part superior, i el tub de buit disposa d'un absorbidor en forma de tub de coure central segellat i ple d'una barreja alcohòlica. Es connecta aquest tub a l'absorbidor del captador solar

mitjançant una pipeta condensadora, que farà la funció d'element transmissor de la calor cap al circuit primari. Aquesta unió és seca, és a dir, sense contacte de líquids, per tant és poden fer reparacions en un tub sense la necessitat d'aturar la instal·lació. La figura 3.9 mostra aquest sistema.

La radiació solar fa escalfar l'absorbidor del tub i evapora la barreja alcohòlica del seu interior, que puja fins al condensador situat en el captador. En aquest punt, cedirà la calor al circuit primari i es condensa la barreja alcohòlica que tornarà a la part inferior del captador pel seu propi pes.

Els tubs de buit tipus Heatpipe, tenen un sistema de limitar la temperatura. Quan es sobrepassa la temperatura crítica del fluid que circula per l'interior del tub de calor s'atura el cicle d'evaporació - condensació, evitant que la temperatura en l'interior dels tubs augmenti de forma incontrolada.



*Figura 3.9* Tubos de buit Heatpipe (Solar Bosh [29])

### 3.3. Sistema d'acumulació

Està format per un o diversos acumuladors que emmagatzemen l'energia tèrmica mitjançant l'augment de temperatura de l'aigua del circuit de consum.

Els acumuladors es dimensionen en funció de la demanda d'aigua calenta diària estimada i per tant, de l'àrea total de captació. Té unes temperatures d'acumulació entre 45 i 70°.

Pel que fa a la posició d'aquest dipòsit és recomanable que sigui en posició vertical, ja que afavoreix l'estratificació de l'aigua permetent així un subministrament instantani d'aigua a temperatura de servei sense que tot el dipòsit estigui a aquesta temperatura. Això també contribueix a un millor rendiment dels captadors solars ja que la diferència de temperatures

d'intercanvi és major. Així doncs, les connexions d'aigua freda es situaran a la part inferior del dipòsit mentre que la sortida d'aigua calenta se situarà a la part superior.

Normalment estan fabricats d'acer de carboni o d'acer inoxidable, recoberts d'un material aïllant per evitar les pèrdues de calor. Per tal de minimitzar aquestes pèrdues és preferible un sol acumulador, però en cas que siguin necessaris més d'un dipòsit caldrà connectar-los en sèrie invertida al circuit de consum o en paral·lel amb els circuits primaris i secundaris equilibrats.

### **3.4. Sistema d'intercanvi de calor**

El bescanviador de calor realitza la transferència d'energia tèrmica des del fluid caloportador del circuit primari a l'aigua de consum del circuit secundari.

El material que conformi el bescanviador ha de ser un bon conductor tèrmic i resistent a les temperatures de treball i al fluid caloportador utilitzat, essent normalment coure o acer inoxidable.

Aquests bescanviadors poden estar incorporats a l'acumulador o ser exteriors. Els bescanviadors exteriors s'utilitzen en instal·lacions amb grans dipòsits ja que tenen un alt rendiment d'intercanvi tot i que grans pèrdues de càrrega. En instal·lacions petites s'utilitzen bescanviadors incorporats a l'acumulador anomenats interacumuladors i són més econòmics.

#### **Interacumulador amb bescanviador de doble paret**

El bescanviador està format per una paret doble que rodeja l'acumulador dins de la qual hi circula el fluid caloportador procedent dels captadors solars i escalfa l'aigua de l'acumulador.

Aquests bescanviadors són habituals en acumuladors petits. Tenen un rendiment d'intercanvi baix així com també una baixa pèrdua de càrrega. És la tipologia d'intercanviador més adient pels equips de termosifó.

#### **Interacumulador amb bescanviador intern de serpenti**

El bescanviador està format per un tub en forma d'espiral o serpenti per on hi circula el fluid caloportador procedent dels captadors solars i escalfa l'aigua de l'acumulador.



S'utilitzen en acumuladors amb una capacitat fins a 1.500 litres, tenen un rendiment d'intercanvi mitjà així com una pèrdua de càrrega mitjana. Són més cars que els de doble paret.

### **3.5. Circuit hidràulic**

Conjunt d'elements que transporten el fluid caloportador des del sistema de captació fins a l'acumulador. Està format pels següents elements:

#### **Fluid caloportador**

Aquest és el fluid que circula per l'interior dels captadors solars, per tant cal que tingui una temperatura de congelació baixa i una temperatura d'ebullició alta. Això s'aconsegueix barrejant aigua amb una porció de glicol determinada a partir del rang de temperatures de treball. Aquesta barreja modifica les propietats de l'aigua donant lloc a una solució més viscosa i densa, amb un coeficient de dilatació més elevat i àcida (corrosiva) a per sobre el punt d'ebullició.

#### **Canonades**

Com que les canonades del circuit primari han de suportar altes temperatures de funcionament (fins 150°C) cal tenir en compte la durabilitat del material, per això normalment són de coure o d'acer inoxidable amb unions roscades, soldades o embridades.

Per tal de dimensionar aquests components cal tenir en compte el cabal d'aigua que hi circularà, la velocitat lineal del fluid i minimitzar la pèrdua de càrrega. També cal avaluar i minimitzar les pèrdues tèrmiques.

#### **Bombes de recirculació**

La bomba instal·lada en el circuit primari força la circulació del fluid compensant les pèrdues de càrrega. En general es col·loquen a la línia de retorn (la més freda), de bescanviador a captador, per evitar l'escalfament excessiu del fluid de la sortida dels captadors.

S'utilitzen bombes de circulació de rotor humit, que tenen una vida útil molt llarga pràcticament sense manteniment. Aquests circuladors incorporen un selector de velocitats que permet seleccionar diferents rang de cabal en funció de les pèrdues de càrrega del circuit. Es sol instal·lar un manòmetre de pressió diferencial i també dues vàlvules de tall a

les connexions hidràuliques.

En el cas de circuits oberts el cos hidràulic sol estar fabricat de bronze o acer inoxidable. Pel que fa als circuits tancats, el cos hidràulic de la bomba del circuit primari sol estar fabricat de ferro fos, ja que es molt econòmic i no passa res si altera lleugerament les propietats del fluid caloportador.

### **Vas d'expansió**

El vas d'expansió contraresta les variacions de volum i de pressió que es produeixen en el circuit tancat quan el fluid varia la seva temperatura.

Els més utilitzats són els vasos d'expansió tancant. Aquest petit dipòsit està dividit en dues parts per una membrana. Una part està connectada amb el circuit tancat de la instal·lació, mentre que l'altre conté un gas, generalment nitrogen. Quan el fluid augmenta de temperatura es dilata i la membrana es deforma comprimint el gas de manera que la pressió del circuit es manté constant. Quan es refreda, el gas retorna al volum inicial i empeny el fluid fora del vas.

Aquests elements s'instal·len preferentment en l'aspiració de la bomba per evitar depressions i si hi ha una gran diferència d'altura entre els captadors i la sala de màquines s'ubiquen en el punt més alt dels circuits per evitar que estiguin sotmesos a pressions massa elevades.

### **Purgador**

El purgador permet evacuar l'aire del circuit durant les operacions d'ompliment i posada en marxa de la instal·lació. Cal evitar l'acumulació d'aire a les canonades, ja que es pot produir un tap que impedeixi la circulació del fluid. D'altre banda pot causar corrosió, cavitació a les bombes, disminució del rendiments de d'intercanviador, soroll, etc. Una zona especialment conflictiva són els punts alts de la sortida dels captadors solars, per això cal col·locar purgadors. Els més utilitzats en instal·lacions tèrmiques són el tipus "automàtic de flotador".

### **Vàlvules**

Com en tot circuit hidràulic, les instal·lacions solars tèrmiques incorporen vàlvules que permeten regular i interrompre el pas del fluid. Cal tenir en compte les condicions extremes de pressió i temperatura de la instal·lació a l'hora de dissenyar el circuit.

Les vàlvules d'esfera s'utilitzen per aïllar, l'ompliment i buidatge i purgar l'aire. Les vàlvules de seient per equilibrar hidràulicament el circuit, les de ressort per protegir de sobrepressió i vàlvules per a la retenció.

- **Vàlvules d'aïllament o tall de la instal·lació:** S'utilitzen per tallar el subministrament d'aigua de la instal·lació i poder aïllar qualsevol element de la resta de la instal·lació per tal de reparar-lo sense necessitat de buidar tot el circuit. Per exemple, a cada bateria de captadors solars s'instal·la una vàlvula l'entrada i a la canonada de retorn. S'utilitzen vàlvules d'esfera.

- **Vàlvules antiretorn o de retenció:** Aquestes vàlvules només deixen circular el fluid en un sentit per tal d'evitar recirculacions inverses. Instal·lades en el circuit primari de la instal·lació, eviten el refredament del dipòsit a la nit degut a l'efecte termosifó. Són de tipus comporta batent, clapeta o York.

- **Vàlvules de seguretat:** Aquestes vàlvules estan incorporades a totes les instal·lacions de generació de calor i fred. Quan s'assoleix una determinada pressió aquesta vàlvula obre el circuit i descarrega vapor a l'atmosfera. Sovint incorporen un manòmetre. En les instal·lacions solars tèrmiques n'hi ha com a mínim dues: una per protegir el circuit primari i una per protegir el circuit secundari.

- **Vàlvules reguladores de cabal:** L'equilibrament hidràulic permet obtenir una distribució equitativa dels cabals als captadors de manera que tots treballin amb rendiment òptim. Això es fa amb vàlvules d'equilibrament o vàlvules reguladores de cabal.

- **Vàlvula mescladora de tres vies:** Aquestes vàlvules garanteixen la seguretat dels usuaris de les instal·lacions de producció d'aigua calenta sanitària, limitant la temperatura de l'aigua de consum a 60°C. Aquestes vàlvules obtenen un cabal de fluid a temperatura concreta i constant mesclant dos fluids a temperatures diferents.

- **Vàlvula de zona motoritzada:** S'utilitzen per desviar el fluid principal a dues zones diferents del circuit hidràulic i està formada per un cos hidràulic de dues o tres vies i un motor elèctric.

### 3.6. Sistema de regulació i control

Garanteix el correcte funcionament de la instal·lació solar tèrmica governant els elements a partir de la informació transmesa per sensors i gestiona adequadament l'energia provinent dels captadors. D'altre banda, cal tenir present que tots els elements de la instal·lació han de poder activar-se de forma manual.

## Sensors

Els sensors imprescindibles són els de temperatura, tot i que també es poden incorporar sensor de irradiància que mesuren la radiació solar incident, interruptors de flux i transductors de pressió.

S'utilitzen sensors de temperatura resistius de dos tipus: de contacte i de immersió. Les sondes de contacte estan en contacte directe amb la superfície del conducte pel qual circula el fluid, mentre que les sondes d'immersió s'introdueixen en el fluid mitjançant baines. En qualsevol dels dos casos és indispensable una bona col·locació de la sonda per una correcta medició de la temperatura.

## Termòstat diferencial

El termòstat diferencial (de forma genèrica centraleta) és anomenat controlador solar, ja que és l'encarregat de posar en marxa i aturar la bomba.

El mínim que s'exigeix en una instal·lació solar tèrmica de circulació forçada és de dues entrades per sondes de temperatura i una sortida per l'engegada de la bomba. Una de les sondes està dins el tub de sortida dels captadors i l'altre a la sortida de l'acumulador. El termòstat compara les dues mesures activant la bomba si hi ha possibilitat d'emmagatzemar energia (diferència de temperatures major a 7°C) i aturant-la quan no hi ha prou radiació per continuar escalfant (diferència de temperatures menor a 2°C) el sistema o quan s'ha arribat a la temperatura programada.

Partint d'aquesta regulació bàsica es poden afegir altres funcions:

- Funció termòstat: quan l'acumulador arriba a una certa temperatura desviar la calor a altres aplicacions, com per exemple emmagatzemar aigua calenta per la calefacció, alimentar la màquina d'absorció o altres en funció de l'època de l'any.
- Funció antigèl: activant la bomba si la temperatura dels captadors és inferior a un determinat valor.
- Altres funcions: limitar la temperatura dels captadors, refrigerar els captadors o refrigerar l'acumulador.

## **Comptador d'energia**

Aquests aparells calcula l'energia a través de les mesures de temperatura de les sondes del termòstat i les mesures d'un comptador volumètric. Muntat al circuit primari mesura l'energia tèrmica aportada pels captadors solars, sense tenir en compte les pèrdues ni el consum d'aigua. Instal·lada en el circuit secundari avalua l'energia real aportada a l'usuari.

És obligatori incorporar un comptador d'energia en instal·lacions superiors a 20m<sup>2</sup> de captadors solars tèrmics.

## **3.7. Sistema auxiliar**

Cal disposar d'un sistema convencional auxiliar de producció de calor que actuarà en cas que la radiació solar sigui insuficient per satisfer la demanda. Les instal·lacions solars s'acoblen majoritàriament en sèrie a l'equip auxiliar i actuen com a sistemes de preescalfament.

### **Sistemes auxiliars instantanis**

Aquests elements són calderes que detecten la temperatura de preescalfament solar i actuen sobre aquesta base. Aquest tipus de sistemes queden restringits principalment a l'àmbit domèstic.

### **Sistemes auxiliars amb acumulació**

Són termos elèctrics o calderes amb acumulació que emmagatzemen l'aigua sanitària escalfada mitjançant una resistència elèctrica o un bescanviador de calor. Aquesta configuració permet que el sistema solar treballi independentment de la temperatura de l'acumulador auxiliar.

D'altra banda, en moments de poca o nul·la demanda d'aigua calenta o de alta radiació solar incident, els acumuladors auxiliars poden ser utilitzats per acumular calor sobrant del sistema solar.

## 4. Captadors plans

Els captadors plans o de placa plana són els més utilitzats en sistemes solars domèstics de calefacció i ACS, ja que aquestes aplicacions no requereixen més de 80°C. Aquests captadors són més econòmics que els tubs de buit, i tot i que no són tan eficaços, funcionen correctament en situacions geogràfiques on les condicions meteorològiques són favorables, com a la majoria del territori Espanyol. D'altra banda els captadors de tub Heatpipe, estan dissenyats per limitar la temperatura així que el sobreescalfament d'instal·lacions és un problema principal dels captadors plans. Per aquest motiu s'ha centrat el treball en l'estudi dels captadors plans i en un disseny de protecció contra el sobreescalfament aplicable a aquest tipus de captadors.

### 4.1. Components

La composició dels captadors de placa plana es basa en cinc elements: la carcassa, l'aïllant, l'absorbidor, els tubs d'intercanvi i la coberta transparent.

#### 4.1.1. Coberta transparent

La coberta té la funció d'aïllant el captador de les condicions ambientals exteriors, reduir les pèrdues de calor per convecció i provocar l'efecte hivernacle deixant passar la radiació solar. Sol tractar-se d'un vidre temperat amb unes característiques optimitzades per augmentar l'efecte hivernacle: disminuir la refractivitat i permetre el pas de la radiació i disminuir el coeficient de transmissió per impedir el pas de les ones emeses per l'absorbidor.

Cal que tingui un coeficient de dilatació petit i bona resistència mecànica. En condicions normals és suficient amb un vidre transparent amb baix contingut de ferro d'uns 4mm de gruix. D'altra banda hi ha col·lectors amb doble o triple vidre. D'aquesta manera, a part de suportar millor condicions ambientals extremes com el vent, com que hi ha més resistència tèrmica el coeficient global de pèrdues de calor és menor i augmenta la seva potència útil captada. D'altra banda presenta inconvenients de dilatació, disminució de la transparència, i preu més elevat.

### 4.1.2. Absorbidor

L'absorbidor és l'element que transforma la radiació solar incident sobre el captador solar en energia tèrmica i la transmet als tubs d'intercanvi escalfant així el fluid caloportador. Els tubs d'intercanvi estan soldats o embotits a la placa.

Tal com s'ha vist a l'apartat 4.2 es tracta de superfícies selectives, que tenen una alta absorció de la radiació solar (ona curta) i una baixa emissivitat de l'escalfor (ona llarga) gràcies als tractaments químics aplicats.

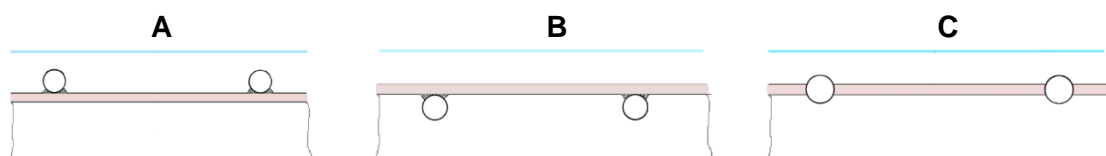
### 4.1.3. Tubs d'intercanvi

Tubs soldats a l'absorbidor per on circula el fluid termòfor i s'escalfa. Segons la geometria dels tubs hi ha dues configuracions possibles:

- En paral·lel: Afavoreix l'estratificació de temperatures, permet un alt volum de circulació del fluid termòfor, obté un salt tèrmic d'uns 10°C i té un bon rendiment.
- En sèrie (serpentí): Poc volum de circulació del fluid termòfor, un salt tèrmic superior i un bon rendiment.

Segons la posició dels tubs a la placa, en relació a l'absorbidor, hi ha tres configuracions possibles, mostrades a la figura 4.1:

- Configuració **A**: Tubs soldats sobre la placa absorbidora.
- Configuració **B**: Tubs soldats sota la placa absorbidora.
- Configuració **C**: Tubs soldats a la placa absorbidora per dos costats.



**Figura 4.1** Posició dels tubs d'intercanvi (Energia solar [5])

Aquesta configuració influeix en la potència útil captada i per tant en el rendiment del col·lector. Tot i que s'aconsegueixen valors similars el millor rendiment s'obté en el cas C però la fabricació és més complexa i per tant cara.

#### 4.1.4. Aïllament

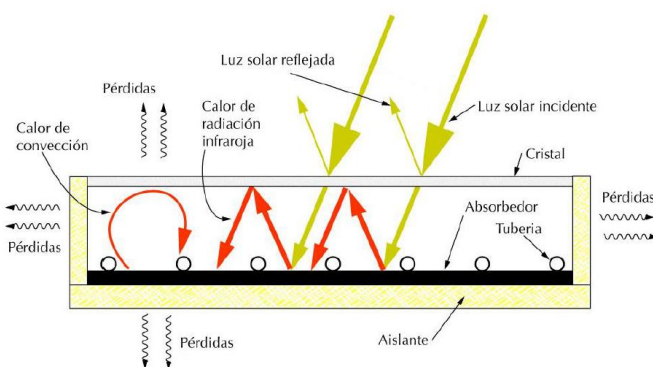
L'aïllament està situat als costats i a la part posterior del captador, entre la placa absorbent i la carcassa minimitzant les pèrdues de calor. Sol estar format per planxes d'espumes de poliestirè, poliuretà o fibra de vidre. La temperatura màxima que ha de poder suportar el material aïllant ha de ser superior a la temperatura que pugui arribar el captador durant l'estiu o quan el sistema està parat.

#### 4.1.5. Carcassa exterior

La seva funció és donar consistència a tots els elements que integren el captador, protegir-los dels agents externs i permetre la seva fixació a l'estructura de l'edifici. Cal que sigui rígida, resistent a variacions de temperatura i a la corrosió. També és molt important preveure orificis a la part inferior per la correcta ventilació i pel desguàs de condensats. Els materials més utilitzats són acer inoxidable i alumini anoditzat per evitar la corrosió.

### 4.2. Funcionament: Efecte hivernacle

Els captadors plans funcionen per efecte hivernacle. Aquest efecte es genera en alguns cossos transparents, que normalment només son travessats per radiacions amb longitud d'ona entre  $0,3$  i  $3\mu\text{m}$ . A la figura 4.2 es mostra aquest efecte en els captadors plans.



**Figura 4.2** Efecte hivernacle a l'interior d'un captador pla (Energia Solar [5])

En el cas de les plaques solars, la radiació solar té una longitud d'ona compresa entre  $0,3$  i  $2,4\mu\text{m}$ , per tant la llum solar pot travessar la coberta transparent. Un cop travessat, la radiació troba l'absorbidor, que s'escalfa i transmet part de l'energia al fluid caloportador per



conducció. A més, l'absorbidor emet part de l'energia en forma de radiacions infrarroja compreses entre els 4,5 i 7,2 $\mu$ m per a les quals la coberta transparent és opaca. Aquesta radiació que no pot sortir es reflectida cap a l'interior altre cop. Una part d'aquesta energia escalfa el vidre i el vidre la remet cap a dins i cap a fora. La càmera d'aire formada entre la coberta transparent i l'absorbidor disminueix les pèrdues per convecció de la superfície absorbidora.

### 4.3. Balanç energètic i rendiment tèrmic

Les fórmules utilitzades en l'estudi del balanç energètic i el rendiment s'han extret de Analysis of a Flat-plate Solar Collector [6].

#### Nomenclatura bàsica

$I$ : irradiància incident ( $W/m^2$ )

$A_c$ : àrea efectiva del captador ( $m^2$ )

$U_L$ : coeficient global de pèrdues ( $W/m^2\text{°C}$ )

$F_R$ : factor d'extracció de calor

$T_a$ : temperatura ambient ( $^{\circ}C$ )

$T_p$ : temperatura mitjana de l'absorbidor ( $^{\circ}C$ )

$T_i$ : temperatura d'entrada del fluid ( $^{\circ}C$ )

$T_f$ : temperatura mitjana del fluid ( $^{\circ}C$ )

$\alpha$ : absorbència de la placa

$\tau$ : transmitància de la coberta transparent

A la figura 4.3 es mostra un esquema del balanç energètic.

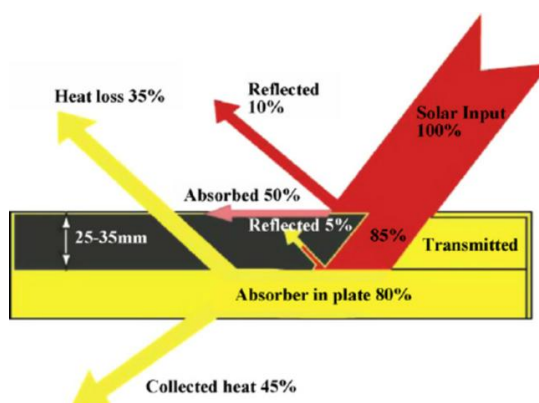


Figura 4.3 Balanç energètic d'un captador pla (Font [6])

La radiació solar total rebuda pel col·lector es mostra a l'equació 4.1.

$$Q_i = IA_c \quad \text{Eq. 4.1}$$

Tot i això, tal com es mostra a la figura 4.3 una part d'aquesta radiació és reflectida de nou al

cel, una part és absorbida pel vidre i la resta passa a l'interior del col·lector. Per tant, la calor que absorbeix la placa és la mostrada a l'equació 4.2.

$$Q_a = I\alpha\tau \cdot A_c \quad \text{Eq. 4.2}$$

A mesura que el col·lector absorbeix calor augmenta la seva temperatura i per tant augmenten les seves pèrdues per radiació i convecció cap a l'exterior, sent les pèrdues totals les mostrades a l'equació 4.3.

$$Q_p = A_c U_L (T_p - T_a) \quad \text{Eq. 4.3}$$

Per tant, en règim estacionari l'energia útil que aprofita el col·lector, és a dir, la calor absorbida pel fluid caloportador és pot expressar com a diferència de les dues anteriors, resultant l'equació 4.4.

$$Q_u = Q_a - Q_p = I\alpha\tau \cdot A_c - A_c U_L (T_p - T_a) \quad \text{Eq. 4.4}$$

Una altra manera d'expressar aquesta calor útil és directament a partir de l'energia transportada pel fluid caloportador, tal com mostra l'equació 4.5.

$$Q_u = mc_p (T_0 - T_i) \quad \text{Eq. 4.5}$$

Com que la temperatura mitjana de la placa és difícil de mesurar, s'utilitza el factor d'extracció de calor del col·lector  $F_R$  mostrat a l'equació 4.6. Aquest factor és la relació entre l'energia que s'obté i la que s'obtidria si tota la placa absorbent estigués a la temperatura d'entrada del fluid.

$$F_R = \frac{mc_p (T_0 - T_i)}{A_c [I\alpha\tau - U_L (T_i - T_a)]} \quad \text{Eq. 4.6}$$

L'energia útil màxima és la que s'obtidria si l'absorbidor tingués la temperatura d'entrada del fluid. Per tant multiplicant aquesta màxima energia pel factor d'extracció del col·lector obtenim l'energia útil real i obtenim l'anomenada "Equació de Bliss", equació 4.7.

$$Q_u = F_R A_c [I\alpha\tau - U_L (T_i - T_a)] \quad \text{Eq. 4.7}$$

El rendiment tèrmic del col·lector és el mostrat a l'equació 4.8. Aquest rendiment relaciona l'energia útil i l'energia total incident durant un període de temps.

$$\eta = F_R \alpha\tau - F_R U_L \left( \frac{T_i - T_a}{I} \right) \quad \text{Eq. 4.8}$$

Com que  $F_R$ ,  $\alpha$ ,  $\tau$  i  $U_L$  són paràmetres característics del col·lector, el rendiment augmenta

com més gran és la radiació rebuda i com més baixa sigui la temperatura d'entrada del fluid al captador.

Una altra manera de definir aquest rendiment es mostra a l'equació 4.9.

$$\eta = c_0 - [c_1 + c_2(T_f - T_a)] \frac{T_f - T_a}{I} \quad \text{Eq. 4.9}$$

On  $c_0$ ,  $c_1$  i  $c_2$  són paràmetres característics del col·lector.

Tal com s'observa en l'anterior equació, els captadors experimenten una important disminució de la eficiència com més elevada sigui la temperatura de treball del fluid caloportador. Per solucionar aquest problema, s'intenta minimitzar les pèrdues de calor en el captador mitjançant la disminució de la transmissió de calor simultàniament per conducció, convecció i radiació entre l'absorbidor (part més calenta) i l'exterior. L'aïllament de la part posterior i dels laterals del captador realitza aquesta funció. Tot i això, entre la superfície absorbent i el Sol cal un aïllament transparent a la radiació solar. Actualment es comencen a utilitzar materials transparents aïllants tèrmics (TIM).

La capa d'aire que hi ha entre l'absorbidor i el vidre transparent és un excel·lent aïllant si la placa treballa a temperatures baixes, ja el coeficient de transferència de calor per convecció de l'aire és baix, però a partir d'uns 60°C, el coeficient de transferència de calor per convecció d'aquesta càmera d'aire és més elevat i per tant augmenten de manera important les pèrdues per convecció.

En cas de fer el buit entre l'absorbidor i la coberta, s'eliminen aquestes pèrdues per convecció i per tant no hi ha aquesta pèrdua de rendiment. Tot i això aquesta càmera de buit presenta comporta importants inconvenients. Per una banda la pèrdua de buit com a conseqüència de la degradació de la instal·lació. D'altra banda implica una fabricació més costosa ja que cal una fabricació de qualitat per tal d'evitar problemes amb les tensions generades per les diferències de pressions.

Els captadors han de treballar a la temperatura pel qual han estat dissenyats perquè no disminueixi la rendibilitat econòmica de la instal·lació. Si treballen a temperatures inferiors els captadors seran més cars i aquest increment en el cost inicial no es veurà compensat per una instal·lació amb més rendiment. Si treballa a temperatures superiors el rendiment dels captadors, i per tant de tota la instal·lació disminuirà substancialment.

## 5. Problemàtica: Sobreescalfament de les instal·lacions

Un dels principals problemes que planteja una instal·lació solar tèrmica és el sobreescalfament del circuit primari degut a les altes temperatures a què pot arribar durant els mesos d'estiu. Això passa perquè en aquest període de temps és quan la radiació solar és més elevada i en canvi la demanda d'ACS i calefacció disminueix de manera important. D'altra banda, si en aquests períodes d'elevada irradiància hi ha un tall en el subministrament elèctric que causa l'estancament del circuit primari es donarà lloc al sobreescalfament de la instal·lació a causa de les elevades temperatures.

Quan el termòstat diferencial que governa el circuit primari detecta que la diferència de temperatura entre el dipòsit acumulador i la sortida dels captadors és menor de 2°C no activa la bomba de circulació. Si la radiació solar continua impactant sobre els captadors augmenta la temperatura, el fluid caloportador s'expandeix i la pressió del sistema augmenta fins a que s'arriba a la temperatura d'ebullició. A partir d'aquest punt es comença a evaporar el líquid i la pressió continua augmentant i pot arribar a temperatures al voltant de 150 a 170°C. Aquestes altes temperatures i vapors perjudiquen a tot el sistema: el fluid caloportador es degrada, així com els sensors, l'aïllament tèrmic i la capa absorbent i disminueix de manera important el rendiment de tot el sistema.

El vas d'expansió és el responsable de contrarrestar les variacions de pressió degudes canvis de temperatura, tot i això aquests dipòsits tenen un volum reduït. D'altra banda les vàlvules de seguretat salten per protegir el sistema però produeixen a la vegada un mal gastament de fluid, que surt del circuit al desaigua. A part, cap d'aquests elements impedeix l'ebullició del fluid caloportador.

En els captadors de placa plana el líquid caloportador surt normalment dels captadors a una temperatura de 60°C a 70°C. A partir de 80°C a 90°C graus hi ha perill de sobreescalfament de la instal·lació i és quan els elements i equips destinats a solucionar aquest problema comencen a actuar.

## 5.1. Solucions actuals

El problema del sobreescalfament és existent des de que es va començar a utilitzar l'energia solar tèrmica així que són moltes les alternatives per solucionar-lo que s'han proposat al llarg dels anys. Per tal de conèixer i familiaritzar-se amb l'estat de la tècnica actual, s'ha fet un estudi de les diferents solucions que s'utilitzen per afrontar aquest problema.

La recerca de solucions s'ha dividit principalment en dues parts: solucions més utilitzades i comercialitzades actualment i recerca d'altres invencions i noves tecnologies. Per una banda, s'ha cercat de quina manera s'afronta aquest problema en les instal·lacions actuals, estudiant quines són les solucions que ofereixen els fabricants i instal·ladors d'instal·lacions solars tèrmiques. D'altra banda, per tal d'adquirir un coneixement més específic de les diferents alternatives que s'han plantejat enfront aquest problema, s'ha aprofundit en l'estudi buscant noves invencions i tècniques patentades al llarg dels anys.

Finalment s'ha fet una classificació de totes les solucions trobades basada en com afronten el problema. S'han establert tres grans grups: en primer lloc les solucions que aprofiten l'excés d'energia tèrmica, en segon lloc les solucions que eviten que s'acumuli aquest excés d'energia i en tercer lloc les solucions que eliminen l'energia sobrant.

### 5.1.1. Emmagatzemar o aprofitar l'excés d'energia

Una opció és evitar el sobreescalfament aprofitant l'excés d'energia en determinats períodes de l'any per altres aplicacions o emmagatzemar aquests excedents en dipòsits estacionals per tal d'evitar el sobreescalfament de tota la instal·lació.

- **Escalfament de piscines**

Aprofitant que els períodes on les instal·lacions són més susceptibles al sobreescalfament són els mesos d'ús de les piscines, s'aprofita aquest excés de calor per a escalfar-les. Aquestes instal·lacions consten d'un únic circuit primari i de dos circuits secundaris: un per l'ACS per on circula l'aigua de consum i l'altre per on circula l'aigua de la piscina.

Existeixen instal·lacions utilitzades exclusivament per l'escalfament de les piscines. Aquestes instal·lacions tenen rendiments molt elevats ja que treballen a temperatures que no superen els 30°C i utilitzen captadors descoberts, que tenen un preu molt inferior als captadors de placa plana amb coberta transparent. D'aquesta manera s'aconsegueix una

temperatura més agradable de bany pels usuaris, al voltant dels 25°C i permeten allargar la temporada de bany.

Sempre que sigui possible, degut a la senzillesa i eficàcia de la instal·lació dels col·lectors descoberts, si és vol climatitzar una piscina és recomanable fer una instal·lació independent a la de l'ACS.

- **Sistemes d'emmagatzematge tèrmic estacional (STES)**

Aquests sistemes es basen en emmagatzemar l'energia solar tèrmica de l'estiu pel seu posterior ús en els mesos d'hivern, principalment suport a la calefacció quan la radiació de l'hivern és suficient per cobrir la demanda d'ACS. Aquests sistemes utilitzen grans acumuladors tèrmics subterranis i tota la instal·lació és complexa i costosa.

Actualment hi ha diversos projectes i plantes pilot per tal d'assolir l'objectiu real d'aquest tipus d'instal·lacions: cobrir tota la demanda tèrmica dels edificis a partir d'energia solar. Un exemple de projecte és el projecte EINSTEIN [13]. S'estan associant aquests sistemes al concepte de Smart City, amb l'objectiu de cobrir la demanda energètica tèrmica de les ciutats mitjançant energia solar.

### **5.1.2. Evitar l'acumulació d'excés d'energia**

Aquest grup de solucions afronten el problema a partir d'evitar que s'acumuli aquest excés d'energia a la instal·lació solar. Es presenten diferents alternatives que tenen com a punt comú la disminució de l'aprofitament d'energia tèrmica provinent de la radiació solar, ja sigui reduint l'efecte hivernacle o directament impedit que la radiació arribi a la placa.

#### **5.1.2.1. Disminuir l'efecte hivernacle**

Un equipo de investigadores de la Escuela Politécnica Federal de Lausana defineix un captador solar ideal com aquell capaç d'absorbir la calor fins a un punt i llavors reflectir els rajos del sol, igual que un mirall.

En l'estudi publicat per aquesta entitat el març del 2015 [14] mostra el resultat d'un material intel·ligent que aplicat sobre un substrat metàl·lic es pot obtenir una superfície amb una emissivitat tèrmica baixa en estat fred i alta emissivitat tèrmica en estat calent.

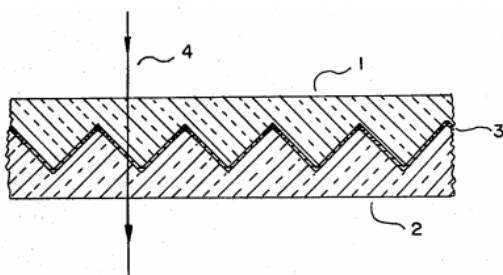
Aquest material crea un panell solar capaç de combatre les altes temperatures a partir de reflectir els rajos solars i per tant reduir l'efecte hivernacle. Tot i aquesta recent innovació al llarg dels anys s'han plantejat altres propostes per aconseguir aquest efecte.

▪ **Patent US 4148563A: Transparent or reflective panel**

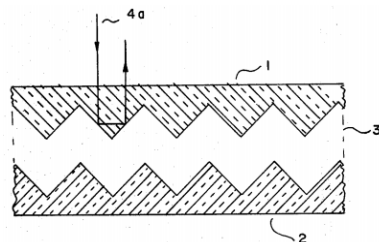
Aquesta invenció es basa en el principi òptic de la reflexió interna total. Aquest fenomen òptic es produeix quan un raig de llum vol travessar un medi amb índex de refracció  $n_2$  menor que l'índex de refracció  $n_1$  en del medi on es troba, amb un angle d'incidència superior al valor crític  $\theta_c$ . El raig es refracta de tal manera que no és capaç de travessar la superfície entre els dos materials reflectint-se completament.

Es presenten diversos dissenys. El més simple funciona només per un angle d'incidència determinat. Consta d'una primera capa (1) d'un material transparent amb la seva superfície inferior moldejada en forma de cresta de V amb  $90^\circ$ . Una segona capa (2) del mateix material està moldejada per la part superior amb crestes que encaixen perfectament amb les de la primera capa. Entre aquestes dues capes s'introdueix una fina pel·lícula de líquid (3).

A la figura 5.1 el fluid està en estat líquid, les dues capes es mantenen unides i, com que l'índex de refracció de totes les parts són semblants, els rajos de llum poden travessar la superfície. A la figura 5.2 el fluid està en vapor, separa les dues capes i es produeix la reflexió interna a la primera capa transparent, implicant així la penetració dels rajos de llum a l'interior del col·lector.



**Figura 5.1** Situació on s'absorbeix la radiació solar.



**Figura 5.2** Situació on es reflecteix la radiació solar

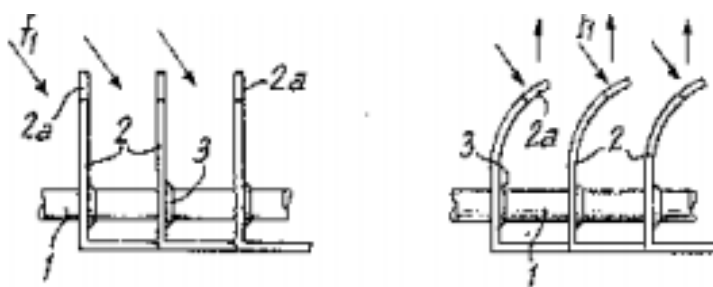
El correcte funcionament i implementació d'aquesta invenció es veu condicionada per diversos factors. Per una banda si les superfícies de contacte no es corresponen totalment, es podria requerir una forta força de buit per ajuntar-los, i aquesta pressió reduïda disminuiria el punt d'ebullició del líquid. D'altre banda la quantitat de fluid ha d'estar

estrictament controlada, ja que condensat ha de ser suficient per omplir tots els buits entre les diferents superfícies de contacte i en estat gas ha de generar una pressió controlada, que no separi massa les capes ni trenqui el panell. També caldria que les diferents capes de material transparent també fossin elàstiques.

- **Patent: FR2506913 Dispositif a pouvoir reflecteur variable en fonction de la temperature**

La invenció proposa diversos dissenys d'absorbidors, tots basats en elements de diferents formes fabricats amb materials de forma variable amb la temperatura. Aquests materials, són compostos bimetàl·lics amb diferents coeficients d'expansió o al·leacions de memòria de forma.

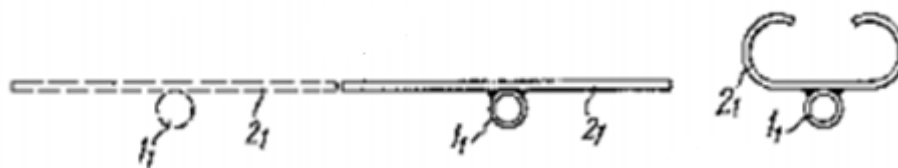
Un primer disseny es mostra a la figura 5.3. Les aletes (2) estan fetes d'un material amb memòria de forma i estan recobertes de pintura negra absorbent excepte en els seus extrems, que s'han pintat d'un material reflectant. En funcionament normal les aletes estan en posició vertical, la radiació arriba a elles i aquestes transmeten la calor al fluid que circula pels tubs (1). Quan la temperatura arriba a nivells alts, les aletes es deformen i es doblen espontàniament de manera que la part reflectant d'aquestes queda totalment exposada a la radiació solar i la reflecteix. A més a més fan una part d'ombra i tot això limita la quantitat de calor absorbida.



**Figura 5.3** Absorbidor compost d'aletes verticals bimetàl·liques

Una geometria diferent basada en el mateix mètode seria la mostrada a la figura 5.4. Aquest absorbent té soldada una aleta (21) en sentit longitudinal sobre cada tub (20). Les aletes també estan fetes de materials amb memòria de forma, tenint la part exposada a la radiació solar pintada de color negre absorbent i el costat oposat reflectant.





**Figura 5.4** Absorbidor compost d'aletes horitzontals bimetàl·liques

### 5.1.2.2. Bloquejar la radiació solar directament

Una altre alternativa per solucionar el problema exposat és reduint l'àrea de captació quan hi ha excés de calor. Existeixen dues maneres d'enfocar aquesta alternativa: disseny de la instal·lació tenint en compte la variació de la posició del sol en funció de l'estació i els sistemes de fundes o cortines que tapen directament el col·lector.

- **Angle d'inclinació dels col·lectors alt**

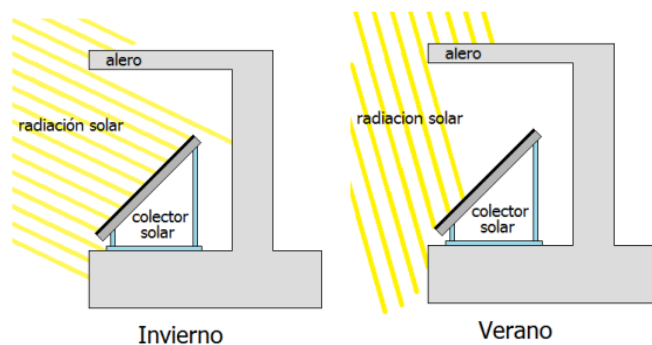
Aprofitant la diferència d'altura solar en les diferents estacions de l'any, aquesta solució consisteix en col·locar els col·lectors amb un angle d'inclinació més alt per tal de captar preferentment la radiació a l'hivern, de manera que a l'estiu els rajos caiguin amb major inclinació i s'aprofitin menys.

Cal realitzar un estudi complert de les necessitats energètiques que cal satisfer abans d'aplicar aquest tipus de mesures, ja que poden limitar l'aprofitament energètic. D'altra banda no garanteix una solució eficaç, només pal·lia el problema.

- **Ràfecs**

Mitjançant la disposició estratègica de ràfecs sobre els col·lectors, és possible reduir la radiació solar que cau sobre ells a l'estiu. Aquest sistema aprofita la major perpendicularitat dels rajos d'estiu per projectar l'ombra del ràfec sobre el col·lector disminuint l'àrea de treball d'aquest. D'altra banda, com que a l'hivern l'alçada dels rajos és menor, no es projecta ombra sobre el col·lector treballant tota l'àrea de captació. A la figura 5.5 es mostra aquest efecte.

Aquest sistema presenta els mateixos inconvenients que l'anterior, a més d'una aplicació molt condicionada per l'estructura dels edificis.



**Figura 5.5** Ràfecs com a prevenció contra el sobreescalfament (ACEGranollers [15])

- **Fundes**

Una manera evident de d'evitar el sobreescalfament és tancar els col·lectors solars anul·lant així la incidència de radiació solar. Al mercat hi ha dos tipus de sistemes: tancar manualment els col·lectors amb fundes i mitjançant persianes automàtiques.

- **Fundes manuals**

Consisteix en cobrir els col·lectors manualment mitjançant fundes fetes a mida. És una de les alternatives més econòmiques i eficaces, tot i que presenta un gran inconvenient evident: es necessita accés segur i personal capaç d'accedir a la zona dels col·lectors i cobrir-los.

D'altra banda no permet una coberta parcial dels col·lectors, i a causa de l'inconvenient descrit anteriorment els fabricants recomanen cobrir una part dels col·lectors durant tota la temporada d'estiu, estant l'altre part exposada a temperatures extremes.

Un dels principals distribuïdors d'aquest tipus de fundes és Solarmapu [17], a la figura 5.6 es pot veure un dels seus productes.



**Figura 5.6** Funda per cobrir els captadors (Solarmapu [17])

- **Persianes automàtiques**

Consisteix en instal·lar persianes motoritzades a la part superior del captador que els cobreixin davant condicions extremes, controlada automàticament o manualment mitjançant un posador elèctric.

Un dels fabricants d'aquestes persianes és Kubertor [18], a la figura 5.7 es mostra una persiana motoritzada d'aquesta marca. Aquesta tela, feta a mida per cada captador, està situada a la part superior unida per un extrem a un eix giratori amb un motor acoblat i l'altre extrem està unida a una barra horitzontal amb rodes als seus extrems que giren sobre uns carrils guia.



**Figura 5.7** Persiana motoritzada Kubertor (Font [18])

El sistema de control automàtic es basa en dues sondes de temperatura, una que indiqui la temperatura mínima de l'acumulador i l'altre la màxima. Quan la temperatura màxima és massa elevada s'activa un relé de baixada de la persiana, mentre que quan es detecti una temperatura mínima suficientment baixa s'activa un relé de pujada de la persiana.

Aquests sistemes permeten limitar de manera precisa la temperatura màxima del captador i a la vegada el protegeixen d'altres agents atmosfèrics. Tot i això poden presentar problemes quan es col·loquen en zones amb forts vents. El principal problema que presenten però és aconseguir que es desenrotllin sobre el captador, ja que la inclinació d'aquests respecte el pla horitzontal és com a molt 45° i la força del pes pot no ser suficient. D'altre banda la tela utilitzada ha d'aguantar temperatures molt elevades, sense deformar-se i mantenint-se tensada en tot moment.

A continuació s'exposen un seguit de patents que aporten innovacions que milloren el funcionament d'aquests sistemes i altres alternatives.

- **Patent ES1151111U (Modelo de utilidad): Persiana de protección para paneles solares**

L'objectiu d'aquesta patent és una descripció tècnica detallada del funcionament d'una persiana motoritzada per tal d'aconseguir que es desplegui sobre la placa de manera eficient.

Aquesta persiana està formada per un conjunt de lamas que discorren entre unes guies laterals. Per un extrem estan enrotllades en un eix incorporat en una caixa a l'extrem superior del captador on hi ha el motor giratori. A la part inferior del captador hi ha una segona caixa que incorpora un segon eix amb un motlle recuperador i cables tensors units a l'extrem inferior de la persiana que dirigeixen i tiren d'ella aconseguint així un desplegat òptim.

- **Patent ES1072793U (Modelo de Utilidad) Panel solar térmico con dispositivo para generación de energía eléctrica fotovoltaica y protección contra sobrecalentamiento.**

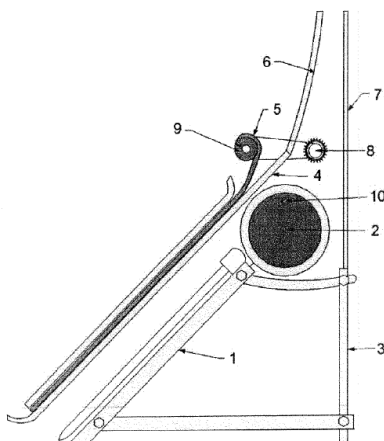
Aquesta invenció presenta un model d'utilitat que proposa una placa solar tèrmica amb una persiana de protecció contra el sobreescalfament feta d'un material amb propietats fotovoltaiques. D'aquesta manera, quan la cortina estigui abaixada protegint el captador tèrmic del sobreescalfament aprofitarà la radiació solar incident per generar electricitat.

- **Patent ES2296488A1 Protección de cortina para placas solares**

La novetat que aporta aquesta invenció als sistemes de protecció mitjançant persianes automàtiques és que incorpora uns deflectors que, juntament amb la cortina, creen un canal de refrigeració.

La cortina s'instal·la sobre un bastidor amb dues guies laterals per on discorre la tela. Aquesta cortina s'enrotlla i es desenrotlla sobre un tambor que gira gràcies a la força d'un motor. D'altra banda s'inclouen dos deflectors a la part superior, un totalment vertical i l'altre lleugerament corbat. A la figura 5.8 s'il·lustra aquesta estructura.

Quan els sensors detecten perill de sobreescalfament i la cortina es desenrotlla cobrint totalment el captador. En aquest punt la combinació de la cortina abaixada amb els dos deflectors crea una secció de flux més gran per la part inferior que per la part superior on s'hi crea un corrent d'aire que contribueix a la refrigeració de la placa. Això passa degut a la diferència de densitats de l'aire calent a la part superior i propera a la placa i l'aire fred de la part inferior.



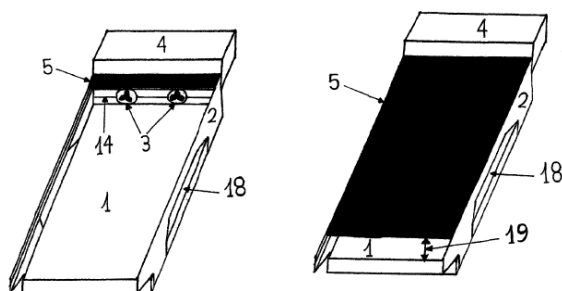
**Figura 5.8** Protecció amb cortina i canal de refrigeració

- **Patent ES24012120A1: Protector de cortina con refrigeración para placas solares**

Aquesta invenció és també proposa un sistema de protecció mitjançant cortines enrotllables i es caracteritza per incorporar elements dissipació de calor que formes un sistema de refrigeració actiu. Aquest sistema es mostra a la figura 5.9.

La novetat és que es disposen un conjunt d'extractors a la part superior, que quan hi ha perill de sobreescalfament i la cortina està abaixada, faciliten la circulació de l'aire.

El bastidor també pot presentar obertures laterals per facilitar la circulació de l'aire.



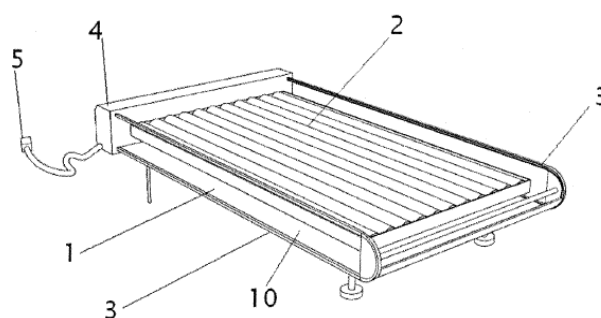
**Figura 5.9** Protecció amb cortina i dissipadors de calor

- **Patent ES2320842A1: Elemento de soporte de protección de dispositivos de aprovechamiento solares**

Aquesta invenció presenta un nou disseny per cobrir els col·lectors solars, mostrat a la figura 5.10. Proposa que una sèrie de rails en forma de U recorrin els laterals de la placa, tant els inferiors com els superiors, i que sobre aquests discorri el cos laminar flexible activat per sensors i un motor. A l'extrem inferior de la placa, a més dels rails, hi ha un cos cilíndric o diversos rodets que milloren el desplaçament de la tela.

Durant el funcionament normal de la placa la tela es troba a la part inferior de la placa. En aquesta posició l'element protector presenta una nova funció d'optimització de l'aprofitament dels rajos solars. Aquest element pot estar recobert d'un material que faciliti la reflexió per la seva cara interna, de manera que els rajos incidents s'aprofitarien de manera directe i pel reflex dels mateixos.

Quan els sensors detecten una temperatura de la placa massa elevada o absència de llum solar s'activa el motor i mitjançant la transmissió de la força motriu es col·loca la tela a la part superior del captador.

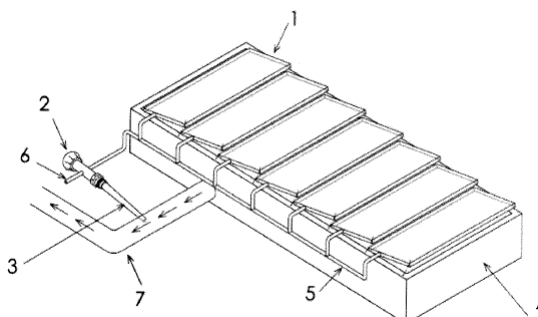


**Figura 5.10** Nou model de cortina

- **Patent ES2310470A1: Sistema de regulación de energía solar térmica**

Aquesta invenció presenta un nou model de persiana automàtica amb la característica que no consumeix energia elèctrica. El disseny es mostra a la figura 5.11. Està format per un conjunt de lames situades sobre la placa mòbils en un dels seus extrems que s'obren o es tanquen per regular el pas de la radiació incident. Aquesta cortina s'acciona gràcies a una bomba termostàtica immersa a la sortida del captador i funciona exclusivament amb energia tèrmica.

Totes les lames estan unides pel seu eix longitudinal a una platina, i aquesta està connectada a la sonda termostàtica, de manera que quan la sonda detecta la temperatura i indueix moviment a la platina gràcies a una palanca i d'aquesta manera les lames giren.



**Figura 5.11** Sistema de protecció passiu

- **Sistemes drain-back**

El principi que utilitzen aquestes instal·lacions per prevenir el sobreescalfament és que quan la bomba del circuit primari es para els captadors es buiden.

Quan la instal·lació està parada, l'aire tendeix a anar a la part més alta de la instal·lació, és a dir, cap als captadors, mentre que el líquid caloportador resta a l'intercanviador de calor. Si la temperatura del captador solar augmenta, no hi ha problemes d'excés de pressió, ja que l'aire es comprimeix i per tant cap element de la instal·lació pateix sobrepressió. Quan la bomba es posa en marxa, els captadors i el circuit solar s'omplen amb el líquid que empeny l'aire del sistema fins les espirals superiors del serpenti, dissenyades especialment per contenir-lo.

Els principals inconvenients d'aquest sistema són que l'altura màxima del circuit primari és de 15 metres, per tant no és aplicable en tots els casos. D'altra banda el fluid caloportador no queda exposat a temperatures elevades i s'eliminen problemes de pressions però els captadors sí que estan exposats a temperatures elevades, i això deteriora les seves propietats i per tant redueix el rendiment de la instal·lació.

### 5.1.3. Eliminar l'excés d'energia

Aquest grup de solucions eviten el sobreescalfament de la instal·lació a partir de dissipar l'energia sobrant, ja sigui mitjançant sistemes de refrigeració o bé augmentant les pèrdues de calor del col·lector.

#### 5.1.3.1. Sistemes de refrigeració

Aquest grup de sistemes elimina l'excés d'energia tèrmica captada o acumulada mitjançant algun dispositiu auxiliar o sistema alternatiu.

- **Refredament nocturn**

L'acumulador emmagatzema durant el dia l'excedent d'energia, elevat la seva temperatura. Per la nit, aquest excedent energètic es dissipa fent circular el fluid caloportador, que en absència de radiació solar es refredarà als captadors.

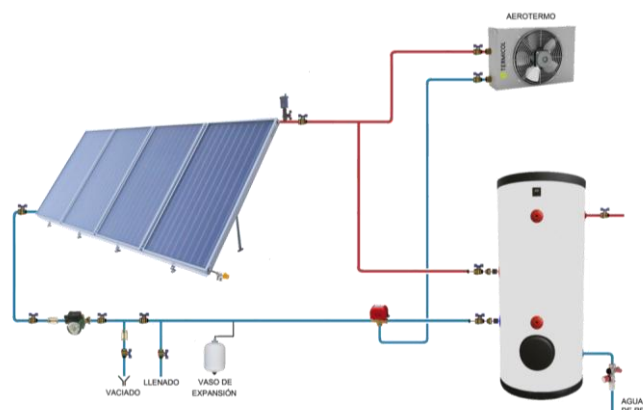
Aquest mètode no és eficaç per solucionar problemes de sobreescalfament instantanis ni derivats de l'estancament ja que no es pot dur a terme si falla el subministrament elèctric. D'altre banda implica un cost energètic molt elevat pel funcionament de la bomba de circulació.

- **Dissipadors dinàmics**

Es tracta de ventiladors que s'instal·len entre el captador i l'acumulador, preferiblement a l'exterior. A partir d'una vàlvula automàtica de tres vies obliga al fluid caloportador a desviar-se del circuit habitual i passar pel circuit alternatiu on es dissipa aquest excés de calor quan hi ha perill de sobreescalfament. A la figura 5.12 es mostra una instal·lació d'aquestes característiques.

Es tracta de sistemes que, si estan ben dimensionats, són molt eficaços. De fet és un dels mètodes més utilitzats actualment. Tot i això cal que la massa del fluid caloportador segueixi circulant, per tant, hi ha consum d'energia elèctrica. A més, com que la circulació de d'aire forçada és forçada el seu funcionament depèn del subministrament elèctric.

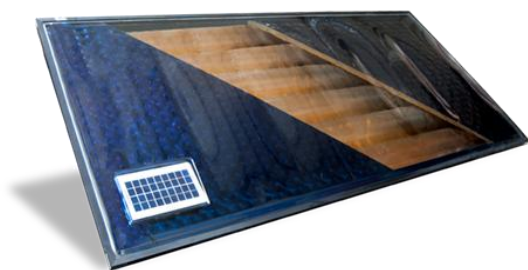




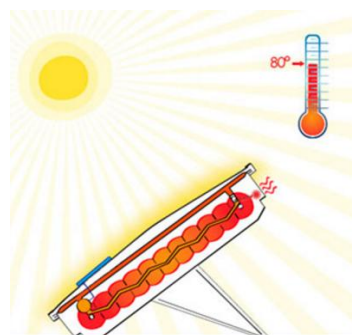
**Figura 5.12** Instal·lació amb sistema de dissipació dinàmica (Termicol [19])

El preu d'aquestes instal·lacions varia molt en funció de la potència de dissipació, essent al voltant de 850€ per 10m<sup>2</sup> de captadors.

Per tal de solucionar l'inconvenient del consum energètic existeixen captadors tèrmics que integren una petita placa fotovoltaica que genera l'energia necessària per funcionar. Un exemple és el model Oksol-150 [21] mostrat a la figura 5.14 i 5.13. Aquest captador incorpora tots els elements de la instal·lació dins seu, la bomba, l'intercanviador, un dissipador, etc. El dipòsit per tant té una capacitat molt limitada de 150 litres.



**Figura 5.14** Captador Orksol 150 (Orkli [21])

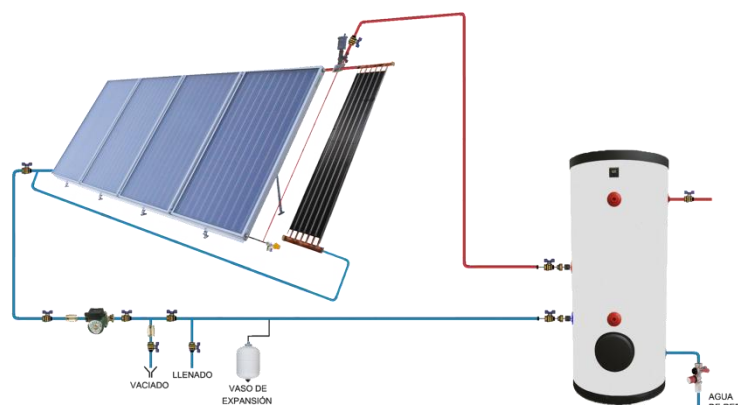


**Figura 5.13** Protecció contra el sobreescalfament Orksol 150 (Orkli [21])

- **Dissipadors dinàmics**

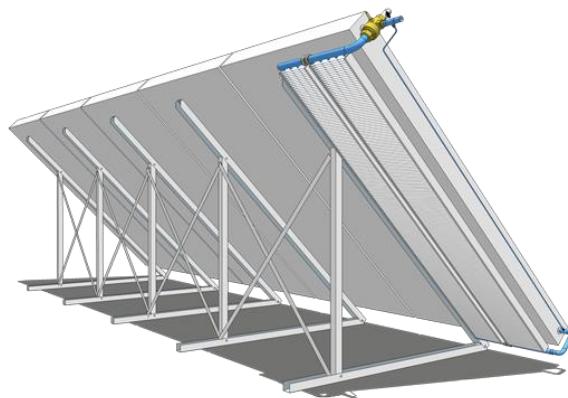
Els dissipadors passius s'instal·len juntament als captadors i no consumeixen electricitat, el seu funcionament està basat en la circulació natural. Pel seu principi de funcionament cal que s'instal·li al costat del captador. Els elements principals que el formen són una vàlvula

termostàtica de dissipació i la bateria de dissipació. A la figura 5.15 es mostra un esquema.



**Figura 5.15** Instal·lació amb sistema de dissipació estàtic (Termicol [19])

Aquests sistemes, igual que els dissipadors dinàmics també són dels més utilitzats actualment degut al seu bon funcionament. Tot i això en condicions extremes si el sistema no està ben dimensionat pot fallar. A més el captador no queda exempt d'estar exposat a temperatures elevades i l'absorbidor es pot malmetre reduint així el rendiment de la instal·lació. Un altre problema que presenta és l'impacte visual, és per això que molts fabricants opten per models com el de la figura 5.16, on el dissipador està darrere el captador.



**Figura 5.16** Dissipador estàtic (Konetsu [20])

El preu d'aquestes instal·lacions varia molt en funció de la potència de dissipació, essent al voltant de 500€ per 10m<sup>2</sup> de captadors.

### 5.1.3.2. Augment de les pèrdues de calor del col·lector

Aquestes solucions proposen sistemes que davant de temperatures molt elevades modifiquen algun paràmetre per augmentar les pèrdues i així dissipar més energia.

- **Patent US2002/0062828 A1: Solar Collector system**

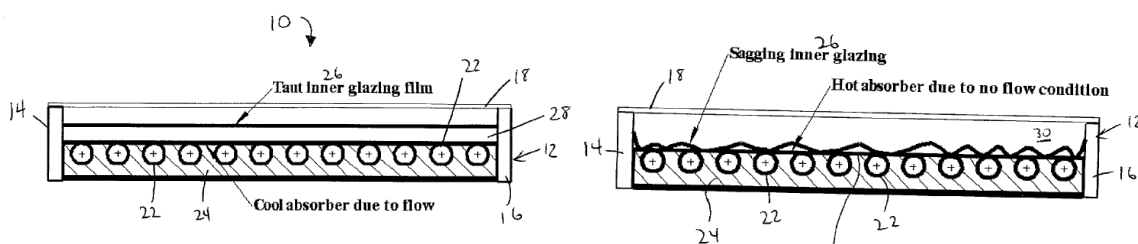
El sistema que presenta aquesta invenció es caracteritza per preveure el sobreescalfament mitjançant la transformació del col·lector solar de doble vidre durant el funcionament normal a un vidre quan hi ha perill de sobreescalfament. Això es fa mitjançant la col·locació d'una membrana transparent entre el vidre del col·lector i la placa absorbidora sistema mostrat a la figura .

El material d'aquesta membrana pot ser d'algun Tefló CLP, amb un aspecte de capa de vidre fina, mecànicament resistent, que pot suportar molts cicles tèrmics i que té un alt coeficient d'expansió tèrmica.

Durant el funcionament normal d'aquest col·lector la membrana està tensada i la radiació solar travessa aquest doble vidre (la coberta transparent i la membrana), escalfant l'absorbidor i en conseqüència el fluid que circula per l'interior dels tubs.

En els col·lectors solars de placa plana, durant l'estancament l'energia no pot passar de l'absorbidor al fluid caloportador degut a la semblança de temperatures, en canvi hi ha una gran diferència de temperatures entre l'absorbidor i la temperatura de l'aire ambient.

En aquesta invenció, quan la temperatura augmenta i hi ha perill de sobreescalfament del sistema, la membrana es torna flàcida i cau sobre la placa absorbidora del col·lector, estant les dues parts a una temperatura substancialment equivalent. D'aquesta manera es redueix de manera significativa la resistència entre l'absorbidor i l'aire ambient, ja que es passa de doble vidre a un de sol. Això es tradueix a una disminució de la temperatura d'estancament requerida per a dissipar l'energia solar absorbida.



**Figura 5.17** Sistema de protecció mitjançant una membrana transparent

- **Patent ES2424830: Captador solar con aislamiento transparente plástico y protección al sobrecalentamiento**

Aquesta invenció incorpora un sistema de protecció contra el sobreescalfament que consisteix en un aïllament tèrmic transparent mitjançant aïllants plàstics d'estructura alveolar, aplicable tant a captadors plans com captadors de baixa concentració.

En el cas dels captadors plans, proposa un captador solar de placa plana format per la carcassa, l'absorbidor amb els tubs soldats i la coberta de plàstic transparent amb una estructura alveolar tipus panell d'abella. Per la part posterior de l'absorbidor incorporarà un element integrat per tal de limitar la temperatura màxima.

Una opció és un canal de ventilació que evacui l'excés d'energia tèrmica. Aquest canal només s'obrirà en condicions d'estancament degut a les altes temperatures a l'absorbidor. S'obrirà i es tancarà mitjançant actuadors tèrmics.

L'altre consisteix en un dipòsit acumulador on s'emmagatzema un fluid o material caloportador que pot canviar de fase de sòlid a líquid en el procés d'absorció de calor per tal de tenir major capacitat calorífica.

## 6. Idees proposades

Durant tot el procés i especialment un cop finalitzada la cerca de solucions actuals s'han anat pensant idees i realitzat brainstorming per tal de generar idees i solucions noves, combinant els aspectes positius i que més interessants s'han trobat en les tècniques utilitzades actualment. A continuació s'exposen algunes de les propostes plantejades com a possible solució per desenvolupar-ne amb profunditat el disseny.

- **Heura o planta de fulla caduca**

L'energia solar és una energia renovable, per tant seria òptim trobar una solució “verda” al sobreescalfament en els mesos més calorosos. Aquesta idea sorgeix de respondre dues preguntes bàsiques: *Com es protegeixen els animals dels rajos del sol? Què tenim a l'estiu que no tinguem a l'hivern?* A l'estiu una bona protecció contra els rajos del Sol és buscar una ombra d'algun arbre. Les plantes de fulla caduca fan ombra a l'estiu però a l'hivern perden les fulles i deixen passar els rajos del sol. Es tractaria doncs d'evitar la incidència directe dels rajos del Sol sobre la placa a l'estiu, mitjançant l'ombra de plantes.

Es tracta d'una solució ecològica que genera un impacte ambiental positiu, però és una solució passiva, poc controlable i que possiblement necessitaria supervisió humana i manteniment constant. Tot i això, aquesta solució seria ideal per cobertes verdes, un bon exemple de disseny urbà multi funcional. Segons la Guia de terrats vius de l'Ajuntament de Barcelona [12] les cobertes verdes formen part d'un *“Un sistema constructiu que té un acabat vegetal sobre gruix de terra o substrat i és concebut especialment per obtenir beneficis ambientals. En aquest sistema, la cobertura de vegetació pot ser total o parcial amb tecnologies de construcció per millorar l'hàbitat o estalviar consum d'energia, és a dir, tecnologies que compleixen una funció ecològica. A més, les cobertes verdes són un entorn ideal pels panells solars, ja que muntats sobre una coberta verda poden produir fins a un 16% més d'energia, ja que les plantes actuen com a sistema natural de refredament per als panells. Les cobertes verdes també ajuden a eliminar els contaminants de l'aire, ja que impedeixen que les partícules en suspensió es fixin a les cèl·lules solars.”*

En aquest entorn seria possible instal·lar captadors que es protegissin del sobreescalfament a través de l'ombra de plantes. Tot i que existeixen moltes configuracions possibles, alguna alternativa seria situar els captadors solars sota arbres de fulla caduca que fessin ombra

sobre el captador a les hores de més radiació solar. Una altre alternativa seria instal·lar una reixa metàl·lica on s'enredés una heura de fulla caduca de manera que a l'estiu bloquegés la radiació solar.

- **Persiana motoritzada enrotllada amb alimentació pròpia.**

L'objectiu d'aquesta idea és la implementació d'un sistema de protecció eficaç i que a la vegada no consumeixi energia. Aquest sistema, és semblant al que utilitza Kubertor, que fabrica plaques planes amb una petita placa fotovoltaica instal·lada que alimenta el dissipador actiu. Els dissipadors actius necessiten que el fluid caloportador circuli per tal de poder dissipar la calor, per tant el consum elèctric no queda totalment cobert.

L'element principal seria una persiana motoritzada simple, semblant a les actuals. La innovació seria que tindria un sistema de generació elèctrica propi, basat en una placa fotovoltaica instal·lada a la part superior del captador, sobre a la caixa que guarda la cortina enrotllada. La caixa podria ser cilíndrica i incorporar una petita bateria que emmagatzemi l'energia necessària per pujar i baixar la persiana. D'altre banda, al ser cilíndrica podria rotar sobre el seu eix quan la bateria estigués plena deixant la cel·la fotovoltaica a la part posterior amb ombra, i així evitar el deteriorament de l'equip.

- **Persiana de lamas fixes de material fotovoltaic**

Quan hi ha perill de sobreescalfament de la instal·lació és en períodes de forta incidència de radiació solar, per això hi ha aquest excés d'energia tèrmica. D'altre banda, durant aquests períodes la demanda d'electricitat continua sent important i les plaques fotovoltaiques estan en ple funcionament. S'ha pensat en un sistema per aprofitar la radiació solar que provoca el sobreescalfament en les instal·lacions solars tèrmiques per generar electricitat mitjançant energia fotovoltaica.

Aquesta idea està inspirada en la patent ES2310470A1 i la patent ES1151111U. La patent ES1151111U descriu una persiana enrotllable de material fotovoltaic. Això presenta evidents dificultats d'implementació, principalment l'existència d'un material fotovoltaic tant flexible com el requerit. D'altre banda, la patent ES2310470A1 proposa un sistema de lamas fixes, de manera que si aquestes estiguessin recobertes per una banda d'un material fotovoltaic es reduiria la dificultat d'implementació.

El sistema podria incloure un sistema de seguiment solar, de manera que durant el funcionament normal de la instal·lació solar tèrmica les lames es posicionessin paral·lelament al sol deixant passar els rajos. La situació contrària es produiria davant el perill de sobreescalfament, on les lames es col·locarien paral·lelament a la placa impedit la radiació penetrar a la placa solar tèrmica i impactar a les plaques fotovoltaïques de les lames.

- **Protecció amb persiana i refrigeració amb aigua**

Una possibilitat per refredar un cos calent és posar-lo en contacte amb un element més fred, com pot ser l'aigua. La base d'aquesta idea és la utilització de l'aigua per refredar la placa davant el perill de sobreescalfament.

Un sistema de protecció contra el sobreescalfament "elimina energia", per tant seria ideal que no es consumís energia extra. Per aquest motiu l'aigua utilitzada pel refredament podria ser recollida de la pluja i emmagatzemada en un dipòsit a la part superior del captador, de manera que quan calgués caigués per efecte de la gravetat sobre el captador refredant-lo.

D'altra banda en períodes de forta i llarga insolació es podria consumir molta aigua o no ser un sistema prou eficient. A més, cal tenir en compte que a l'estiu les precipitacions són sovint escasses per tant l'aigua es podria acabar. Una alternativa per solucionar aquest problema seria la implementació d'una cortina d'un material flexible i alhora capaç de condensar la humitat de l'aire o la boira. Des de fa més de 50 anys existeixen malles especials que retenen les minúscules gotes d'aigua que floten a l'aire, anomenades "atrapaboira".

Amb aquest sistema, desplegant la cortina a la nit s'augmentaria la captació d'aigua i davant el perill de sobreescalfament l'aigua refredaria la seva superfície i a la vegada la cortina es desplegaria impedit que continuï penetrant radiació sobre el captador i, per tant, també disminuiria la quantitat d'aigua requerida per refredar.

- **Tela aïllant amb doble funció.**

Aquesta idea es basa en l'aprofitament de material per a una doble funció, inspirada en la patent K i en les mantes isotèrmiques de supervivència, que protegeixen contra el fred i contra la calor.

Es tracta d'una tela material aïllant que tingui utilitat tant a l'hivern quan les temperatures

són baixes i cal minimitzar al màxim les pèrdues de calor i a l'estiu quan s'arriba a temperatures massa elevades i cal evitar el sobreescalfament del sistema.

La placa estaria envoltada per unes guies en forma de U per on es mouria la tela. La posició habitual de la tela seria col·locada a la part posterior de la placa, disminuint així les pèrdues de calor per conducció. Quan hi ha perill de sobreescalfament a la instal·lació, l'aïllament posterior perd importància i cal disminuir la calor que rep el fluid caloportador, així que la tela es mouria a la part de davant impeding la incidència dels rajos.

Aquest sistema permet disminuir el gruix de l'aïllant a la part posterior de les plaques reduint d'aquesta manera els costos, i compensar aquesta disminució de material amb la tela aïllant, optimitzant així la quantitat de material utilitzat i obtenint en aquest aspecte els mateixos resultats òptims.

- **Plaquetes reflectores a l'interior del captador**

Aquesta idea persegueix la definició de captador ideal és capaç d'absorbir la calor fins a un cert punt i que després reflecteixi els rajos solars incidents s'ha pensat amb el conjunt de solucions exposades anteriorment a l'apartat 7.1.2.1.

La patent FR2506913 utilitzen un material absorbidor bimetàl·lica que canvia les seves propietats amb la temperatura. La solució plantejada consisteix en un seguit de plaques reflectores col·locades entre l'absorbidor i la coberta transparent, que governades per un element bimetàl·lic permeten o bloquegen el pas de la radiació solar a l'interior de la placa.

## 6.1. Elecció de la solució

Un cop plantejades les diferents opcions s'ha avaluat la viabilitat de cada una per tal d'elegir una alternativa i desenvolupar el disseny en profunditat. Els criteris principals s'han basat en la simplicitat de la solució, la fiabilitat, la presència o no de consum energètic, la necessitat de manteniment i la versatilitat de la solució.

En la primera opció es planteja l'aprofitament de l'ombra dels arbres per impedir la incidència dels rajos solars sobre el captador. És una opció amb aspectes positius, però a l'hora la dificultat de control i la demanda de manteniment fan inviable aquesta alternativa en la majoria dels casos. Tot i això, tal com s'exposa pot ser una opció vàlida per espais concrets, com els terrats i cobertes verds.



Pel que fa a la persiana motoritzada amb alimentació pròpia és una opció vàlida, però aporta poca innovació ja el disseny de les persianes està molt explotat i la principal novetat que aportaria aquesta solució seria la incorporació de la placa fotovoltaica com a font d'energia elèctrica.

La persiana amb lamas fixes de material fotovoltaic aporta un aspecte molt interessant que és la generació d'energia elèctrica durant la prevenció de sobreescalfament. Tot i això, presenta una difícil implementació tècnica. A més, tot i ser un sistema fiable i versàtil, seria molt costós, i segurament no seria rentable.

Pel que fa a la protecció amb persiana i refrigeració amb aigua també es tracta d'un sistema complex, i tot i que segurament més econòmic que les lamas fotovoltaïques seria menys versàtil, ja que el sistema de refrigeració per aigua pot fallar si no s'aconsegueix captar prou aigua i també pot ser poc eficaç.

La tela aïllant amb doble funció té com a part positiva l'aprofitament de material i per tant la reducció d'impacte ambiental i de costos. D'altra banda és un sistema versàtil però la seva implementació és difícil, ja que l'aïllament dels captadors són parts molt sòlides i no poden ser font de pèrdues.

Un cop descartades la resta de propostes la solució elegida per ser desenvolupada en detall han estat les plaquetes reflectores a l'interior del captador. Es tracta d'una solució versàtil i eficaç, ja que bloqueja totalment la incidència dels rajos solars a l'absorbidor i està implementada a l'interior del captador. És una solució passiva, que no consumeix energia elèctrica, i també molt senzilla, per tant serà econòmica.

## 7. Disseny final

Després d'estudiar l'estat de la tècnica actual i valorar les diferents idees que han sorgit al llarg de tot el procés s'ha optat per un model i s'ha realitzat un disseny detallat de la solució.

Seguint amb la idea de que el captador ideal és aquell que és capaç d'absorbir la calor fins a un punt i després reflectir-la, s'ha re dissenyat un captador de placa plana, modificant algun dels seus paràmetres per tal d'aproximar-lo una mica més a aquest ideal mitjançant el sistema de plaquetes reflectores a l'interior del captador.

Les característiques que s'han considerat més importants alhora de dissenyar aquesta invenció han estat les següents:

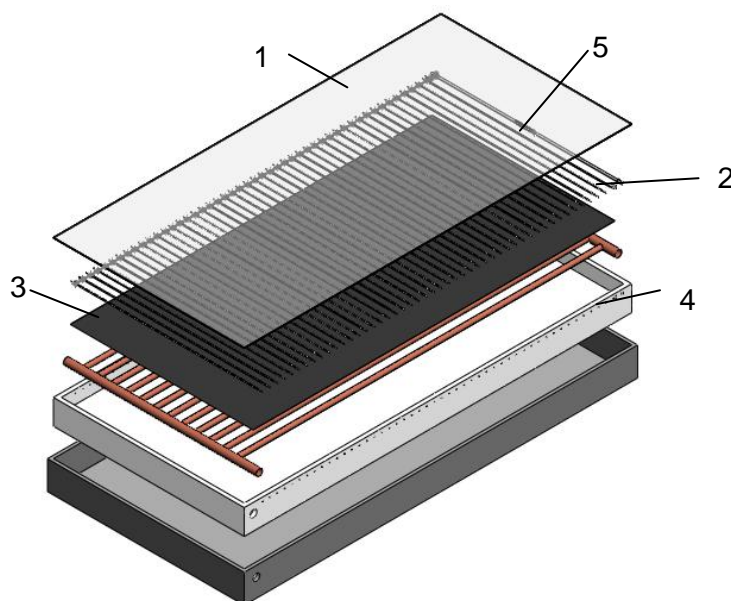
- Màxima senzillesa possible per tal de no complicar més el sistema, aconseguint a la vegada una fabricació més senzilla i per tant menys costosa.
- Que no afecti el rendiment del col·lector els mesos d'hivern, on no hi ha excés de radiació solar.
- Funcionament totalment automàtic.
- Dispositiu passiu, que no consumeixi energia elèctrica.

Integrat en el col·lector per tal d'evitar una instal·lació més complexa i garantir que sigui aplicable en tots els casos.

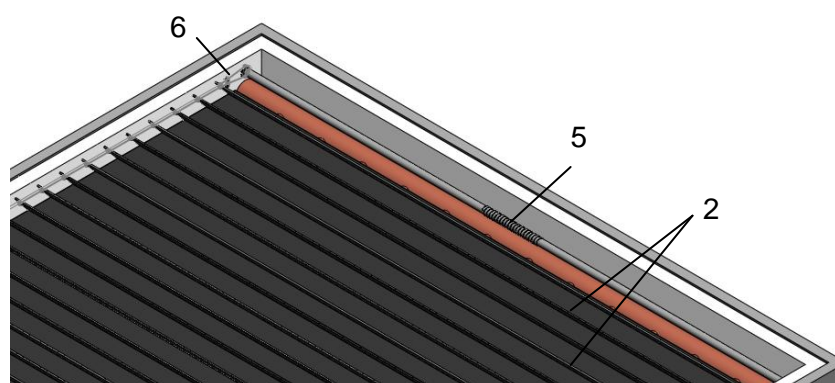
### 7.1. Descripció de la invenció

El disseny que es proposa s'emmarca dins el grup de solucions que impedeixen el sobreescalfament de la instal·lació solar a partir de reduir l'efecte hivernacle que es produeix al captador durant el funcionament normal i, gràcies al qual, s'escalfa el fluid caloportador. A les figures 7.1 i 7.2 es mostra aquesta invenció.

El sistema consta d'un seguit de plaquetes reflectores rectangulars (2) situades entre l'absorbidor (3) i vidre (1), disposades horitzontalment sobre el captador i amb els dos extrems units als laterals de la placa (4) mitjançant articulacions giratòries. La funció d'aquestes plaquetes reflectores és impedir que la radiació solar arribi a l'absorbidor i, per tant, evitar que segueixi augmentant la temperatura del captador, quan hi ha perill de sobreescalfament de la instal·lació.



**Figura 7.1** Disseny 3D del sistema dissenyat



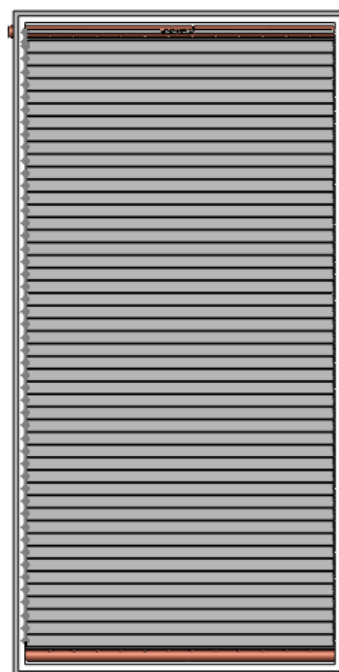
**Figura 7.2** Part superior del captador sistema dissenyat

A la figura 7.3 es mostra la posició de les plaquetes durant el funcionament normal de la instal·lació. Aquestes plaquetes estan encarades gairebé perpendicularment al captador, de manera que la radiació solar penetra al captador i impacta contra l'absorbidor produint-se l'efecte hivernacle. Aquesta posició es pot regular des de l'exterior en funció de la ubicació del captador per tal de que les plaquetes no afectin al seu rendiment. En elevar-se la temperatura per sobre un valor determinat, les plaquetes comencen a girar fins quedar totalment paral·leles sobre el captador, tal com es mostra a la figura 7.4. En aquesta situació, com que les plaquetes són d'alumini polit i per tant tenen una reflectància molt elevada, els rajos solars que penetren al captador solar surten reflectits abans d'arribar a l'absorbidor, i per tant, el sistema no s'escalfa més.

Aquest sistema de protecció s'activa automàticament a través de l'acció d'una molla bimetal·lica (5), que canvia la seva forma en funció de la temperatura. Aquesta molla està unida per un extrem a la part superior de la graella de tubs per on circula el fluid caloportador, mentre que l'altre part es troba solidària a un eix giratori. Els canvis de temperatura del fluid caloportador es transmeten a la molla i aquesta es deforma, transmetent aquesta rotació a les plaquetes reflectores a través d'un petit sistema d'engranatges (6). Es tracta doncs d'un sistema passiu, ja que no consumeix energia elèctrica per funcionar.



**Figura 7.3** Situació on les plaquetes reflectores no actuen



**Figura 7.4** Situació on les plaquetes reflectores impedeixen el sobreescalfament

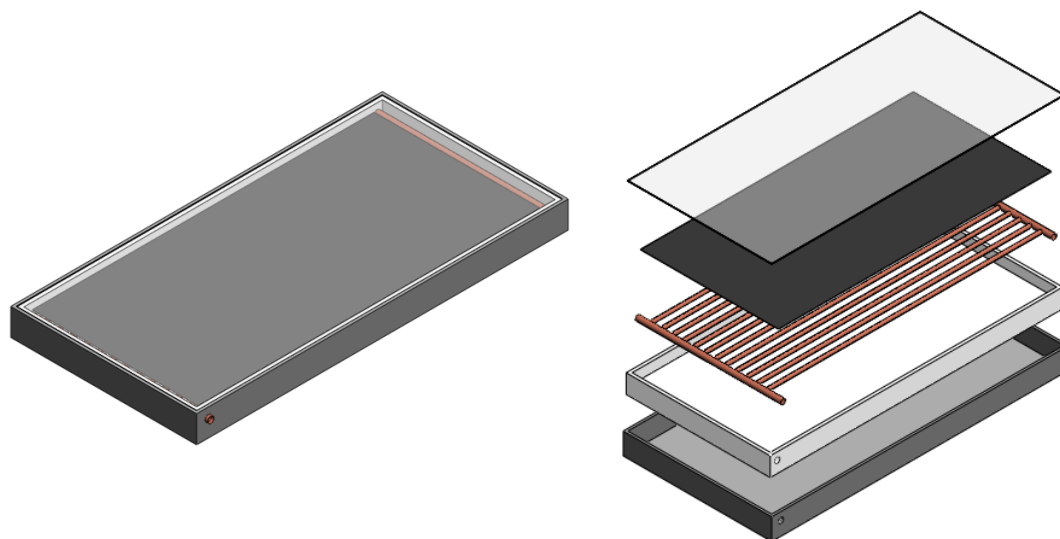
## 7.2. Captador pla

L'objectiu de la invenció no és dissenyar des de zero un captador nou, sinó a partir dels captadors que estan actualment al mercat modificar-ne alguns paràmetres i afegir mecanismes per tal de protegir-los de manera eficaç contra el sobreescalfament.

Per tal d'establir les mides del captador model que s'utilitzarà com a base per dimensionar la resta del sistema s'han consultat diversos catàlegs, treballs i estudis que analitzen el

rendiment d'aquests col·lectors. Principalment s'han considerat les característiques i les dimensions dels col·lectors de les següents dues fonts: un col·lector dissenyat en el llibre Energia solar tèrmica [1] que en el pitjor dels casos obté un rendiment del 49% i el catàleg tècnic de captadors Maxol [2] que asseguren presentar un rendiment de gairebé el 80%.

El captador dissenyat es mostra a la figura 7.5. Té els tubs en paral·lel, soldats a la placa absorbidora per la part inferior.



**Figura 7.5** Captador dissenyat

Tot i que s'ha elegit aquesta disposició, la solució proposada no queda limitada a aquest tipus de tubs i a aquesta posició tubs-absorbidor, essent també aplicable en les altres models de captadors plans.

A la taula 7.1 detallen les dimensions i característiques del captador dissenyat:

<b>Carcassa</b>		<b>Coberta transparent</b>	
Longitud	2m	Àrea	1.9101m <sup>2</sup>
Amplitud	1m	Gruix	3mm
Altura	145mm	Material	Vidre solar
Gruix xapa	1.5mm		
Material	Alumini		

<b>Aïllant</b>		<b>Placa absorbidora</b>	
Gruix posterior	60mm	Àrea placa	1.7112m <sup>2</sup>
Gruix lateral	20mm	Gruix	0.5mm
Material	Llana mineral	Material	Coure amb revestiment selectiu
<b>Tubs</b>			
Tubs absorbidors	12	Tubs col·lectors	2
Diàmetre exterior	22mm	Diàmetre exterior	35mm
Diàmetre interior	20mm	Diàmetre interior	32mm
Material	Coure		

**Taula 7.1** Dimensions del captador dissenyat

Un paràmetre a destacar d'aquests captadors que influeix en el rendiment i que a la vegada és important pel disseny del sistema de prevenció contra el sobreescalfament és l'espai d'aire que existeix entre la placa absorbidora i la coberta transparent. Aquest aire, relacionat amb molts altres paràmetres, influeix en el càlcul de pèrdues tèrmiques per convecció i a la vegada limita les dimensions de les plaquetes giratòries.

En el disseny elaborat s'ha obtingut un espai d'aire de 38mm. Per tal de comprovar que el col·lector dissenyat permet la incorporació de la invenció sense que a la vegada s'hagin modificat dimensions que puguin afectar al seu rendiment s'han consultat diversos estudis que analitzen el rendiment dels captadors de placa plana amb coberta transparent i tractament selectiu en funció d'aquest espai d'aire. Un estudi realitzat per la Ain Shams University [3] d'un espai d'aire d'entre 20mm-50mm. D'altre banda un altre estudi realitzat per la Monash University [4] estudia els col·lectors amb doble vidre i determina un espai d'aire de 40mm entre l'absorbidor i el primer vidre i 20mm entre els dos vidres.

Tot i que són molts els paràmetres que afecten al rendiment d'un col·lector el captador dissenyat es un model representatiu i realista en el qual s'implementarà el sistema de prevenció contra el sobreescalfament procurant en tot moment no afectar el rendiment del col·lector.

### 7.3. Plaquetes reflectores

Les plaquetes giratòries són les encarregades de reflectir la radiació solar quan hi ha perill de sobreescalfament de la instal·lació. D'altre banda, durant el funcionament normal de la instal·lació les seves cares planes són gairebé perpendiculars als rajos del sol per tal de

deixar passar la màxima radiació possible.

Pel que fa al material de les plaques cal que tingui una absorbància molt baixa per tal de reflectir la radiació solar en la posició de protecció contra el sobreescalfament. Els metalls polits presenten una superfície molt poc absorbent. D'altre banda cal que sigui un material que suporti altes temperatures sense deformar-se. També cal que sigui un material resistent a la oxidació, rígid, econòmic i el més lleuger possible.

Per tal de d'elegir un material que compleixi les característiques necessàries s'ha comparat l'alumini i l'acer inoxidable. L'alumini és el segon metall més lleuger després del magnesi i, recobert per una fina capa d'òxid és inalterable a l'aire i al vapor d'aire. A més, la seva gran ductilitat i mal·leabilitat permeten trefilar-lo en fils molt prims i laminar-lo làmines molt primes. D'altre banda l'acer inoxidable, tot i ser més pesat, té una molt bones propietats mecàniques. A més, no requereix de cap tractament superficial per millorar la resistència a la corrosió ja que conté crom suficient que garanteix aquesta propietat. A la taula 7.2 es comparen algunes de les propietats principals.

	<b>Acer inoxidable</b>	<b>Alumini</b>
<b>Densitat (kg/ m<sup>3</sup>)</b>	7900	2700
<b>Mòdul elàstic (GPa)</b>	190-195	69 - 73
<b>Dilatació tèrmica (10<sup>-6</sup> °C<sup>-1</sup>)</b>	10,1 – 17,3	20 - 25

*Taula 7.2 Propietats de l'acer inoxidable (Font [15]) i l'alumini (Font [8])*

Les plaquetes estan disposades horitzontalment, de manera que cada extrem està unit al lateral, per tant tenen una llargada considerable. D'aquesta manera, l'únic grau de llibertat disponible és la rotació sobre aquest eix, per tant, no hi haurà moment torçor. L'amplada de les plaques està directament limitada per l'espai disponible entre la superfície interior del vidre i la cara superior de l'absorbidor, ja que quan deixen passar la radiació solar estan gairebé perpendiculars a aquesta superfície. Cal aprofitar tota aquesta longitud ja que com més amplada tinguin, menys plaques es necessitaran per cobrir tota la superfície de l'absorbidor. Finalment el seu gruix ha de ser el mínim possible, ja que en la posició de no protecció han de cobrir la mínima part de la placa absorbent per tal de no disminuir de manera significativa l'absorció. Es tracta doncs de peces llargues i primes articulades al seus extrems, on la principal força que actua és el seu propi pes. El principal problema que poden presentar aquestes peces és la flexió deguda al pes del material, per tant el disseny

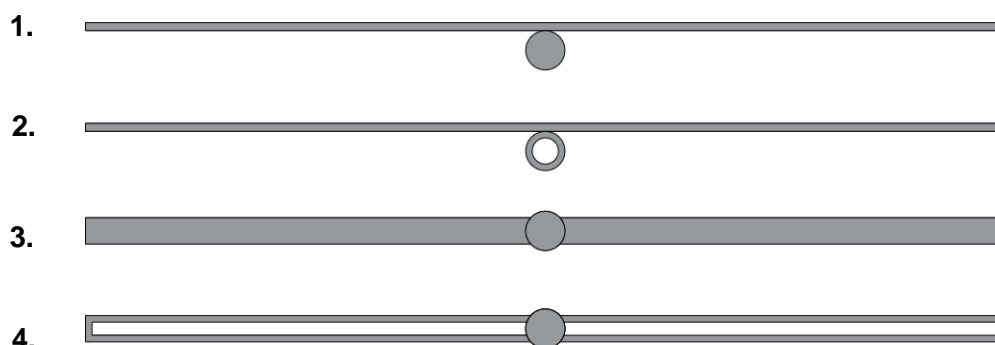
d'aquests elements ha de preveure aquest problema.

Finalment, per dimensionar aquests elements s'han tingut en compte els següents requisits:

- Màxima amplada disponible (limitada per l'espai entre la placa absorbidora i el vidre).
- Mínim gruix possible.
- Evitar deformacions i desplaçaments.

S'han presentat quatre models i s'ha realitzat un petit estudi comparant-los i estudiant els desplaçaments màxims de cada un d'ells, per tal de fer una estimació de les dimensions de la peça per tal que compleixi la seva funció i els requisits mencionats. Cada model s'ha simulat amb els dos possibles materials seleccionats, l'acer inoxidable i alumini. A la figura 7.6 es mostren els diferents perfils estudiats.

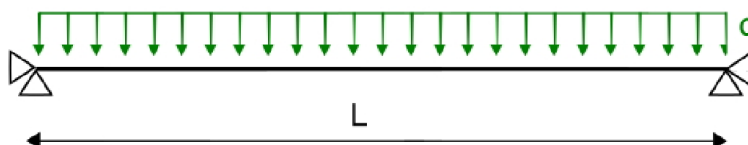
- 1- Es tracta d'una peça formada per dues parts: l'eix central de rotació i una placa rectangular molt prima. L'eix central que és el que aguanta els esforços i aporta la rigidesa al conjunt, deixant només a la placa la funció de reflectir la radiació solar. Així doncs, en aquest model es pot depreciar la placa.
- 2- Es tracta de la mateixa peça que al model 1 amb el perfil de l'eix central tubular en lloc de massís.
- 3- Es planteja una sola peça rectangular amb els dos extrems superior i inferior cilíndrics per poder-ho unir al lateral de la peça i que permeti la rotació. Depreciant els trams cilíndrics dels extrems, en aquest model el perfil de la secció és rectangular.
- 4- Es tracta de la mateixa peça que al model 3 amb perfil tubular rectangular.



**Figura 7.6** Perfils estudiats



Com que el moviment de rotació sobre l'eix no influeix en el desplaçament s'ha fet un model 2D fixant la barra fixada a la paret per cada extrem. S'ha considerat com a única càrrega el propi pes de la barra com a càrrega repartida uniformement al llarg de tota l'estructura. L'estudi s'ha fet en el pitjor dels casos, amb el col·lector col·locat paral·lelament al terra, quan tot el pes de la placa cau perpendicularment sobre l'absorbidor i per tant quan la flexió és màxima. A la figura 7.7 es mostren les condicions aplicades.



**Figura 7.7** Model simulat

A partir del model 2D plantejat aplicant l'equació de l'elàstica per el càlcul de desplaçaments s'obté l'equació 7.1 extreta de llibre [5]:

$$v = \frac{1}{EI_z} \left( -q \frac{l^2}{12} \cdot \frac{x^2}{2} + q \frac{l}{2} \cdot \frac{x^3}{6} - \frac{x^4}{24} \right) \quad \text{Eq. 7.1}$$

$v$  = desplaçament en direcció vertical de la peça (mm)

$l$  = longitud de la peça (mm)

$x$  = punt on es mesura el desplaçament

$E$  = mòdul de Young del material (MPa)

$I$  = inèrcia de la secció (mm<sup>4</sup>)

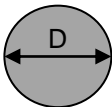
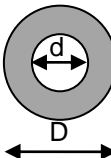
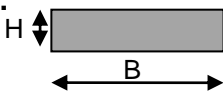
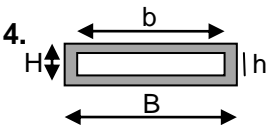
$q$  = pes peça (N/mm)

Segons el model de col·lector dissenyat, la plaqueta ha de tenir una llargada total de 93cm. Com que es tracta d'un model simètric el desplaçament màxim es produirà a la part central de la peça, a una distància de 46,5cm dels extrems. Pel que fa al material, a la taula 7.3 es mostren els valors s'han fixat per fer els càlculs.

	Acer inoxidable	Alumini
Densitat (kg/ m <sup>3</sup> )	7900	2700
Mòdul elàstic (MPa)	1,93·10 <sup>5</sup>	0,71·10 <sup>5</sup>

**Taula 7.3** Propietats de l'acer inoxidable i l'alumini utilitzades (Font[15] i [8])

La inèrcia depèn de la geometria de la secció:

<p>1. </p> $I_z = \frac{\pi D^4}{64}$	<p>2. </p> $I_z = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{64}$	<p>3. </p> $I_z = \frac{BH^3}{12}$	<p>4. </p> $I_z = \frac{BH^3 - bh^3}{12}$
--	---	---	--

Cal destacar que en el cas de secció rectangular la inèrcia varia en funció de la posició de la plaqueta. Com s'observa a l'equació 7.1 com més gran és la inèrcia menor és el desplaçament. Per tant, pel que fa al primer model s'ha simulat el pitjor cas, quan les plaquetes tapen la radiació solar incident.

Els gruixos fixats per fer aquest estudi han estat de 1 i 2mm. A la taula 7.4 es presenten els desplaçaments màxims obtinguts per a cada un dels models, per aquests dos gruixos i en el cas d'acer i alumini.

#### Model 1

D=1mm Desplaçament acer= 12,503mm Desplaçament alumini=11,616mm	D=2mm Desplaçament acer= 3,126mm Desplaçament alumini=2,902mm
---	---

#### Model 2

D=1mm      d=0,5mm Desplaçament acer=10mm Desplaçament alumini=9,293mm	D=2mm      d=1mm Desplaçament acer=2,5mm Desplaçament alumini=2,32mm
--	--

#### Model 3

B=35mm H=1mm Desplaçament acer= 9,377mm Desplaçament alumini=8,712mm	B=35mm H=2mm Desplaçament acer= 2,344mm Desplaçament alumini=2,173mm
---	---

#### Model 4

B=35mm	b=34,5mm	B=35mm	b=34mm
H=1mm	h=0,5mm	H=2mm	h=1mm
Desplaçament acer= 5,424mm		Desplaçament acer= 1,372mm	
Desplaçament alumini=5mm		Desplaçament alumini=1,274mm	

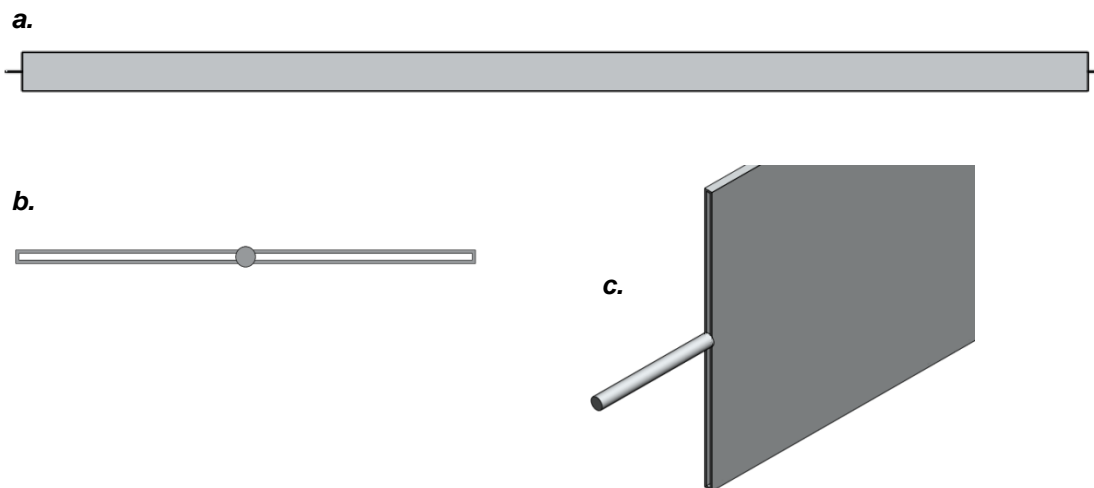
**Taula 7.4** Desplaçaments obtinguts per els diferents perfils i gruixos

Pel que fa al material, en tots els casos utilitzant l'acer s'obté un desplaçament una mica major, per tant el material elegit ha estat l'alumini.

Pel que fa als perfils, el cas que pateix major desplaçament és el primer. El primer model destaca per tenir un desplaçament molt major a la resta. Amb la geometria 2 i 3 s'obtenen desplaçaments semblants, mentre que el quart obté resultats significativament millors. Així doncs s'ha elegit el quart perfil amb un gruix de 2mm que dona lloc a un desplaçament de 1,274 mm, totalment acceptable en aquest disseny.

Com s'ha dit, aquest desplaçament és el que s'obtindria en el pitjor dels casos, quan les plaquetes estan paral·leles a la placa impedit que la radiació solar penetri. Per aquest mateix perfil i dimensions, calculant el desplaçament quan les plaquetes estan gairebé perpendiculars a la placa, s'obté un desplaçament de  $6,75 \cdot 10^{-3}$ mm, ja que la inèrcia de la secció és molt major i la càrrega es manté.

Finalment, el perfil elegit ha estat el de tub rectangular amb una alçada exterior de 2mm i una alçada interior d'1mm. La llargada total de les plaquetes reflectores és de 930mm, inclosos els extrems cilíndrics que permeten unir les plaquetes a les parets laterals de la placa solar proporcionant-los el grau de llibertat necessari per rotar sobre elles mateixes. A la figura 7.8 es mostra el disseny final.



**Figura 7.8**    *a. Vista en alçat d'una plaqueta reflectora*  
                   *b. Vista en planta d'una plaqueta reflectora*  
                   *c. Extrem d'una plaqueta reflectora*

Per a la fabricació d'aquestes peces, es pot utilitzar una xapa d'alumini de 0,5mm de gruix i d'una llargada mínima de 930mm, doblant-la i tallant-la per tal d'obtenir el perfil desitjat. Per conformar els dos els extrems cilíndrics que uniran les plaquetes reflectores al col·lector es pot utilitzar igualment l'alumini i unir les dues parts mitjançant soldadura metàl·lica en fred.

#### 7.4. Avaluació de la solució: Posició de les plaquetes

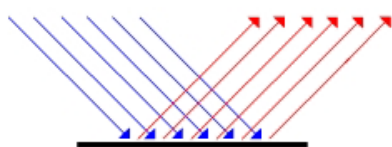
Un paràmetre molt important alhora de dissenyar aquest sistema és la posició en què estaran col·locades les plaquetes quan el funcionament del sistema sigui el normal, ja que presenten un inconvenient evident: generació d'ombres sobre la placa absorbidora. Tot i això, aquestes plaquetes estan fetes d'un material reflectant, de manera que part de la radiació solar incideix sobre la placa absorbidora després d'haver-se reflectit.

Les plaquetes estan col·locades horitzontalment a la placa solar per tal de minimitzar aquestes ombres. Independentment del mes de l'any el Sol surt per l'Est i es pon per l'Oest. Si les plaquetes reflectores estiguessin disposades verticalment, tant el matí com a la tarda projectarien molta ombra independentment de l'estació de l'any, mentre que posant-les horitzontals permet controlar l'ombra projectada en funció de l'estació.

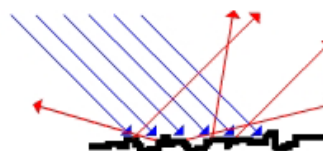
Per tal d'avaluar la solució s'ha buscat un angle òptim d'obertura de les plaquetes i s'ha

determinat la variació de radiació solar incident que rebria l'absorbidor del col·lector.

Tal com s'ha vist a l'apartat anterior, el material elegit per les plaquetes reflectores ha estat l'alumini polit. Per tal de simplificar l'estudi s'ha considerat una superfície òpticament llisa i incontaminada, assumint que el seu índex de refracció és uniforme. D'aquesta manera es produirà una reflexió especular, i per tant l'angle entre el raig incident i reflectit respecte la normal de la superfície són el mateix, tal com es mostra a la figura 7.9. Com que totes les cares de les plaquetes reflectores són planes, tots els rajos tindran la mateixa direcció. Cal tenir present però que en les superfícies reals la reflexió és difusa, és a dir, que quan la radiació incideix sobre la superfície es reflecteix distribuïnt-se de manera uniforme en totes les direccions, tal com es mostra a la figura 7.10.



**Figura 7.9** Reflexió especular (Font [1])



**Figura 7.10** Reflexió difusa (Font [1])

Els col·lectors plans aprofiten tant la radiació directe com la difusa, però en aquest cas, s'ha estudiat únicament la radiació directe. La radiació difusa té una distribució aleatòria, ja que depèn de les característiques de transmissivitat de l'atmosfera, variables, tant en el temps com en l'espai, en funció de la nuvolositat, contaminació atmosfèrica, etc. Per tant és complicat calcular-la. D'altre banda, tot i que no és menyspreable, el percentatge de radiació difusa és molt menor que el de radiació solar. A la taula 7.5 es mostra el tant per cent de radiació difusa mensual sobre una superfície horitzontal a Catalunya.

	Gen	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Des
<b>Radiació global (KWh/m<sup>2</sup>)</b>	4,03	5,44	7,50	9,58	11,08	11,72	11,39	10,17	8,17	6,03	4,33	3,61
<b>Radiació difusa (KWh/m<sup>2</sup>)</b>	0,89	1,19	1,64	2,06	2,31	2,36	2,31	2,08	1,75	1,33	0,97	0,78
<b>% rad difusa</b>	6,14	6,08	6,11	5,94	5,78	5,58	5,56	5,69	5,94	6,14	6,22	6,11

**Taula 7.5** Radiació (KWh/m<sup>2</sup>) incident sobre una superfície horitzontal (Atles de Radiació Solar [9])

Aquests valors varien per superfícies inclinades i es calculen a partir de models com el de Perez (1987), model utilitzat a l'Atles de Radiació Solar a Catalunya [9]. Així doncs, per tal

de simplificar aquesta avaluació s'estudia només la radiació directe.

Per tal de determinar l'angle d'obertura ideal entre l'absorbidor i les plaquetes s'ha fet un petit estudi del funcionament que presentaria el captador dissenyat al llarg de tot l'any suposant una orientació i inclinació ideal. Per fer-ho s'han agafat les dades meteorològiques de Barcelona i Catalunya.

Tal com s'ha vist anteriorment, l'orientació dels captadors queda determinada per la latitud geogràfica. Segons el codi CTE, Apartat HE4 [10], l'orientació òptima del sistema de captació a Espanya és el sud i la inclinació òptima queda determinada pel període d'utilització de la instal·lació tal i com es mostra a la taula 7.6:

Tipus d'utilització	Inclinació recomanada
Predominant a l'hivern	Latitud del lloc +10°
D'utilització tot l'any	Latitud del lloc
Predominant a l'estiu	Latitud del lloc -10°

**Taula 7.6** Inclinació recomanada dels captadors segons (CTE [10])

Per tal de fer aquest estudi s'ha prioritzat la radiació solar a l'hivern, ja que es tracta del disseny d'un sistema per impedir el sobreescalfament causat per l'excés de radiació solar al l'estiu. Així doncs la inclinació dels captadors serà de 51° respecte l'horitzontal, 41° que és la latitud de Catalunya més 10° per aprofitar més la radiació a l'hivern. També es suposa que el captador estarà orientat totalment al sud, amb un azimut de 0°.

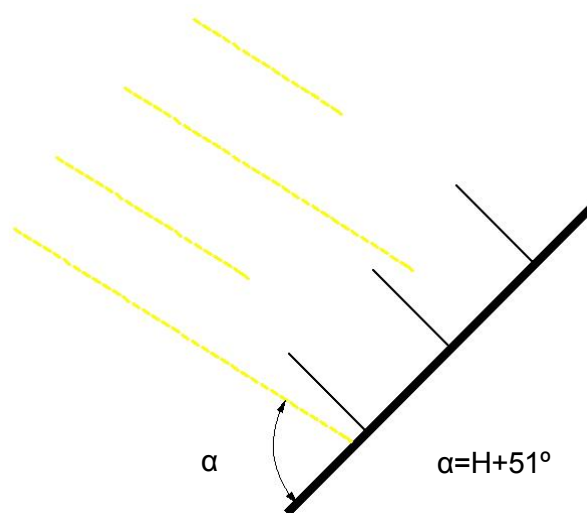
A continuació s'ha estudiat la trajectòria del Sol durant tot l'any, ja que a l'estiu el sol passa molt més alt que a l'hivern i això afecta directament a l'ombra que projectaran les plaquetes sobre la placa. A la taula 7.7 es mostren aquests valors.

	Gener		Febrer		Març		Abril		Maig		Juny		Juliol		Agost		Set.		Oct		Nov		Des	
	A	H	A	H	A	H	A	H	A	H	A	H	A	H	A	H	A	H	A	H	A	H	A	H
0	0	27	0	35	0	46	0	58	0	67	0	71	0	70	0	62	9	51	0	39	0	29	0	25
1	16	26	18	33	21	44	26	55	33	64	38	68	36	66	29	59	23	49	19	37	16	28	15	23
2	30	21	34	29	39	38	48	48	57	56	63	59	60	58	52	52	43	42	36	32	31	23	29	19
3	43	15	48	21	55	30	64	39	73	46	78	48	76	47	68	42	58	34	50	25	44	17	42	13
4	54	6	60	12	67	20	76	29	85	35	89	37	87	36	80	32	71	24	62	15	56	8	53	4
5			71	2	78	9	87	18	95	23	99	26	97	25	91	20	82	13	73	5				
6							97	6	104	12	108	15	106	14	101	9	92	2						
7									114	2	117	5	116	4										

**Taula 7.7 A:** Azimut (°) i H: Altura solar (°) de cada mes en funció de les hores solars. (Font [9])

A partir d'aquí, el criteri seguit per triar la inclinació de les plaques ha estat el de maximitzar la radiació directe que arriba a l'absorbidor sense reflectir-se a l'hivern. Tot i que l'alumini polit té un índex de reflectància molt elevat (i per tant un d'absorbència molt baix) una petita part de la radiació que incideix sobre aquesta superfície no es reflecteix, i com que a l'hivern és quan hi ha els nivells de radiació més baixos s'ha procurat no disminuir el rendiment en aquests mesos.

Així doncs s'ha calculat l'angle d'inclinació respecte a la placa que hauria de tenir les plaquetes. Tal com es mostra a la figura 7.11, aquest angle és tal que les plaquetes estiguin paral·leles als rajos solars incidents, prenent aquest angle com al de alçada solar.



**Figura 7.11** Inclinació de les plaquetes reflectores respecte el captador

Els resultats obtinguts han estat els mostrats a la taula 7.8.

	G	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0	78	86	97	109	118	122	121	113	102	90	80	76
1	77	84	95	106	115	119	117	110	100	88	79	74
2	72	80	89	99	107	110	109	103	93	83	74	70
3	66	72	81	90	97	99	98	93	85	76	68	64
4	57	63	71	80	86	88	87	83	75	66	59	55
5		53	60	69	74	77	76	71	64	56		
6				57	63	66	65	60	53			
7					53	56	55					

**Taula 7.8** Angle d'inclinació òptima dels captadors  $\alpha$  ( $^\circ$ ) en funció del mes i de la hora solar.

D'entrada s'observa que durant els mesos de octubre a març la inclinació òptima de les plaquetes seria majoritàriament menor a  $90^\circ$ , mentre que els mesos de abril a setembre seria major a  $90^\circ$ .

Cal tenir en compte que aquests càlculs s'han fet assumint una posició solar d'azimut  $0^\circ$ , és a dir, amb el sol totalment davant del captador. Això s'ha fet ja que la radiació solar és més intensa al mig dia, i coincideix amb els valors d'azimut solar més propers a  $0^\circ$ . A continuació per tal de determinar el rang d'hores en què es capta la major part de la radiació s'ha consultat radiació global horària, dades mostrades a la taula 7.9.

	0 - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	Total
<b>Gen</b>	572,50	505,28	385,28	238,06	81,11	0	0	3564,44
<b>Feb</b>	644,72	574,72	449,72	295,00	140,00	0	0	4208,33
<b>Mar</b>	718,06	647,22	519,72	359,44	195,00	52,22	0	4983,33
<b>Abr</b>	762,78	693,33	567,78	407,78	239,44	86,94	3,89	5523,89
<b>Mai</b>	768,33	702,78	302,22	426,11	260,83	105,56	26,94	5185,56
<b>Jun</b>	763,33	700,00	584,17	431,11	267,78	112,22	36,11	5789,44
<b>Jul</b>	770,83	706,11	587,78	431,67	265,83	109,17	31,67	5806,11
<b>Ago</b>	782,22	713,33	583,89	423,61	253,06	95,83	13,89	5731,67
<b>Set</b>	756,39	684,44	554,72	390,28	219,72	68,89	0,00	5348,89
<b>Oct</b>	695,00	622,78	493,06	331,39	167,78	0	0	4620,00
<b>Nov</b>	605,56	536,39	413,06	178,06	106,39	0	0	3678,89
<b>Des</b>	554,17	486,94	367,78	222,22	61,67	0	0	3385,56

**Taula 7.9** Radiació global horària [ $Wh/m^2$ ] sobre superfícies orientades  $0^\circ$  i inclinades  $45^\circ$  a Barcelona (Font [9])

S'observa que, per una superfície orientada al Sud, la radiació solar incident predomina a les hores solars de 0-3 (9h-15h), ja que l'azimut solar varia entre  $0^\circ$  -  $45^\circ$  i la radiació solar és major. Els mesos d'octubre a març el 80,54% de la radiació diària incideix entre 0-3 hores solars, mentre que a l'estiu és el 71,78%. Per tant, s'ha prioritzat aquesta franja horària per tal de captar la major part de radiació possible.

Així doncs, per tal de trobar la millor inclinació de les plaquetes respecte el col·lector s'ha fet una mitjana dels valors idonis d'octubre a març de 0-3 hores solars. L'angle resultant ha estat de  $79^\circ$ , i s'ha arrodonit a  $80^\circ$ .



Per fer aquest càlcul s'han tingut en compte les diferents hores del dia però s'ha assumit que a tots els dies del mes l'alçada solar és la mateixa. S'ha considerat un factor important les hores, ja que com s'ha vist al voltant del mig dia és quan la potència radiant és major i per tant s'obté la major part d'energia. Tot i això, l'Atlas de Radiació Solar a Catalunya [9] facilita la l'equació 7.2 per calcular l'angle d'incidència dels rajos solars sobre la normal d'una superfície inclinada en funció de hora i dia de l'any:

$$\cos\theta = \sin\delta \cdot \sin\lambda \cdot \cos\beta - \sin\delta \cdot \cos\lambda \cdot \cos\alpha \cdot \sin\beta + \cos\delta \cdot \cos\lambda \cdot \cos\beta \cdot \cosh + \cos\delta \cdot \sin\lambda \cdot \sin\beta \cdot \cos\alpha \cdot \cosh + \cos\delta \cdot \sin\beta \cdot \sin\alpha \cdot \sinh$$

**Eq. 7.2**

$\delta$ : declinació solar

$\beta$ : inclinació de la superfície respecte la línia horitzontal

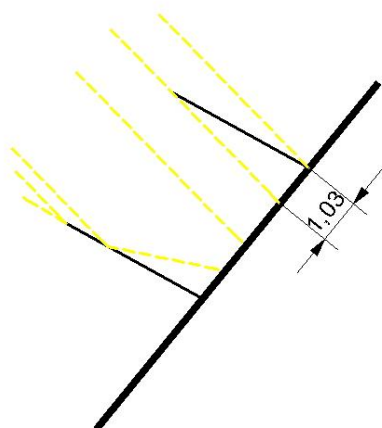
$\alpha$ : azimuth de la superfície

$\lambda$ : latitud del lloc

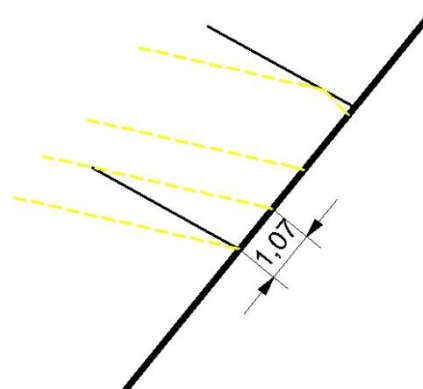
$h$ : angle horari

Utilitzant aquesta fórmula per una superfície inclinada al sud (azimut=0°), latitud de 41°, inclinada un angle de 41°, a les 12 del mig dia (angle horari=0) el dia 21 de juny (declinació solar=23.45°) s'ha obtingut un valor de alfa de 26.31° i per tant un angle ideal de 116°, coherent amb els valors calculats anteriorment.

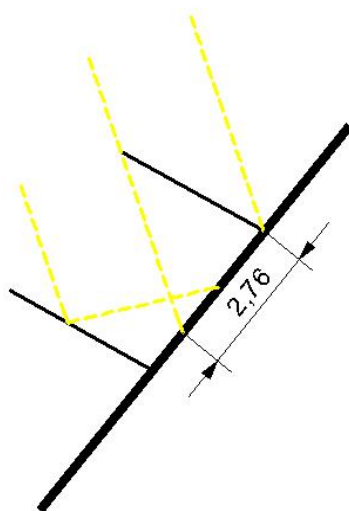
Un cop determinat l'angle s'han estudiat diferents situacions per tal de determinar el tant per cent de radiació que no pot arribar a l'absorbidor de manera directe, sinó que ha estat reflectida. Pel que fa als mesos d'hivern, observant de 0-3 hores solars s'han estudiat el desembre 3, quan el Sol està més baix, i el març 0, quan el Sol està més alt. També s'ha estudiat el cas del juny a les 0 hora solar, que és quan el Sol té més altura de tot l'any. Els resultats es mostren a les figures 7.12, figura 7.13 i figura 7.14.



**Figura 7.12** Radiació solar incident al març a les 0 hora solar



**Figura 7.13** Radiació solar incident al desembre a les 3 hora solar



**Figura 7.14** Radiació solar incident al juny a les 0 hora solar

En primer lloc cal considerar les pèrdues de radiació incident degudes al gruix de les plaquetes absorbidores. La distància total entre plaquetes reflectores és de 40mm, però com que tenen un gruix de 2mm l'espai receptor es redueix a 38mm, és a dir, la radiació solar que arriba a l'absorbidor disminueix un 5% en tots els casos.

A partir de l'àrea d'ombra que fa cada plaqueta reflectora s'ha calculat el tant per cent de radiació que arribarà a l'absorbidor després de ser reflectida per una plaqueta. Del 95% de radiació restant, la radiació que arriba a l'absorbidor per reflexió és del 25,75% el març a les

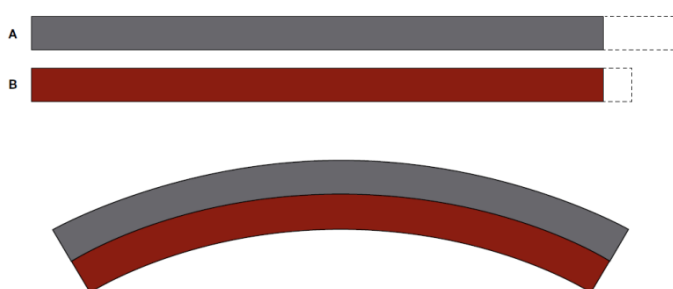
0 hora solar, i d'un 26,75% el desembre a les 3 hora solar. D'altre banda aquest factor augmenta molt a l'estiu, cosa ja és favorable a les hores de més radiació, quan hi ha perill de sobreescalfament. Quan el Sol està més alt, el juny a les 0 hora solar el percentatge de radiació reflectida augmenta fins 69%, per tant, encara que les plaquetes no estiguin en posició de tapar el sol, actuen com a mesura preventiva i disminueixen el risc de sobreescalfament.

## 7.5. Molla bimetàlica

Un bimetal·la és una peça formada per dos metalls amb diferents coeficients de dilatació tèrmica ( $\alpha$ ) i s'utilitza per convertir un canvi de temperatura a un desplaçament mecànic. També s'anomenen bimetal·la termostàtics, ja que la seva funció resulta de l'efecte de la calor.

Les tires bimetal·liques uneixen fortament les seves dues parts mitjançant rebllons, soldadures o soldadura forta. Quan es produeix un augment de temperatura en una tira bimetal·lica en absència de forces exteriors, aquesta es corba en forma d'arc com a conseqüència de la diferent dilatació dels dos metalls que la formen. S'anomena component actiu a la tira amb major coeficient de dilatació tèrmica, i sol estar feta d'un aliatge de Níquel, Ferro, Magnesi o Crom. D'altre banda, a la s'anomena component passiu a l'aliatge amb menor coeficient de dilatació tèrmica, essent aquest normalment de Ferro i Níquel.

A la figura 7.15 es mostra com es deformen dues tires de metalls amb diferents coeficients de dilatació tèrmica ( $\alpha_A > \alpha_B$ ), per separats i units entre sí formant una tira de bimetal·la.



**Figura 7.15** Deformació tira bimetal·lica. (KANTHAL [11])

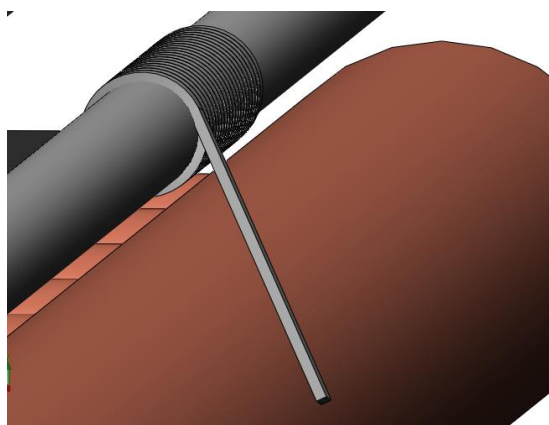
A part de les tires, els bimetalls es modelen amb moltes geometries diferents, com per exemple en forma de molla helicoïdal.

## Molla bimetàl·lica helicoïdal

Tal com s'ha descrit anteriorment, el sistema incorpora una molla bimetàl·lica helicoïdal que, a partir dels canvis de temperatura del fluid caloportador, fa girar les plaquetes impedit que la radiació solar arribi a l'absorbidor.

Per tal de dimensionar aquest component de manera realista però a la vegada senzilla s'han realitzat algunes simplificacions. En primer lloc s'ha considerat una molla lliure de forces exteriors, sense considerar la força necessària mínima per girar tot el mecanisme. D'altre banda cal limitar el gir de les plaquetes a  $80^\circ$ , i per tant el de la molla. En aquest dimensionament tampoc s'han tingut en compte les tensions que això pot originar, assumint que en cap moment es supera el límit elàstic del material i que per tant el material no pateix deformacions permanents. El fet de negligir aquest últim aspecte no afecta al resultat de manera significativa, ja que en el punt en que la molla ha arribat a la seva rotació màxima permesa les plaquetes estan tapant l'absorbidor, la temperatura del fluid caloportador no augmentarà més i, per tant, no hi haurà un augment de temperatura que deformi més la molla.

Aquesta molla està unida per un extrem a la part superior de la graella de tubs per on circula el fluid caloportador mitjançant una cola de contacte tèrmic, per tal d'assegurar la màxima transmissió de temperatures i que la temperatura de la molla sigui el més semblant possible a la del fluid caloportador. L'altre extrem està enrotllat solidàriament sobre un eix giratori. A la figura 7.16 es representa aquesta molla amb detall.



**Figura 7.16** Molla bimetàl·lica

A partir d'aquí s'ha elegit un material bimetal·lic i s'han determinat el gruix, l'amplada i el nombre d'espises de la molla per tal de que amb la rotació (deguda al canvi de temperatura) d'aquesta les plaquetes es girin 80°. Això s'ha fet seguint el procediment i amb dades extretes del Thermostatic Bimetal Handbook [11].

Per tal de triar el material en primer lloc s'ha mirat que el rang de temperatures de treball estigui dins màxim suportat pel material, que tingui una bona conductivitat tèrmica i un mòdul elàstic elevat. Hi ha diversos materials que s'ajusten a aquesta necessitat però el final s'ha elegit el 155. A més, cal que aquest material es deformi linealment en el rang de temperatures de treball. A la taula 7.10 es mostren les propietats principals d'aquest material i la resta de propietats es troben a l'annex A.

<b>KANTHAL 155</b>	
<b>Components</b>	36Ni/NiMn-acer
<b>Specific deflection</b>	$a=14,9 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
<b>Rang de temperatures</b>	Normal: -20 a 350°C      Màxima: 450°C
<b>Rang de linealitat</b>	-20 a 200°C
<b>Conductivitat tèrmica</b>	$\lambda=14\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$
<b>Mòdul elàstic</b>	$E=1,7 \cdot 10^5 \text{ MPa}$
<b>Densitat</b>	$\gamma=8,2 \text{ g/cm}^3$

**Taula 7.10** Propietats Kanthal 155

Un cop elegit el material s'ha dimensionat la molla. Aquest dimensionament s'ha fet tenint en compte l'angle que ha de girar la molla, calculat a partir de l'equació 9.3 i la figura 7.17. Un cop fet diverses proves amb tots els paràmetres que hi intervenen s'han establert els valors finals.



**Figura 7.17** Esquema de la molla bimetal·lica (Font [11])

$$\alpha = \frac{2a(T-T_0)L}{s} \cdot \frac{360}{2\pi} \quad \text{Eq. 7.3}$$

$\alpha$  = angle girat ( $^{\circ}$ )

$a$  = Specific deflection ( $K^{-1}$ ) (Mesura el canvi de curvatura longitudinal del material)

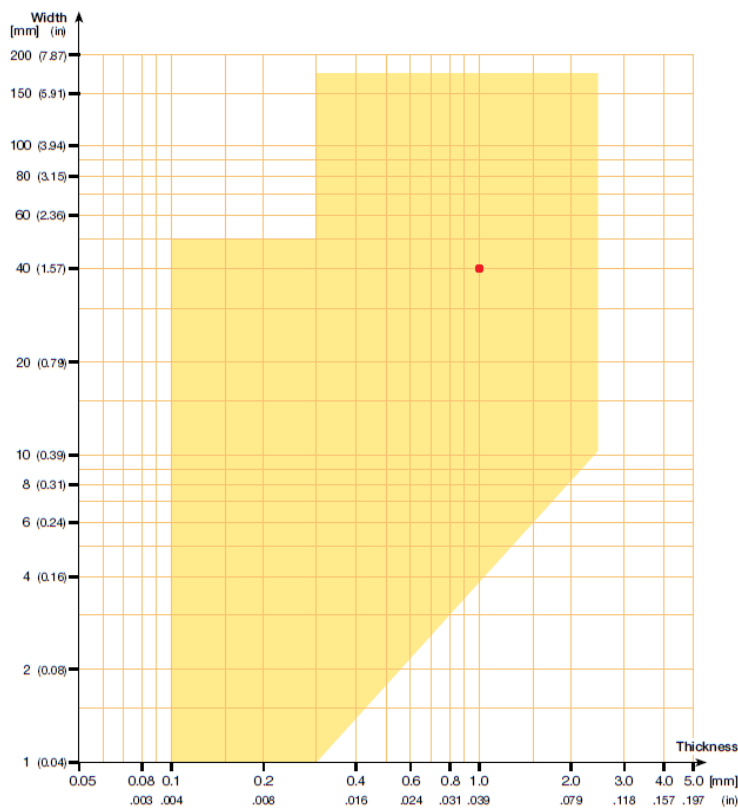
$T - T_0$  = diferència de temperatura ( $^{\circ}C$ )

$L$  =longitud activa del fil (mm)

$s$  = gruix de la tira bimetal·lica (mm)

En primer lloc cal fixar l'increment de temperatura. Durant el funcionament normal, el fluid caloportador surt de la placa plana a uns  $60^{\circ}C$ . Com ja s'ha mencionat el perill de sobreescalfament s'ocasiona al voltant dels  $80^{\circ}C$ , així doncs s'ha determinat un augment de temperatura de  $20^{\circ}C$ .

Per tal d'establir el gruix i l'amplitud de la tira bimetal·lica s'han tingut en compte les limitacions imposades pel fabricant. Tal com es pot veure a la figura 7.18 finalment s'ha elegit un gruix d'1mm i una amplada de 4mm.



**Figura 7.18** Dimensions vàlides de la tira bimetal·lica. (Font[11])

Per tal de determinar el diàmetre de la molla i conseqüentment l'angle que ha de girar primer s'ha determinat el diàmetre de l'eix i de l'engrenatge on anirà enrotllada, ja que aquest a través d'una transmissió per corretja girarà les plaquetes. L'engrenatge de les plaques té un diàmetre de 4mm i ha de girar 80°, mentre que si l'engrenatge de l'eix de la molla fa té un diàmetre 15mm cal que giri 24°. El diàmetre de l'eix de la molla és de mm. Per tal que la molla quedi ben enroscada, com que la molla té un gruix d'1mm el diàmetre mitjà de l'espira és de 10,5mm.

Un cop conegut l'angle que ha de girar la molla es pot calcular la longitud activa del fil i el nombre d'espises. A partir de la equació 7.3 s'ha calculat la longitud activa del fil:

$$\alpha = \frac{2a(T - T_0)L}{s} \cdot \frac{360}{2\pi}; \quad 24 = \frac{15.6(80 - 60)L}{1} \cdot \frac{360}{2\pi}$$

$$L = 671,280mm$$

Finalment s'ha calculat el nombre d'espises actives:

$$L = \pi DN;$$

$$671,280 = 10,5\pi N;$$

$$N = 20.35 \text{ espises}$$

## Elements de seguretat

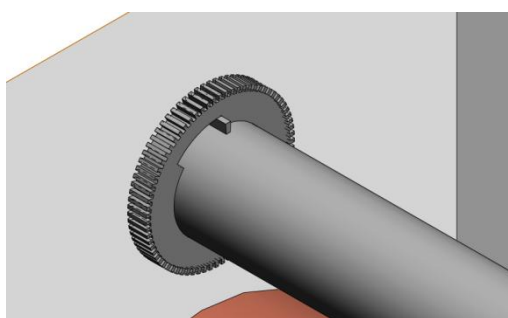
Perquè el sistema funcioni correctament cal tenir en compte totes les variacions de temperatura que pot patir la molla per tal de garantir el correcte funcionament del sistema. Per fer-ho, s'han fixat i estudiat els següents casos, establerts segons el rang de temperatures de funcionament on T és la temperatura de la molla en cada situació:

- 20°C < T < 60°C: suposant 20°C com a temperatura ambient, aquesta situació es pot produir per exemple quan el captador encara no està instal·lat o durant el funcionament habitual del sistema de captació. En aquesta situació la molla es deformarà però les plaquetes reflectores han de mantenir la posició formant un angle de 80° amb l'absorbidor.
- 60°C < T < 80°C: aquesta situació es produeix quan hi ha perill de sobreescalfament. Amb aquest increment de temperatura de 20°C, la molla ha de girar 24° de tal manera que les plaquetes reflectores girin 80° i bloquegin la radiació solar.

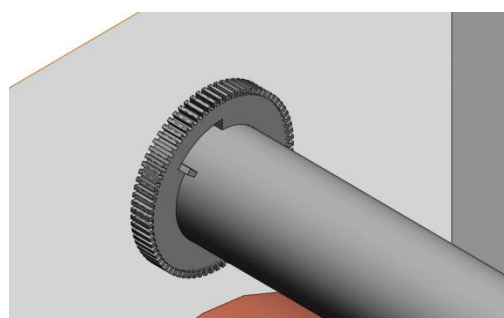
- $T > 80^{\circ}\text{C}$ : aquesta situació pot ser temporal mentre les plaquetes reflectores estiguin girant i encara entri penetri radiació solar cap a l'absorbidor. Tot i que és una situació poc probable és imprescindible assegurar que, encara que s'elevi més la temperatura de la molla i aquesta giri, les plaquetes no giraran més de  $80^{\circ}$ , ja que llavors permetrien el pas de radiació per l'altre extrem.

Per garantir el correcte funcionament en tots els casos cal incorporar elements que limitin el gir de les plaquetes i que permetin la rotació de la molla quan pateixi un canvi de temperatura per tal de no generar tensions excessives i sobrepassar el límit elàstic del material. Per fer-ho es planteja la següent solució.

En primer lloc l'eix de la molla no és solidari als engranatges dels seus extrems, de manera que es dona un cert grau de llibertat de gir a l'eix de la molla independentment dels engranatges. A les figures 7.19 i 7.20 es mostra aquest mecanisme. Es mostra l'eix de la molla unit al lateral de la placa i un engranatge del seu extrem. La figura 7.19 correspon a una temperatura de la molla de  $20^{\circ}\text{C}$ , és a dir, temperatura ambient. En augmentar la temperatura la molla comença a girar, i amb ella l'eix solidària a ell, però no les plaquetes reflectores. La figura 7.20 correspon a una temperatura de  $60^{\circ}\text{C}$ , temperatura de funcionament habitual. A partir d'aquest moment, si la temperatura continua augmentant l'engranatge i l'eix giraran solidaris. L'increment de temperatura ha estat de  $40^{\circ}\text{C}$ , segons l'equació 7.3 això correspon a un gir de  $48^{\circ}$ .



**Figura 7.3** Mecanisme a temperatura ambient  $20^{\circ}\text{C}$

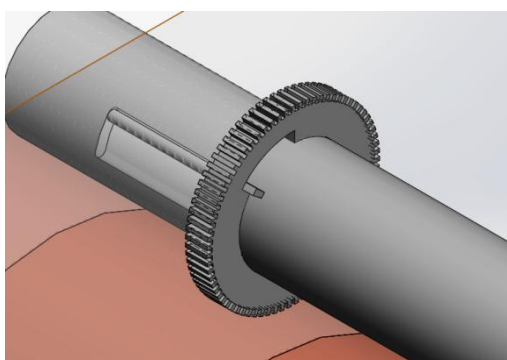


**Figura 7.20** Mecanisme a temperatura  $60^{\circ}\text{C}$

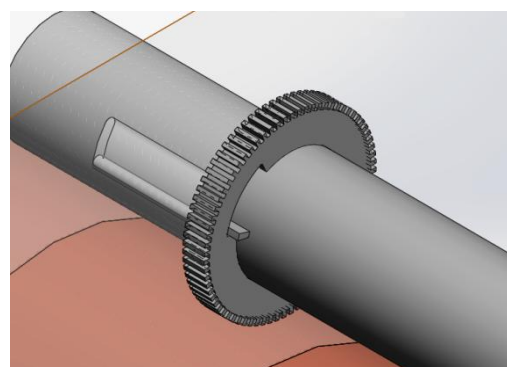
En segon lloc s'ha incorporat un sistema per limitar el gir de les plaquetes entre  $0^{\circ}$  i  $80^{\circ}$ , situació que es produeix quan la temperatura excedeix els  $60^{\circ}\text{C}$ . Tal com es mostra a les figures 7.21 i figura 7.22, es tracta d'una ranura circular als laterals de la placa on encaixa un petit piu guia solidari a l'engranatge (per tal de poder mostrar amb claredat el mecanisme



s'han representat els laterals del captador solar transparents). D'aquesta manera s'assegura que l'engranatge no patirà un gir superior a  $24^\circ$  i per tant les plaquetes reflectores giraran un màxim de  $80^\circ$ . A la figura 7.21 es mostra la mateixa situació que a la anterior figura 7.22, quan la molla està a una temperatura de  $60^\circ\text{C}$ . En augmentar la temperatura, molla i engranatge giren solidàriament, fins arribar a una temperatura de  $80^\circ\text{C}$  corresponent a la figura 7.22, on les plaquetes reflectores estarien paral·leles a la placa absorbidora impedit el sobreescalfament de la instal·lació.

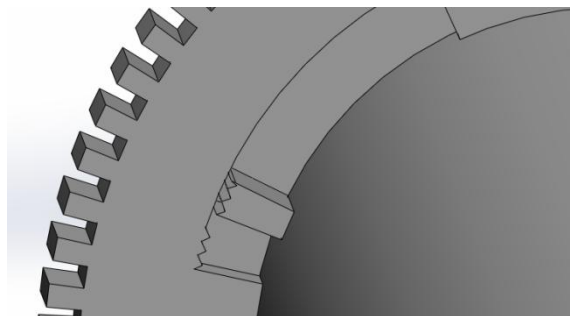


**Figura 7.21** Mecanisme a temperatura  $60^\circ\text{C}$



**Figura 7.22** Mecanisme a temperatura  $80^\circ\text{C}$

En disminuir la temperatura per sota dels  $80^\circ\text{C}$ , la molla i, per tant l'eix, comencen a girar en sentit contrari i cal que l'engranatge giri solidàriament amb ells. Per fer-ho i evitar que giri l'eix i no l'engranatge s'ha incorporat una certa rugositat a la part superior de llengüeta de l'eix i a l'extrem esquerra de la ranura de l'engranatge, de manera que la força de fregament entre l'eix i l'engranatge sigui prou gran com per fer que el sistema giri solidàriament  $80^\circ$  fins arribar a la situació de la figura 7.20 i figura 7.21 on, si la temperatura continua baixant, per força haurà de continuar girant només l'eix i no l'engranatge. A la figura 7.23 es mostra aquest mecanisme.



**Figura 7.23** Rugositat per assegurar la solidaritat de gir entre les dos peces

Aquesta és una alternativa de solució. Per tal de garantir el correcte funcionament amb aquest mecanisme caldria assegurar que els materials no es descasten i per tant garanteixen el correcte funcionament del mecanisme durant tota la vida útil de la placa. Una altre alternativa seria incorporar un mecanisme amb cadells.

## 7.6. Engranatges i corretges

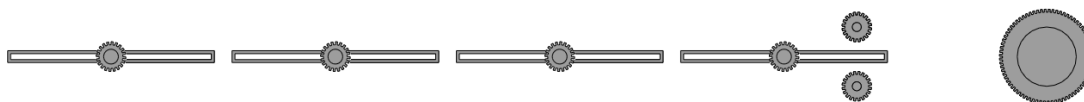
El motor de rotació d'aquest sistema és la molla bimetàl·lica helicoidal situada a la part superior del captador, que s'activa amb els canvis de temperatura del fluid caloportador. Per tal d'aconseguir que totes les plaquetes reflectores girin unitàriament a partir d'aquesta rotació, s'ha dissenyat un petit sistema de transmissió amb corretges dentades i engranatges als extrems d'aquet eix i de cada reflector.

La molla helicoidal es concèntrica i solidària a un eix giratori paral·lel a les plaquetes reflectores, que està situat a la part superior i unit a cada lateral del captador. Per tal de determinar el diàmetre d'aquest conjunt s'han tingut en compte dos factors. Per una banda, tot i que la força necessària és mínima, aquesta barra ha de ser prou gran per tenir força suficient per rotar tot el conjunt de reflectors. D'altre banda, per tal que això sigui possible, com més gran sigui aquest diàmetre menys graus haurà de girar aquest per tal que totes les plaquetes facin una rotació de  $80^\circ$  i per tant la longitud activa de la molla helicoidal serà menor.

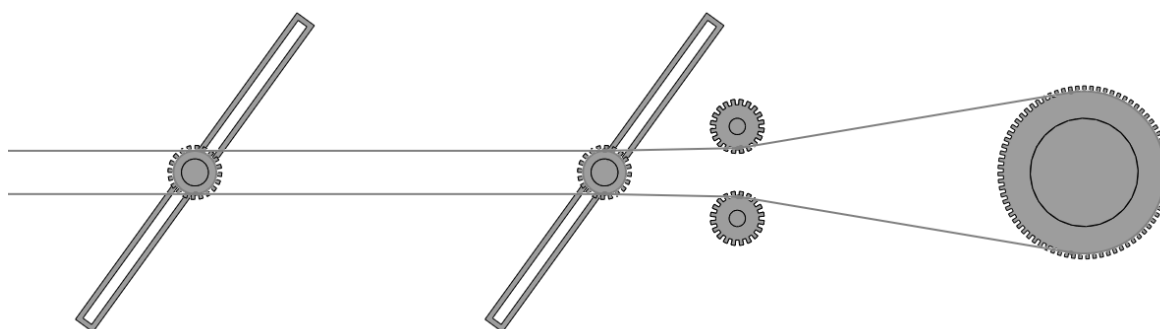
Tant les plaquetes reflectores com l'eix giratori tenen un engranatge a cada extrem. D'aquesta manera s'ha incorporat una corretja dentada a lateral del col·lector per tal d'assegurar la unanimitat de gir. Tot i això, per tal d'estalviar material i per tant reduir costos,

es podria estudiar amb detall la força necessària i el dimensionament sistema de transmissió requerit i potser seria suficient amb incorporar la corretja de transmissió només a un extrem.

A continuació, a les figures 7.24 i 7.25 es mostra el disseny d'aquest sistema de transmissió de la part superior del captador.



**Figura 7.24** Sistema de transmissió



**Figura 7.25** Corretja i engranatges

Per tal de minimitzar i repartir esforços, la molla bimetal·lica s'ha fixat a la meitat de l'eix giratori i les corretges estan a la mínima distància de les parets del col·lector. Per garantir el contacte de la corretja amb tots els engranatges de les plaquetes en tot moment es podrien afegir engranatges de suport intermedis.

Pel que fa al material de la corretja cal que treballi adequadament a temperatures elevades de fins 80°C, per exemple de poliuretà. D'altre banda les velocitats de rotació requerides són molt baixes, cosa que no eleva el nivell d'exigència requerits.

## 8. Planificació

A continuació es mostra un diagrama de Gantt a on es defineix la planificació temporal que s'ha seguit en el desenvolupament del present projecte. El seguiment d'aquesta planificació ha permès assolir de forma òptima els objectius definits complint els terminis establerts. La data inicial del projecte està fixada el dia 21 de febrer de 2016 i la seva final el dia 21 de juny de 2016.

### Documentació

- 1- Coneixement bàsic del tema

### Estat de la tècnica

- 2- Solucions existents al mercat
- 3- Cerca de patents

### Disseny conceptual dirigit

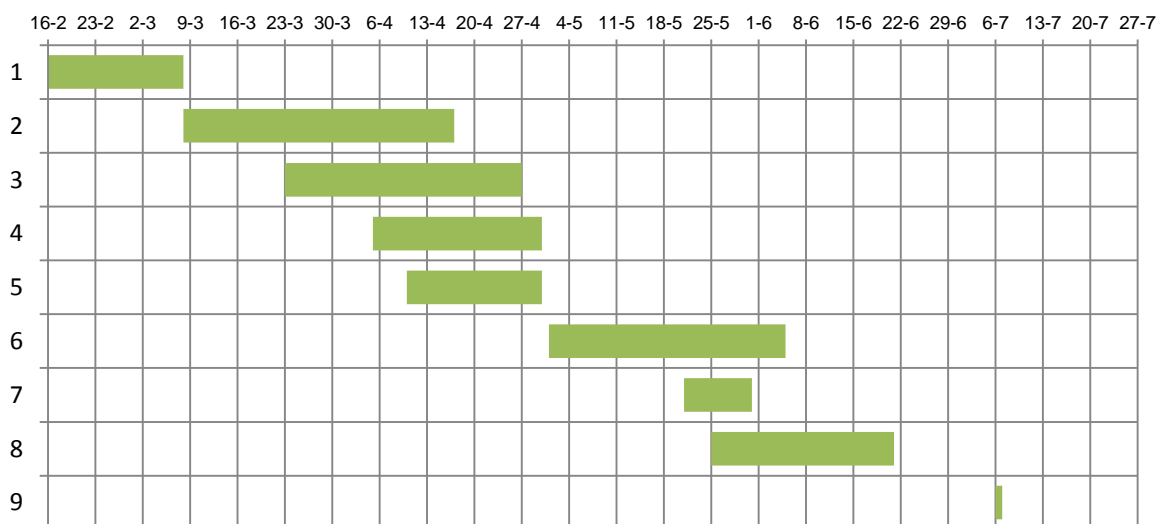
- 4- Generació d'idees
- 5- Propostes de solució

### Disseny conceptual definit

- 6- Disseny final
- 7- Disseny 3D

### Treball

- 8- Redacció memòria
- 9- Presentació



## 9. Estudi econòmic

L'estudi econòmic d'aquest projecte es basa en dues parts. En primer lloc s'ha calculat un pressupost del cost de fabricació del producte dissenyat així com el cost de les hores de treball dedicades durant tot el treball. En segon lloc s'ha fet un estudi orientatiu de la viabilitat econòmica del projecte a llarg termini.

### 9.1. Costos de fabricació i de disseny del sistema

En aquest apartat s'exposa el cost del total d'hores dedicades a aquest projecte i el cost aproximat que suposaria la fabricació del sistema dissenyat.

#### Hores d'enginyeria

A la següent taula es detallen els recursos humans emprats per dur a terme aquest projecte. Per calcular el cost s'ha dividit el projecte en etapes i s'ha assignat un cost segons les hores dedicades a cada una d'elles.

El preu per hora emprat s'ha extret calculat segons la normativa BOE [29]. El salari mínim per hora per un enginyer tècnic (equivalent al grau) és de 10,34€/h segons el BOE de 2013, tal i com s'explica a la referència.

Les hores utilitzades per aquest pressupost s'han basat en el número de hores equivalents a un crèdit (30h/ECTS), i el nombre de crèdits del Treball de Final de Grau (12 crèdits). Per tant, el total d'hores dedicades al TFG ha estat de 360h. El cost es desglossa a la taula 9.1.

	Preu per hora	Hores	Cost
<b>Estudi de mercat</b>	10,34 €/h	100h	1034,00€
<b>Disseny del sistema</b>	10,34 €/h	130h	1344,2€
<b>Disseny amb SolidWorks</b>	10,34 €/h	40h	413,60€
<b>Redacció documentació</b>	10,34 €/h	90h	930,60€
<b>TOTAL</b>		360h	<b>3722,40 €</b>

*Taula 9.1 Pressupost de recursos humans*

## Cost de fabricació del sistema

A continuació es presenta el cost de fabricació d'un captador com el dissenyat en aquest treball. Aquest pressupost es divideix en dues parts. Per una banda s'adopta com a preu base el preu d'un captador de placa de característiques semblants al dissenyat. D'altra banda es calcula el cost de fabricació del sistema de captació i la implementació d'aquest dins el captador de placa plana utilitzat com a base.

Aquest pressupost s'ha elaborat suposant preus de fabricant i per tant s'ha aplicat una reducció del 20% dels preus trobats als catàlegs.

- **Captador pla**

S'ha buscat el preu d'un captador de característiques semblants a l'emprat com a base en el model desenvolupat. El model elegit és de la marca Baxi [30], les característiques del qual es mostren a la taula 9.2.

	Preu
<b>Captador Baxi Mediterráneo 250</b>	
Dimensions: 2,18 x 1,12m	
Tubs en paral·lel	<b>657€</b>
Carcassa d'alumini	
Aïllant amb fibra de vidre	

**Taula 9.2** Captador pla BaxiMediterráneo 250

- **Sistema de protecció contra el sobreescalfament**

Per tal de calcular el cost d'aquest sistema, s'han pressupostat els diferents materials requerits i després s'ha calculat el cost de fabricació i muntatge de tot el sistema dins el captador.

- **Plaquetes reflectores**

Aquestes plaquetes estan fetes d'alumini polit. Es poden fabricar doblant una xapa de 0,5mm de gruix per obtenir una geometria rectangular. La llargada de les plaquetes és de 922mm, l'amplada de 35mm i el gruix de 2mm, amb un perímetre mitjà de secció de 103,5mm. Així

doncs, si cada plaqueta té una llargada de 922mm, calen 95427mm<sup>2</sup> per plaqueta.

A la taula 9.3 es mostra el cost total. El preu d'una xapa d'alumini de 0,5mm de gruix és de la font ITEC [31].

<b>Preu xapa d'alumini de 0,5mm de gruix</b>	12€/m <sup>2</sup>
<b>Metres quadrats per plaqueta reflectora</b>	0,09427 m <sup>2</sup>
<b>Número total de plaquetes</b>	48
<b>Metres quadrats necessaris</b>	4,58 m <sup>2</sup>
<b>PREU TOTAL</b>	<b>54,96€</b>

**Taula 9.3** Cost plaquetes reflectores

○ **Molla bimetàl·lica**

Per tal de calcular el preu de la molla bimetàl·lica en primer lloc s'ha calculat el pes del material requerit. El material utilitzat tenia una densitat de 8,2 g/cm<sup>3</sup> i la tira utilitzada per fer la molla té una llargada de 671,28mm, una amplada de 4mm i un gruix de 1mm, resultant una massa de 2,684g. Com que no s'ha trobat el preu exacte del material utilitzat, s'ha calculat aquest cost a partir del preu d'un bimetall de característiques molt semblants del fabricant Hangzhou Ualloy Material [32].

Cal tenir present que el preu del material és molt baix ja que es tracta d'una peça de dimensió molt reduïda. Per tant, comptant aspectes com tot el procés de fabricació, ma d'obra i embalatge s'ha assignat un preu mínim per tal de presentar un pressupost més realista, detallat a la taula 9.4.

	<b>Preu</b>	<b>Quantitat requerida</b>	<b>Preu material</b>	<b>Preu mínim</b>
<b>Bimetall 5J1480</b>				
Components: Ni22Cr3/Ni36				
Rang de temperatures: -70 a 350°C				
Rang de linealitat: -20 a 180°C	40€/kg	2,684g	0,11 €	<b>5€</b>
Conductivitat tèrmica: 22 W/m·°C				
Mòdul elàstic: E=1,7·10 <sup>5</sup> MPa				
Densitat: 8,2 g/cm <sup>3</sup>				

**Taula 9.4** Cost molla bimetàl·lica

- **Sistema de transmissió**

L'element principal del sistema de transmissió és la corretja. El mecanisme incorpora dues corretges, una a cada extrem de les plaques reflectores. La longitud total d'aquestes corretges és aproximadament 2m cada una, així que en total es necessiten 4m. Per tal d'aproximar el pressupost s'ha calculat a partir del preu d'una corretja d'impresora 3D provinent de la font 3dSmart [33], tal i com es mostra a la taula 9.5.

	Preu	Metres totals	Preu total
<b>Corretja distribució impressora 3D</b>			
Amplada: 6mm	2,28€/m	4m	<b>9,12€</b>
Material: Cautxú i fibra de vidre reforçada			

**Taula 9.5** Cost corretges de transmissió

- **Implementació i fabricació del sistema en el captador**

S'ha estimat el cost de fabricació i muntatge de tot el sistema de protecció contra el sobreescalfament, així com totes les parts que no s'han inclòs en els costos anteriors. Aquest cost ha estat del 30% respecte el preu total del captador abans d'incorporar aquest sistema. Així doncs, com que el captador de placa plana té un preu de 657€, el cost d'implementació d'aquest muntatge s'estima de **197,1€**.

## COST TOTAL

	Preu
<b>Captador de placa plana</b>	657€
<b>Plaquetes reflectores</b>	54,96€
<b>Molla bimetal·lica</b>	5€
<b>Sistema de transmissió</b>	9,12€
<b>Implementació i fabricació del sistema</b>	197,1€
<b>TOTAL</b>	<b>923,18€</b>



## 9.2. Viabilitat econòmica

Per tal de comprovar la viabilitat econòmica del projecte en primer lloc s'han estimat els costos dels futurs passos a seguir per tal de poder llençar el producte al mercat amb garanties d'èxit. Després s'ha fet una previsió de vendes i finalment s'ha aproximat el període de retorn.

### • Previsió de costos totals

La primera part per comprovar la viabilitat econòmica del projecte és la estimació de costos del mateix. En aquesta estimació es tindran en compte tots els costos associats a les diferents fases de tot el cicle de vida del projecte.

- **Costos de disseny:** fins el moment present s'han acumulat un total 340 hores de amb un 3.722,40 €. Per tal de fer un disseny amb detall, caldria dedicar un mínim de 200 hores més de feina, i possiblement contar amb enginyers superiors especialitzats. S'estima un cost total de **8.000€**.

- **Costos de prototipatge:** Un cop finalitzat el disseny final, cal construir un prototip abans de començar la futura línia de producció. Aquest prototip serà un model del que serà el producte final i s'haurà de provar per tal de comprovar el seu correcte funcionament. Com que el mecanisme és relativament senzill s'estima un cost total de prototipatge, de **10.000€**.

- **Inici línia de producció:** Cal tenir present que abans d'iniciar la fabricació del producte cal condicionar la línia de producció del mateix. Tots els processos de fabricació de les peces són estàndards, des del doblat de la xapa d'alumini fins a la fabricació de la molla. Per tant tots els components es poden encarregar a empreses exteriors i centrar la línia de producció a muntatge de les diferents parts. D'altre banda les fàbriques de captadors ja disposen de la maquinària per tant només caldria condicionar la línia de producció per poder incorporar els elements del nou sistema. Així doncs el cost s'ha estimat en **20.000€**.

- **Costos de producció-operació:** S'estimaran uns costos fixes de forma mensual més el cost extra de fabricació de cada captador. Els costos fixes engloben els costos de personal per a la producció, energètics, manteniment, materials, fabricació dels captadors, etc. S'han estimat uns **13.000€ mensuals fixes**. Aquest cost mensual es pot re-calcular cada any en funció de la previsió de vendes de l'any vinent i les instal·lacions i

personal necessaris. Pel que fa als costos de fabricació de captadors, tal com s'ha calculat a anteriorment és un total de **923,18€ cada unitat**.

- **Costos de suport al producte i estructura:** S'estimaran de forma mensual. En aquest bloc s'inclouen els costos de logística, infraestructura, control de qualitat, màrqueting, etc. S'estima un cost de **40.000€ mensuals**.

A la taula 9.6 es resumeixen els principals costos del projecte.

Concepte	Preu
<b>Inversió inicial</b>	
Cost de Disseny	8.000€
Cost Prototipatge	10.000€
Línia de producció	20.000€
<b>TOTAL</b>	<b>38.000€</b>
<b>Costos mensuals fixes</b>	
Costos de producció-operació fixes	13.000€
Costos de suport al producte i estructura	40.000€
<b>TOTAL</b>	<b>53.000€</b>

**Taula 9.6** Previsió dels costos totals del projecte

## • Previsió de vendes

Per tal de fer una previsió de vendes d'aquests captadors amb el sistema de protecció contra el sobreescalfament incorporat s'ha consultat el Pla d'Energies Renovables 2011-2020 de la IDAE [34].

Segons les seves previsions, en aquest interval de 10 anys l'energia solar tèrmica tindrà un creixement de 3,4 milions de m<sup>2</sup> sent el sector residencial el principal consumidor i usuari. Per realitzar els càlculs s'ha assumit que la meitat d'aquests metres quadrats aniran destinats a la producció d'aigua calenta sanitària i que la meitat d'aquests 1,7 milions de m<sup>2</sup> seran captadors de placa plana. Així doncs s'estima una implementació de 0,85 milions de m<sup>2</sup> de captadors de placa plana a Espanya en un període de 10 anys. Si cada captador té 2m<sup>2</sup> de superfície de captació i la implementació és constant al llarg dels 10 anys resulten un total de 42.500 captadors nous cada any a Espanya.

En aquest punt s'han estimat les vendes de captadors que incorporin el sistema de protecció contra sobreescalfament dissenyat. La previsió de vendes s'ha realitzat respecte el total de captadors de placa plana venuts cada any a Espanya suposant les vendes constants a cada mes. A la taula 9.7 es mostra la previsió de vendes dels primers mesos del projecte.

	0-6 mesos	6-18 mesos
% respecte el total venuts	5%	7%
Unitats venudes mensualment	<b>177</b>	<b>248</b>

**Taula 9.7** Previsió de vendes durant els primers 18 mesos

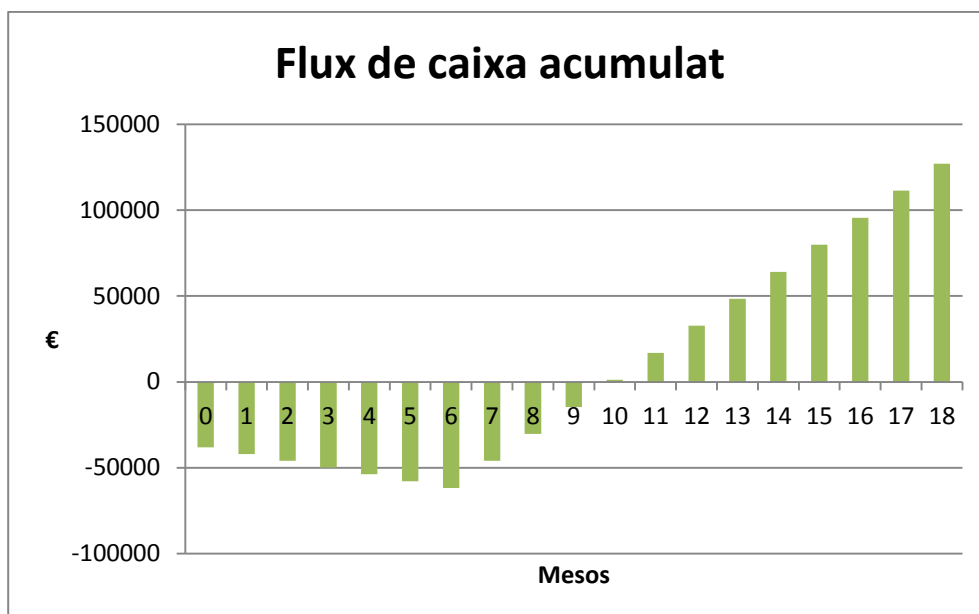
- **Preu de venda del captador**

El cost de fabricació del captador amb el sistema de protecció contra el sobreescalfament és de 923,18€. Degut a la simplicitat del sistema enfront altres solucions és viable obtenir un alt marge de benefici. Segons dades de l'Ajuntament de Barcelona [35] un dissipador estàtic té un cost d'uns 980 – 1050€, mentre que el preu d'un dissipador dinàmic està al voltant de 850€.

S'ha establert un marge de benefici del 30% respecte el preu de fabricació de tot el sistema, captador de placa plana més sistema de protecció contra el sobreescalfament, resultant un preu de venda de **1200,13€**. Tot i això, el marge de benefici podria ser inferior per fer la placa més competitiva.

- **Anàlisi econòmic**

Un cop desglossats els diferents costos del projecte i estudiada la previsió de vendes s'ha fet una anàlisi dels fluxos de caixa i del flux de tresoreria acumulat, per tal de veure el període de retorn i la viabilitat econòmica global del projecte. Els càlculs detallats es mostren a l'annex B.



El període de retorn del projecte és de 10 mesos.

A continuació s'ha calculat el VAN del projecte amb un interès de 10% i el TIR:

**VAN=5.281€**

**TIR=11%**

## 10. Impacte ambiental

Aquest projecte s'emmarca dins el conjunt d'energies renovables, font d'estalvi econòmic i d'estalvi d'emissions de gasos nocius i contaminació a l'atmosfera. Dins d'aquest context l'energia solar tèrmica té una important presència al mercat i continuat creixement. No obstant, l'ús d'aquesta energia requereix sempre un sistema auxiliar de generació d'energia convencional, ja sigui per tal de suplir les necessitats en les condicions més desfavorables. D'altre banda, el propi sistema de captació solar necessita una petita aportació d'energia elèctrica per funcionar.

L'estudi de l'impacte ambiental d'aquest projecte s'ha dividit en dues parts: en primer lloc l'impacte que genera tot el procés de fabricació, així com l'obtenció i tractament dels materials necessaris. En segon lloc s'ha comparat el sistema dissenyat amb un sistema actual per tal de determinar l'estalvi energètic i, per tant, l'impacte ambiental positiu que produeix el sistema pel fet de tractar-se d'un sistema passiu.

### 10.1. Materials i fabricació del sistema

Per a la fabricació d'aquest sistema de protecció contra el sobreescalfament s'utilitzen principalment metalls, especialment l'alumini ja que les plaquetes reflectores estan fetes d'aquest metall polit. L'alumini és l'element metàl·lic més abundant a l'escorça terrestre, tot i això la seva extracció requereix una gran quantitat d'energia, dels metalls amb un consum energètic més elevat per la seva producció. La producció d'alumini té diverses repercussions mediambientals partint de l'extracció en mines a cel obert de la bauxita i la transformació d'aquesta a alúmina, per després extreure l'alumini elemental. Els efectes més significatius són la desforestació, contaminació de l'aire i l'aigua, producció de fang vermell i elevat consum d'aigua.

Tot i els inconvenients que presenta la seva extracció i tractament es tracta d'un material 100% reciclable i en aquest procés les seves qualitats físiques i químiques no disminueixen. El procés de reciclatge d'aquest material consumeix poca energia, només un 5% de l'energia necessària per produir el metall primari inicial.

## 10.2. Estalvi energètic

Com la majoria d'activitats humanes, la generació d'energia elèctrica per mitjà d'energies no renovables produeix notables emissions de CO<sub>2</sub>. El mix elèctric és el valor que expressa les emissions de CO<sub>2</sub> associades a la generació de l'electricitat que es consumeix. Com més petit és el mix, més gran és la contribució de fonts energètiques baixes en carboni. Segons l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic [36] el mix elèctric de la xarxa elèctrica peninsular de 2015 s'estima en 0,302 g CO<sub>2</sub> /Wh.

Molts dels actuals sistemes de prevenció contra el sobreescalfament, utilitzen també energia elèctrica per funcionar. Per exemple, tècniques com el refredament nocturn o els dissipadors dinàmics funcionen gràcies a que la bomba que bombeja el fluid caloportador està activada. Un altre exemple són les persianes motoritzades que funcionen mitjançant un motor elèctric.

El sistema de prevenció contra el sobreescalfament dissenyat funciona amb els propis canvis de temperatura i per tant no necessita una font d'energia auxiliar per funcionar. Per tant, al tractar-se d'un dispositiu passiu, genera un impacte ambiental positiu. Per tal d'aproximar aquest impacte, s'han quantificat les emissions de CO<sub>2</sub> que emet un sistema de dissipació dinàmic pel seu consum d'energia elèctrica.

S'ha suposat un sistema d'ACS de circulació forçada amb una àrea de captació solar 10m<sup>2</sup>. Segons les recomanacions del Codi Tècnic de la Edificació [10] la potència elèctrica màxima de la bomba de circulació ha de ser de 50Wh (o del 2% de la major potència calorífica que pugui subministrar el grup de captadors) pels sistemes petits. D'altre banda, s'ha assumit que aquest sistema incorpora un dissipador dinàmic amb un motor que activa el ventilador i que també consumeix energia elèctrica. A partir del catàleg Salvador Escoda [11] s'ha assumit que el motor d'un dissipador per una instal·lació de 10m<sup>2</sup> de captació solar consumeix 100Wh (Model BD 08). D'aquesta manera, el funcionament del dissipador dinàmic requereix un consum de 150Wh. A la taula 10.1 es mostren les emissions de CO<sub>2</sub> emeses per aquest dispositiu.

<b>Element</b>	<b>Consum elèctric</b>
Bomba de circulació	50Wh
Motor del dissipador dinàmic	100Wh
<b>Total</b>	<b>150Wh</b>

---

**Mix elèctric 0,302 g CO<sub>2</sub> /Wh**

---

**Emissions de CO<sub>2</sub>: 45,33 g CO<sub>2</sub> /h**

**Taula 10.1** Emissions de CO<sub>2</sub> emeses per un dissipador dinàmic d'un sistema de captació de 10m<sup>2</sup>

Finalment per completar l'estudi s'han aproximat les hores de sobreescalfament anuals. Considerant els mesos de maig a agost, s'ha estimat que els dissipadors treballen 4 hores diàries per tal d'evacuar l'excés de calor, resultant un total de 120 hores anuals. Per tant, en una instal·lació com la descrita anteriorment el consum elèctric total genera unes emissions de **5.439,6 g CO<sub>2</sub> anuals**.

Utilitzant el sistema de prevenció contra el sobreescalfament dissenyat s'evita l'ús d'energia elèctrica per tal d'eliminar l'energia tèrmica sobrant, per tant aquest sistema genera un impacte ambiental positiu.

## 11. Avaluació del sistema dissenyat

Un cop estudiada la viabilitat del projecte plantejat s'ha fet una avaluació global de tot el sistema. Per fer-ho es presenta una llista d'avantatges i inconvenients que presenta el sistema i projecte en conjunt.

### Avantatges

- Sistema fiable, autònom i eficient.
- Sistema passiu, sense consum elèctric. Això suposa un estalvi econòmic així com un impacte ambiental positiu.
- Integrat dins el captador de placa plana, simplificant així la instal·lació i disminuint costos de fabricació.
- Aïllat de les condicions ambientals. Evita així danys causats per condicions atmosfèriques extremes, disminuint així el risc d'averia i augmentant la fiabilitat i vida útil del sistema.
- Les pèrdues d'incidència solar a l'estiu afavoreixen al rendiment global de la instal·lació solar tèrmica.
- Sistema econòmic amb un preu competitiu al mercat.

### Inconvenients

- Possibles ajustaments manuals del sistema durant la instal·lació. En funció de la situació geogràfica i orientació del captador caldria ajustar el sistema per tal d'obtenir el màxim rendiment possible a l'hivern. Això introdueix la possibilitat d'error humà.
- Petites pèrdues d'incidència solar a l'hivern.
- La reflexió dels rajos solars sobre les plaquetes pot causar impacte visual molestant a alguns individus.



## Conclusions

L'energia solar tèrmica és una energia renovable eficient i econòmica que s'utilitza des de fa anys i que cada cop està més present a les vivendes. Tot i això hi ha alguns aspectes del seu funcionament, com el sobreescalfament de les instal·lacions els mesos d'estiu, encara no estan del tot resolts.

Un cop analitzades les solucions que s'han plantejat per resoldre el problema al llarg dels anys s'ha comprovat que és un problema que es pot enfocar de moltes maneres, totes elles amb avantatges i inconvenients. Les solucions que s'han trobat més interessants són aquelles que ataquen el problema per la seva base intentant aconseguir captadors que siguin capaços de no absorbir més calor a partir d'arribar a una certa temperatura.

El sistema que s'ha dissenyat aporta una nova solució que segueix la línia de totes aquelles que presenten captadors de placa plana que no necessiten cap element auxiliar ni consumeixen energia extra per protegir-se del sobreescalfament.

## Bibliografia

### Referències bibliogràfiques

- [1] PEDRO RUFES MARTÍNEZ, *Energía solar térmica. Técnicas para su aprovechamiento*. Barcelona Marcombo 2010
- [2] MÓDULO SOLAR, *Captador solar plano de alta eficiencia Maxol 2.0S*. 2010
- [3] SURESH KUMAR, S.C. M MULLICK, *Glass cover temperature and top heat loss coefficient of a single glazed flat plate collector with nearly vertical configuration*. Ain Shams Engineering Journal 2012
- [4] M.AL-KHAFFAJY, R. MOSSAD, *Optimization of the Air Gap Spacing In a Solar Water Heater with Double Glass Cover*. Monash University November 2011
- [5] PEDRO FERNÁNDEZ DíEZ, *Energía solar, 3.Colectores de placa plana*. Santander
- [6] FABIO STRUCKMANN, *Analysis of a Flat-plate Solar Collector*. Lund University, Dept. Of Energy Sciences. Sweden 2008
- [7] FRANCESC ROURE FERNÁNDEZ, FREDERIC MARIMON CARVAJAL. *Resistència de materials*. Barcelona, Setembre 2014.
- [8] JAVIER OLIVER, *Implementación de una unidad productiva dedicada a la fabricación de estructuras soldadas de aluminio, anexo 7*. UPCommons Barcelona 2005
- [9] INSTITUT CATALÀ DE L'ENERGIA, *Atles de radiació solar a Catalunya*. Barcelona, Setembre 2001
- [10] BOE, *Código técnico de la edificación*. Sección HE4, Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria.
- [11] KANTHAL, *Thermostatic Bimetal Handbook*. Sweden 2012
- [12] AJUNTAMENT DE BARCELONA. ÀREA D'ECOLOGIA URBANA. *Guia de terrats vius i cobertes verdes*. Barcelona, desembre 2015
- [13] TECNALIA i ACCIONA, *Effective INtegration of Seasonal Thermal Energy storage*

*systems IN existing buildings*. February 2013

- [14] UNIVERSITÉ DE LAUSANNE, *Temperature-dependent multiangle FTIR NIR-MIR ellipometry of thermochromic VO<sub>2</sub> and V<sub>1-x</sub>W<sub>x</sub>O<sub>2</sub> films*. Suïssa, Març 2015
- [15] UGINOX, *Acero inoxidable* <<http://www.uginox.com/es/node/931>> maig 2016
- [16] GIRBAU ACE, *Els panells solars també pateixen amb les altes temperatures*. [En línia] <<http://www.acegranollers.cat/>> març-abril 2016
- [17] SOLAR MAPU, *Fundas solares*, [En línia] <<http://www.solmapu.es/>> març-abril 2016
- [18] KUBERTOR, *Persianas motorizadas para paneles solares*. [En línia] <<http://johnit9.wix.com/kubertor>> març-abril 2016
- [19] TERMICOL, *Disipadores de calor*. [En línia] <<http://www.termicol.es/pt/accesorios/productos>> març-abril 2016
- [20] KONETSU, *Disipador estático*. [En línia] <<http://www.konetsu.es/>> març-abril 2016
- [21] ORKLI, *Captador plano*. [En línia] <<http://www.orkli.es/cas/sistemas/oksol-es/es/>> març-abril 2016
- [22] SOLAR BOSH, *Captadores solares* [En línia] <<http://www.solarbosch.com/>> abril 2016
- [23] SOLARMASTER, *Captadores solares tubos de vacío*. [En línia] <<http://calentadorsolar.net/>> març-abril 2016
- [24] CELSIA, *Captador solar termosifón*. [En línia] <<http://www.clielsa.com/Servicios/EnergiasRenovables.aspx>> març-abril 2016
- [25] INSTITUT CATALÀ DE L'ENERGIA, *Quadern pràctic Energia solar tèrmica*. Primera edició Barcelona 2009
- [26] SIDITE, *Captadores solares*. [En línia] <<http://www.sidite-energy.com/>> març-abril 2016
- [27] SOLARFOCUS, *Captadores solares* [En línia] <<http://www.solarfocus.com/products/solar-energy-systems/>> març-abril 2016
- [28] PURA SOL, *Captadores solares* [En línia] <<http://www.purasol.co.cr/>> març-abril 2016

- [29] BOE, *Tablas salariales para 2013 del I Convenio Colectivo Dematic Logistic Systems, S.A*, a 27/02/2013
- [30] BAXI, *Catálogo de precios*. Barcelona 2009
- [31] ITEC, *Chapa de aluminio*, [En línea] juny 2016  
<<http://itec.es/noumetabase2.e/consultes.aspx?paraula=B863A4A7>>
- [32] Hangzhou Ualloy, *Material bimetálico*. <<http://www.hktdc.com/en-buyer/>> juny 2016
- [33] 3DSMART, *correa GT2*. [En línea] <<http://www.3dsmart.es/impresora-3d/mecanica/poleas-y-correas/correa-gt2-6mm.html>> juny 2016
- [34] IDAE, *Plande Energias Renovables 2011-2020*. Madrid 2011
- [35] ANTONIO RUIZ, INTIAM RUIA, *El mantenimiento de les instal·lacions solars tèrmiques*. Barcelona, Juny 2014.
- [36] OFICINA CATALANA DEL CANVI CLIMÀTIC, *Factor d'emissió associat a l'energiaelèctrica: el mix elèctric [canvyclimatic.gencat.cat/ca/redueix\_emissions/factors\_demissio\_associats\_a\_lenergia, 8 de juny de 2016]*
- [37] SALVADOR ESCODA, *catálogo de productos*, Barcelona 2012

### Bibliografia complementària

- SPACENET, *Patent Database* <<https://worldwide.espacenet.com/>> febrer-juny 2016
- GOOGLE PATENTS, *Patent Database* <<https://patents.google.com/>> febrer-juny 2016
- RECERCH GATE, *Social Networking* <<https://www.researchgate.net/home>> març-maig 2016
- LLUIS ALBERT BONALS. *Termotècnia, apunts de classe*. Barcelona, Setembre 2015
- SCHI FINDER, *Research discovery application*, 2016 [en línea]