

ÍNDEX

1.- INTRODUCCIÓ

2.- DADES INICIALS

- 2.1. Ús de l'edifici
- 2.2. Utilització de l'aigua
- 2.3. Característiques de l'edifici
- 2.4. Tipus d'energia auxiliar

3.- DETERMINACIÓ DE LA PRODUCCIÓ ENERGÈTICA SOLAR MÍNIMA

- 3.1. Estimació del consum d'aigua calenta sanitària
- 3.2. Càlcul de les necessitats energètiques derivades del consum d'aigua calenta
 - 3.2.1. Definicions prèvies.
 - 3.2.2. Càlcul de la demanda energètica
- 3.3. Determinació de la contribució solar mínima exigida, en %.
- 3.4. Càlcul de la producció energètica solar mínima exigida
- 3.5. Verificació de la normativa més exigent
- 3.6. Exempcions
 - 3.6.1. Exempcions parcials
 - 3.6.2. Exempcions totals
 - 3.6.3. Procediment d'actuació

4.- ELECCIÓ DE LA CONFIGURACIÓ DEL SISTEMA SOLAR

5.- CÀLCUL DE LA SUPERFÍCIE DE CAPTACIÓ NECESSÀRIA

- 5.1. Mètode de càlcul
- 5.2. Radiació solar

6.- ELECCIÓ I DISSENY DELS COMPONENTS DE LA INSTAL·LACIÓ

6.1. Captadors solars

6.2. Inclinació i orientació del camp

6.3. Configuració del camp de captació solar

6.4. Acumulació solar

6.5. Vas d'expansió

6.6. Bescanviadors

6.7. Circuits hidràulics

6.8. Mesures de protecció

6.9. Sistema de control

6.10. Integració arquitectònica

1.- Introducció

El present document s'ha elaborat amb l'objectiu de servir de guia per a l'elaboració del projecte d'una instal·lació solar tèrmica en el marc d'aplicació de l'Ordenança Solar de Barcelona. Per aquest motiu, el document presta una especial atenció als aspectes que es consideren importants pel compliment dels objectius de l'esmentada ordenança.

L'estructura de la guia tracta de reproduir ordenadament la seqüència de decisions, càlculs i eleccions de materials que conforma el procés d'elaboració d'un projecte, des de la primera aproximació a l'edifici fins a l'elecció dels components del sistema.

2.- Dades inicials

Abans d'iniciar el disseny de la instal·lació, el projectista ha de comprovar que disposa de tota la informació necessària sobre les característiques de l'edifici i, en particular, dels aspectes que s'indiquen a continuació.

2.1. Ús de l'edifici

Com es veurà més endavant, l'*ordenança solar* estableix uns paràmetres per al càlcul de la demanda energètica de partida, que depenen de l'ús de l'edifici. Les possibilitats són les que s'indiquen a la taula següent.

Guia per la realització de projectes d'energia solar tèrmica

- | | |
|------------------------------|-------------------------------------|
| 1. habitatges unifamiliars | 10. vestuaris / dutxes col·lectives |
| 2. habitatges plurifamiliars | 11. escoles |
| 3. hospitals i clíniques | 12. casernes |
| 4. hotel **** | 13. fàbriques i tallers |
| 5. hotel *** | 14. oficines |
| 6. hotel ** | 15. gimnasos |
| 7. hostals i pensions | 16. bugaderies |
| 8. càmpings | 17. restaurants |
| 9. residències geriàtriques | 18. cafeteries |

En alguns casos, és possible la coexistència de més d'un ús a un mateix edifici com, per exemple, en edificis d'habitatges amb una activitat diferent als locals de la planta baixa (gimnàs, restaurant,...).

2.2. Utilització de l'aigua

L'ordenança solar de Barcelona estableix la obligatorietat de realitzar una instal·lació solar en aquells edificis amb necessitats de:

- producció d'aigua calenta sanitària
- escalfament de l'aigua de piscines cobertes o
- producció d'aigua calenta per a usos industrials

L'aplicació més usual de l'energia solar és la producció d'aigua calenta sanitària, amb gran diferència sobre les altres dues. Per aquest motiu, en la present guia es tractarà d'una manera preferencial aquest tipus d'instal·lació.

És possible que en un mateix edifici existeixi més d'una de les necessitats indicades. Aquest és el cas, per exemple, d'edificis esportius amb necessitats d'escalfament de l'aigua de piscines cobertes i d'aigua calenta sanitària per les dutxes dels vestidors.

L'escalfament de l'aigua de piscines descobertes no es pot realitzar amb fonts d'energia convencionals, segons estableix el Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques en els Edificis (RITE):

Guia per la realització de projectes d'energia solar tèrmica

ITE 10.2 Acondicionamiento de piscinas

ITE 10.2.1 Diseño

ITE 10.2.1.1 Generalidades

El consumo de energías convencionales para el calentamiento de piscinas está permitido solamente cuando estén situadas en locales cubiertos. En piscinas al aire libre solo podrán utilizarse para el calentamiento del agua fuentes de energías residuales o de libre disposición, como la energía solar, el aire, el agua o el terreno.

2.3. Característiques de l'edifici

El projectista ha de dissenyar una instal·lació adaptada a les característiques concretes de l'edifici. Així, és de gran importància familiaritzar-se amb el projecte arquitectònic i conèixer les particularitats de la utilització prevista abans d'iniciar l'elaboració del projecte de la instal·lació.

En general, la major part de la informació necessària està continguda als plànols del projecte de l'edificació. A continuació s'indiquen alguns aspectes que poden ser rellevants pel disseny de la instal·lació solar:

- Ubicació i orientació de l'edifici.
- Situació de la sala de màquines o locals tècnics
- En el cas d'edificis d'habitatges plurifamiliars, nombre i tipus d'habitatges i distribució a l'edifici (nombre d'escalas, nombre d'habitatges per pis,...)
- Característiques de la instal·lació tèrmica auxiliar (fonts energètiques disponibles a l'edifici, existència de calderes individuals de calefacció en edificis d'habitatges, centralització d'instal·lacions,...)
- Identificació d'espais disponibles per a la ubicació dels captadors solars (cobertes inclinades terrasses,...)
- Espais disponibles per a la ubicació de la resta de components de la instal·lació i, en especial, de l'acumulació solar.
- Període i particularitats de la utilització de l'edifici (p. ex. temporada de funcionament d'un establiment turístic, previsions d'ocupació,...)

Guia per la realització de projectes d'energia solar tèrmica

Quan es tracta de nova construcció, el projecte de l'edifici s'ha d'elaborar tenint en compte també les necessitats de la instal·lació solar, principalment pel que fa als espais per a la ubicació dels equips i les canonades de connexió dels diferents elements. Així, la col·laboració entre el projectista del sistema solar i l'arquitecte responsable de la concepció de l'edifici és d'especial importància en tota la fase de disseny.

2.4. Tipus d'energia auxiliar

Les instal·lacions d'aprofitament de l'energia solar disposen d'un sistema d'aportació d'energia auxiliar per garantir la continuïtat del servei en qualsevol moment, inclòs quan les condicions meteorològiques no són favorables per a la captació solar.

El projectista ha de conèixer quina és l'energia auxiliar disponible i el tipus de sistema que es pretén utilitzar (gas natural mitjançant calderes instantànies individuals, gas natural amb caldera i dipòsit d'acumulació centralitzat, electricitat mitjançant resistències elèctriques en acumuladors individuals, etc.) i com condiciona el disseny de la instal·lació solar.

Com es veurà més endavant, en el cas d'instal·lacions de producció d'aigua calenta sanitària, el tipus d'energia auxiliar influeix en el càlcul de la contribució energètica mínima exigida. A l'article 4 de l'ordenança solar es distingeix entre dues opcions:

- a. cas general: si la font energètica auxiliar és gasoil, propà, gas natural o altres
- b. efecte Joule: si la font energètica auxiliar és electricitat mitjançant efecte Joule.

3.- Determinació de la producció energètica solar mínima

L'Ordenança Solar estableix la obligatorietat de realitzar una instal·lació solar per cobrir un determinat percentatge de la demanda energètica considerada. Aquest percentatge s'estableix en cada cas concret en funció de la demanda d'aigua calenta sanitària prevista, en litres/dia i el tipus d'energia auxiliar.

Guia per la realització de projectes d'energia solar tèrmica

Les característiques de la instal·lació solar i, en particular, la superfície de captació necessària per complir els requeriments de l'ordenança, es determina, entre d'altres factors, en funció de la quantitat d'energia anual (en kWh/any o MJ/any) que ha d'aportar el sistema solar.

En una instal·lació de producció d'aigua calenta sanitària, el procediment d'actuació podria ser el següent:

1. Estimació del consum d'aigua calenta sanitària previst a l'edifici, en litres/dia
2. Càlcul de les necessitats energètiques derivades del consum d'aigua calenta (en kWh/any)
3. Determinació de la contribució solar mínima exigida, en %.
4. Càlcul de la producció energètica solar mínima exigida, en kWh/any.

En el cas d'altres aplicacions diferents de la producció d'aigua calenta sanitària (escalfament de piscines o producció d'aigua calenta per a usos industrials), el projectista triarà el procediment de càlcul de la demanda energètica que consideri més adaptat a les condicions particulars de cada cas. Per exemple, el càlcul de les necessitats energètiques derivades de l'escalfament de piscines cobertes es pot realitzar a partir d'un balanç energètic mensual que tingui en compte els diferents mecanismes de pèrdues i aportacions d'energia per evaporació, conducció, convecció, renovació i radiació.

3.1. Estimació del consum d'aigua calenta sanitària

El càlcul de les necessitats d'aigua calenta sanitària (en litres/dia) es realitza a partir d'uns valors unitaris que depenen del tipus d'edifici. A l'annex I de l'Ordenança Solar s'estableixen els valors mínims de consum unitari d'aigua calenta sanitària a una temperatura de 60°C, que s'indiquen a continuació

Guia per la realització de projectes d'energia solar tèrmica

Tipus d'ús	Litres ACS/dia a 60°C	Unitats
habitatges unifamiliars	30	<i>l/persona</i>
habitatges plurifamiliars	22	<i>l/persona</i>
hospitals i clíniques (*)	55	<i>l/lit</i>
hotel **** (*)	70	<i>l/lit</i>
hotel *** (*)	55	<i>l/lit</i>
hotel ** (*)	40	<i>l/lit</i>
Hostals i pensions (*)	35	<i>l/lit</i>
càmpings	40	<i>l/emplaçament</i>
residències geriàtriques (*)	55	<i>l/persona</i>
Vestuaris / Dutxes col·lectives	15	<i>Per servei</i>
escoles	3	<i>l/alumne</i>
Casernes (*)	20	<i>l/persona</i>
fàbriques i tallers	15	<i>l/persona</i>
oficines	3	<i>l/persona</i>
gimnasos	20	<i>l/usuari</i>
bugaderies	3	<i>l/ quilo de roba</i>
restaurants	5	<i>l/ àpat</i>
cafeteries	1	<i>l/dinar</i>

En ús residencial, el càlcul del nombre d'ocupants d'un edifici s'ha de realitzar utilitzant com a valors mínims els que es relacionen a continuació, en funció del nombre de dormitoris de cada habitatge (*Ordenança Solar. Annex I, punt 2*):

Estudis d'un únic espai o habitatge d'un dormitori	1,5 persones
Habitatges de 2 dormitoris	3 persones
Habitatges de 3 dormitoris	4 persones
Habitatges de 4 dormitoris	6 persones
Habitatges de 5 dormitoris	7 persones
Habitatges de 6 dormitoris	8 persones
Habitatges de 7 dormitoris	9 persones
A partir de 8 dormitoris es valoraran les necessitats com si es tractessin d'hostals	

Guia per la realització de projectes d'energia solar tèrmica

Exemple:

Càlcul de les necessitats d'aigua calenta sanitària d'un edifici de 20 d'habitatges, dels quals 6 habitatges són de 3 dormitoris, 10 habitatges són de 2 dormitoris i 4 habitatges són només d'un dormitori.

6 habitatges de 3 dormitoris (4 persones per habitatge) : $6 \times 4 = 24$ persones

10 habitatges de 2 dormitoris (3 persones per habitatge) : $10 \times 3 = 30$ persones

4 habitatges de 1 dormitori (1,5 persones per habitatge) : $4 \times 1,5 = 6$ persones

Total: 60 persones

Necessitats d'aigua calenta sanitària:

60 persones x 22 litres/persona i dia : 1.320 litres/dia d'aigua calenta a 60°C

Segons indica el punt 2 del mateix Annex I de l'ordenança, en el disseny de la instal·lació solar s'ha de preveure també el consum energètic dels locals situats en edificis d'habitatges, encara que el seu ús sigui desconegut en el moment de la sol·licitud de la llicència. En aquests casos, es considera que les necessitats energètiques del local són de 0,25 MJ/dia (0,07 kWh/dia) per cada m² de local.

A efectes pràctics, pot resultar interessant transformar aquest consum d'energia (en MJ/dia o kWh/dia) en consum d'aigua equivalent (en litres/dia a 60°C) i afegir-lo al consum calculat pels habitatges. Aquesta transformació es pot realitzar amb la següent fórmula:

$$\text{consum equivalent d'aigua calenta} = \frac{A_{\text{local}} \times 0,25 \cdot 10^6}{c_p \times (60 - T_{\text{af}})}$$

a on A_{local} : és la superfície del local [m²];

c_p : és la calor específica de l'aigua [4.180 J/kg.K];

T_{af} : és la temperatura mitjana anual de l'aigua de xarxa [16,18 °C¹].

¹ Als efectes del càlcul de la instal·lació solar, les temperatures mensuals de l'aigua de la xarxa s'indiquen al punt 8 de l'Annex I de l'Ordenança. El valor mitjà anual resultat és de 16,18°C.

Guia per la realització de projectes d'energia solar tèrmica

Exemple:

Recalculer les necessitats d'aigua calenta sanitària de l'edifici de l'exemple anterior suposant que a la planta baixa hi ha un local d'ús indefinit amb una superfície de 120 m²

$$\frac{A_{\text{local}} \times 0,25 \cdot 10^6}{c_p \times (60 - T_{\text{af}})} = \frac{120 \times 0,25 \cdot 10^6}{4180 \times (60 - 16,18)} = 163,78 \approx 164 \text{ litres}$$

<i>Consum d'aigua calenta equivalent del local:</i>	<i>164 litres/dia a 60°C</i>
<i>Consum d'aigua calenta dels habitatges:</i>	<i>1.320 litres/dia a 60°C</i>
<i>Consum total d'aigua calenta de l'edifici :</i>	<i>1.484 litres/dia a 60°C</i>

3.2. Càlcul de les necessitats energètiques derivades del consum d'aigua calenta

3.2.1. Definicions prèvies.

- ***Demanda energètica total:***

“La demanda energètica total és l'energia que requereix el sistema per poder subministrar la demanda d'aigua calenta als usuaris. És a dir, la demanda calculada en base al consum d'aigua, més les pèrdues d'acumulació, distribució i/o recirculació de l'aigua des del punt del circuit hidràulic on es realitza l'aportació de l'energia convencional fins als punts de consum finals.”

Per exemple, en una instal·lació centralitzada, les pèrdues energètiques de les canonades de distribució des de l'acumulador convencional fins els punts terminals de consum formen part de la demanda total

Guia per la realització de projectes d'energia solar tèrmica

- **Energia solar aportada:**

“L'energia aportada a la demanda és l'energia produïda al camp de captadors menys les pèrdues tèrmiques inherents al circuit hidràulic del camp de captadors fins al punt hidràulic on es realitza l'aportació de l'energia convencional.”

És l'energia solar aportada al sistema per a poder cobrir la demanda dels usuaris finals.

- **Contribució solar anual:**

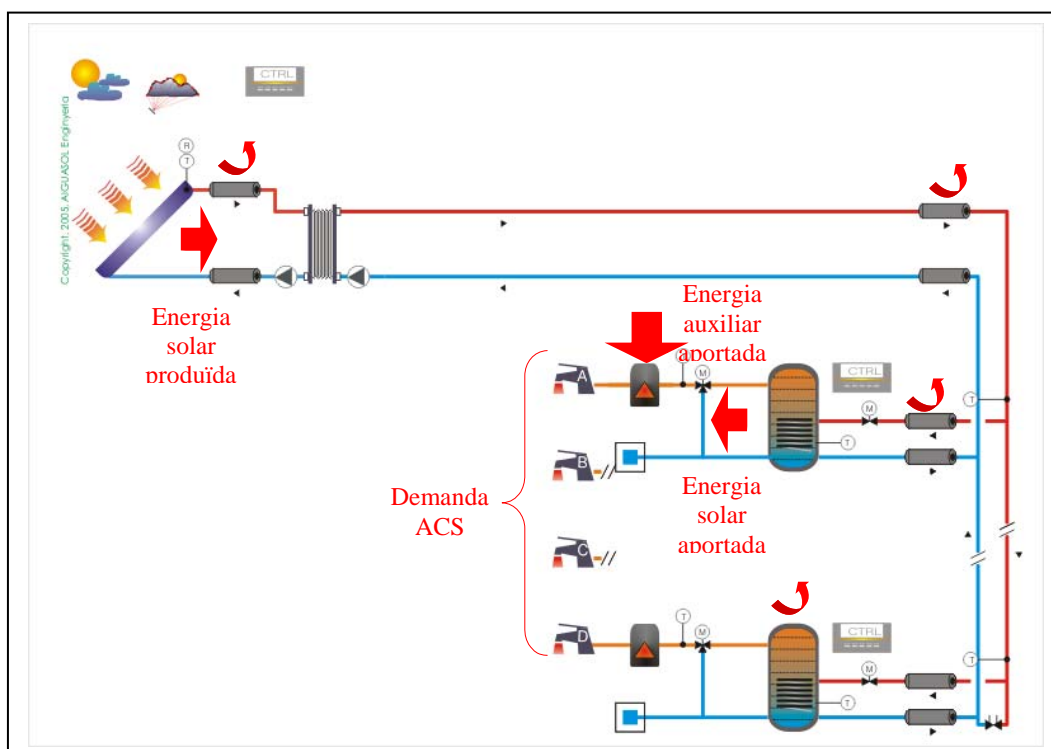
= fracció solar neta

“És la fracció percentual entre els valors anuals de l'energia solar aportada a la demanda i la demanda energètica total anual d'aigua calenta, obtinguts a partir de valors mensuals.”

La contribució solar anual és el percentatge de la demanda energètica total que és aportada exclusivament pel sistema solar tèrmic. En altres paraules, és el quocient entre l'energia solar aportada i la demanda energètica total, expressat en %.

A continuació s'aplica el concepte de demanda energètica total a dos exemples.

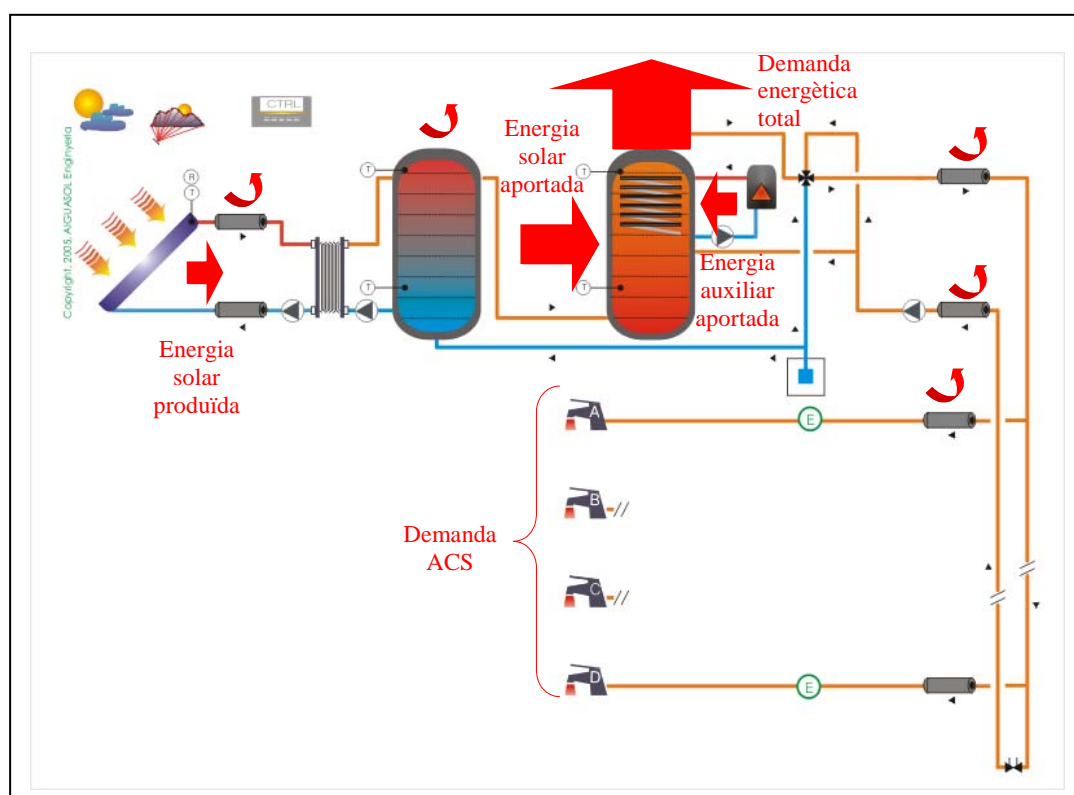
Exemple 1:



Guia per la realització de projectes d'energia solar tèrmica

En aquest cas, la demanda d'ACS s'acaba de completar pel sistema auxiliar dintre de cada habitatge. Per tant, les pèrdues de distribució de l'aigua des del punt d'aportació de l'energia convencional fins als punts de consum finals són negligibles.

Exemple 2:



En aquest cas, la demanda d'ACS es completa a partir de l'aportació d'energia auxiliar centralitzada, per exemple des d'una sala de calderes situada a la planta coberta de l'edifici. Les pèrdues de distribució de l'aigua des del punt d'aportació de l'energia convencional fins als punts de consum finals s'han de tenir en compte perquè, tot i l'aïllament de les canonades, aquestes transporten un fluid calent i les distàncies poden ser considerables.

3.2.2. Càlcul de la demanda energètica

Guia per la realització de projectes d'energia solar tèrmica

L'energia necessària per a l'escalfament d'una determinada quantitat d'aigua des de la temperatura de l'aigua freda de la xarxa T_{AF} fins a la temperatura de referència T_{ref} es pot calcular a partir de les expressions següents:

$$D_{ACS} = 4,18 \cdot Q_{ACS}(T_{ref}) \cdot (T_{ref} - T_{AF}) / 1000 \quad D_{ACS} \text{ en MJ/dia}$$

$$D_{ACS} = Q_{ACS}(T_{ref}) \cdot (T_{ref} - T_{AF}) / 860 \quad D_{ACS} \text{ en kWh/dia}$$

a on

$Q_{ACS}(T_{ref})$ és el consum d'aigua calenta sanitària a la temperatura T_{ref} [litres]

T_{AF} és la temperatura de l'aigua freda [°C]

L'ordenança indica uns valors mensuals de referència per a la temperatura de l'aigua freda T_{AF} , que es reproduïxen a continuació.

Mes	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Setembre	Octubre	Novembre	Desembre	Anual
Temperatura [°C]	10,27	10,72	12,39	14,15	16,63	19,39	20,91	22,44	21,53	19,07	14,95	11,7	16,18

Si els valors emprats per a la realització dels càlculs energètics del projecte són diferents, s'hauran de precisar a la memòria.

Només es podran utilitzar valors de temperatura de l'aigua freda superiors als proposats a l'Ordenança si s'adjunta al projecte una certificació d'una entitat homologada que ho justifiqui.

Exemple:

Calcular la demanda energètica derivada de la producció d'aigua calenta sanitària en un edifici de 20 d'habitatges, dels quals 6 habitatges són de 3 dormitoris, 10 habitatges són de 2 dormitoris i 4 habitatges són només d'un dormitori.

Guia per la realització de projectes d'energia solar tèrmica

El càlcul de les necessitats d'aigua calenta a 60°C s'ha realitzat anteriorment, amb un resultat de 1.320 litres/dia.

El càlcul energètic es realitza aplicant la fórmula indicada als 12 mesos de l'any. El consum d'aigua calenta, en litres/mes es calcula multiplicant el consum diari pel nombre de dies del mes. La temperatura de l'aigua freda de la xarxa és la que correspon a cada mes.

$$D_{ACS} = Q_{ACS}(T_{ref}) \cdot (T_{ref} - T_{AF}) / 860$$

Gener: $Q_{ACS}(T_{ref}) = 31 \times 1.320 = 40.920 \text{ litres}$ $T_{AF} = 10,27^\circ \text{C}$
 $D_{ACS} = 40.920 \times (60 - 10,27) / 860 = 2.366 \text{ kWh}$

Febrer: $Q_{ACS}(T_{ref}) = 28 \times 1.320 = 36.960 \text{ litres}$ $T_{AF} = 10,72^\circ \text{C}$
 $D_{ACS} = 36.960 \times (60 - 10,72) / 860 = 2.118 \text{ kWh}$
(...)

La demanda energètica anual s'obté sumant els 12 valors mensuals. El resultat és de 24.533 kWh/any.

La taula de consums unitaris d'aigua calenta sanitària que figura al punt 1 de l'Annex I de l'Ordenança (i reproduïda anteriorment) està referida a una temperatura de 60°C.

En el cas de triar una temperatura de disseny diferent de 60°C, la demanda d'aigua calenta a considerar a efectes de càlcul de la instal·lació, serà la que s'obtingui a partir de la següent expressió:

$$D_{ACS}(T) = \sum_1^{12} D_i(T)$$

¡Error!

$$D_i(T) = D_i(60^\circ \text{C}) \times \left(\frac{60 - T_i}{T - T_i} \right)$$

a on

Guia per la realització de projectes d'energia solar tèrmica

- D(T): és la demanda anual d'aigua calenta a la temperatura de disseny T.
Di(T): és la demanda d'aigua calenta per al mes *i* a la temperatura de disseny T.
Di(60°C): és la demanda d'aigua calenta per al mes *i* a la temperatura de 60°C.
T: és la temperatura de disseny.
Ti: és la temperatura mitjana de l'aigua freda en el mes *i*.

Segons s'estableix a l'ordenança, a més de les necessitats energètiques derivades de l'escalfament de l'aigua sanitària, s'hauran de considerar les pèrdues al circuit de distribució.

Ordenança Solar– Annex I – Punt 5:

“Addicionalment a la demanda calculada en base al consum d'aigua, s'hauran de tenir en compte les pèrdues d'acumulació, distribució i/o recirculació de l'aigua des del mateix punt del circuit hidràulic on es realitza l'aportació de l'energia convencional fins als punts de consum finals per procedir al càlcul de la demanda total.”

El projectista haurà d'especificar a la memòria si aquestes pèrdues són significatives. En cas afirmatiu, les pèrdues s'han de tenir en compte en el càlcul de la demanda total.

3.3. Determinació de la contribució solar mínima exigida, en %.

Producció d'aigua calenta sanitària.

En el cas d'instal·lacions de producció d'aigua calenta sanitària, la contribució solar mínima s'estableix en funció de la demanda d'aigua calenta de l'edifici, en litres/dia a 60°C i del tipus d'energia auxiliar utilitzada, segons la taula següent.

Guia per la realització de projectes d'energia solar tèrmica

Demanda diària total de l'edifici en ACS a 60°C [litres]	Contribució solar mínima [%]	
	Cas general	Cas efecte Joule
0 - 1.000	60	60
1.000 - 2.000	60	63
2.000 - 3.000	60	66
3.000 - 4.000	60	69
4.000 - 10.000	60	70
10.000 - 12.500	65	70
> 12.500	70	70

Escalfament de piscines cobertes

La contribució solar mínima per instal·lacions d'escalfament de l'aigua de piscines cobertes és del 30%.

Producció d'aigua calenta per a usos industrials

En el cas de la producció d'aigua calenta per a processos industrials, la contribució solar mínima exigida és del 20% de la demanda energètica derivada de l'escalfament de l'aigua des de la temperatura de la xarxa fins a 60°C.

3.4. Càlcul de la producció energètica solar mínima exigida

La determinació de la quantitat d'energia que ha de proporcionar la instal·lació solar es calcula mitjançant el producte de la demanda energètica total per la contribució solar mínima exigida.

Guia per la realització de projectes d'energia solar tèrmica

Exemple:

Calcular la producció energètica mínima exigida per a una instal·lació de producció d'aigua calenta sanitària en un edifici de 20 d'habitatges, dels quals 6 habitatges són de 3 dormitoris, 10 habitatges són de 2 dormitoris i 4 habitatges són només d'un dormitori.

El consum d'aigua calenta sanitària a 60°C és de 1.320 litres/dia.

El càlcul de la demanda energètica anual s'ha realitzat anteriorment, amb un resultat de 24.533 kWh/any.

Segons la taula anterior i si l'energia auxiliar és diferent de l'electricitat per efecte Joule, la contribució solar mínima exigida és del 60%.

La producció solar mínima de la instal·lació solar és de 14.720 kWh/any (24.533 x 0,60)

En el cas d'una instal·lació combinada de producció d'aigua calenta sanitària i d'escalfament de piscina, la determinació de l'energia que ha d'aportar el sistema solar es calcula mitjançant la suma de resultat de l'aplicació de les contribucions solars de cada aplicació, és a dir:

$$\text{Producció solar requerida} = 0,3 \cdot \text{demanda piscina} + f \cdot \text{demanda ACS}$$

a on f és la contribució solar mínima exigida per a la producció d'aigua calenta sanitària.

3.5. Verificació de la normativa més exigent

A més de l'ordenança solar de Barcelona, també el CTE-HE4 i el Decret d'Ecoeficiència estableixen la obligatorietat d'aprofitar l'energia solar a les noves edificacions.

Els criteris de càlcul, però, no són completament coincidents en els tres casos, tal i com s'indica a continuació.

Guia per la realització de projectes d'energia solar tèrmica

Comparació entre l'Ordenança solar i el CTE

L'Ordenança solar tèrmica i el CTE-HE4 es corresponen totalment pel que fa al càlcul de la demanda de l'edifici, en litres/dia d'ACS a 60°C.

Pel que fa a la contribució solar mínima exigida, l'Ordenança és igual o més exigent que el CTE-HE4.

Per això, en tots els casos, si es realitzen els càlculs de la demanda i de la contribució solar amb els criteris de l'Ordenança s'assegura també el compliment del CTE.

Comparació entre l'Ordenança solar i el Decret d'Ecoeficiència

En el cas d'ACS, l'ordenança i el Decret d'Ecoeficiència no són equivalents. Segons les característiques de la instal·lació, l'un és més o menys exigent que l'altre. Aquesta situació ve donada pel fet que la demanda i la contribució solar mínima es calculen a partir de criteris diferents en cada normativa.

Els paràmetres de càlcul del Decret d'Ecoeficiència són els que s'indiquen a continuació:

Criteris de determinació de la demanda d'aigua calenta sanitària segons la tipologia dels edificis

Taula de demanda de referència d'aigua calenta sanitària a 60°C

Criteris de demanda	litres ACS/dia a 60°C
Habitatges	28 litres/persona
Hospitals, clíniques	55 litres/persona
Ambulatoris i centres de salut	40 litres/persona
Hotels de 5 estrelles	70 litres/persona
Hotels de 4 estrelles	55 litres/persona
Hotels de 3 estrelles	40 litres/persona
Hotels de 1 i 2 estrelles	35 litres/persona
Pensions/hostals	28 litres/persona
Residències (gent gran, estudiants)	40 litres/persona
Albergs	25 litres/persona
Centres escolars amb dutxes	20 litres/persona
Centres escolars sense dutxes	4 litres/persona
Centres de l'Administració pública, bancs i oficines	2 litres/persona
Vestuaris/dutxes col·lectives (piscines, poliesportius, gimnasos)	20 litres/persona

Guia per la realització de projectes d'energia solar tèrmica

(1) En l'ús d'habitatge, el càlcul del nombre de persones es farà utilitzant com a valors mínims els que es relacionen a continuació:

Nombre d'habitacions

	Un únic espai	1 H	2 H	3 H	4 H	5 H	6 H	7 H	igual o més de 8 H
Nombre de persones	1,5	2	3	4	6	7	8	9	1,3 x n

n= nombre d'habitacions

Segons l'annex III del Decret d'Ecoeficiència, Barcelona es troba dins la Zona Climàtica III.

La demanda d'aigua calenta sanitària en el cas del Decret d'Ecoeficiència es calcula seguint el mateix procediment que per l'Ordenança Solar, tenint evidentment en compte les taules d'ocupació i consum unitari de la normativa corresponent.

Per a saber quin cas és el més exigent, cal comparar la producció energètica solar exigida en els dos casos, com a producte de la demanda energètica (en kWh/any o MJ/any) per la contribució solar mínima exigida, en (%) i triar la més elevada.

Exemple:

Calcular la producció energètica solar exigida segons l'Ordenança Solar i el Decret d'Ecoeficiència en un edifici de 20 d'habitatsges, dels quals 6 habitatges són de 3 dormitoris, 10 habitatges són de 2 dormitoris i 4 habitatges són només d'un dormitori.

L'energia auxiliar considerada és gas natural.

Guia per la realització de projectes d'energia solar tèrmica

ORDENANÇA SOLAR	DECRET D'ECO-EFICIÈNCIA
Càlcul del número de persones	Càlcul del número de persones
<p>6 habitatges de 3 dormitoris (4 persones/hab) → 24 persones;</p> <p>10 habitatges de 2 dormitoris (3 persones/hab) → 30 persones;</p> <p>4 habitatges d'un dormitori (1,5 persoes/hab) → 6 persones;</p> <p>El total és de 60 persones.</p>	<p>6 habitatges de 3 dormitoris (4 persones/hab) → 24 persones;</p> <p>10 habitatges de 2 dormitoris (3 persones/hab) → 30 persones;</p> <p>4 habitatges d'un dormitori (2 persoes/hab) → 8 persones;</p> <p>El total és de 62 persones..</p>
Càlcul de la demanda d'aigua calenta	Càlcul de la demanda d'aigua calenta
<p>La demanda és de 22 litres per persona i dia d'aigua a 60°C, valor que ens dona una demanda total pels habitatges de $60 * 22 = 1.320$ litres / dia d'aigua a 60°C.</p>	<p>La demanda és de 28 litres per persona i dia d'aigua a 60°C, valor que ens dona una demanda total pels habitatges de $62 * 28 = 1.736$ litres / dia d'aigua a 60°C.</p>
Demanda energètica anual	Demanda energètica anual
<p>En càlcul anual (365 dies):</p> <p>$1.320 \times 365 \times (60-16,18)/860 = 24.549$ kWh/any</p>	<p>En càlcul anual (365 dies):</p> <p>$1.736 \times 365 \times (60-16,18)/860 = 32.286$ kWh/any</p>
Contribució solar mínima exigida	Contribució solar mínima exigida
<p>Segons la taula de l'Ordenança, i per una demanda de 1.694 litres/dia d'ACS a 60°C, la contribució solar mínima és de 60%.</p> <p>Producció solar exigida</p> <p>$0,60 \times 24.549 = 14.729$ kWh/any</p>	<p>Per la zona de Barcelona i una demanda inferior a 5.000 litres/dia, el Decret marca una contribució solar del 50%</p> <p>Producció solar exigida</p> <p>$0,50 \times 32.286 = 16.143$ kWh/any.</p>

Guia per la realització de projectes d'energia solar tèrmica

En aquest cas, el Decret d'Ecoeficiència és més exigent que l'Ordenança. Així, el càlcul de la instal·lació solar de l'exemple s'hauria de realitzar a partir dels criteris de càlcul establerts al Decret, amb la qual cosa es respectarien també els mínims imposats per l'Ordenança.

3.6. Exempcions

3.6.1. Exempcions parcials

En el cas que la contribució solar mínima projectada sigui inferior a la contribució solar mínima exigida, el projectista ho haurà de justificar en el projecte de la instal·lació.

“Es podrà disminuir l'aportació de la instal·lació de captació solar tèrmica, sempre que es justifiqui adequadament amb el corresponent informe, en els casos següents:

- 1. Quan, segons el planejament vigent, l'emplaçament no compti amb suficient accés al sol per barreres externes. En aquest cas, caldrà aprofitar el màxim accés al sol disponible.*
- 2. En el cas d'edificis rehabilitats, quan existeixin greus limitacions arquitectòniques derivades de la configuració prèvia. En aquest cas caldrà aprofitar la màxima superfície disponible.*
- 3. Quan no es disposi d'una superfície suficient segons el tipus d'edifici i consum previst, calculat tal i com s'especifica a l'annex tècnic de l'Ordenança. En aquest cas caldrà aprofitar la màxima superfície disponible.*
- 4. Quan es cobreixi part de la demanda energètica d'aigua calenta mitjançant l'aprofitament de fonts d'energia renovables, processos de cogeneració o fonts d'energia residuals o gratuïtes, amb la justificació adequada d'aquest aprofitament i la valoració de l'estalvi energètic o reducció d'emissions de diòxid de carboni que produeixin equivalents a les que s'obtindrien mitjançant la corresponent instal·lació solar. En aquest cas la instal·lació solar tèrmica es dissenyarà per cobrir la part restant. Caldrà garantir que el sistema proposat alternatiu està contractualment definit.”*

Guia per la realització de projectes d'energia solar tèrmica

3.6.2. Exempcions totals

“Queden exempts de la obligatorietat d'una instal·lació solar tèrmica els casos següents, sempre que es justifiqui adequadament:

- 1. Els edificis d'habitatges on només sigui possible cobrir fins a un 25% de la demanda energètica per ACS;*
- 2. Els edificis destinats a usos diferents d'habitatges on només sigui possible cobrir fins a un 25% de la demanda energètica per ACS, sempre que aquest 25% no suposi una demanda d'energia diària superior a 90 MJ;*
- 3. Els edificis destinats a usos diferents d'habitatges amb una demanda d'energia diària per la producció d'ACS inferior a 20 MJ.”*

3.6.3. Procediment d'actuació

Només s'admetrà una contribució solar inferior a la resultant de l'aplicació de la taula de l'article 4 de l'Ordenança en els casos següents:

- 1. Insuficient accés al sol per barreres externes;**
- 2. Limitacions arquitectòniques en rehabilitacions;**
- 3. Manca de superfície per a col·locació dels captadors;**
- 4. Existència d'equips de cogeneració;**
- 5. Ús de refrigeració urbana;**
- 6. Aprofitament d'altres energies renovables.**

En el projecte s'haurà d'indicar la contribució solar assolida i justificar adequadament els motius de l'exempció. En els casos 4, 5 i 6 s'inclourà a la memòria un balanç energètic justificatiu.

En el cas **5**, s'haurà d'adjuntar, a més, el contracte amb l'empresa subministradora de climatització de districte.

4.- Elecció de la configuració del sistema solar

El projectista ha de proposar l'esquema de connexió que més s'adapti a les necessitats de l'edifici, tenint en compte, entre d'altres factors l'espai disponible en la coberta i en la sala de màquines, la resistència al pes de la sala de màquines, l'espai disponible en cada habitatge, l'energia convencional de l'edifici, l'espai en baixants d'instal·lacions i el tipus de comunitat de veïns.

Com a exemple, a continuació s'indiquen algunes de les configuracions més habituals en edificis plurifamiliars.

1. Sistema solar amb acumulació distribuïda

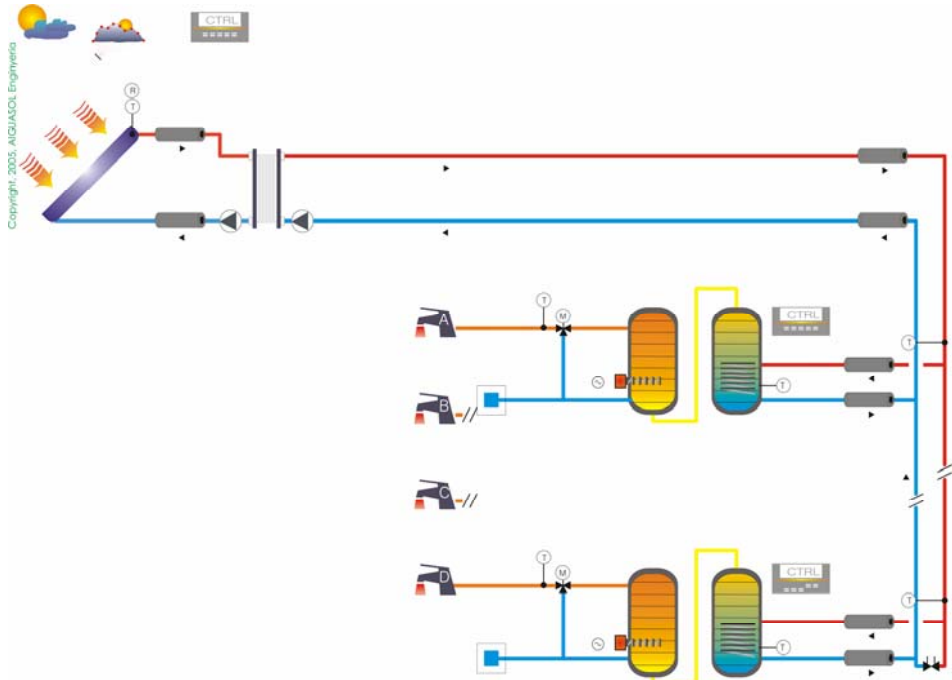
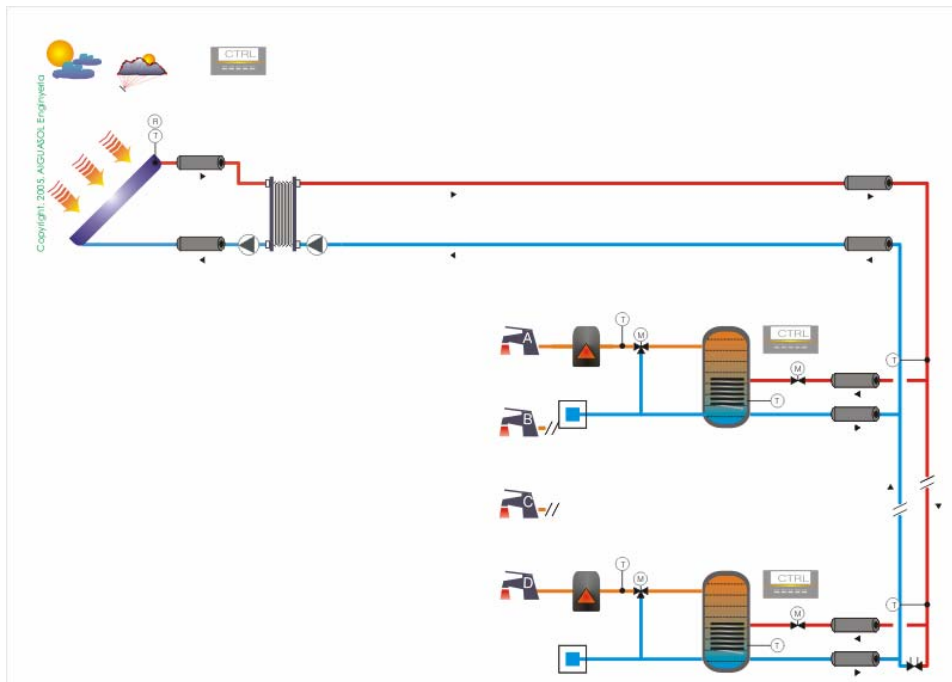
El sistema està format per un camp de captadors solars i un acumulador solar individual amb bescanviador de calor intern a cada habitatge. El camp de captadors solars produeix l'energia solar tèrmica que es transporta pel circuit de distribució i se cedeix als acumuladors solars mitjançant els bescanviadors de calor interns.

Es pot preveure un sistema de regulació per controlar l'aportació d'energia solar a cada acumulador, obrint o tancant una vàlvula en funció de les temperatures disponibles en cada moment.

El sistema auxiliar pot consistir en escalfadors o calderes instantànies individuals connectades en sèrie a la sortida de l'acumulador solar o bé en escalfadors auxiliars elèctrics submergits en un segon acumulador. No es permet l'aportació d'energia convencional a l'acumulador solar (veure CTE HE-4, punt 3.3.3.2).

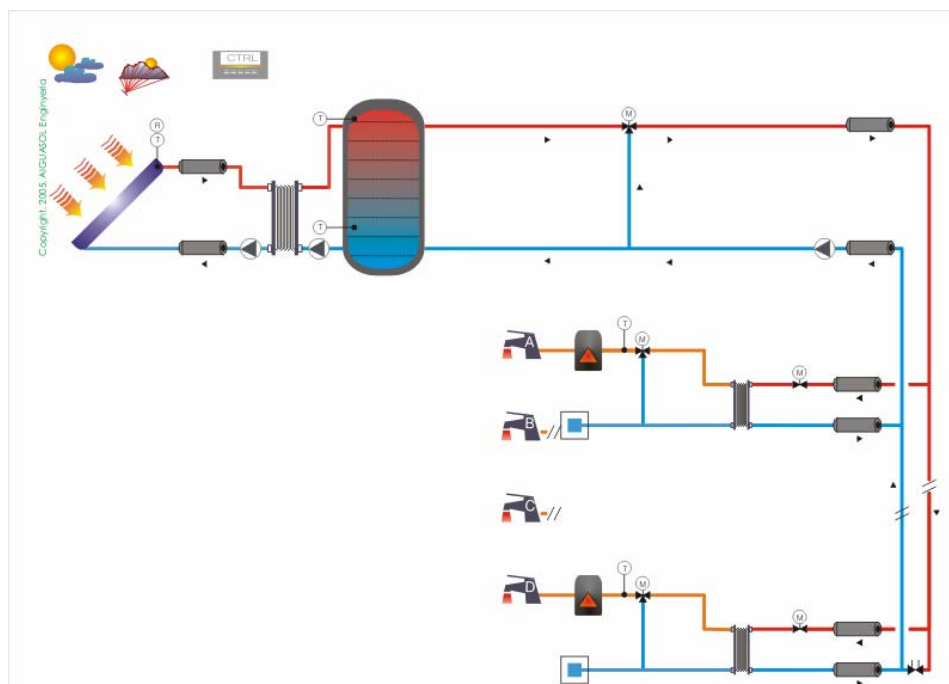
Amb aquesta configuració s'ha de preveure un espai a l'interior de cada habitatge per la ubicació dels acumuladors solars individuals i, en canvi, es minimitza l'existència d'elements comuns.

Guia per la realització de projectes d'energia solar tèrmica



Guia per la realització de projectes d'energia solar tèrmica

2. Sistema solar amb acumulació solar centralitzada i aportació solar instantània



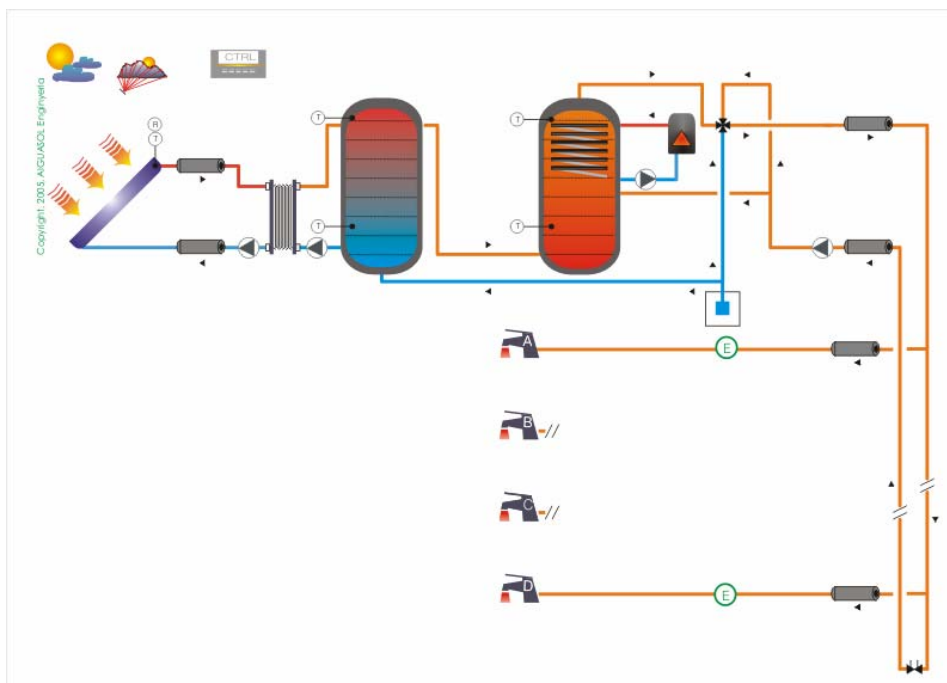
El sistema està format per un camp de captadors solars, un acumulador solar centralitzat d'inèrcia i uns bescanviadors de calor individuals a cada habitatge, d'escalfament instantani.

Els captadors solars intercanvien energia amb l'acumulador solar a través d'un bescanviador de calor extern. El circuit de distribució transporta l'energia solar tèrmica als bescanviadors de calor individuals de cada habitatge que produeixen instantàniament aigua calenta per al consum.

Si la temperatura de sortida del bescanviador de calor és inferior a la temperatura requerida, el sistema auxiliar modular instantani individual escalfa l'aigua fins a la temperatura de consigna.

Guia per la realització de projectes d'energia solar tèrmica

3. Sistema solar amb acumulació i producció centralitzades



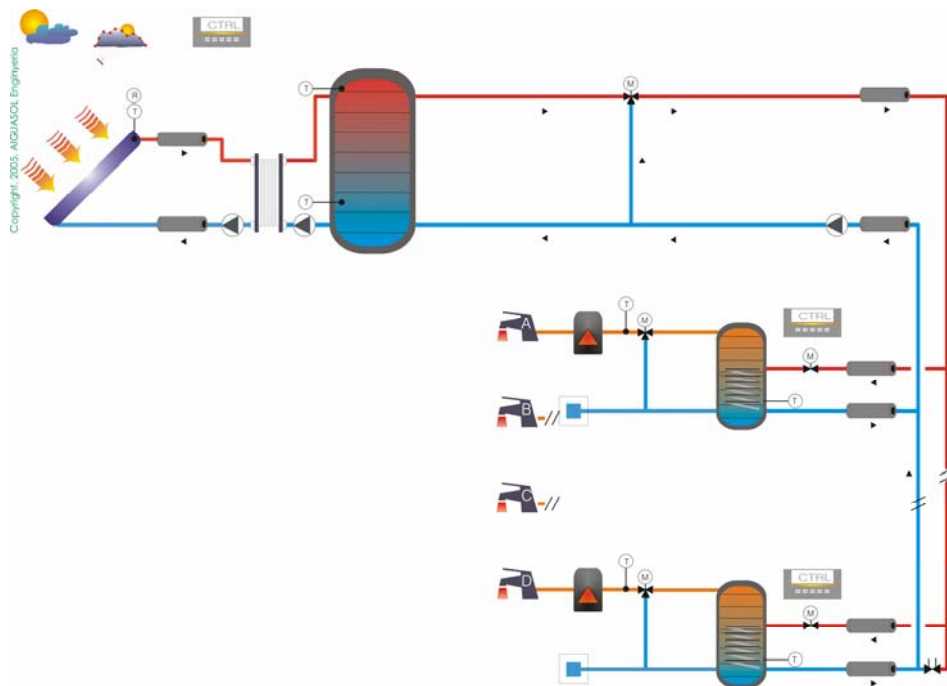
El sistema està format per un camp de captadors solars, un acumulador solar i un acumulador auxiliar centralitzats. Els captadors intercanvien energia amb el primer acumulador solar a través d'un bescanviador de calor extern. Els dos dipòsits estan connectats en sèrie.

L'aportació de l'energia auxiliar es realitza al segon acumulador mitjançant una caldera auxiliar centralitzada o resistències elèctriques. L'aigua calenta es distribueix als usuaris des de l'acumulador auxiliar a través d'un circuit amb bomba de recirculació.

Amb aquesta configuració, tant el consum d'aigua com d'energia auxiliar són comunitaris i cal la instal·lació d'un comptador d'energia a cada habitatge per mesurar el consum de cada usuari i repartir les despeses del servei.

Guia per la realització de projectes d'energia solar tèrmica

4. Sistema solar de doble acumulació

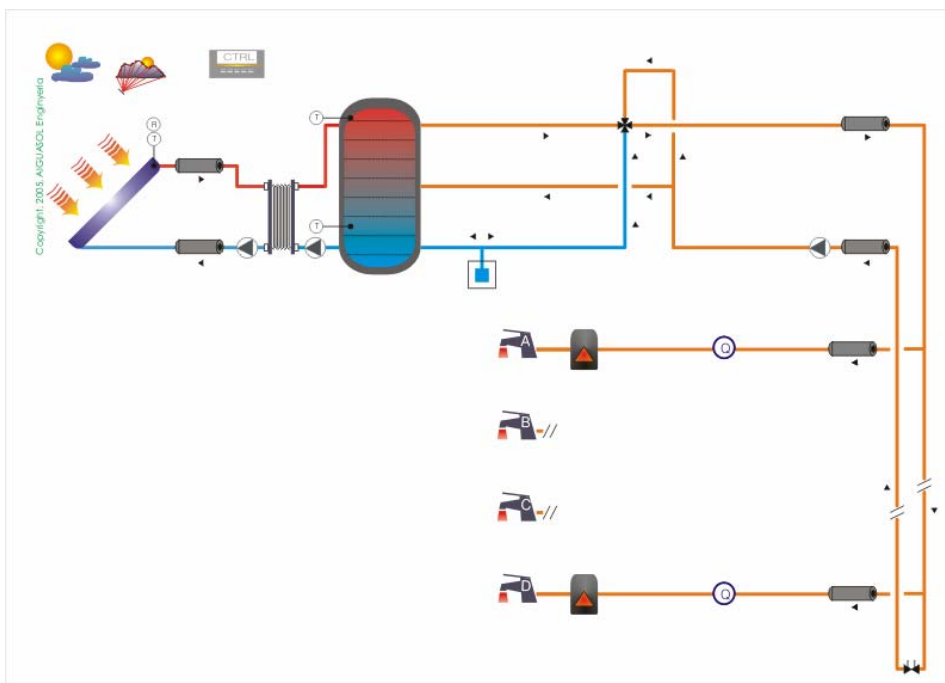


El sistema es compon d'un camp de captadors solars, un acumulador centralitzat i un acumulador solar individual en cada habitatge. Els captadors intercanvien energia amb l'acumulador solar centralitzat a través d'un bescanviador de calor extern. L'energia emmagatzemada a l'acumulador central es distribueix en un circuit tancat a cada habitatge fins als bescanviadors dels acumuladors individuals.

L'aportació de l'energia auxiliar es pot realitzar mitjançant escalfadors o calderes instantànies connectades en sèrie a la sortida de cada acumulador solar individual o bé amb escalfadors auxiliars elèctrics submergits en un segon acumulador.

Guia per la realització de projectes d'energia solar tèrmica

5. Sistema solar amb acumulació solar centralitzada i suport individual instantani



El sistema està format per un camp de captadors solars que escalfen un acumulador comunitari a través d'un bescanviador de calor extern. L'aigua calenta es distribueix fins a cada habitatge, a on es realitza l'aportació de l'energia auxiliar necessària mitjançant escalfadors o calderes instantànies individuals o bé amb escalfadors auxiliars elèctrics submergits en acumuladors individuals.

Observacions generals sobre les configuracions:

En el cas de la realització d'instal·lacions centralitzades, s'han de preveure els espais suficients en zones comunitàries i les sobrecàrregues degudes al pes de l'acumulador. En instal·lacions individuals, en canvi s'han de preveure els espais necessaris a cada habitatge.

L'elecció de l'esquema influeix en les tasques de manteniment de la instal·lació. Quan més centralitzat sigui el sistema, més manteniment a nivell comunitari s'ha de cobrir i menys manteniment individual.

Guia per la realització de projectes d'energia solar tèrmica

En el cas de sistemes amb consum col·lectiu d'aigua o d'energia auxiliar, s'ha de preveure la instal·lació de comptadors per mesurar el consum de cada usuari i repartir les despeses d'aigua i/o d'energia auxiliar.

En els sistemes amb acumulació d'aigua de consum, s'han de preveure les mesures necessàries per garantir la qualitat higiènica i sanitària de l'aigua i en especial, s'han de respectar les mesures de prevenció contra la legionel·losi que marca la reglamentació vigent.

5.- Càlcul de la superfície de captació necessària

5.1. Mètode de càlcul

La determinació de la superfície de captació necessària es realitza mitjançant mètodes o programes de càlcul energètic d'instal·lacions solars. En general, aquests mètodes proporcionen l'energia solar produïda per una instal·lació a partir de la demanda energètica considerada, de les condicions meteorològiques de l'emplaçament i de les característiques de la pròpia instal·lació.

Els projectistes són lliures de fer servir el mètode de càlcul que consideri més apropiat al seu cas, sempre i quan els càlculs es realitzin com a mínim en base mensual. A la memòria del projecte s'ha de fer constar el mètode de càlcul emprat i, com a mínim, la següent informació relativa al balanç energètic:

- Demanda en ACS a 60°C, en kWh,
- Energia solar aportada anualment, en kWh;
- Contribució solar, en %.

Aquestes dades s'han d'indicar en forma de taula amb els valors mensuals i el total anual.

En el marc d'aplicació de l'Ordenança Solar de Barcelona, es proposa el mètode f-chart com a mètode de càlcul de referència.

Guia per la realització de projectes d'energia solar tèrmica

5.2. Radiació solar

Els càlculs energètics s'han de realitzar utilitzant les dades corresponents a la ciutat de Barcelona que figuren a "Atlas de Radiació Solar a Catalunya", publicat al setembre de 2001 per l'Institut Català de l'Energia i que es reproduïxen a continuació.

Radiació solar global diària sobre superfícies inclinades (MJ/m²/dia). Estació: Barcelona

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

Guia per la realització de projectes d'energia solar tèrmica

Orientació: 30°													
Inclinació	Gen	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Des	Anual
0°	6,80	9,65	13,88	18,54	22,25	24,03	23,37	20,42	16,05	11,40	7,73	6,04	15,04
5°	7,58	10,44	14,61	19,09	22,54	24,19	23,59	20,86	16,74	12,20	8,54	6,82	15,62
10°	8,32	11,17	15,25	19,55	22,70	24,20	23,67	21,24	17,33	12,93	9,30	7,56	16,12
15°	9,01	11,83	15,83	19,89	22,80	24,11	23,67	21,50	17,82	13,58	10,01	8,25	16,55
20°	9,64	12,42	16,32	20,11	22,75	23,92	23,55	21,62	18,23	14,15	10,66	8,90	16,88
25°	10,22	12,93	16,71	20,24	22,57	23,58	23,28	21,62	18,54	14,63	11,24	9,49	17,11
30°	10,73	13,37	17,00	20,28	22,31	23,13	22,91	21,55	18,74	15,02	11,75	10,02	17,25
35°	11,18	13,72	17,18	20,19	21,94	22,61	22,46	21,35	18,82	15,32	12,19	10,49	17,30
40°	11,55	13,99	17,26	19,98	21,44	21,95	21,87	21,02	18,79	15,52	12,55	10,89	17,25
45°	11,85	14,17	17,24	19,65	20,81	21,17	21,15	20,56	18,64	15,63	12,83	11,21	17,09
50°	12,08	14,26	17,10	19,22	20,10	20,31	20,35	20,01	18,39	15,64	13,03	11,47	16,84
55°	12,22	14,26	16,90	18,73	19,33	19,39	19,50	19,39	18,07	15,56	13,14	11,65	16,52
60°	12,29	14,18	16,60	18,12	18,44	18,36	18,53	18,66	17,63	15,39	13,17	11,76	16,10
65°	12,28	14,02	16,20	17,41	17,45	17,23	17,45	17,82	17,10	15,14	13,11	11,79	15,59
70°	12,19	13,76	15,69	16,59	16,40	16,10	16,35	16,87	16,45	14,78	12,98	11,74	15,00
75°	12,01	13,43	15,10	15,70	15,34	14,92	15,21	15,90	15,72	14,34	12,76	11,61	14,34
80°	11,77	13,00	14,41	14,79	14,20	13,67	14,00	14,88	14,88	13,80	12,46	11,41	13,61
85°	11,44	12,50	13,64	13,80	12,99	12,45	12,77	13,77	14,03	13,19	12,08	11,13	12,82
90°	11,04	11,93	12,84	12,74	11,86	11,23	11,58	12,61	13,11	12,49	11,62	10,79	11,98

Orientació: 60°													
Inclinació	Gen	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Des	Anual
0°	6,80	9,65	13,88	18,54	22,25	24,03	23,37	20,42	16,05	11,40	7,73	6,04	15,04
5°	7,25	10,11	14,30	18,89	22,41	24,12	23,49	20,69	16,45	11,86	8,19	6,51	15,38
10°	7,69	10,50	14,69	19,14	22,50	24,06	23,51	20,91	16,76	12,25	8,64	6,95	15,66
15°	8,09	10,86	15,01	19,31	22,50	23,97	23,46	21,00	17,05	12,58	9,05	7,35	15,88
20°	8,44	11,19	15,24	19,43	22,39	23,74	23,27	21,06	17,23	12,86	9,41	7,70	16,02
25°	8,74	11,45	15,42	19,44	22,23	23,46	23,06	21,00	17,30	13,10	9,71	8,01	16,10
30°	8,99	11,64	15,54	19,36	21,94	23,07	22,71	20,82	17,37	13,25	9,96	8,28	16,10
35°	9,21	11,76	15,57	19,24	21,59	22,56	22,28	20,63	17,33	13,33	10,16	8,52	16,04
40°	9,39	11,84	15,51	19,00	21,18	22,05	21,81	20,33	17,19	13,33	10,32	8,71	15,91
45°	9,51	11,87	15,40	18,66	20,64	21,41	21,20	19,90	16,96	13,31	10,43	8,85	15,70
50°	9,57	11,84	15,24	18,30	20,03	20,67	20,53	19,44	16,72	13,22	10,47	8,93	15,43
55°	9,57	11,73	14,98	17,85	19,40	19,94	19,84	18,91	16,38	13,05	10,44	8,96	15,10
60°	9,51	11,55	14,64	17,31	18,66	19,09	19,03	18,28	15,95	12,80	10,35	8,93	14,69
65°	9,39	11,31	14,22	16,66	17,83	18,17	18,14	17,54	15,42	12,47	10,20	8,85	14,20
70°	9,22	11,02	13,79	16,05	17,04	17,29	17,30	16,85	14,90	12,11	9,99	8,71	13,70
75°	9,03	10,71	13,30	15,35	16,16	16,32	16,37	16,06	14,31	11,72	9,77	8,54	13,15
80°	8,78	10,33	12,73	14,57	15,19	15,29	15,35	15,18	13,64	11,26	9,49	8,33	12,52
85°	8,49	9,90	12,10	13,75	14,30	14,35	14,44	14,32	12,89	10,74	9,15	8,07	11,88
90°	8,14	9,41	11,42	12,97	13,36	13,33	13,45	13,45	12,17	10,16	8,75	7,77	11,21

Guia per la realització de projectes d'energia solar tèrmica

Orientació: 90°													
Inclinació	Gen	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Des	Anual
0°	6,80	9,65	13,88	18,54	22,25	24,03	23,37	20,42	16,05	11,40	7,73	6,04	15,04
5°	6,82	9,65	13,89	18,59	22,24	24,02	23,36	20,43	16,05	11,40	7,74	6,08	15,05
10°	6,84	9,63	13,89	18,54	22,16	23,87	23,24	20,39	16,00	11,34	7,76	6,09	15,00
15°	6,82	9,60	13,81	18,45	21,99	23,67	23,05	20,24	15,90	11,27	7,74	6,11	14,91
20°	6,84	9,52	13,73	18,29	21,73	23,34	22,74	20,08	15,74	11,17	7,74	6,12	14,78
25°	6,83	9,46	13,59	18,06	21,42	22,97	22,41	19,80	15,58	11,03	7,72	6,11	14,61
30°	6,78	9,37	13,41	17,82	21,01	22,49	21,95	19,52	15,33	10,91	7,65	6,10	14,39
35°	6,76	9,23	13,25	17,48	20,60	21,99	21,50	19,14	15,09	10,74	7,61	6,09	14,15
40°	6,72	9,11	13,01	17,17	20,07	21,41	20,94	18,73	14,80	10,52	7,55	6,05	13,86
45°	6,63	8,97	12,74	16,77	19,57	20,77	20,36	18,30	14,43	10,35	7,45	5,98	13,55
50°	6,52	8,78	12,49	16,31	18,97	20,12	19,73	17,76	14,11	10,11	7,31	5,92	13,20
55°	6,44	8,55	12,17	15,89	18,33	19,35	19,01	17,26	13,73	9,82	7,20	5,85	12,82
60°	6,33	8,37	11,78	15,38	17,70	18,67	18,36	16,70	13,27	9,55	7,07	5,76	12,43
65°	6,18	8,14	11,45	14,80	16,98	17,88	17,60	16,04	12,82	9,27	6,90	5,63	11,99
70°	6,00	7,87	11,07	14,29	16,27	17,05	16,82	15,45	12,38	8,95	6,70	5,47	11,54
75°	5,79	7,56	10,63	13,71	15,56	16,28	16,07	14,80	11,86	8,57	6,46	5,29	11,07
80°	5,62	7,26	10,14	13,06	14,76	15,42	15,24	14,08	11,29	8,19	6,25	5,15	10,55
85°	5,42	6,97	9,73	12,46	14,00	14,58	14,42	13,40	10,79	7,85	6,02	4,97	10,07
90°	5,20	6,65	9,27	11,84	13,26	13,77	13,64	12,72	10,26	7,47	5,77	4,78	9,57

En el cas que s'utilitzin valors de radiació solar diferents, caldrà justificar les dades emprades per qualsevol procediment, analític o experimental, científicament admissible. La justificació s'ha d'incloure en el projecte bàsic.

6.- Elecció i disseny dels components de la instal·lació

6.1. Captadors solars

Només s'admet la utilització de captadors solars degudament homologats per l'administració, tal i com indica el CTE-HE4, punt 3.3.2.1.:

Guia per la realització de projectes d'energia solar tèrmica

“El captador seleccionado deberá poseer la certificación emitida por el organismo competente en la materia según lo regulado en el RD 891/1980 de 14 de Abril, sobre homologación de los captadores solares y en la Orden de 28 de Julio de 1980 por la que se aprueban las normas e instrucciones básicas complementarias para la homologación de los captadores solares, o la certificación o condiciones que considere la reglamentación que los sustituya.”.

En el projecte de la instal·lació haurà de figurar, com a mínim, la següent informació sobre el camp de captació solar:

- Marca dels captadors
- Model dels captadors
- Núm. d'homologació dels captadors:
- Corba de rendiment:
- Coeficient η_0
- Coeficient a_1 ($W/m^2 \text{ } ^\circ K$)
- Coeficient a_2 ($W/m^2 \text{ } ^\circ K^2$)
- Núm. de captadors:
- Volum unitari (litres)
- Superfície unitària (m^2)
- Inclinació del camp de captació ($^\circ$)
- Orientació del camp de captació ($^\circ$)
- Núm. de captadors en sèrie

S'aconsella adjuntar el certificat d'homologació del captador i el full de característiques tècniques com a annex a la memòria del projecte.

- **Nota sobre els coeficients de rendiment dels captadors solars :**

Amb l'objectiu d'unificar les dades, la corba de rendiment dels captadors haurà de tenir la forma indicada a la norma UNE EN 12975, que s'indica a continuació:

$$\eta(x) = \eta_0 - a_1 \cdot x - a_2 \cdot x^2 \cdot G$$

Guia per la realització de projectes d'energia solar tèrmica

$$x = \frac{T_m - T_a}{G}$$

amb:	η :	rendiment del captador [-]
	η_0 :	rendiment òptic del captador [-]
	a_1 :	coeficient de primer ordre [W/m ² .K]
	a_2 :	coeficient de segon ordre [W/m ² .K ²]
	G :	irradiació [W/m ²]
	T_m :	temperatura mitjana del captador [°C]
	T_a :	temperatura ambient [°C]

Per als assajos fets per l'Institut Nacional de Tècnica Aeroespacial (INTA), anys enrere, els coeficients de l'equació emprats són diferents. Per això, s'haurà d'utilitzar l'equació de segon grau funció de T_m facilitada per l'INTA, i transformar-la:

$$\eta = \eta_0 - \alpha \cdot T^{**} - \beta \cdot (T^{**})^2$$

amb:

$$T^{**} = U_0 \cdot \frac{T_m - T_a}{G}$$

$$U_0 = 10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$$

Per passar d'aquesta equació a l'equació equivalent amb el format de la norma UNE EN 12975-2, es faran els canvis següents:

$$a_1 = 10 \cdot \alpha$$

$$a_2 = \frac{100 \cdot \beta}{G}$$

$$G = 800 \text{ W/m}^2$$

Guia per la realització de projectes d'energia solar tèrmica

6.2. *Inclinació i orientació del camp*

L'ordenança fa algunes consideracions referents a la inclinació i l'orientació dels captadors solars:

*“Per tal d'assolir la màxima eficiència en la captació de l'energia solar, cal que el subsistema de captació estigui **orientat al sud** amb el desviament mínim possible i la inclinació respecte a l'horitzontal sigui la mateixa que la latitud geogràfica de Barcelona (41,25°).*

En els casos que l'orientació i/o la inclinació dels captadors solars s'apartin de l'òptim, caldrà compensar l'eventual pèrdua amb l'augment de la superfície corresponent per assolir la fracció solar corresponent.”

El valor de la inclinació s'expressa en graus, i sempre respecte a l'horitzontal.

El valor de l'orientació s'expressa en graus, sempre respecte al sud (0°), amb valors negatius per a orientacions a est, i valors positius per a orientacions a oest.

6.3. *Configuració del camp de captació solar*

Pel que fa a l'agrupació i la connexió dels captadors solars, es respectaran les indicacions del CTE-HE4, punt 3.3.2.2:

“Dentro de cada fila los captadores se conectaran en serie o en paralelo. El número de captadores que se pueden conectar en paralelo tendrá en cuenta las limitaciones del fabricante. En el caso de que la aplicación sea exclusivamente de ACS se podrán conectar en serie hasta 10 m² en las zonas climáticas I y II, hasta 8 m² en la zona III y hasta 6 m² en las zonas IV y V.”

Segons el mapa del CTE-HE4, Barcelona és part de la zona II, i per tant no es podran connectar més de 10 m² de captadors solars en sèrie.

Aquest aspecte ha de quedar degudament reflectit a la documentació gràfica del projecte (plànol de coberta, esquema de principi) i a la memòria.

Guia per la realització de projectes d'energia solar tèrmica

La connexió del camp de captadors es realitzarà de manera que el circuit quedi equilibrat hidràulicament, mitjançant el disseny dels circuits amb retorn invertit o amb la utilització de vàlvules d'equilibrat.

Les estructures metàl·liques de fixació dels captadors a l'edifici han de tenir les corresponents proteccions elèctriques de connexió de terra.

A cada grup de captadors s'ha d'instal·lar una vàlvula de seguretat i dues vàlvules de tall.

Pel que fa a la separació entre cada una de les fileres del camp de captació, s'han de comprovar les distàncies mínimes especificades en el RITE, ITE 10.1.3.1 "Disposición de los colectores".

A més, s'ha de tenir en compte el punt 3.6 de la HE-4 del CTE: "Cálculo de pérdidas de radiación solar por sombras", on apareix el diagrama de les trajectòries del sol. Aquest procediment de valoració de les pèrdues per ombres consisteix en la comparació del perfil dels obstacles des de la perspectiva del conjunt dels captadors solars amb les trajectòries del sol. L'apartat indicat del CTE proposa una metodologia completa per a valorar les pèrdues.

6.4. Acumulació solar

El projectista haurà d'indicar a la memòria la capacitat total d'acumulació [litres] de la instal·lació solar.

En el cas d'instal·lacions solars amb acumulació centralitzada, i principalment en grans edificis, el volum total d'acumulació pot estar repartit en més d'un dipòsit.

En el cas d'instal·lacions amb acumulació solar distribuïda, l'acumulació solar és la suma de les capacitats dels acumuladors solars individuals.

El CTE-HE4 estableix la següent condició que afecta a la capacitat d'acumulació

$$50 < V/A < 180 \quad \text{amb} \quad \begin{array}{l} A: \text{superfície total de captació [m}^2\text{]} \\ V: \text{volum d'acumulació [litres]} \end{array}$$

No s'acceptaran projectes amb valors fora d'aquests límits.

Guia per la realització de projectes d'energia solar tèrmica

6.5. Vas d'expansió

Segons el RITE, el vas d'expansió s'ha de dimensionar de tal manera que pugui absorbir el volum de dilatació del fluid (ITE 02.8.4 i UNE 100157).

No s'acceptaran projectes amb un vas d'expansió amb un volum inferior al necessari segons l'esmentada norma.

El formulari de càlcul s'indica a continuació:

FORMULARI PER AL CÀLCUL DEL VAS D'EXPANSIÓ RITE

a	Volum del vas d'expansió [litres]
b	Volum total canonades i dipòsits del circuit primari [litres]
c	Pressió de preomplerta P_o (gas) del vas d'expansió [bar]
d	Pressió màxima de funcionament P_e del circuit - (a alçada del VE) - [bar]
e	Pressió d'omplerta P_f del líquid del circuit [bar]
f	Volum captadors = volum unitari dels captadors * nombre de captadors
g	Volum preomplerta vas = $a * [1 - (1+c)/(1+e)]$
	Volum mínim del vas = $0,09 * (b + f + g)$

A més, en aquells casos en els quals la temperatura màxima en els captadors, a la pressió P_{max} del circuit, correspongui a un estat de vapor, es recomana que, a part de respectar aquest punt del RITE, els càlculs de dimensionament dels vasos d'expansió es facin de tal manera que puguin absorbir, a més del volum de dilatació del fluid, el seu volum d'evaporació.

En aquest cas, el procediment de càlcul és el següent:

Guia per la realització de projectes d'energia solar tèrmica

FORMULARI PER AL CÀLCUL DEL VAS D'EXPANSIÓ RECOMANAT	
a	Volum del vas d'expansió [litres]
b	Volum total canonades i dipòsits del circuit primari [litres]
c	Pressió de preomplerta P_o (gas) del vas d'expansió [bar]
d	Pressió màxima de funcionament P_e del circuit - (a alçada del VE) - [bar]
e	Pressió d'omplerta P_f del líquid del circuit [bar]
f	Volum captadors = volum unitari dels captadors * nombre de captadors
g	Volum preomplerta vas = $a * [1 - (1+c)/(1+e)]$
h	Volum primari (estat inicial) = $b + g$
i	Volum de dilatació = $0,09 * h$
j	Volum d'evaporació = $1,10 * f$
k	Volum d'expansió = $g + i + j$
	= volum de líquid desplaçat dins del vas
	Volum mínim del vas = $k / [1 - (c+1)/(d-0,5+1)]$

Aquest segon procediment de càlcul és optatiu i condueix a l'elecció de vasos d'expansió sensiblement més grans, la qual cosa no representa un encariment apreciable de la instal·lació i proporciona una protecció addicional del circuit primari.

En els formularis de càlcul anteriors:

- El volum del vas d'expansió (a) ve donat pel fabricant i s'expressa en litres.
- El volum total de les canonades i dipòsits del circuit primari (d) es defineix un cop dimensionada la instal·lació, i es calcula a partir dels diàmetres i longituds de les canonades, i del volum i quantitat dels acumuladors del primari.
- La pressió de preomplerta del vas d'expansió (c) és la pressió del vas per defecte, quan surt de fàbrica, o bé la pressió definida en el projecte, si és que es modifica la pressió de fàbrica. Quan la pressió de preomplerta de treball sigui diferent de la de fàbrica caldrà modificar-la procedint al buidat o inflat de la cambra d'aire del vas d'expansió.
- La pressió màxima de funcionament del circuit a l'alçada del vas d'expansió (d) és la pressió a la que aniria tarada una vàlvula de seguretat situada a la mateixa alçada manomètrica que el vas d'expansió.

Guia per la realització de projectes d'energia solar tèrmica

- La pressió d'omplerta del líquid del circuit (e) és la pressió a la qual s'omple el circuit primari. Va lligada al volum del circuit i al volum de líquid introduït.
- El volum dels captadors (f) és el volum de líquid a pressió atmosfèrica que cap en el conjunt dels captadors que formen el camp solar.

6.6. Bescanviadors

El criteri important a l'hora de dimensionar un bescanviador és que el seu DTLM (diferència logarítmica de temperatura mitja) estigui comprès entre 5 °C i 10 °C, aproximadament. D'aquesta manera s'aconsegueix una bona transferència de l'energia entre el primari i el secundari, i sobretot una temperatura més baixa en el primari, la qual cosa augmenta el rendiment dels captadors.

El DTLM és la diferència de temperatura logarítmica mitja.

La formulació rigorosa del DTLM és la següent:

$$DTLM = \frac{(Ts1 - Ts2) - (Te1 - Te2)}{\ln\left(\frac{Ts2 - Ts1}{Te1 - Te2}\right)}$$

amb: Te1: temperatura d'entrada del primari;
Ts1: temperatura de sortida del primari;
Te2: temperatura d'entrada del secundari;
Ts2: temperatura de sortida del secundari.

Aquesta formulació, però, se simplifica en la majoria dels casos. En el cas de bescanviadors lineals, equival a que les temperatures creuades tinguin una diferència del mateix valor, valor comprès entre 5 i 10°C.

Exemple: Proposem que DTLM = 7°C;
 Te2 = 20°C → Ts1 = Te2 + DTLM = 27°C;
 Ts2 = 42°C → Te1 = Tse + DTLM = 49°C.

El CTE-HE4 estableix unes limitacions en la potència i la superfície dels bescanviadors:

Guia per la realització de projectes d'energia solar tèrmica

CTE – HE4 – 3.3.4:

“Para el caso de intercambiador independiente, la potencia mínima de diseño del intercambiador P , se determinará para las condiciones de trabajo en las horas centrales del día suponiendo una radiación solar de 1000 W/m^2 y un rendimiento de la conversión de energía solar a calor del 50 %, cumpliéndose la condición:

$$P \geq 500 \cdot A$$

*P : Potencia mínima del intercambiador, en W
 A : Área de captadores, en m^2*

Para el caso de intercambiador incorporado al acumulador la relación entre la superficie útil de intercambio y la superficie total de captación no será inferior a 0,15.”

No s'acceptarà cap projecte que incompleixi alguna de les condicions indicades als dos paràgrafs anteriors.

6.7. Circuits hidràulics

Les canonades d'aigua calenta de tota la instal·lació han de disposar, com a mínim dels gruixos d'aïllament fixats al RITE i que s'indiquen a continuació:

Guia per la realització de projectes d'energia solar tèrmica

Gruixos mínims d'aïllament (mm) de canonades i accessoris que transporten fluids calents que discorren per l'interior d'edificis

D exterior (mm)		Temperatura màxima fluid (°C)			
min	max	40-65	66-100	101-150	151-200
-	35	20	20	30	40
35	60	20	30	40	40
60	90	30	30	40	50
90	140	30	40	50	50
140	-	30	40	50	60

Gruixos mínims d'aïllament (mm) de canonades i accessoris que transporten fluids calents que discorren per l'exterior d'edificis

D exterior (mm)		Temperatura màxima fluid (°C)			
min	max	40-65	66-100	101-150	151-200
-	35	30	30	40	50
35	60	30	40	50	50
60	90	40	40	50	60
90	140	40	50	60	60
140	-	40	50	60	70

A més, pels trams exteriors, les canonades han d'anar cobertes, per sobre de l'aïllament, d'una capa de protecció ultra-violada.

CTE – HE4 – 3.3.5.2:

“El aislamiento de las tuberías de intemperie deberá llevar una protección externa que asegure la durabilidad ante las condiciones climatológicas admitiéndose revestimientos de escayola, con pinturas asfálticas, poliésteres con fibra de vidrio o pinturas acrílicas. El aislamiento no dejará zonas visibles de tuberías o accesorios, quedando únicamente al exterior los elementos necesarios para el buen funcionamiento y operación de los componentes.”

Per una superfície de captació superior a 50 m², totes les bombes han de ser dobles. Es recomana que la bomba del circuit de distribució sigui també doble.

CTE – HE4 – 3.3.5.3:

“En instalaciones superiores a 50 m² se montarán dos bombas idénticas en paralelo, dejando una de reserva, tanto en el primario como en el secundario. En este caso, se preverá el funcionamiento alternativo de las mismas, de forma manual o automática.”

6.8. Mesures de protecció

La instal·lació ha d'estar degudament protegida de gelades mitjançant la utilització d'un fluid anticongelant amb una temperatura de congelació inferior a la mínima temperatura ambient esperada.

A més, les instal·lacions solars han de tenir dispositius de control – manuals o automàtics – que evitin els sobreescalfaments que puguin fer malbé els equips o materials i afectar els resultats energètics.

En el cas que en algun mes de l'any la contribució solar superi el 110% de la demanda energètica o en més de tres mesos seguits el 100%, i, en general, sempre que el projectista ho consideri convenient, s'instal·laran elements de dissipació de l'energia excedent per evitar temperatures excessives en el circuit primari.

6.9. Sistema de control

Totes les instal·lacions que s'executin en compliment de l'Ordenança han de disposar dels aparells adequats de mesura i control – temperatures, cabals, pressió – que permetin comprovar el funcionament normal del sistema.

Aquells aparells i la seva ubicació s'indiquen clarament en el text de l'Ordenança, punt 5 de l'annex I: "Sistema de control".

En el punt 3.3.7 del CTE-HE4 apareixen unes dades més en quant al control.

L'objectiu del sistema de control és el bon funcionament de la instal·lació solar tèrmica – regulació, seguretat, durabilitat dels elements que la componen - , tot conduint cap al màxim aprofitament de l'energia.

En general, el control de funcionament de les bombes serà del tipus diferencial, encara que també s'admet un control en funció de la radiació solar.

6.10. Integració arquitectònica

Els requisits de la instal·lació solar tèrmica en quant a la integració arquitectònica són descrits al punt 4 de l'annex I de l'Ordenança.

“Les instal·lacions de captació d'energia solar hauran d'harmonitzar amb el disseny arquitectònic i per tant per evitar impactes visuals negatius les realitzacions hauran de preveure les mesures necessàries per assolir la seva integració a l'edifici.”

A més, s'hauran de respectar els articles 73,75 i 231 de les Normes Urbanístiques del Pla General Metropolità, els articles del 86 al 89 de les Ordenances Metropolitanas d'Edificació, i l'Ordenança Municipal dels Usos del Paisatge Urbà.

De forma general, a més dels apartats especificats a l'Ordenança Solar Tèrmica de Barcelona, el projectista haurà de tenir en compte tots i cada un dels criteris de disseny indicats en el document HE4 del Codi Tècnic de l'Edificació i al Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques en els Edificis (RITE).