

Exercici 1: Instal·lació en edificació plurifamiliar amb acumulació solar centralitzada

1. Característiques de l'edifici

Per al desenvolupament d'aquest primer exercici es considera un bloc d'habitatges de nova construcció situat a la ciutat de Barcelona. L'edifici consta de 24 habitatges repartits en 6 plantes, a raó de 4 habitatges per planta.

Tots els habitatges són iguals i consten de les següents dependències:

- saló menjador
- tres habitacions dobles
- cuina
- bany complet amb banyera
- lavabo sense dutxa

La planta de l'edifici és pràcticament quadrada (22,7 x 23,4 m), amb les escales i l'ascensor d'accés a les plantes situades en la part central. Una de les façanes de l'edifici està orientada al sud.

La coberta superior de l'edifici és una terrassa plana accessible i transitable.

La terrassa està parcialment ocupada per la claraboia situada sobre el buit d'escales, la cambra de maquinària de l'ascensor, les eixides dels conductes de ventilació i servei de les cuines i els banys.

La terrassa té un petit mur de protecció de 0,5 m d'alçària en tot el seu perímetre.

En les figures següents s'arregleguen els plànols de la planta tipus de l'edifici, la coberta i una secció.

Figura 1.1
Planta tipus de l'edifici de referència

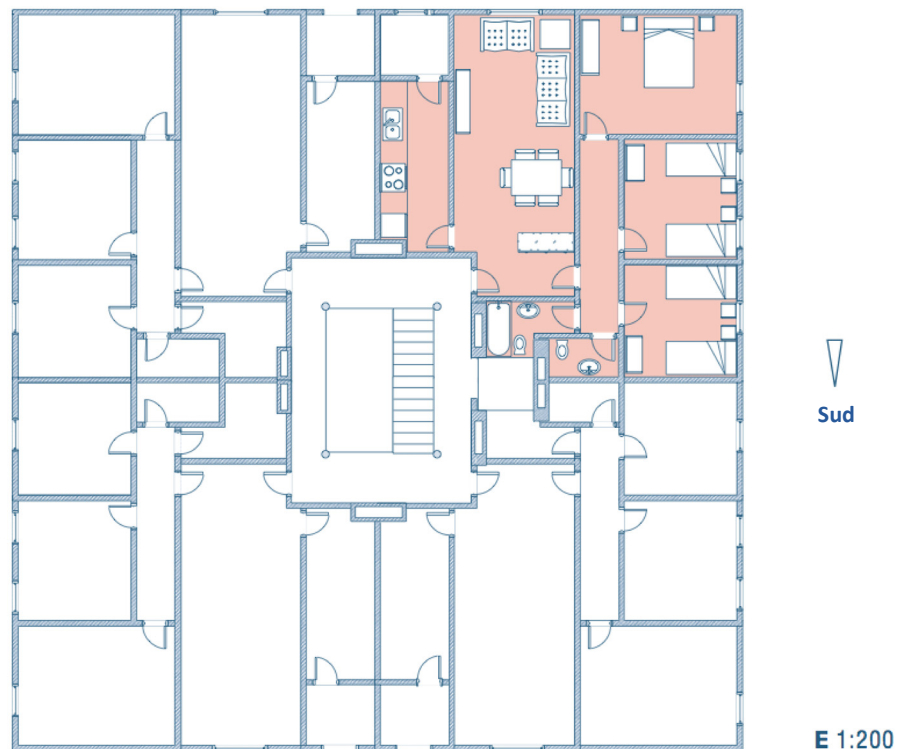


Figura 1.2
Secció de l'edifici de referència

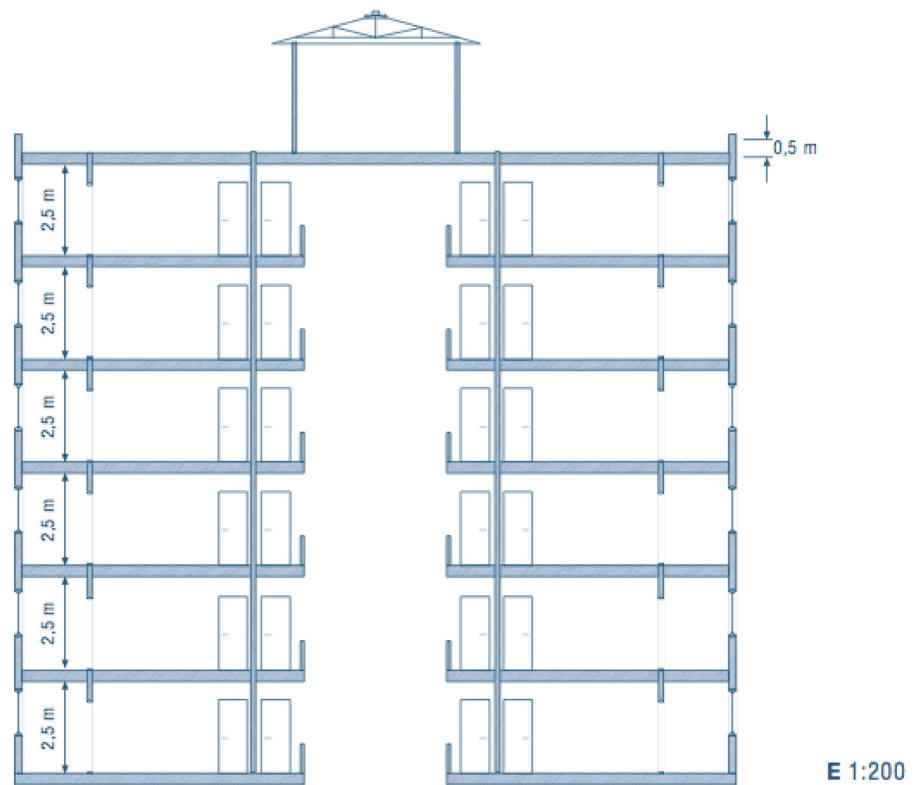
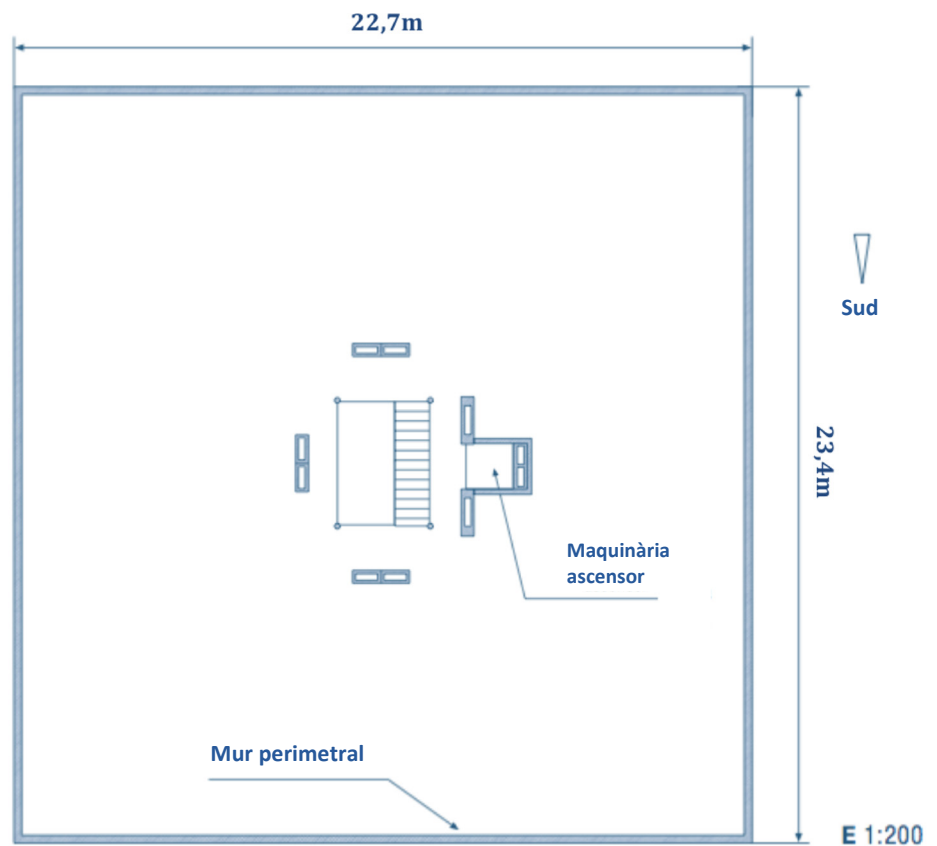
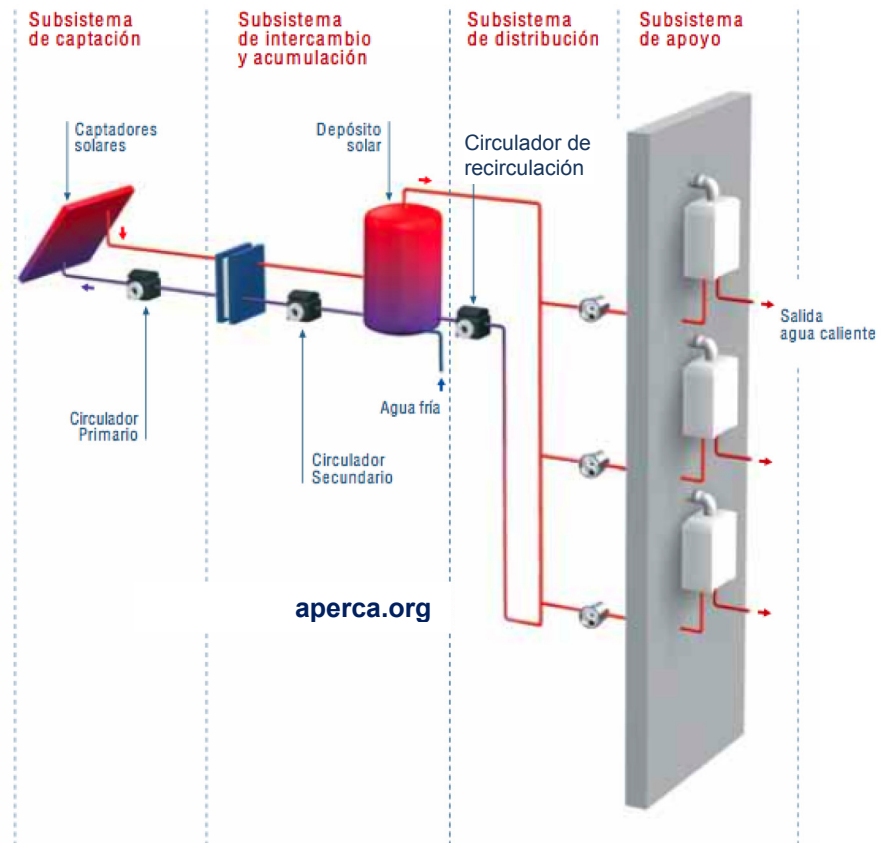


Figura 1.3
Planta de la coberta de l'edifici de referència



La configuració triada per a la instal·lació de captadors de producció d'aigua calenta sanitària és de tipus centralitzat. Per a aquest primer exercici, s'escull un sistema d'acumulació solar centralitzada i suport individualitzat a l'interior de cada habitatge, mitjançant una caldera mixta mural instantània.

Figura 1.4
Esquema de principi d'una instal·lació en edificació plurifamiliar amb acumulació solar centralitzada.



2. Càlcul de la demanda energètica de l'edifici

La demanda energètica mensual derivada de la producció d'aigua calenta sanitària de l'edifici es calcularà aplicant l'expressió següent:

$$Q_{ACS,mes} = C_{dia} \cdot N \cdot C_e \cdot \rho \cdot (T_{ACS} - T_{AF})$$

sent:

$Q_{ACS,mes}$: Demanda energètica en kWh/mes

C_{dia} : Consum diari d'aigua calenta sanitària a la temperatura de referència T_{ACS} , en litres/dia

N : Nombre de dies del mes considerat (dies/mes)

C_e : Calor específica, per a l'aigua $4,187 \cdot 10^{-3}$ MJ/kg °C = $1,16 \cdot 10^{-3}$ kWh/kg °C

ρ : Densitat, per a l'aigua 1 kg/litre

T_{ACS} : Temperatura de referència utilitzada per a la quantificació del consum d'aigua calenta, en °C

T_{AF} : Temperatura de l'aigua freda de xarxa, en °C

Per a la determinació del consum diari d'aigua calenta sanitària C_{dia} es tindran en compte les indicacions de l'Annex sobre captació solar tèrmica de l'Ordenança general de medi ambient urbà de l'Ajuntament de Barcelona (modificació de maig de 2011), que estableix un **consum de 22 litres d'aigua a 60 °C per persona i dia**. El Codi Tècnic d'Edificació (HE4) establiria un consum de 28 litres d'aigua a 60 °C per persona i dia amb un factor de centralització de 0,85 en tractar-se de 24 habitatges, la qual cosa es traslladaria en 23,8 litres per persona i dia.

D'acord amb l'ordenança el consum a una temperatura diferent de 60 °C (temperatura de referència) es calcula de manera anàloga a com s'estableix en el CTE:

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

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

sent:

D(T): Consum d'aigua calenta sanitària anual a la temperatura T de disseny (litres)

D_i(T): Consum d'aigua calenta sanitària durant el mes i a la temperatura T de disseny (litres/mes)

D_i(60 °C): Consum d'aigua calenta sanitària durant el mes i a la temperatura de 60 °C (litres/mes)

T: Temperatura de disseny de l'acumulador final (°C), en aquest cas 45 °C

T_i: Temperatura mitjana d'entrada d'aigua freda durant el mes i (°C)

L'ocupació que cal tenir en compte per al disseny de la instal·lació solar serà d'acord a l'Ordenança i al CTE de **4 persones per habitatge (3 dormitoris)**.

El consum diari d'aigua calenta sanitària que ha de considerar-se per al càlcul de la instal·lació solar és l'establert per l'ordenança de 2.112 litres/dia:

$$C_{\text{dia}} = 22 \cdot 4 \cdot 24 = 2.112 \text{ litres/dia}$$

El consum diari d'aigua calenta sanitària que establiria el CTE seria de C_{dia} = 28·0,85·4·24 = 2.284,8 litres/dia.

L'Ordenança general de medi ambient urbà de l'Ajuntament de Barcelona no estableix cap factor de centralització, i estableix els següents valors mensuals de temperatura d'aigua freda (°C): gener, 10,27; febrer, 10,72; març, 12,39; abril, 14,15; maig, 16,63; juny, 19,39; juliol, 20,91; agost, 22,44; setembre, 21,53; octubre, 19,07; novembre, 14,95; desembre, 11,70; mitjana anual, 16,18.

Amb les dades de consum d'aigua calenta sanitària, les temperatures de l'aigua de xarxa i la temperatura de l'aigua calenta, establida en 45 °C, es fa un càlcul de la demanda energètica per a cada un dels mesos de l'any. Com a resultat final s'obté una demanda energètica anual de 39.158 kWh/any com mostra la taula següent.

MES	Dies del mes considerat	Consum (l/dia) a 60°C	Consum (l/mes) a 60°C	Consum (l/mes) a 45°C	Font: Ord.MediAmbient	Estimació de la demanda mensual	
					Txarxa	kWh/mes	MJ/mes
Gener	31	2112	65472	93750	10,27	3777	13633
Febrer	28	2112	59136	85012	10,72	3380	12202
Març	31	2112	65472	95588	12,39	3616	13051
Abril	30	2112	63360	94167	14,15	3370	12163
Maig	31	2112	65472	100089	16,63	3294	11889
Juny	30	2112	63360	100471	19,39	2985	10773
Juliol	31	2112	65472	106239	20,91	2969	10716
Agost	31	2112	65472	109004	22,44	2853	10296
Setembre	30	2112	63360	103854	21,53	2827	10206
Octubre	31	2112	65472	103346	19,07	3109	11220
Novembre	30	2112	63360	94987	14,95	3311	11951
Desembre	31	2112	65472	94964	11,7	3668	13241
TOTALS						39158	141341

3. Elecció de la fracció solar anual

Segons el Codi Tècnic de l'Edificació (HE4), la contribució solar mínima per a la zona climàtica II és del 30%. No obstant això, l'Annex sobre captació solar tèrmica de l'Ordenança general de medi ambient urbà de l'Ajuntament de Barcelona estableix que la **fracció solar mínima** ha de ser del **60%**. Per tant, es tria la condició de disseny més restrictiva i la fracció solar que s'estableix com a objectiu per al disseny de la instal·lació solar és del 60%.

4. Elecció de la superfície de captadors i volum d'acumulació

L'Annex sobre captació solar tèrmica de l'Ordenança general de medi ambient urbà de l'Ajuntament de Barcelona recomana per al càlcul de la radiació mensual incident l'ús de les dades de radiació mitjana diària sobre superfície inclinada arreglats en l'Atlas de Radiació Solar a Catalunya (www.icaen.net).

Per a l'aplicació del mètode F-Chart es tindrà en compte el següent:

- Vista la disposició de l'edifici, se suposaran els captadors orientats cap al sud.
- Es tria una inclinació de 45° respecte a l'horitzontal, ja que el consum d'aigua calenta es considera constant al llarg de l'any, sense variacions entre estiu i hivern.
- La corba de rendiment energètic del captador solar escollit és la següent:

$$\eta = 0,73 - 6,8 \cdot (T_f - T_{AMB})/I$$

És a dir, el captador té els coeficients característics següents:

Factor d'eficiència òptica del captador = 0,73

Coefficient global de pèrdues del captador = 6,80 W/m²K

- Com a modificador de l'angle d'incidència es pren aproximadament 0,96 per a captadors amb una coberta de vidre.
- Com a factor de correcció del conjunt captador – bescanviador és recomanable un valor de 0,95
- El mètode F-Chart incorpora en el càlcul del paràmetre D₂ una estimació de l'energia perduda: de captador a bescanviador (factor de correcció de 0,95), pèrdues de calor en l'acumulador (per emmagatzematge) i en la resta de la instal·lació d'ACS.

Es fa una primera temptativa mitjançant el mètode F-Chart fixant la superfície total de captació a 30 m² (és a dir una àrea d'1,25 m² per habitatge) i un volum d'acumulació de 2000 litres (el mètode F-Chart recomana una relació V/A entre 50 i 100 litres/m²). El resultat és una fracció solar de 50,9%.

Seguidament incrementem la **superfície total de captació a 40 m²** (és a dir, una àrea d'1,67 m² per habitatge) i un **volum total d'acumulació de 3000 litres** (el mètode F-Chart recomana una relació V/A entre 50 i 100 litres/m²). El resultat és una **fracció solar de 62,3%**.

5. Selecció del nombre de captadors solars necessaris

Per a l'elecció de la superfície de captació que finalment tindrà la instal·lació es parteix d'uns captadors de les següents característiques:

- Dimensions Alçària 2,0 m
Amplària 1,0 m
- Superfície 2,0 m²
- Capacitat 1,3 litres
- Pèrdua de càrrega 30 m.m.c.a. per a un cabal de 100 l/h

Per a aconseguir una superfície de captació solar de 40 m² caldran 20 captadors solars del tipus descrit.

Els 20 captadors es disposaran en 4 grups de 5 captadors cada un.

6. Situació dels captadors solars en l'edifici

A la vista de les característiques de l'edifici, es decideix situar els captadors solars a la terrassa plana superior.

6.1. Orientació i inclinació

L'orientació triada serà sud, paral·lelament a una de les façanes de l'edifici. La inclinació serà de 45° respecte a l'horitzontal.

Aquesta combinació d'orientació Sud i inclinació similar a la latitud de l'emplaçament és la que permet l'aprofitament anual més gran de l'energia solar disponible.

6.2. Implantació dels captadors en la coberta

Els captadors s'instal·laran sobre estructures d'acer galvanitzat, subministrades pel mateix fabricant dels captadors solars, amb una inclinació de 45° respecte a l'horitzontal. Els caragols necessaris per a subjecció dels captadors a l'estructura seran d'acer inoxidable.

Per a la fixació de les estructures metàl·liques es farà en cada grup de captadors una bancada de formigó amb les dimensions aproximadament iguals a les de la projecció vertical de la bancada (1,5 m x 5,5 m) i una alçària de 8 -10 cm.

Les bancades recolzaran directament sobre la superfície de la coberta, sense danyar la seua estanquitat.

6.3. Separació d'elements que puguen produir ombres

Els 4 grups de captadors se situaran en la coberta de l'edifici en dues files de dos grups cadascun.

La primera fila ha de separar-se prou de la façana sud de l'edifici a fi d'evitar la projecció d'ombres del petit mur de protecció.

El plec de condicions tècniques d'instal·lacions de baixa temperatura de l'IDAE estableix que la distància mínima de separació que ha de deixar-se entre el final del mur i l'inici de la primera fila de captadors pot calcular-se de la següent manera:

$$d = h \cdot k$$

sent

h l'alçada del mur de protecció

$$k = 1/\tan (61^\circ - \text{latitud})$$

Per a la latitud de Barcelona (uns 41°) k és igual a 2,75. Tenint en compte que l'alçada h del mur és de 0,5 m, la distància d és igual a 1,37 m. Fixarem 1,4 m.

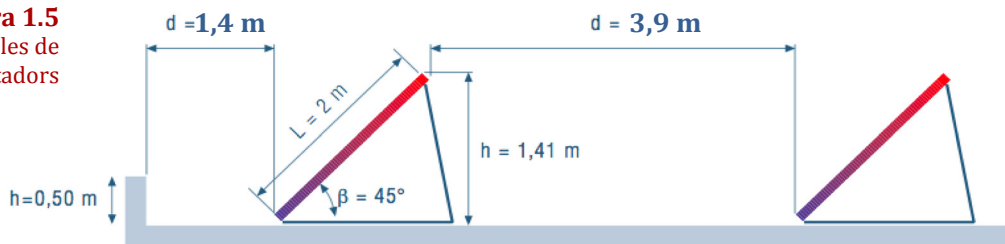
De la mateixa manera, la segona fila de captadors ha de separar-se una certa distància de la primera. El procediment per al càlcul d'aquesta separació és idèntic a l'utilitzat anteriorment, amb la diferència que, en aquesta ocasió h és l'alçada vertical del primer grup de captadors, és a dir, suposant que la longitud del captador L és de 2 m:

$$h = L \cdot \text{sen } \beta = 2 \cdot \text{sen } 45^\circ = 1,41 \text{ m}$$

$$d = h \cdot k = 1,41 \cdot 2,75 = 3,9 \text{ m}$$

En la Figura 1.5 s'indiquen les distàncies mínimes de separació que han de respectar-se.

Figura 1.5
Separació de les files de captadors



6.4. Connexió dels captadors

Els 5 captadors de cada grup es connectaran en paral·lel, amb l'entrada per la part inferior del primer captador i l'eixida per la part superior del cinquè captador.

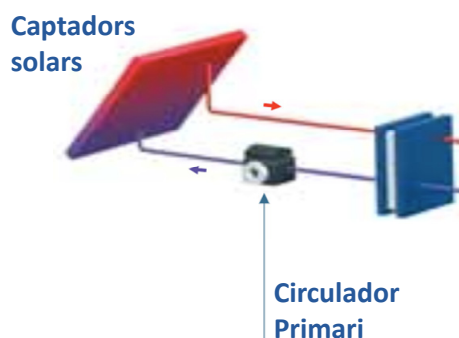
Els 4 grups també es connectaran entre si en paral·lel. A l'entrada de cada grup s'instal·larà una vàlvula d'equilibrament hidràulic per a garantir un repartiment homogeni del cabal del circuit primari pels 4 grups.

En la part superior de cada grup, a l'eixida, s'instal·larà un purgador automàtic de boia per a permetre l'eixida de l'aire dels captadors.

A més, s'instal·larà una vàlvula d'esfera a l'eixida per a poder aïllar cada grup de les canonades del circuit primari i poder procedir a dur a terme eventuales operacions de manteniment o reparació sense necessitat de buidar la resta de la instal·lació.

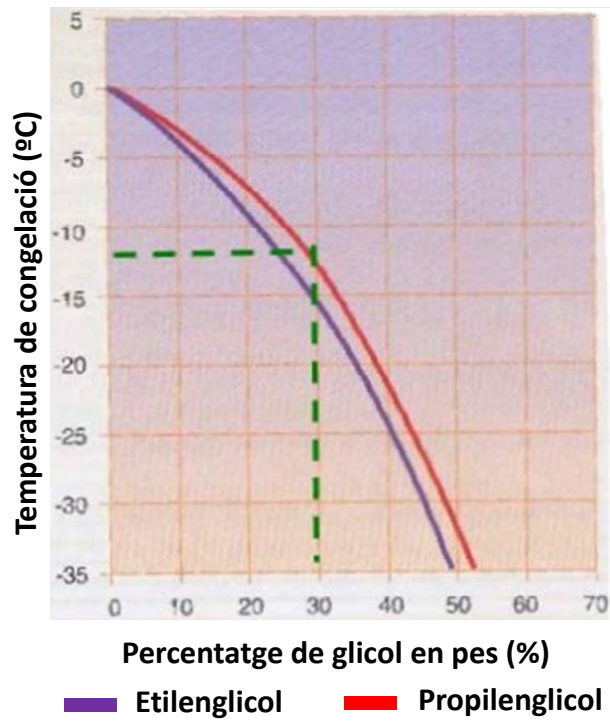
7. Circuit primari solar

En aquesta configuració d'edificació plurifamiliar amb acumulació solar centralitzada, s'entén que el circuit primari és el comprès entre els captadors solars i el bescanviador de calor.

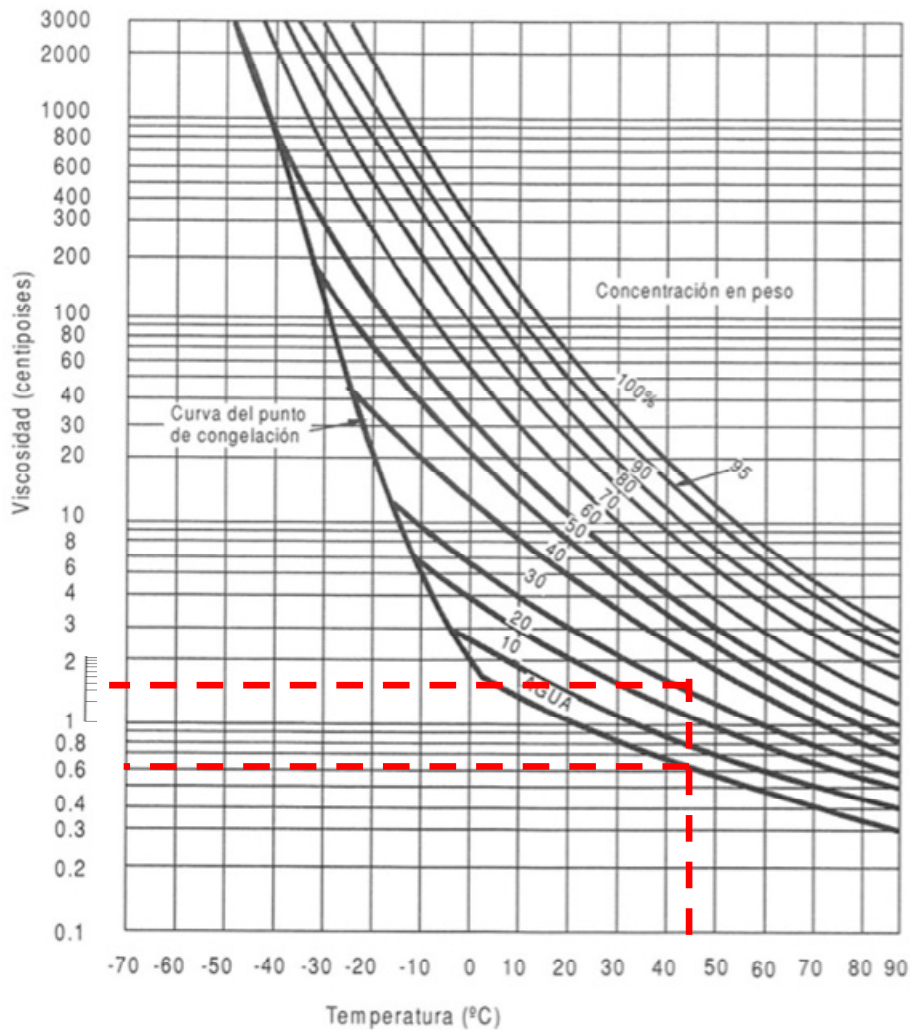


7.1. Fluid caloportador

La temperatura mínima històrica a Barcelona és de -7° , no obstant la normativa RITE obliga que el sistema pugui suportar 5° per sota d'aquesta temperatura mínima històrica és a dir -12° . Per a això, necessitarem una proporció d'aproximadament el 30% de propilenglicol segons la gràfica per a evitar la congelació del fluid a l'hivern a la ciutat de Barcelona.



En aquesta proporció la viscositat per a una temperatura de 45 °C és d'1,25 centipoises (la de l'aigua a 45 °C és de 0,6 cp).



Viscositat d'una dissolució de propilenglicol, en funció de la temperatura. La unitat de viscositat en el Sistema Internacional és el pascal/segon, que equival a 1000 centipoises.

7.2. Cabal del circuit primari solar

El CTE indica que, en cas de no ser especificat pel fabricant, s'ha de seleccionar un cabal de disseny comprès entre 1,2 i 2 litres/s per cada 100 m² de superfície de captadors (entre 43,2 i 72 litres/h·m²). Sol escollir-se un valor d'1,4 litres/s per cada 100 m², és a dir 50 litres/h·m².

Per a aquest cas, amb una superfície de captació solar de 40 m², el cabal del circuit primari s'estableix en 2.000 litres/h.

7.3. Canonades del circuit primari

Les canalitzacions del circuit primari des dels captadors solars fins al local en el qual se situa el dipòsit es faran amb canonada de coure.

S'ha de seleccionar la canonada de diàmetre comercial que complisca les següents condicions:

- 1) La pèrdua de càrrega per metre lineal de tub no supere els 40 m.m.ca
- 2) La velocitat de circulació del líquid siga superior a 0,3 m/s i inferior a 2 m/s

El diàmetre de les canonades es determina a partir del cabal que ha de circular per cada tram i tenint en compte el fluid caloportador seleccionat. La següent taula que mostra la relació cabal-diàmetre interior d'una canonada de coure per a pèrdua de càrrega màxima de 40 m.m.ca quan el fluid és aigua sense additius pot servir com a guia en una primera estimació del diàmetre de la canonada.

Diàmetre nominal (mm)	Gruix de paret (mm)	Diàmetre interior (mm)	Cabal (litres/h)
15	1,0	13,0	fins a 290
18	1,0	16,0	fins a 500
22	1,0	20,0	fins a 950
28	1,0	26,0	fins a 1900
35	1,0	33,0	fins a 3600
42	1,0	40,0	fins a 6200
54	1,2	51,6	fins a 12000

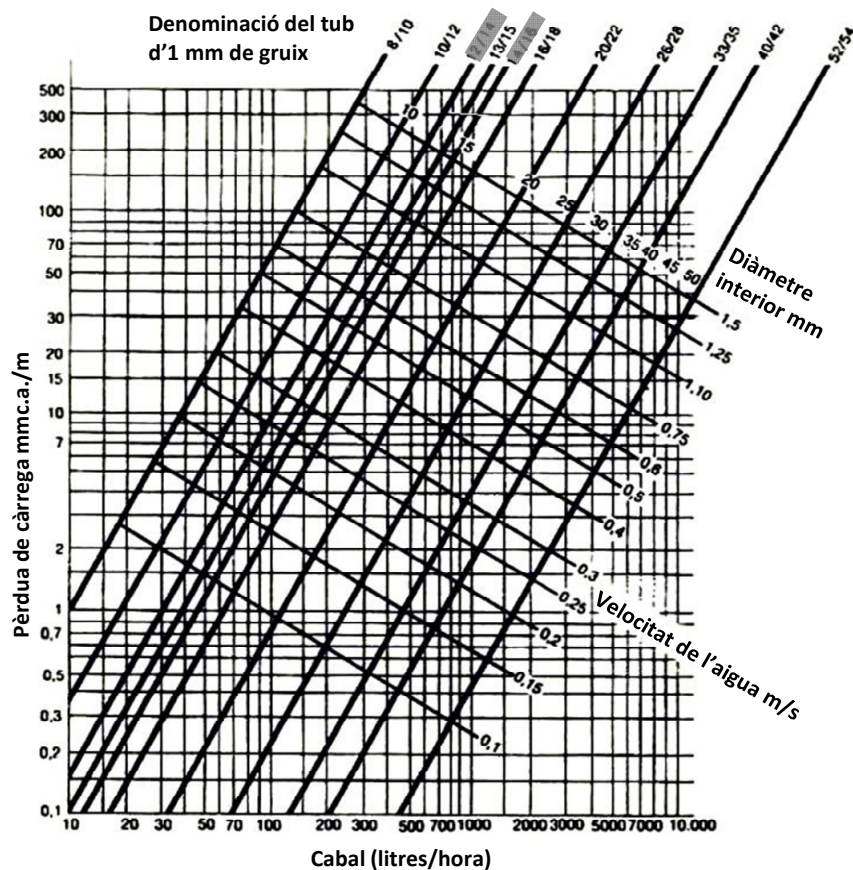
En canonades de parets llises (com les de coure) per les quals circula aigua calenta sense additius pot emprar-se la següent fórmula per a obtenir les pèrdues de càrrega en funció del cabal i del diàmetre interior de la canonada:

$$\text{Pèrdua de càrrega (mmca/m)} = 378 \cdot \frac{\text{Caball [l/h]}^{1,75}}{\text{Diàmetre interior [mm]}^{4,75}}$$

Per a un diàmetre de canonada i un cabal donats, la velocitat del fluid pot obtenir-se mitjançant la següent expressió:

$$v \text{ (m/s)} = \frac{\text{Caball [m}^3/\text{s]}}{\pi \cdot (\text{Diàmetre interior [m]}^2 / 4)} = 0,354 \cdot \frac{\text{Caball [l/h]}}{\text{Diàmetre interior [mm]}^2}$$

De forma equivalent tant la pèrdua de càrrega com la velocitat poden obtenir-se gràficament a partir de l'àbac de pèrdues de càrrega en funció del cabal d'aigua (45 °C) per a canonades de coure.



Com que el fluid utilitzat és diferent de l'aigua, la pèrdua de càrrega s'ha d'incrementar en un factor igual a l'arrel quarta del quocient entre la viscositat de la dissolució i la de l'aigua a la temperatura considerada, en el nostre cas 45°. El factor de correcció que obtenim en fer aquest càlcul és:

$$\sqrt[4]{\frac{1,25cp}{0,6cp}} = 1,2$$

S'obtenen els següents resultats:

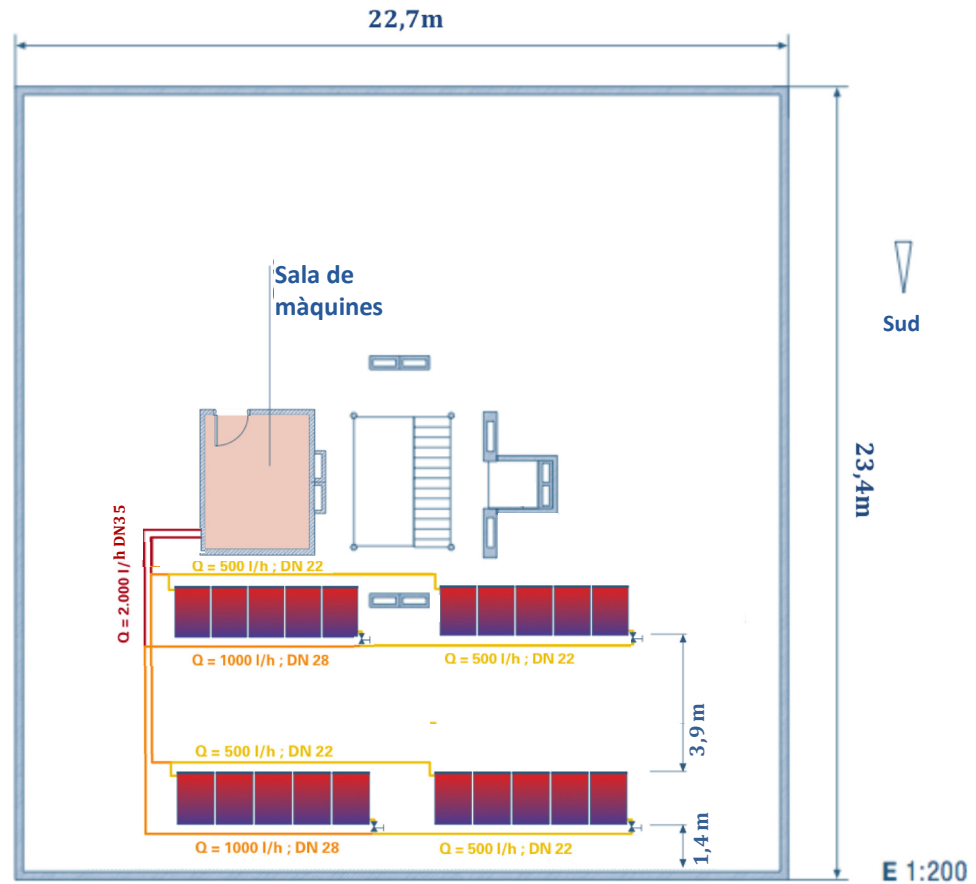
- Als trams de canonades generals, pels quals circula la totalitat del cabal del circuit primari (és a dir, 2.000 litres/h), els correspondria una canonada de DN 35. Si es triara una canonada de DN 28, la pèrdua de càrrega seria superior a 40 mm.c.a./m, que s'ha considerat la màxima pèrdua de càrrega unitària desitjable.
- Els trams que arrepleguen el cabal corresponent a dos grups de captadors (amb un cabal de 1.000 litres/h) serien de DN 28. Si es triara una canonada de DN 22, la pèrdua de càrrega unitària seria superior a la màxima desitjable.
- Finalment, els trams que connecten un únic grup de captadors (amb un cabal de 500 litres/h) es realitzarien amb canonada de DN 22.

En la taula, el cabal de 500 litres/h està just en la frontera entre els diàmetres recomanats de 18 i de 22 mm en el cas que el fluid a circular fóra aigua sense additius. No obstant això, la mescla d'aigua amb anticongelant produeix una pèrdua de càrrega superior a la de l'aigua, de manera que la canonada de DN18 provocaria una pèrdua de càrrega unitària superior a la màxima desitjable, i per tant, s'ha optat per triar una canonada de DN22.

En la següent figura es pot veure la disposició dels captadors solars en la coberta de l'edifici

i el recorregut i diàmetre de les canonades de cada tram.

Figura 1.6
Distribució dels captadors
i les canonades del circuit
primari i ubicació de la
sala de màquines.



Les pèrdues de càrrega singulars s'estimen a partir de la següent taula proposada per Gas Natural, on s'indica la longitud equivalent de canonada recta per a cada singularitat.

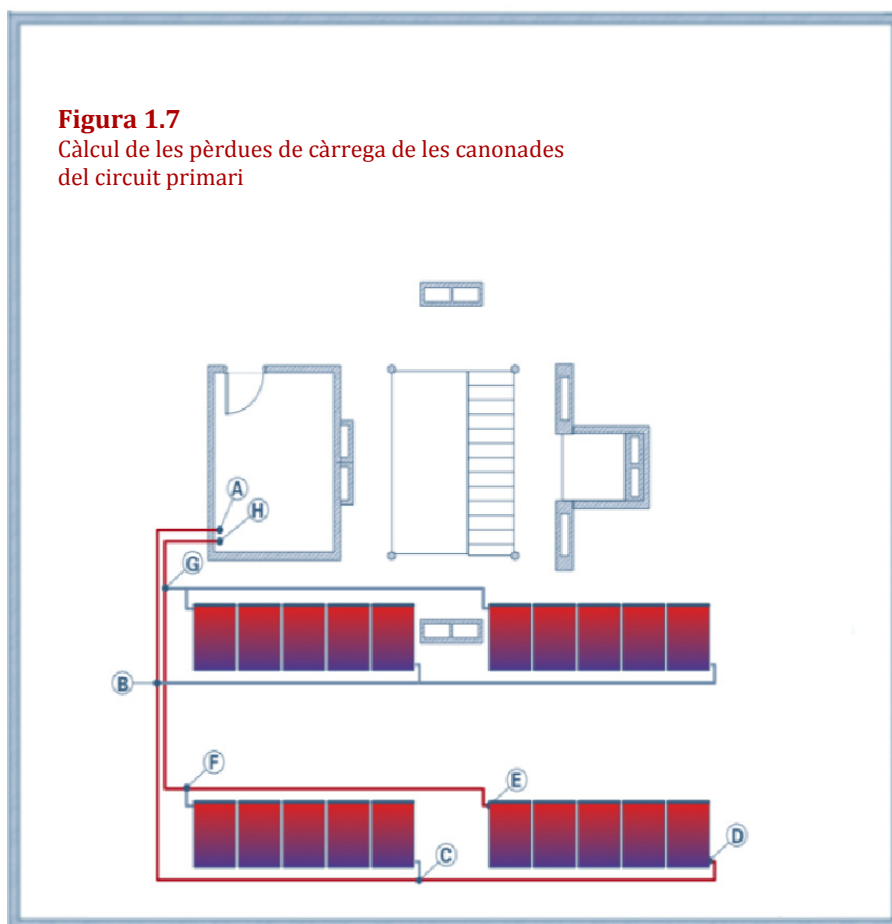
	Diàmetre nominal de la canonada					
	18	22	28	35	42	54
Corba de 45°	0,34	0,43	0,47	0,56	0,7	0,85
Colze de 90°	0,5	0,63	0,76	1,01	1,32	1,71
Corba de 90°	0,33	0,45	0,6	0,84	0,96	1,27
Reducció	0,3	0,5	0,65	0,85	1	1,3
T →→	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
T →↑	2,5	3	3,6	4,1	4,6	5
T →↔	1,68	1,8	1,92	2,4	3	3,6
Vàlvula antiretorn de claveta	0,5	0,77	1,05	1,61	2,1	2,66

Longitud equivalent de canonada (en m) per a pèrdues de càrrega singulars.

Font: Gas Natural

Per a facilitar la comprensió dels càlculs, s'han assignat unes lletres als diferents punts del circuit, tal com s'indica en la figura següent. Per a la selecció de la bomba del circuit primari cal calcular la pèrdua de càrrega.

Figura 1.7
Càlcul de les pèrdues de càrrega de les canonades del circuit primari



En la següent taula es detalla el càlcul de la pèrdua de càrrega de les canonades del circuit primari.

Taula 1.1
Pèrdues de càrrega de les canonades del circuit primari

Tram	Q (l/h)	DN (mm)	Diàmetre (mm)	V (m/s)	P _{dc} _{unit} (mmca/m)	L (m)	Singularitats	L _{sing} (m)	L _{total} (m)	P _{dc} (mca)
AB	2000	35	33	0,650	16,6	5,5	3 corbes 90° 1 vàlvula A/R	4,13	9,63	0,160
BC	1000	28	26	0,524	15,3	11,5	1 corba 90° 1T	0,90	12,40	0,190
CD	500	22	20	0,443	15,9	7,5	3 corbes 90° 1T	1,55	9,05	0,144
EF	500	22	20	0,443	15,9	8,0	3 corbes 90° 1 corba 90°	1,35	9,35	0,148
FG	1000	28	26	0,524	15,3	5,5	1T	0,90	6,40	0,098
GH	2000	35	33	0,650	16,6	3,5	3 corbes 90° 1T	2,92	6,42	0,107

P_{dc} TOTAL (mca) = 0,85

Q	Cabal de fluid que circula per cada tram, en litres/h
DN	Diàmetre nominal de la canonada, en mm
D	Diàmetre interior de la canonada, en mm
v	velocitat de circulació del fluid per cada tram $v(m/s)=0,354 \cdot Q/D^2$
Pdc_{unit}	Pèrdua de càrrega per metre lineal de canonada $Pdc_{unit}(mm.c.a./m)=1,2 \cdot 378 \cdot Q^{1,75} / D^{4,75}$ El factor 1,2 de l'expressió anterior s'introdueix per a tenir en compte la presència d'anticongelant en el fluid primari, de major viscositat que l'aigua.
L	Longitud del tram de canonada, en m
L_{sing}	Longitud equivalent de les singularitats del tram, en m
L_{total}	Longitud total a considerar, en m $L_{total} = L + L_{sing}$
Pdc	Pèrdua de càrrega del tram, en m $Pdc(m.c.a.)=Pdc_{unit} \times L_{total} \times 10^{-3}$

La pèrdua de càrrega resultant serà de 0,85 m.c.a.

Com es pot veure, la pèrdua de càrrega en les canonades és molt xicoteta (inferior a 1 m.c.a.), ja que els recorreguts de canonades en l'edifici triat són molt curts.

En aquest cas s'ha optat per la instal·lació de vàlvules d'equilibrament hidràulic per a assegurar un correcte repartiment del cabal pels 4 grups de captadors. Un equilibrament mitjançant tornada invertida també haguera sigut vàlid. Les vàlvules d'equilibrament hidràulic s'ajustaran en cada grup de captadors de manera que la pèrdua de càrrega per qualsevol dels recorreguts del circuit siga la mateixa.

Les canonades del circuit primari s'aïllaran segons s'indica en el Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques en els Edificis. En aquest cas, el material triat és una escuma elastomèrica de cèl·lula tancada subministrada en conques de 35 mm de gruix.

L'aïllament de tot el circuit primari es protegirà exteriorment amb una coberta de xapa d'alumini.

7.4. Bomba del circuit primari

L'elecció de la bomba es fa a partir de la pèrdua de càrrega total i del cabal del circuit primari.

Per al càlcul de la pèrdua de càrrega del circuit cal tenir en compte les pèrdues en les canonades $Pdc_{canonades}$ (incloses les pèrdues de càrrega singulars dels accessoris), la pèrdua de càrrega del bescanviador de calor $Pdc_{bescanviador}$ i la dels captadors solars $Pdc_{captadors}$.

Les pèrdues de càrrega en les canonades, $Pdc_{canonades}$, s'han calculat en el punt anterior, amb un resultat de 0,85 m.c.a.

La pèrdua de càrrega en el bescanviador $Pdc_{bescanviador}$, facilitada pel fabricant de l'equip, és d'1,5 m.c.a.

En l'exercici, cada bateria de captadors està formada per 5 captadors connectats en paral·lel, i per això a les pèrdues de càrrega dels captadors cal sumar la pèrdua de càrrega dels conductes de distribució. La pèrdua de càrrega total en els captadors $Pdc_{captadors}$ es pot determinar a partir de la corba facilitada pel fabricant de pèrdua de càrrega en funció del nombre de captadors en paral·lel. En cas que no es dispose d'aquesta informació, però sí de la pèrdua de càrrega d'un únic captador, podem fer ús del mètode Censolar. En aquest cas, la pèrdua de càrrega d'un captador a un cabal de 100 l/h és de 30 mm c.a., i per això la pèrdua del conjunt de $N= 5$ captadors en paral·lel a un cabal de 500 l/h serà, aplicant

l'expressió proposada per Censolar de l'ordre de:

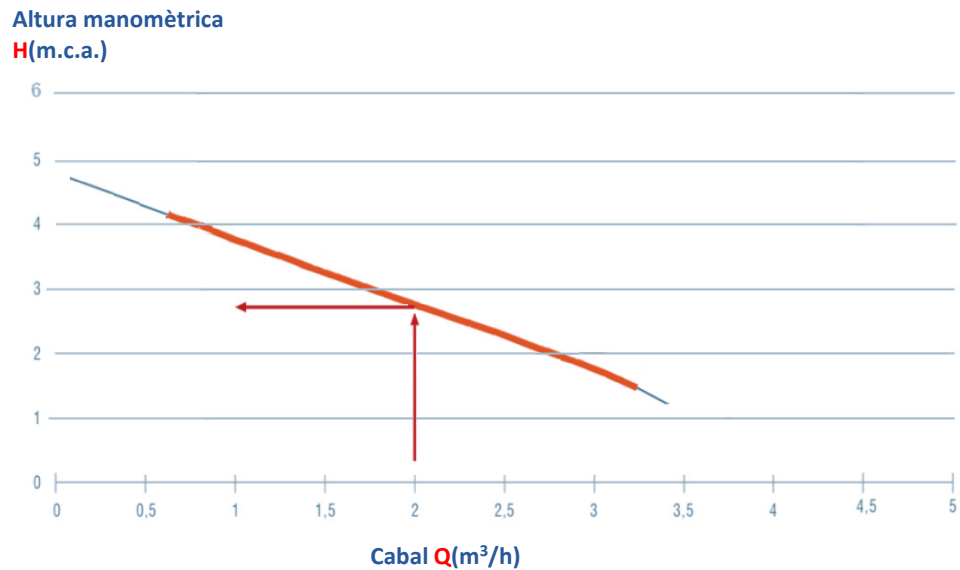
$$30 \text{ mm.c.a.} \cdot N \cdot (N+1) / 4 = 30 \text{ mm.c.a.} \cdot 5 \cdot 6 / 4 = 225 \text{ mmca.}$$

La suma dels valors anteriors donen com a resultat una pèrdua de càrrega de 2,575 m.c.a. (1,5 m.c.a. + 0,85 m.c.a. + 0,225 mca).

Com s'ha indicat anteriorment, el cabal del circuit primari és de 2.000 litres/h, calculat a raó de 50 litres/h·m² de captació solar.

La selecció de la bomba del circuit primari es fa de manera que la seua corba característica continga aproximadament el punt de treball definit per una altura manomètrica igual a la pèrdua de càrrega del circuit H = 2,575 m.c.a. i un cabal Q igual a 2.000 litres/h.

Figura 1.8
Corba característica de la bomba del circuit primari



És recomanable que, una vegada fet el càlcul de la pèrdua de càrrega, es trie la bomba de manera que la seua corba estiga de l'ordre d'un 20% per sobre del punt de treball, per a poder compensar possibles pèrdues de potència de la bomba després de l'engegada.

7.5. Vas d'expansió

El circuit primari ha de disposar d'un vas d'expansió per a absorbir les dilatacions del fluid caloportador. La seua capacitat es determina a partir de la següent fórmula,

$$V_t = (V_{\min} + V \cdot C_e + V_{\text{vap}}) \cdot C_p$$

V: Volum del fluid de treball de la instal·lació (l)

V_{min}: Volum mínim o de reserva de fluid en el vas d'expansió (l) per a compensar la seua pèrdua o contracció a baixa temperatura.

V_{dil}: Volum de dilatació (l) = V · C_e

V_{vap}: Volum de vaporització (l)

C_e: Coeficient d'expansió o dilatació del fluid (ΔV/V)

$$C_p = \frac{V_t}{V_u} = \frac{P_{\max}}{P_{\max} - P_{\min}}$$

C_p: Coeficient de pressió

El **volum de líquid del circuit primari (V)** es pot calcular sumant els continguts dels diferents elements, principalment les canonades i els captadors.

El càlcul de V es detalla a continuació:

Taula 1.2
Volum de fluid
en les
canonades del
circuit primari.

DN (mm)	Diàmetre (mm)	L (m)	Capacitat (l/m)	Contingut total (l)
22	20	34,0	0,314	10,7
28	26	24,5	0,531	13,0
35	33	9,0	0,855	7,7
TOTAL				31,4

El contingut total de líquid en les canonades és de 31,4 litres.

A aquest volum ha de sumar-se la capacitat de líquid dels captadors, que és d'1,3 litres cadascun, és a dir, 26 litres per al total de 20 captadors.

El contingut total de líquid del circuit primari és, per tant, de $V = 57,4$ litres. ($31,4 + 26 = 57,4$ litres).

El **volum mínim o de reserva (V_{\min})** es pren un 3% del volum total de la instal·lació amb un mínim de 3 litres.

$$3\% \times 57,4 \text{ litres} = 1,72 \text{ litres}$$

En ser inferior a 3 litres, prendrem $V_{\min} = 3$ litres

El **volum de vaporització (V_{vap})** es pren igual al volum de fluid en captadors més un 10%:

$$20 \text{ captadors} \times (1,3 \text{ l/captador}) = 26 \text{ litres}$$

$$V_{\text{vap}} = 1,1 \times 26 \text{ litres} = 28,6 \text{ litres}$$

Si no es disposa d'informació més concreta del valor del **coeficient d'expansió (C_e)** per part del distribuïdor o fabricant, es pot fer ús de les expressions indicades en la norma UNE 100-155 per al càlcul del valor de C_e del fluid caloportador, i això resulta en un valor de 0,054. El **volum de dilatació (V_{dil})** valdrà:

$$V_{\text{dil}} = V \times C_e = 3,1 \text{ litres}$$

Per al valor de la pressió P_{\max} es pren com a referència la pressió de taratge de la vàlvula de seguretat del circuit primari, que s'estableix en 3 kg/cm^2 en aquest cas pràctic. Aquest valor suposa una pressió absoluta $P_{\max} = 3,7 \text{ kg/cm}^2$ (sumant-li 1 kg/cm^2 de pressió atmosfèrica a la pressió de taratge de la vàlvula de seguretat i restant-li $0,3 \text{ kg/cm}^2$).

Com a valor de P_{\min} es pren $1,5 \text{ kg/cm}^2$, suposant que la pressió d'ompliment és de $0,5 \text{ kg/cm}^2$. En el cas que la sala de màquines estiguera situada al nivell de la planta baixa de l'edifici, per a la determinació de P_{\min} s'hauria de tenir en compte la pressió de la columna d'aigua situada sobre el vas d'expansió.

El volum total del vas d'expansió val:

$$V_t = (3 + 3,1 + 28,6) \cdot \frac{3,7}{3,7 - 1,5} = 58,4 \text{ litres}$$

En funció del fabricant podem trobar els següents valors comercials: 5, 8, 12, 18, 24, 25, 35, 50, 60, 80, 100, 150, 200, 220, 300, 350, 500, 700 i 750 litres. En la pràctica, s'instal·larà un vas d'expansió d'una grandària comercial de 60 litres.

El vas d'expansió s'instal·larà sense vàlvula de tall, de manera que no existisca la possibilitat d'aïllar-lo accidentalment del circuit primari al qual protegeix.

7.6. Altres elements del circuit primari

Com tot circuit sotmès a pressió i variacions de temperatura, el circuit primari ha

d'incorporar una vàlvula de seguretat com a element limitador de la pressió a la qual puga estar sotmès el circuit. La vàlvula de seguretat és imprescindible per a protegir els components de la instal·lació. El taratge de la vàlvula de seguretat, és a dir la pressió a la qual actua, ha de ser inferior a la pressió màxima que puga suportar l'element més feble de la instal·lació, que sol ser el vas d'expansió.

En el nostre cas s'instal·larà una **vàlvula de seguretat** amb descàrrega conduïda a desguàs de manera que l'obertura de la vàlvula no puga provocar cremades sobre les persones o afectar altres materials. La pressió de taratge serà de 3 kg/cm². Al costat de la vàlvula de seguretat s'instal·larà un manòmetre que permeta verificar la pressió del circuit.

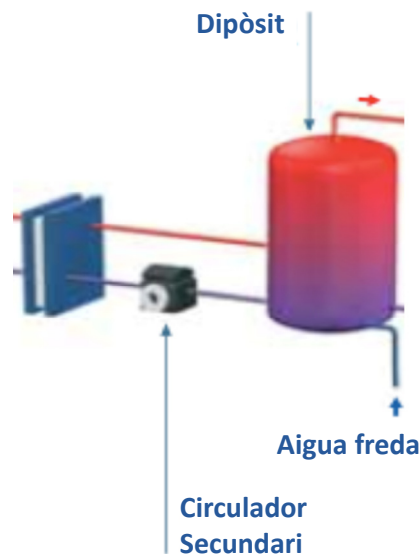
En el traçat de les canonades ha de tractar-se d'evitar la formació de punts alts que puguin provocar la formació de bosses d'aire que dificulten la circulació del fluid caloportador i provocar corrosions i punts d'elevada temperatura. S'instal·laran **4 purgadors** d'aire en els punts alts de cada un dels grups de captadors solars.

En el circuit primari s'instal·larà una **vàlvula antiretorn** de claveta en la impulsió de la bomba de circulació, per a evitar l'eventual circulació inversa durant la nit.

En el circuit s'ha de preveure una **connexió per a l'ompliment** i l'eventual reposició de fluid caloportador.

8. Subsistema d'intercanvi i acumulació. Circuit secundari

S'entén per circuit secundari el circuit hidràulic entre el bescanviador de calor de plaques i l'acumulador centralitzat.



8.1. Fluid de treball

El circuit secundari inclou l'acumulació d'aigua, l'intercanvi de calor i les canalitzacions de connexió de tots dos, amb els seus accessoris.

El fluid del circuit secundari és, per tant, aigua de consum per a usos sanitaris.

8.2. Acumulació

La capacitat del dipòsit d'acumulació se sol establir entre 50 i 100 litres per m² de captació solar. En aquest cas, s'ha triat un dipòsit de 3.000 litres, de manera que la relació entre la capacitat de l'acumulador i la superfície de captadors és de 75 litres/m², just en el centre de l'interval recomanat.

El dipòsit triat és d'acer amb revestiment interior d'epoxi i protecció catòdica permanent.

Les seues dimensions aproximades són d'1,7 m de diàmetre i 2,4 m d'alçada. L'aïllament exterior és d'escuma de poliuretà de 80 mm de gruix, per sobre del valor exigít en el Reglament d'instal·lacions tèrmiques en els edificis.

Figura 1.9
Esquema de connexions del dipòsit acumulador.



L'acumulador solar es connecta als següents circuits:

- A la canalització d'arribada de l'aigua freda, per la part lateral inferior.
- A la canonada d'anada cap al bescanviador de calor de plaques, per la part lateral inferior.
- A la canonada d'arribada del bescanviador de calor de plaques per la part lateral mitjana-superior.
- A la distribució d'aigua calenta, per la part superior.
- A la tornada de la recirculació del circuit de distribució, per la part inferior.
- Al desguàs, per a buidatge per la part inferior.

La instal·lació de l'acumulador solar es fa a l'interior del local destinat a sala de màquines en la coberta de l'edifici.

El **circuit secundari**, com a circuit sotmès a pressió i variacions de temperatura ha d'incorporar en l'acumulador vàlvules de seguretat tarades a la pressió que garantisca que en qualsevol punt del circuit no se supera la pressió màxima de treball dels components. Les vàlvules de seguretat són imprescindibles per a protegir els components de la instal·lació. La descàrrega ha d'estar conduïda al desguàs, de manera que l'obertura de la vàlvula no pugua provocar cremades sobre les persones o afectar altres materials.

En la canonada d'entrada de l'aigua freda a l'acumulador solar s'instal·larà la **vàlvula de seguretat** amb descàrrega conduïda a desguàs i tarada a 8 kg/cm². Entre la vàlvula de seguretat i l'acumulador no s'instal·larà cap vàlvula de tall perquè no existisca la possibilitat d'aïllar-la accidentalment del circuit al qual protegeix.

8.3. Bescanviador de calor

El bescanviador de calor del sistema de captació solar ha de ser capaç de dissipar tota l'energia procedent dels captadors solars cap al dipòsit d'acumulació.

Si la potència d'intercanvi no és suficient, l'energia no cedida es traduirà en un increment de la temperatura del circuit primari i, en conseqüència, en una penalització del rendiment del captador i una reducció de la producció energètica solar.

La utilització de bescanviadors de calor externs de plaques permet fer un disseny a mesura, triant la configuració (model i nombre de plaques) que s'adapte millor a les condicions de

funcionament de la instal·lació.

Les característiques d'un bescanviador de calor de plaques queden definides amb les variables següents:

- Potència d'intercanvi
- Fluids i cabals de disseny
- Temperatures dels circuits primari i secundari
- Pèrdua de càrrega

Potència d'intercanvi

Segons el CTE, la potència d'intercanvi ha de ser d'almenys, 500 W per m² de captador solar:

$$P \geq 0,5 \cdot A$$

sent:

P: Potència d'intercanvi en kW

A: Superfície total de captadors instal·lats, en m²

Prendrem una potència d'intercanvi de 600 W/m² (en comptes de 500 W/m²), amb la qual cosa es compleix de sobres la condició marcada pel CTE.

Fluids i cabals

En general, el fluid circulant pel circuit primari serà aigua amb anticongelant, en la proporció necessària per a eliminar el risc de congelació. En el procés de selecció del bescanviador de calor ha de tenir-se en compte les característiques del líquid primari, en particular, la seua densitat i la seua calor específica, que poden ser sensiblement diferents de les de l'aigua sense additius.

El cabal del circuit primari s'estableix en uns 50 litres/h per m² de captació solar, tal com s'ha indicat prèviament. Pel costat secundari del bescanviador circularà l'aigua de consum. El **cabal del circuit secundari** se sol establir en un valor **similar al del primari**, sense que la diferència siga inferior a un 10%.

$$\text{Cabal primari} \geq \text{Cabal secundari}$$

Temperatures

La **temperatura d'entrada del fluid del circuit primari** al bescanviador de calor de plaques serà un valor variable durant el funcionament de la instal·lació, segons les condicions climàtiques i l'estat del sistema. El plec de condicions tècniques d'instal·lacions de baixa temperatura de l'IDAE recomana prendre **60 °C** com a temperatura de disseny.

Com a **temperatura d'entrada de l'aigua al costat secundari** del bescanviador pot seguir-se també la recomanació de l'IDAE i agafar **45 °C**. Aquest valor pot considerar-se representatiu de la temperatura en la part mitjana-baixa de l'acumulador, que és des d'on s'aspira l'aigua cap al bescanviador.

Pèrdua de càrrega

La pèrdua de càrrega provocada per un bescanviador de calor de plaques pot ser elevada.

Aquest factor ha de ser tingut en compte en el càlcul dels circuladors, fonamentalment en el circuit primari que sol ser el que té majors longituds de canonada. Com a criteri de selecció, l'IDAE estableix com a admissible una **pèrdua de càrrega en un bescanviador de calor de plaques** de fins a uns **3 m.c.a.**, tant en el circuit primari com en el secundari.

Les condicions de disseny habituals del bescanviador de calor de plaques per a instal·lacions de producció d'aigua calenta sanitària amb energia solar s'arreglen en la següent taula.

Condicions de disseny per a bescanviadors de calor de plaques en instal·lacions de producció d'aigua calenta sanitària amb energia solar.	Primari		Secundari
	Temperatura d'entrada	°C	60
Cabal	l/h	50 * A	50 * A (-10%)
Pèrdua de càrrega	m.c.a.	< 3	< 3
Potència	kW	0,6 * A	

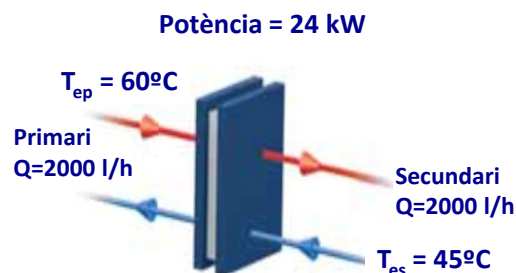
A: Superfície total de captadors instal·lats en m²

La instal·lació de termòmetres a l'entrada i l'eixida del bescanviador de calor de plaques permet verificar que la transferència d'energia des del circuit primari fins a l'acumulació solar es fa correctament. Amb el temps, un augment dels salts tèrmics pot ser indicatiu de la necessitat de netejar el bescanviador de plaques.

Les condicions de disseny del bescanviador, seguint el que s'ha dit prèviament, són les que s'indiquen a continuació:

- Potència d'intercanvi: 24 kW
Aquesta potència de 24 kW equival a 600 W/m² (en lloc de 500 W/m²) tenint en compte la superfície de captació solar de 40 m² amb el que es compleix la condició marcada pel CTE.
- Circuit primari: aigua amb anticongelant
Temperatura d'entrada: 60 °C
Cabal de circulació: 2.000 litres/h
- Circuit secundari: aigua
Temperatura d'entrada: 45 °C
Cabal de circulació: 2.000 litres/h

Figura 1.10
Condicions de disseny del bescanviador de calor.



A partir d'aquestes dades de disseny, se seleccionarà el model de bescanviador que s'ajuste més bé a les condicions de funcionament indicades.

Dos paràmetres molt importants en la definició d'un bescanviador són el rendiment i l'eficàcia d'intercanvi. El rendiment és la relació entre l'energia obtinguda i l'aportada. La diferència entre l'una i l'altra es deu a les pèrdues tèrmiques.

L'eficàcia d'intercanvi es defineix com la relació entre la potència tèrmica intercanviada i la màxima que teòricament podria intercanviar-se. Per a un cabal de fluid caloportador determinat, l'eficàcia és una constant que depèn de la superfície d'intercanvi, de la seua

forma i geometria i del material emprat.

Com més petita siga l'eficàcia del bescanviador de calor, més alta serà la temperatura que retorna als captadors i per tant més alt serà el rendiment de la instal·lació solar. En el cas de bescanviadors exteriors de plaques, l'expressió de l'eficàcia és la següent:

$$\varepsilon = (T_{ss} - T_{es}) / (T_{ep} - T_{es})$$

sent

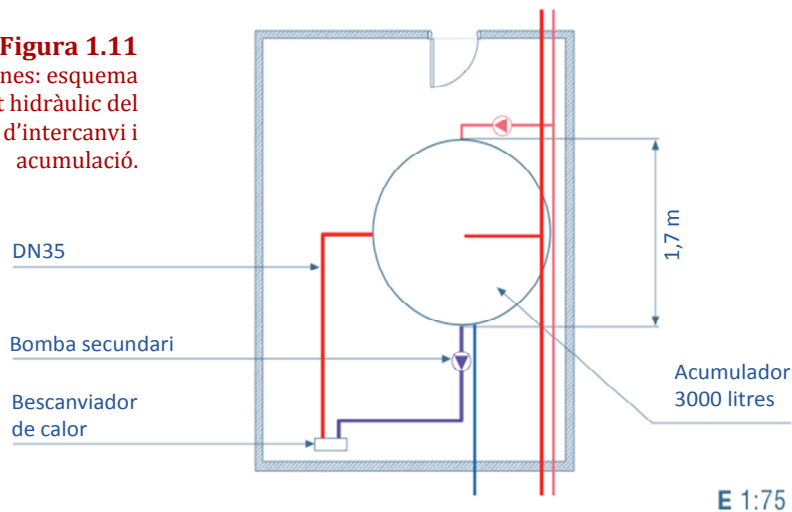
ε : eficàcia del bescanviador

T_{ss} : temperatura d'eixida del bescanviador del circuit secundari, en °C

T_{es} : temperatura d'entrada al bescanviador del circuit secundari, en °C

T_{ep} : temperatura d'entrada al bescanviador del circuit primari, en °C

Figura 1.11
Sala de màquines: esquema
del circuit hidràulic del
subsistema d'intercanvi i
acumulació.



En les canalitzacions d'entrada i eixida del bescanviador (primari i secundari) s'instal·laran termòmetres per a permetre comprovar en tot moment els salts tèrmics obtinguts i unes vàlvules de tall d'esfera per a permetre efectuar les operacions de manteniment o reparació sense buidar la resta de la instal·lació.

8.4. Canonades del circuit secundari

El cabal del circuit secundari serà igual al cabal del circuit primari, és a dir, 2.000 litres/h, tal com es recomana.

Les canonades de connexió de l'acumulador solar al costat secundari del bescanviador de calor de plaques seran de coure, amb un DN35, com correspon al cabal indicat.

L'aïllament serà de conquilla d'escuma elastomèrica de cèl·lula tancada, igual que en el cas del circuit primari, encara que el gruix serà en aquest cas de 25 mm.

8.5. Bomba de circulació del circuit secundari

Com en el cas del circuit primari, la selecció de la bomba es farà a partir de la pèrdua de càrrega i del cabal del circuit.

La pèrdua de càrrega principal és la del bescanviador de calor de plaques (costat secundari). Aquest valor és proporcionat pel subministrador del bescanviador i se suposa que és d'1,4 m.c.a. En aquest cas, la pèrdua de càrrega resultant en les canonades és de 0,31 m.c.a. La pèrdua de càrrega total és, per tant, d'aproximadament 1,7 m.c.a.

Taula 1.3
Pèrdues de càrrega en les canonades del circuit secundari

Tram	Q (l/h)	DN (mm)	Diàmetre (mm)	V (m/s)	Pdc _{unit} (mmca/m)	L (m)	Singularitats	L _{sing} (m)	L _{total} (m)	Pdc (mca)
sec	2000	35	33	0,650	13,8	12,0	12 corbes 90°	10,08	22,08	0,306

Pdc TOTAL (m.c.a.) = 0,31

Q Cabal de fluid que circula per cada tram, en litres/h

DN Diàmetre nominal de la canonada, en mm

D Diàmetre interior de la canonada, en mm

v velocitat de circulació del fluid per cada tram

$$v(m/s)=0,354 \cdot Q/D^2$$

Pdc_{unit} Pèrdua de càrrega per metre lineal de canonada

$$Pdc_{unit}(mm.c.a./m)=378 \cdot Q^{1,75}/D^{4,75}$$

L Longitud del tram de canonada, en m

L_{sing} Longitud equivalent de les singularitats del tram, en m

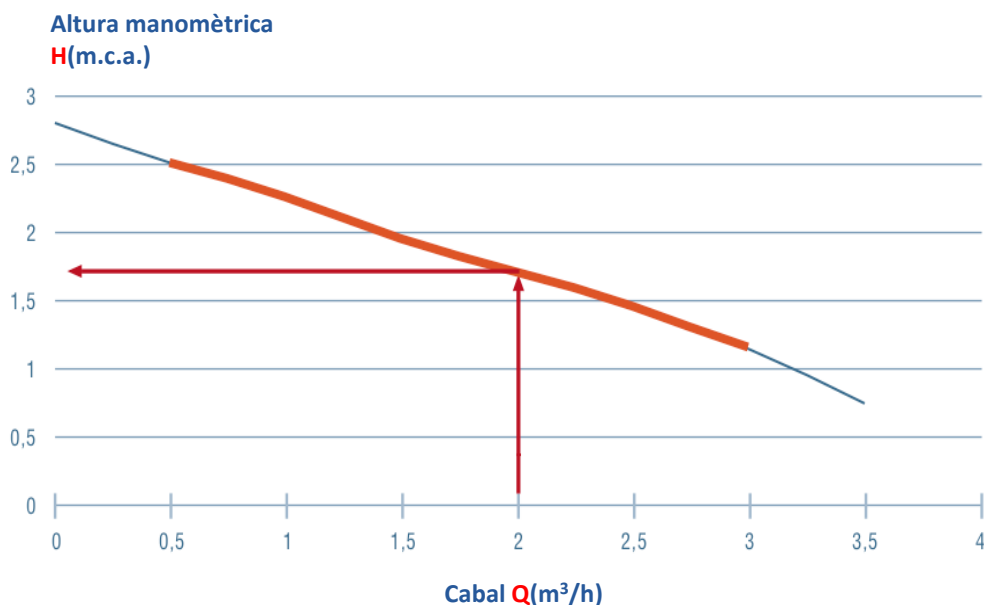
L_{total} Longitud total a considerar, en m

$$L_{total} = L + L_{sing}$$

Pdc Pèrdua de càrrega del tram, en m

$$Pdc(m.c.a.)=Pdc_{unit} \times L_{total} \times 10^{-3}$$

La bomba ha de ser apta per a circuits d'aigua calenta sanitària. Es triarà un model del tipus "en línia" amb el cos de bomba de bronze la corba característica de la qual continga aproximadament el punt de treball caracteritzat per una altura manomètrica $H = 1,7$ m.c.a. i un cabal $Q = 2.000$ litres/h.



9. Distribució i suport

9.1. Distribució de l'aigua preescalfada

L'aigua preescalfada procedent de l'acumulador solar es distribuirà per tot l'edifici mitjançant una xarxa de canonades de coure.

A l'eixida de l'acumulador solar s'instal·larà una vàlvula termoestàtica mescladora amb

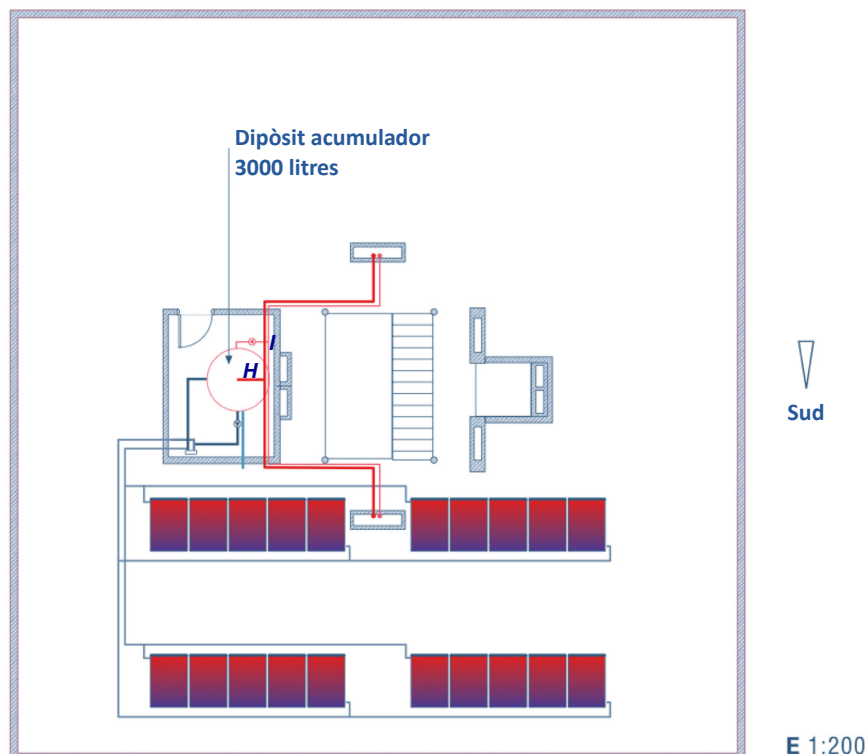
temperatura regulable.

Vàlvula mescladora termoestàtica



Donada la distribució dels habitatges en l'edifici, es faran **dos baixants de distribució**, un per als habitatges de la façana nord i un altre per als habitatges de la façana sud. **Cada un dels dos baixants subministrarà aigua calenta a 12 habitatges (dos per planta).** En la figura es poden veure els recorreguts de canonades de distribució d'aigua preescalfada solar per la coberta de l'edifici fins als baixants.

Figura 1.13
Canonades de
distribució
d'aigua
preescalfada.



El diàmetre de les canonades es determinarà en funció dels punts de consum servits per cada tram. A continuació exposem un **procediment per a determinar el cabal de disseny dels diferents trams del circuit de distribució proposat per Gas Natural**. Hi ha diferents procediments per al disseny d'una xarxa de distribució d'aigua calenta, per la qual cosa és decisió del projectista o instal·lador l'elecció d'un procediment que li merezca confiança. En primer lloc, se suposa que el consum de disseny d'aigua calenta (en litres/segon) dels diferents grups de consum d'un habitatge és el següent:

- Per a una cambra de bany amb banyera: 0,25 l/s
- Per a una cambra de bany o lavabo amb dutxa: 0,15 l/s
- Per a un lavabo sense dutxa: 0,10 l/s
- Per a una cuina: 0,15 l/s

Per a estimar el consum d'un determinat tram de canonada, cal sumar el cabal corresponent als grups de consum proveïts (cambra de bany amb banyera, amb dutxa o cuina) i multiplicar el resultat per un coeficient de simultaneïtat que és funció del nombre de grups de consum, segons s'indica en la següent taula.

Nombre de grups de consum	Coefficient de simultaneïtat	Nombre de grups de consum	Coefficient de simultaneïtat
1	1	20	0,4
2	0,75	30	0,38
3	0,6	40	0,37
4	0,55	50	0,35
5	0,53	75	0,33
6	0,5	100	0,32
7	0,49	150	0,31
8	0,48	200	0,3
9	0,46	500	0,27
10	0,45	1000	0,25

Per exemple, per a un habitatge amb un bany complet amb banyera, un lavabo amb dutxa i una cuina, s'hauria de sumar el cabal dels tres grups de consum ($0,25 + 0,15 + 0,15 = 0,55$) i multiplicar el resultat per 0,6, que és el valor del coeficient de simultaneïtat corresponent a 3 grups de consum segons la taula anterior. El cabal d'entrada a un dels habitatges seria, per tant, de 0,33 l/s.

Amb aquest procediment es pot estimar el cabal esperat en cadascun dels trams de la canonada de distribució d'aigua calenta.

El diàmetre de la canonada de distribució es triarà de manera que la velocitat de l'aigua estiga compresa entre 0,5 i 2 m/s.

En el nostre cas cadascun dels habitatges disposa d'un bany amb banyera, un lavabo sense dutxa i una cuina ($0,25 + 0,1 + 0,15 = 0,5$), és a dir, tres grups de consum. Per tant, el cabal de disseny d'entrada a un dels habitatges serà igual a la suma dels cabals dels tres grups de consum multiplicat pel coeficient de simultaneïtat corresponent a tres de grups de consum, que és de 0,6.

Com a resultat del càlcul s'obté un cabal de disseny de 0,3 l/s.

$$(0,25 + 0,10 + 0,15) \cdot 0,6 = 0,30 \text{ l/s}$$

Per a dos habitatges, el nombre de grups de consum és de 6, per la qual cosa el coeficient de simultaneïtat és de 0,5 i el cabal de disseny és igual a 0,50 l/s.

$$2 \cdot (0,25 + 0,10 + 0,15) \cdot 0,5 = 0,50 \text{ l/s}$$

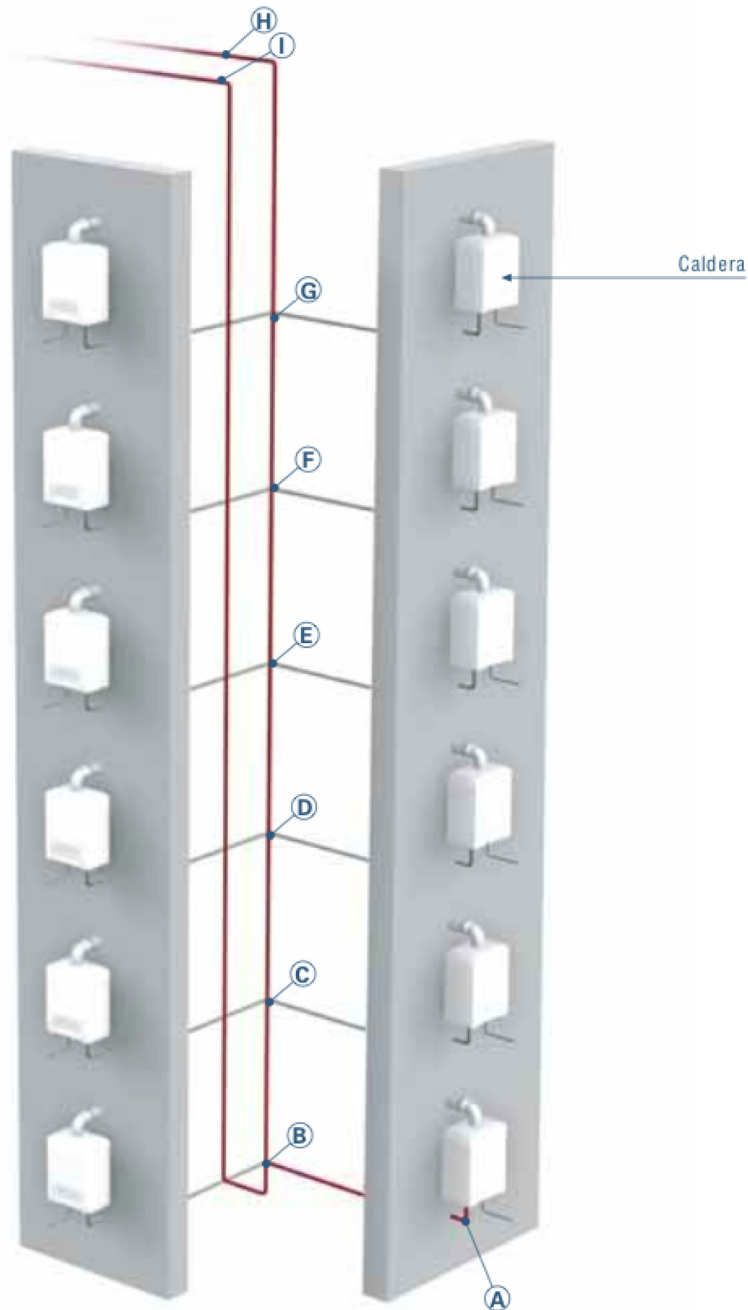
Una vegada definit el cabal de disseny dels diferents trams, es trien els diàmetres de canonades de manera que la velocitat de l'aigua estiga compresa entre 0,5 i 2 m/s, acceptant-se fins a 3 m/s en trams que discórreguen per zones no habitades. El diàmetre d'entrada a un habitatge ha de ser, com a mínim, de 18 mm.

Per al càlcul de la velocitat de l'aigua per l'interior de la canonada s'aplica la fórmula següent:

$$v \text{ (m/s)} = \frac{\text{Cabal}[\text{m}^3/\text{s}]}{\pi \cdot (\text{Diàmetre interior}[\text{m}]^2 / 4)} = 0,354 \cdot \frac{\text{Cabal}[\text{l/h}]}{\text{Diàmetre interior}[\text{mm}]^2}$$

En la figura 1.14 i la taula 1.5 es resumeixen els càlculs fets per al disseny de les canonades de distribució d'aigua calenta per l'edifici. Només s'ha indicat el càlcul d'un dels dos baixants de distribució, ja que l'altre es pot considerar idèntic.

Figura 1.14
Gràfic per al càlcul de la xarxa de distribució d'aigua calenta.



Taula 1.5
Dimensionament de les canonades del circuit de distribució.

Tram	Nombre habitatges servits	Nombre grups de consum	Coef. Simultaneïtat	Cabal (l/s)	Cabal (l/h)	DN (mm)	Diàmetre (mm)	V (m/s)
A-B	1	3	0,60	0,30	1080	18	16	1,49
B-C	2	6	0,50	0,50	1800	22	20	1,59
C-D	4	12	0,44	0,88	3168	28	26	1,66
D-E	6	18	0,42	1,26	4536	35	33	1,47
E-F	8	24	0,39	1,56	5616	35	33	1,83
F-G	10	30	0,38	1,90	6840	42	40	1,51
G-H	12	36	0,37	2,22	7992	42	40	1,77

Aplicant el mateix procediment, el tram de canonada situat a l'interior de la sala de màquines, entre l'eixida del dipòsit i la bifurcació cap als dos baixants es farà amb canonada de DN 54.

A l'interior de cada habitatge, abans de l'entrada a la caldera, s'instal·larà un **comptador d'aigua per a permetre conèixer el consum individual de cada usuari** i poder fer un repartiment del cost de la factura d'aigua de manera proporcional a la despesa realitzada.

Les canonades del circuit de distribució han d'estar també aïllades. En el cas del circuit de distribució els gruixos mínims de referència de l'aïllament, per a $\lambda=0,04 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ de les canonades del circuit de distribució, es prendran d'acord amb el que exigeix el Reglament d'instal·lacions tèrmiques en els edificis, tenint en compte si les canonades i elements recorren per zones interiors, o si ho fan per espais exteriors.

9.2. Bomba de recirculació

Criteri de disseny

El circuit de distribució ha de disposar d'una bomba de recirculació amb la impulsió connectada al dipòsit solar i a l'entrada d'aigua freda de la vàlvula mescladora, si escau.

La funció d'aquesta **bomba de recirculació** és tenir un mínim moviment de l'aigua quan no existeix consum en els habitatges, amb la finalitat d'evitar que l'aigua es refrede en les canonades. D'aquesta manera es garanteix la disponibilitat d'aigua calenta en un punt proper al de consum. **El cabal de recirculació ha de ser tal que l'energia aportada al circuit de distribució siga suficient per a compensar les pèrdues energètiques d'aquest.**

La quantitat d'energia que s'aporta mitjançant la recirculació es pot calcular a través de l'expressió següent:

$$P_A = C_f \cdot \rho \cdot Q \cdot \Delta T = (1,16 \text{ Wh/l} \cdot ^\circ\text{C}) \cdot Q \cdot \Delta T$$

sent:

P_A : Energia aportada per unitat de temps al circuit de distribució a causa de la recirculació ($\text{W} = \text{J/s}$)

C_f : Calor específica de l'aigua $1,16 \text{ W}\cdot\text{h}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$

ρ : Densitat de l'aigua 1 kg/litre

Q : Cabal de recirculació (l/h)

ΔT : Pèrdua de temperatura admissible en el circuit de distribució. Un valor acceptable de ΔT pot ser **de 3 °C**.

D'altra banda, les pèrdues de calor en canonades aïllades poden calcular-se multiplicant la longitud dels diferents trams per les pèrdues unitàries, és a dir:

$$P_P = \sum(L_i \cdot P_i)$$

sent:

P_p : Energia perduda per unitat de temps per les canonades del circuit de distribució (W)

P_i : Pèrdues en les canonades del tram i (W/m)

L_i : Longitud del tram i (m)

Les pèrdues d'energia en canonades interiors aïllades s'indiquen de manera aproximada en la taula següent, en funció del diàmetre exterior. En * els valors per al gruix d'aïllament recomanat pel RITE que és de 25 mm fins a DN35 i 30 mm per a DN42.

S'ha suposat que per les canonades circulen fluids a 50 °C i una temperatura ambient de 10 °C.

Diàmetre exterior tubería	Pérdidas energéticas en tuberías en W/m de tubería. Fluidos calientes, interior				
	Espesores de aislamiento (mm) de tuberías				
	10	15	20	25	30
16	10,1	8,4	7,4	6,7*	
18	10,9	9,0	7,9	7,1*	
20	11,7	9,6	8,3	7,5*	
22	12,5	10,2	8,8	7,9*	
25	13,7	11,1	9,5	8,5*	
28	14,9	11,9	10,2	9,1*	
30	15,6	12,5	10,7	9,5*	
32	16,4	13,1	11,2	9,9*	
35	17,6	14,0	11,8	10,4*	
40	19,5	15,4	13,0	11,4	10,3*
45	21,4	16,8	14,1	12,3	11,1*
50	23,3	18,2	15,2	13,3	11,9*
55	25,2	19,6	16,3	14,2	12,7*
60	27,1	21,0	17,4	15,1	13,5*

* Espesor de aislamiento mínimo establecido en el RITE 2007.

La densidad de flujo lineal en W/m se ha calculado con el programa AISLAM para las siguientes condiciones: $T_i=50^\circ\text{C}$, $T_{ext}=10^\circ\text{C}$,

$\lambda_{ref}=0,040\text{ W/m}\cdot\text{K}$ a 10°C . Se desprecia la resistividad térmica del tubo y la de película interior. Coeficiente de película exterior $h_{ext}=12\text{W/m}^2\cdot\text{K}$.

Font: Comentaris RITE 2007 (Ministeri d'Indústria, Turisme i Comerç i IDAE)

Així, el cabal de recirculació es pot calcular igualant les dues expressions anteriors:

$$1,16 \cdot Q \cdot \Delta T = \sum(L_i \cdot P_i)$$

$$Q = (\sum L_i \cdot P_i) / (1,16 \cdot \Delta T)$$

Per a fer el càlcul del cabal cal suposar inicialment el diàmetre del tram final de la canonada de tornada.

El diàmetre de la canonada de tornada es tria de manera que la velocitat de circulació siga de l'ordre d'1 m/s. En general, no se solen utilitzar diàmetres inferiors a 15 mm per als circuits de recirculació en edificis d'habitatges.

És convenient que la velocitat de circulació estiga compresa entre 2 m/s i 0,5 m/s, i mai inferior a aquest últim valor. Una velocitat de circulació inferior pot afavorir excessivament la creació de dipòsits calcaris en les canonades.

En el cas que amb el diàmetre seleccionat inicialment, el cabal de recirculació resultant done una velocitat no vàlida (major a 2 m/s o inferior a 0,5 m/s), haurà de refer-se el càlcul partint d'un **diàmetre** major o menor, però **com a mínim de 15 mm**.

L'ajust del cabal pot fer-se amb ajuda d'una vàlvula d'equilibrament amb preses de pressió. Per al càlcul de les pèrdues de càrrega n'hi ha prou amb tenir en compte el tram de la canonada de tornada, des de la connexió a l'últim habitatge fins al dipòsit, ja que la pèrdua de càrrega en les canonades de distribució d'aigua pot considerar-se negligible per als cabals de recirculació.

L'elecció del circulador es fa a partir del cabal seleccionat Q i les pèrdues de càrrega de l'esmentat tram de tornada, calculades de la manera indicada prèviament.

El circulador triat ha de ser apte per a circuits d'aigua calenta sanitària.

Les canonades del circuit de distribució, inclosa la tornada, han d'anar convenientment aïllades. Són vàlids els gruixos d'aïllament mínims indicats per a les canonades del circuit secundari. La longitud de les canonades de distribució i tornada pot ser important. Per tant, un aïllament insuficient pot provocar pèrdues energètiques significatives.

Disseny

Tal com s'ha indicat, el cabal que ha de recircular és el necessari per a mantenir un salt de temperatures entre l'eixida del dipòsit i la tornada no superior a 3 °C.

Per a això, ha de calcular-se la pèrdua energètica de cadascun dels trams de canonada, a partir de la seua longitud i de les pèrdues unitàries per als diferents diàmetres comercials.

Per al tram final de tornada, des de la connexió de l'últim punt de consum fins a l'acumulador, se suposarà, en primera instància, un diàmetre de 15 mm. Una vegada finalitzat el càlcul, és possible que siga necessari reconsiderar aquesta hipòtesi de partida.

En la següent taula s'arrepleguen els resultats principals del procés de càlcul.

Taula 1.6
Pèrdues energètiques en el circuit de distribució.

Tram	DN (mm)	Diàmetre intern (mm)	L(m)	Pèrdues Unitàries (W/m)	Pèrdues tram (W)
B-C	22	20	3	7,90	23,70
C-D	28	26	3	9,10	27,30
D-E	35	33	3	10,40	31,20
E-F	35	33	3	10,40	31,20
F-G	42	40	3	10,60	31,80
G-H	42	40	10	10,60	106,00
B-I (tornada)	15	13	25	6,50	162,50
				Pèrdues totals (W) =	413,7

El cabal de recirculació es calcula segons la fórmula següent:

$$Q = (\sum L_i \cdot P_i) / (1,16 \cdot \Delta T) = 413,7 / (1,16 \cdot 3) = 118,9 \text{ litres/h}$$

Per a un cabal de 119 litres/h la canonada de 15 mm de diàmetre és suficient, ja que la velocitat de circulació és inferior a 2 m/s

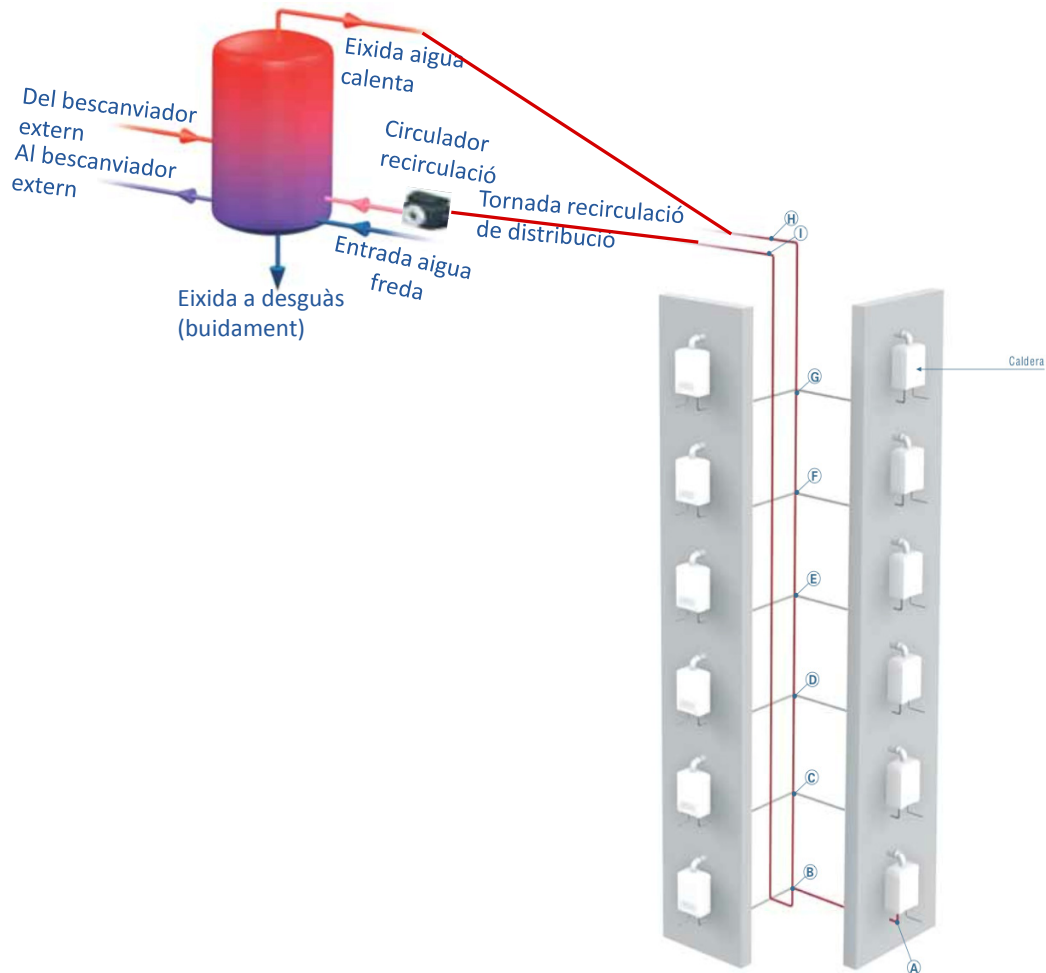
$$v = 0,354 \cdot (Q / D^2) = 0,354 \cdot (119 / 13^2) = 0,25 \text{ m/s}$$

No obstant això, per a complir amb la condició d'assegurar una velocitat de circulació

superior a 0,5 m/s cal triar el cabal de circulació superior de 250 litres/h.

$$v = 0,354 \cdot (Q / D^2) = 0,354 \cdot (250 / 13^2) = 0,52 \text{ m/s}$$

Se seleccionarà una bomba de recirculació la corba característica de la qual continga el punt de treball de la instal·lació, considerant que **l'altura manomètrica H només haurà de compensar la pèrdua de càrrega del tram de tornada (és a dir B-I).**



La pèrdua de càrrega, calculada segons s'indica en la següent taula, és d'aproximadament 0,82 m.c.a.

Taula 1.7
Pèrdua de càrrega en el tram de tornada del circuit de distribució.

Tram	Q (l/h)	DN (mm)	Diàmetre (mm)	V(m/s)	Pdc _{unit} (mmca/m)	L (m)	Singularitats	L _{sing} (m)	L _{total} (m)	Pdc(mca)
BI (tornada)	250	15	13	0,524	30,4	25,0	8 corbes 90°	2,00	27,00	0,82

Pdc TOTAL (mca) = 0,82

Atès que hi ha dos muntants, el cabal de la bomba de recirculació Q serà de 500 litres/h (2 x 250) i l'altura manomètrica de, almenys 1 m.c.a. (perquè tots dos muntants tenen la mateixa pèrdua de càrrega).

És recomanable instal·lar una vàlvula d'equilibrament hidràulic i un termòmetre en la tornada del circuit per a poder ajustar el cabal de circulació.

9.3. Selecció de la caldera de suport

Per a la selecció de la caldera s'han de tenir en compte també les necessitats de calefacció de l'habitatge, el càlcul del qual no es preveu en aquest exercici.

Pel que fa a les necessitats d'aigua calenta sanitària, Gas Natural proposa un gràfic per a triar la potència necessària per a cobrir la demanda de l'habitatge.

La potència de l'escalfador o caldera de suport s'ha de triar de la mateixa manera que si l'habitatge no disposara d'una instal·lació solar, ja que l'equip ha de ser capaç de cobrir la totalitat de la demanda en dies en els quals la captació solar siga nul·la.

En el mercat hi ha una àmplia oferta d'escalfadors i calderes mixtos, amb unes potències de generació d'aigua calenta sanitària que oscil·len entre els 9 i els 30 kW.

La selecció del model depèn de diferents factors, com les necessitats de l'habitatge, el grau de confort desitjat i els condicionants de l'espai disponible per a la instal·lació.

La gràfica següent mostra una **proposta de Gas Natural** que pot servir per a tenir una primera orientació **de la potència** recomanada **de generació d'aigua calenta sanitària d'una caldera o escalfador instantani en funció del tipus d'habitatge.**



Font: Gas Natural

Segons el gràfic, per a un habitatge amb un lavabo i un bany, la potència de la caldera de suport podria estar compresa entre 16 i 24 kW. Lògicament, a major potència, major possibilitat d'ús simultani de punts de consum.

La caldera o l'escalfador han de ser aptes per a ser connectats en sèrie amb una instal·lació solar, i han de reunir les característiques que s'indiquen a continuació:

- Adaptar la seua potència a les necessitats de cada moment, tenint en compte la temperatura d'entrada de l'aigua procedent del sistema de captació solar.
- Suportar l'entrada d'aigua calenta a la temperatura d'eixida de l'acumulador solar.
- Donar prioritat a l'aprofitament de l'energia solar enfront del consum de gas natural.

La quantitat d'aigua calenta que pot proporcionar una caldera o escalfador instantani se sol expressar en litres/minut i depèn de la potència de l'aparell, de la temperatura de l'aigua freda d'entrada i de la temperatura de preparació requerida, segons la següent fórmula:

$$Q = (14,3 \cdot P) / (T_{ACS} - T_{AF})$$

Sent:

Q: Cabal màxim d'aigua calenta subministrat per l'equip (l/min)

P: Potència màxima d'escalfament de l'equip per a la producció d'aigua calenta sanitària (kW)

T_{AF}: Temperatura de l'aigua de xarxa (°C)

T_{ACS}: Temperatura de preparació de l'aigua calenta sanitària (°C)

En els catàlegs comercials se sol indicar la capacitat d'escalfament d'aigua d'una caldera o escalfador, en litres/minut, suposant un salt tèrmic de 25 °C entre l'entrada de l'aigua freda i l'eixida de l'aigua calenta.

En la taula següent s'indiquen els cabals dels diferents punts de consum usuals en un habitatge a una temperatura d'ACS de 40 °C.

Cabals dels diferents aparells de consum d'aigua calenta sanitària en un habitatge	Punt de consum	Cabal a 40°C (litres/minut)
	lavabo	3 a 5
	dutxa	6 a 9
	banyera	10 a 15
	bidet	3 a 6
	fregador	6 a 8

Font: Gas Natural

Així, per exemple, amb un escalfador de 20 kW de potència es podria obtenir un cabal d'11,4 litres/min a 40 °C, suposant una temperatura de l'aigua de xarxa de 15 °C.

$$Q = (14,3 \cdot P) / (T_{ACS} - T_{AF}) = (14,3 \cdot 20) / (40 - 15) = 11,4 \text{ l/min}$$

Aquest cabal podria ser suficient per a atendre una dutxa a ple servei (a uns 9 l/min) o una dutxa i un lavabo funcionant simultàniament, si els cabals requerits per tots dos serveis són moderats (p. ex. 4 l/min per al lavabo i 7,5 l/min per a la dutxa).

Si són previsibles grans consums puntuals d'aigua calenta en l'habitatge, pot optar-se per la instal·lació de calderes amb acumulació, que, a més, permeten garantir la seua compatibilitat amb els sistemes solars.

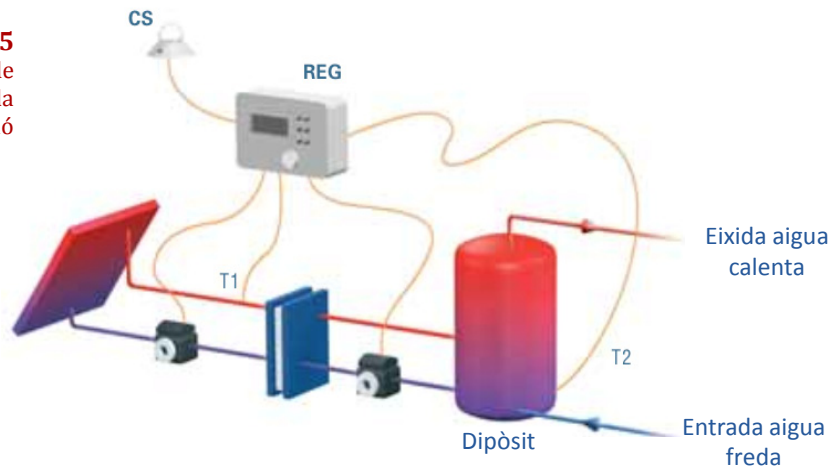
10. Regulació

El regulador triat per a l'engegada i la detenció dels circuladors primari i secundari de la instal·lació solar disposa d'una sonda d'insolació (CS) i dues sondes de temperatura (T1 i T2).

La sonda d'insolació se situarà a l'exterior, fixada a l'estructura dels captadors solars i amb la mateixa inclinació que aquests.

La **sonda calenta T1** se situa a l'entrada del circuit primari al bescanviador de calor de plaques i la **sonda T2**, en la part inferior de l'acumulador solar.

Figura 1.15
Esquema de regulació de la instal·lació



El funcionament és el següent:

- El circulator primari es posa en funcionament quan la insolació sobre el camp de captadors, mesurada per la sonda CS, és suficient per a permetre una captació efectiva d'energia ($>100 \text{ W/m}^2$).
- Estant el circulator primari en funcionament, es produeix un augment de la temperatura del circuit de captadors. Quan la sonda de temperatura situada a l'entrada del bescanviador de calor detecta una temperatura T1 superior de 4 a 6 °C a la temperatura T2, mesurada per la sonda situada en la part inferior de l'acumulador solar, la regulació engega el circulator secundari, i s'inicia l'aportació d'energia solar al dipòsit acumulador solar.
- El circulator secundari es deté quan la diferència entre T1 i T2 és inferior a uns 2 °C.

Els salts de temperatura entre T1 i T2 per a la regulació del circulator secundari poden ser modificats amb la instal·lació en funcionament per a optimitzar-ne el funcionament.

La bomba de recirculació del circuit de distribució es regula mitjançant un termòstat diferencial, amb la sonda calenta situada en la part superior de l'acumulador centralitzat i la sonda freda instal·lada en la canalització de tornada del circuit de distribució. Els salts tèrmics per a l'engegada i la detenció del circulator són els mateixos que els indicats anteriorment (6 °C i 2 °C).

Exercici 2: Instal·lació en edificació plurifamiliar amb acumulació solar individual

1. Característiques de l'edifici

Per al desenvolupament d'aquest segon exercici es considera un bloc d'habitatges de nova construcció situat a la ciutat de Sevilla de similars característiques que en l'exercici 1. L'edifici consta de 24 habitatges repartits en 6 plantes, a raó de 4 habitatges per planta. Tots els habitatges són iguals i consten de les següents dependències:

- Saló menjador
- Tres habitacions dobles
- Cuina
- Bany complet amb banyera
- Lavabo sense dutxa

La planta de l'edifici és pràcticament quadrada (19,8 x 20,2 m), amb les escales i l'ascensor d'accés a les plantes situades en la part central. Una de les façanes de l'edifici està orientada al Sud.

La coberta superior de l'edifici és una terrassa plana accessible i transitable.

La terrassa es troba parcialment ocupada per la claraboia situada sobre el buit d'escales, la cambra de maquinària de l'ascensor, les eixides dels conductes de ventilació i servei de les cuines i els banys.

La terrassa té un petit mur de 0,5 m d'alçària en tot el seu perímetre.

En les figures següents s'arreglen els plànols de la planta tipus de l'edifici, la coberta i una secció.

Figura 2.1
Planta tipus de l'edifici de referència

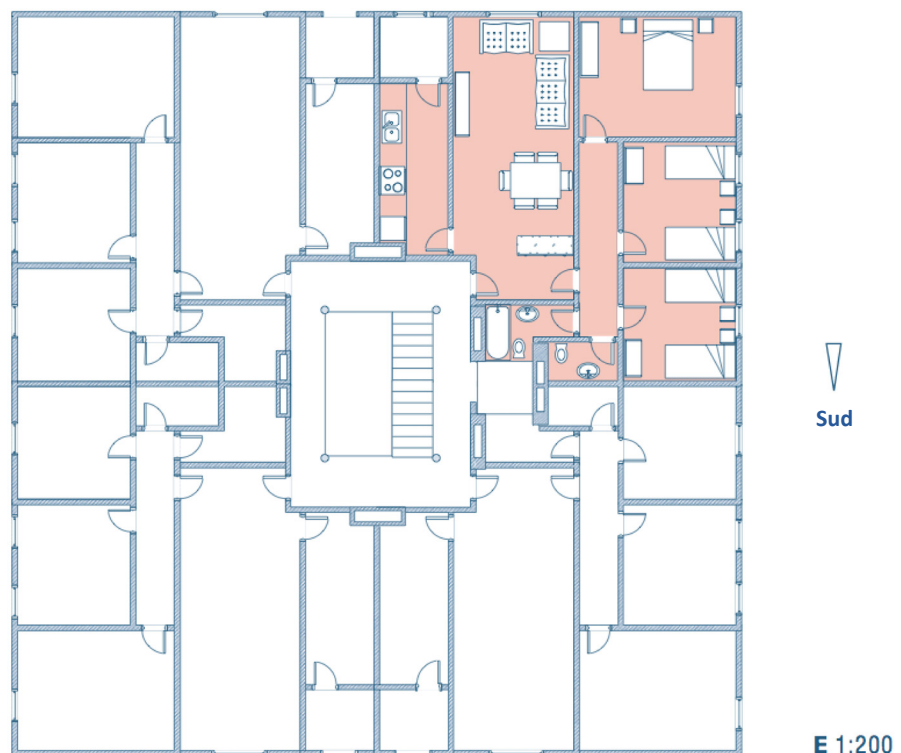


Figura 2.2
Secció de l'edifici de referència

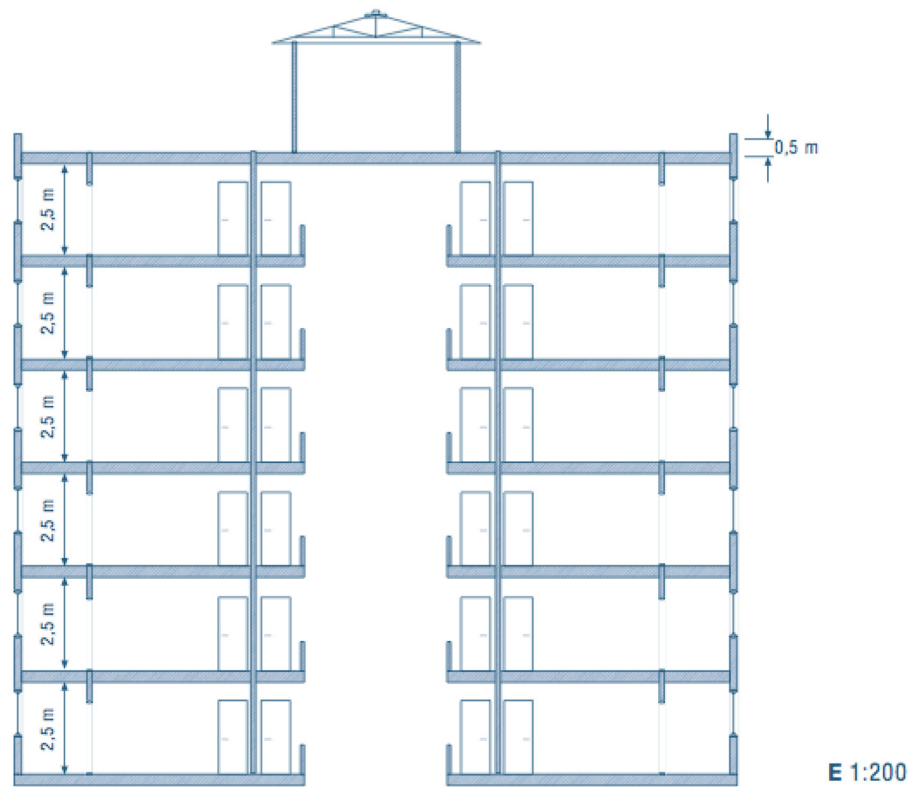
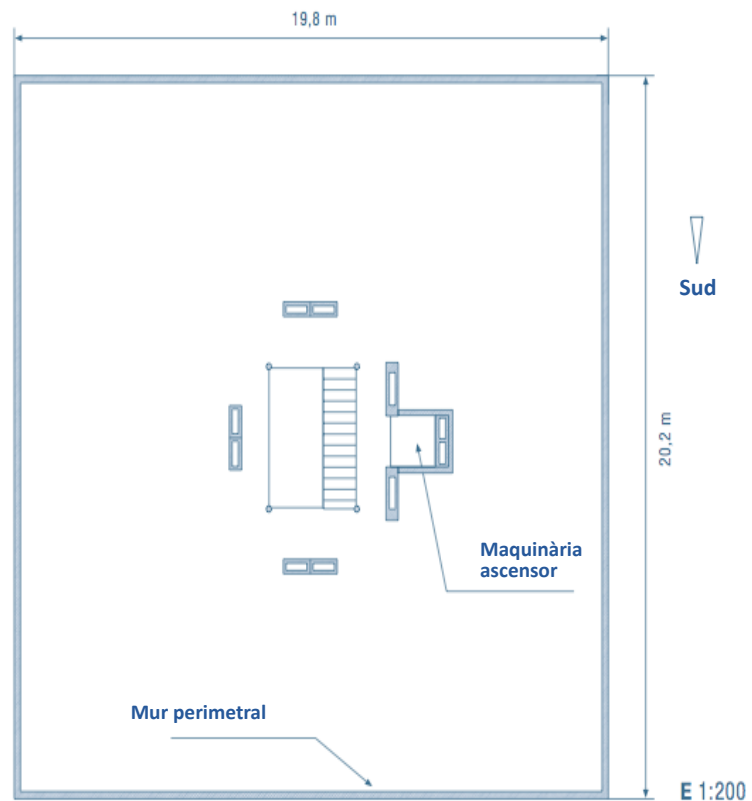


Figura 2.3
Planta de la coberta de l'edifici de referència



Per a aquest segon exercici, es tria un sistema d'acumulació solar individual per a cada habitatge i un suport individualitzat a l'interior de l'habitatge, mitjançant una caldera mixta mural instantània. Aquesta configuració podria no utilitzar bescanviador extern (Fig. 2.4a) donat que presenta bescanviadors individuals en cada habitatge que independitzen el

circuit de distribució del de consum. No obstant això, és recomanable la utilització del bescanviador extern (Fig. 2.4b), ja que el circuit de distribució és llarg i es requeririen grans volums d'anticongelant en cas de no emprar-lo.

Figura 2.4a
Esquema de principi d'una instal·lació en edificació plurifamiliar amb acumulació solar individual per a cada habitatge (sense bescanviador extern).

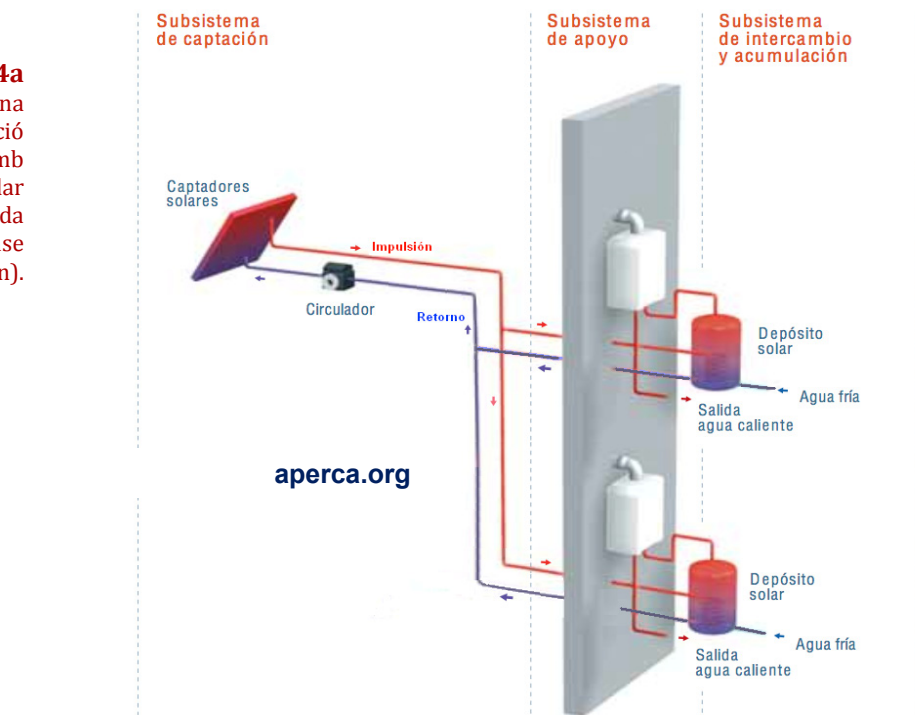
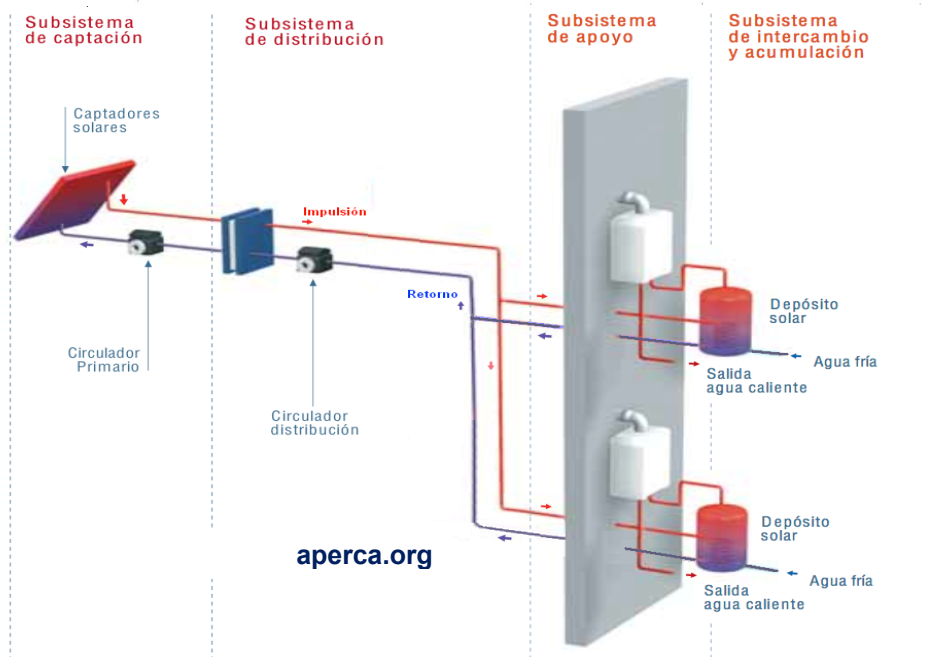


Figura 2.4b
Esquema de principi d'una instal·lació en edificació plurifamiliar amb acumulació solar individual per a cada habitatge (amb bescanviador extern).



2. Càlcul de la demanda energètica de l'edifici

La demanda energètica mensual derivada de la producció d'aigua calenta sanitària de l'edifici es calcularà aplicant l'expressió següent:

$$Q_{ACS,mes} = C_{dia} \cdot N \cdot C_e \cdot \rho \cdot (T_{ACS} - T_{AF})$$

sent:

$Q_{ACS,mes}$: Demanda energètica en kWh/mes

C_{dia} : Consum diari d'aigua calenta sanitària a la temperatura de referència T_{ACS} , en litres/dia

N : Nombre de dies del mes considerat (dies/mes)

C_e : Calor específica, per a l'aigua $4,187 \cdot 10^{-3} \text{ MJ/kg } ^\circ\text{C} = 1,16 \cdot 10^{-3} \text{ kWh/kg } ^\circ\text{C}$

ρ : Densitat, per a l'aigua 1kg/litre

T_{ACS} : Temperatura de referència utilitzada per a la quantificació del consum d'aigua calenta, en $^\circ\text{C}$

T_{AF} : Temperatura de l'aigua freda de xarxa, en $^\circ\text{C}$

Per a la determinació del consum diari d'aigua calenta sanitària Q_{dia} es tindran en compte les indicacions del Sub-annex tècnic II.11. Aplicació de l'obligatorietat d'utilització d'instal·lacions d'escalfament d'aigua mitjançant energia solar de l'Ordenança per a la gestió local de l'energia de l'Ajuntament de Sevilla (d'ara endavant, abreujadament Ordenança Solar de Sevilla), que estableix un consum de 40 litres d'aigua a 45°C per persona i dia. L'ocupació que cal tenir en compte per al disseny de la instal·lació solar és la corresponent al programa funcional dels habitatges, que en aquest cas és de 6 persones per habitatge (3 dormitoris i dues persones per dormitori).

Segons indica l'abans esmentada Ordenança, el consum en edificis d'habitatges pot reduir-se en un valor f , calculat segons el nombre d'habitatges n tal com s'indica a continuació:

$f = 1$ per a edificis de menys de 10 habitatges

$f = 1,2 - 0,02 \cdot n$ per a edificis de 10 a 25 habitatges

$f = 0,7$ per a edificis de més de 25 habitatges

Per al cas que ens ocupa, amb 24 habitatges, el coeficient f és igual a 0,72:

$$f = 1,2 - 0,02 \cdot 24 = 0,72$$

El consum diari d'aigua calenta sanitària de l'edifici C_{dia} serà, per tant, de 4.147,2 litres/dia:

$$C_{\text{dia}} = 40 \cdot 6 \cdot 24 \cdot 0,72 = 4.147,2 \text{ litres/dia}$$

L'Ordenança Solar de Sevilla no especifica la temperatura d'aigua freda T_{AF} que s'ha d'utilitzar en el càlcul. No obstant això, en l'article 8 es remet al document titulat Plec d'especificacions de SODEAN (Sociedad para el Desarrollo Energético de Andalucía) com a text refós de les especificacions tècniques de la Junta de Andalucía i les actualitzacions incorporades amb l'experiència del programa Prosol. Així, es prenen els següents valors:

Taula 2.1

Temperatura d'aigua freda en Sevilla ($^\circ\text{C}$) Font: SODEAN

MES	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Setembre	Octubre	Novembre	Desembre	ANY
T_{AF}	10	11	12	13	14	15	16	16	15	13	11	10	13,0

Amb les dades de consum d'aigua calenta sanitària, les temperatures de l'aigua de xarxa i la temperatura de l'aigua calenta, establida en 45°C , es fa un càlcul de la demanda energètica per a cadascun dels mesos de l'any. Com a resultat final s'obté una **demanda energètica anual de 56.170 kWh/any**.

					ESTIMACIÓ DE LA DEMANDA MENSUAL	
Font: SODEAN						
MES	Dies del mes considerat	Consum (l/dia)	Consum (l/mes)	Txarxa	kWh/mes	MJ/mes
Gener	31	4147,2	128563	10	5220	18840
Febrer	28	4147,2	116122	11	4580	16531
Març	31	4147,2	128563	12	4921	17764
Abril	30	4147,2	124416	13	4618	16670
Maig	31	4147,2	128563	14	4623	16687
Juny	30	4147,2	124416	15	4330	15628
Juliol	31	4147,2	128563	16	4325	15611
Agost	31	4147,2	128563	16	4325	15611
Setembre	30	4147,2	124416	15	4330	15628
Octubre	31	4147,2	128563	13	4772	17225
Novembre	30	4147,2	124416	11	4907	17712
Desembre	31	4147,2	128563	10	5220	18840
TOTALS					56170	202746

Si aplicàrem el Codi Tècnic d'Edificació (HE4) per a l'obtenció de la demanda energètica en aquest exercici, per a edificis d'habitatges hauria de considerar-se un consum d'aigua calenta sanitària de 28 litres a 60 °C per persona i dia amb un factor de centralització de 0,85 el que es tradueix en 23,8 litres a 60 °C per persona i dia. El nombre de persones a considerar en cada habitatge seria de 4, amb habitatges de 3 dormitoris amb el que la demanda diària a 60 °C seria de 2284,8 litres. El consum a una temperatura de 45 °C, diferent de la temperatura de referència de 60 °C es calcularia de la forma:

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

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

sent:

D(T): Consum d'aigua calenta sanitària anual a la temperatura T de disseny (litres)

$D_i(T)$: Consum d'aigua calenta sanitària durant el mes i a la temperatura T de disseny (litres/mes)

$D_i(60^\circ C)$: Consum d'aigua calenta sanitària durant el mes i a la temperatura de 60 °C (litres/mes)

T: Temperatura de disseny de l'acumulador final (°C), en aquest cas 45 °C

T_i : Temperatura mitjana d'entrada d'aigua freda durant el mes i (°C)

Com a resultat final s'obtidria una demanda energètica anual de 45.456 kWh/any que està per sota de la demanda energètica calculada a partir de l'Ordenança Solar de Sevilla. El resultat es resumeix en la següent taula. Com a conseqüència establirem en el nostre disseny una **demanda energètica anual de 56.170 kWh/any**.

Font: SODEAN						ESTIMACIÓ DE LA DEMANDA MENSUAL	
MES	Dies del mes considerat	Consum (l/dia) a 60°C	Consum (l/mes) a 60°C	Consum (l/mes) a 45°C	Txarxa	kWh/mes	MJ/mes
Gener	31	2284,8	70828,8	101184,0	10	4108	14828
Febrer	28	2284,8	63974,4	92198,4	11	3636	13125
Març	31	2284,8	70828,8	103023,7	12	3944	14235
Abril	30	2284,8	68544,0	100674,0	13	3737	13489
Maig	31	2284,8	70828,8	105100,8	14	3779	13642
Juny	30	2284,8	68544,0	102816,0	15	3578	12915
Juliol	31	2284,8	70828,8	107464,4	16	3615	13049
Agost	31	2284,8	70828,8	107464,4	16	3615	13049
Setembre	30	2284,8	68544,0	102816,0	15	3578	12915
Octubre	31	2284,8	70828,8	104029,8	13	3862	13938
Novembre	30	2284,8	68544,0	98784,0	11	3896	14063
Desembre	31	2284,8	70828,8	101184,0	10	4108	14828
TOTALS						45456	164074

3. Elecció de la fracció solar anual

L'Ordenança Solar de Sevilla estableix que la fracció solar mínima admissible és de dos terços (aprox. 67%) de la demanda anual.

El Codi Tècnic de l'Edificació (HE4) estableix que la contribució solar mínima per a la zona climàtica V amb una demanda total de l'edifici a 60 °C per sota de 5000 l/dia ha de ser del 60%. En aquests casos s'ha d'aplicar sempre el valor més restrictiu. Per tant, la fracció solar mínima que s'estableix com a objectiu per al disseny de la instal·lació solar és del 67%.

4. Elecció de la superfície de captadors i volum d'acumulació

Per a la determinació de la superfície de captadors solars necessària per a aconseguir la fracció solar requerida es procedeix a fer un càlcul energètic a partir del mètode iteratiu f-Chart.

La metodologia de càlcul és idèntica a l'exposada en l'exercici anterior per al cas de la instal·lació en edificació plurifamiliar amb acumulació solar centralitzada a Barcelona.

No obstant això, en aquest cas s'ha de determinar el volum d'acumulació solar individual per a cada habitatge, que és el volum d'acumulació solar obtingut amb el mètode f-Chart dividit pel nombre d'habitatges. Finalment, se selecciona un dipòsit d'acumulació solar amb un volum estàndard de mercat i es calcula la instal·lació amb aquest volum d'acumulació per a comprovar la fracció solar anual obtinguda.

Com a temperatura mitjana ambient s'agafen les dades indicades en la mateixa Ordenança Solar de Sevilla i que s'arreglen en la taula següent:

Taula 2.2

Temperatura mitjana ambient en Sevilla (°C) Font: Ordenança Solar de Sevilla

MES	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Setembre	Octubre	Novembre	Desembre	ANY
T_{AMB}	10,7	11,7	13,4	15,3	18,7	22,3	25,6	25,8	23,3	18,7	14,0	11,1	17,6

L'Ordenança Solar de Sevilla inclou, a títol d'exemple i sense ser obligatori el seu ús, en l'Annex tècnic II Energies Renovables unes dades de radiació solar incident sobre una superfície orientada al Sud i inclinada 37° (igual a la latitud de Sevilla) respecte a l'horitzontal.

Adicionalment, la mateixa Ordenança Solar indica que els captadors s'han d'instal·lar amb una inclinació de 45°.

L'acceptació de les dades incloses en l'Ordenança Solar per a 37° i l'estimació de les dades de radiació solar horitzontal a partir de les dades a 37° suposa l'acceptació dels coeficients de transformació k proposats per IDAE-Censolar. En aquestes condicions, i atès que l'ús de

les dades de l'Ordenança no són obligatoris, sembla més raonable acceptar directament les dades de radiació horitzontal proposades per IDAE-Censolar amb els coeficients k per a la transformació de la radiació solar sobre una superfície horitzontal, a radiació solar sobre una superfície inclinada 45°.

Per a l'aplicació del mètode F-Chart cal tenir en compte el següent:

- Vista la disposició de l'edifici, se suposaran els captadors orientats al sud.
- Es triarà una inclinació de 45° respecte a l'horitzontal, ja que el consum d'aigua calenta es considera constant al llarg de l'any, sense variacions entre estiu i hivern.
- Els captadors solars triats presenten la següent corba de rendiment energètic:

$$\eta = 0,79 - 6,40 \cdot (T_f - T_{AMB})/I$$

És a dir, el captador té els coeficients característics següents:

Factor d'eficiència òptica del captador = 0,79

Coefficient global de pèrdues del captador = 6,40 W/m²K

- Com a modificador de l'angle d'incidència es pren aproximadament 0,96 per a captadors amb una coberta de vidre.
- Com a factor de correcció del conjunt captador – bescanviador és recomanable un valor de 0,95
- El mètode F-Chart incorpora en el càlcul del paràmetre D₂ una estimació de l'energia perduda: de captador a bescanviador (factor de correcció de 0,95), pèrdues de calor en l'acumulador (per emmagatzematge) i en la resta de la instal·lació d'ACS.

Aplicant el mètode de càlcul, el resultat final que s'obté és el següent:

- Superfície de captació solar A = 56 m²
- Capacitat dels dipòsits d'acumulació individual V = 150 litres
- Capacitat total d'acumulació V_{total} = 3.600 litres
- Demanda energètica anual 56.170 kWh/any
- Producció energètica solar anual 37.952 kWh/any
- Fracció solar anual obtinguda F = 67,6%
- Relació V_{total}/A = 64,3 l/m²

5. Selecció del nombre de captadors solars necessaris

Per a l'elecció de la superfície de captació que finalment tindrà la instal·lació es parteix d'uns captadors de les següents característiques:

- Dimensions. Alçària: 2,0 m
Amplària: 1,0 m
- Superfície 2,0 m²
- Capacitat 1,3 litres
- Pèrdua de càrrega 30 m.m.c.a. per a un cabal de 100 l/h

Per a aconseguir una superfície de captació solar de 56 m² seran necessaris 28 captadors solars del tipus descrit.

Els 28 captadors es disposaran en 4 grups de 7 captadors cadascun.

6. Situació dels captadors solars en l'edifici

Com en el cas de Barcelona, els captadors se situaran a la terrassa plana superior d'edifici.

6.1. Orientació i inclinació

L'orientació triada serà sud, paral·lelament a una de les façanes de l'edifici. La inclinació serà de 45° respecte a l'horitzontal.

Aquesta combinació d'orientació Sud i inclinació similar a la latitud de l'emplaçament és la que permet l'aprofitament anual més gran de l'energia solar disponible.

6.2. Implantació dels captadors en la coberta

Els captadors s'instal·laran sobre estructures d'acer galvanitzat, subministrades pel mateix fabricant dels captadors solars, amb una inclinació de 45° respecte a l'horitzontal. Els caragols necessaris per a subjecció dels captadors a l'estructura serà d'acer inoxidable.

Per a la fixació de les estructures metàl·liques es farà en cada grup de captadors una bancada de formigó amb les dimensions aproximadament iguals a les de la projecció vertical de la bancada i una alçària de 8 -10 cm.

Les bancades recolzaran directament sobre la superfície de la coberta, sense danyar-ne l'estanquitat.

6.3. Separació d'elements que puguen produir ombres

Els 4 grups de captadors se situaran en la coberta de l'edifici en dues files de dos grups cadascun.

La primera fila ha de separar-se suficientment de la façana sud de l'edifici, a fi d'evitar la projecció d'ombres del petit mur de protecció.

El Plec de condicions tècniques d'instal·lacions de baixa temperatura de l'IDAE estableix que la distància mínima de separació que ha de deixar-se entre el final del mur i l'inici de la primera fila de captadors pot calcular-se de la següent manera:

$$d = h \cdot k$$

sent

h: l'alçada del mur

k = 1/tan (61° - latitud)

Per a la latitud de Sevilla (uns 37°) k és igual a 2,25. Tenint en compte que l'alçada h del mur és de 0,5 m, la distància d és igual a 1,12 m (aprox. 1,2 m).

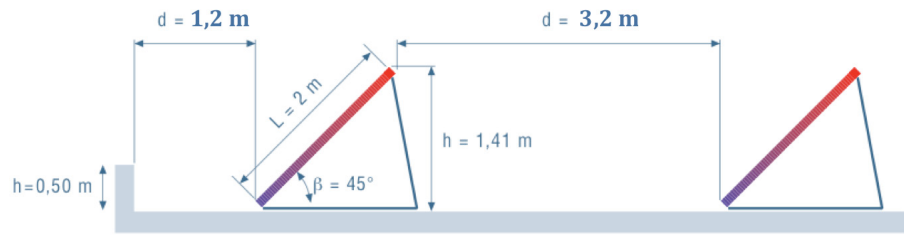
De la mateixa manera, la segona fila de captadors ha de separar-se una certa distància de la primera. El procediment per al càlcul d'aquesta separació és idèntic a l'utilitzat anteriorment, amb la diferència que, en aquesta ocasió h és l'alçada vertical del primer grup de captadors, és a dir, suposant que la longitud del captador L és de 2 m:

$$h = L \cdot \text{sen } \beta = 2 \cdot \text{sen } 45^\circ = 1,41 \text{ m}$$

$$d = h \cdot k = 1,41 \cdot 2,25 = 3,17 \text{ m (aprox. 3,2 m)}$$

En la figura s'indiquen les distàncies mínimes de separació que caldria respectar.

Figura 2.5
Separació de les files de captadors



6.4. Connexió dels captadors

Els 7 captadors de cada grup es connectaran en paral·lel, amb l'entrada per la part inferior del primer captador i l'eixida per la part superior del setè captador.

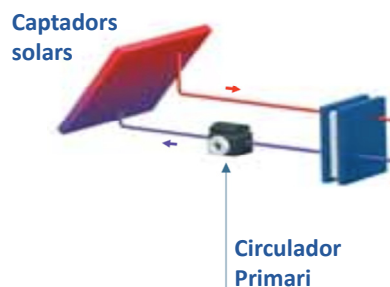
Els 4 grups també es connectaran entre si en paral·lel. En aquest cas, l'equilibrament hidràulic es realitzarà mitjançant una disposició en tornada invertida.

En la part superior de cada grup, a l'eixida, s'instal·larà un purgador automàtic de boia per a permetre l'eixida de l'aire dels captadors.

A més, s'instal·larà una vàlvula d'esfera a l'entrada i l'eixida per a poder aïllar cada grup de les canonades del circuit primari i poder procedir a fer eventuais operacions de manteniment o reparació sense necessitat de buidar la resta de la instal·lació.

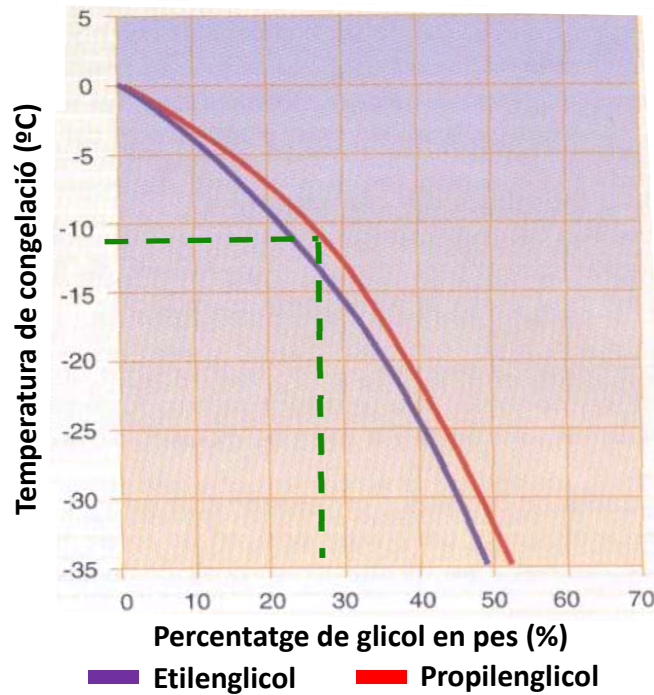
7. Circuit primari

En aquesta configuració, s'entén que el circuit primari és el comprès entre els captadors solars i el bescanviador de calor.



7.1. Fluid caloportador

La temperatura mínima històrica a Sevilla és de -6° . Això no obstant, la normativa RITE obliga que el sistema pugui suportar 5° per sota d'aquesta temperatura mínima històrica és a dir -11° . Per a això, necessitarem una proporció d'aproximadament el 30% de propilenglicol segons la gràfica per a evitar la congelació del fluid a l'hivern a la ciutat de Sevilla.



En aquesta proporció la viscositat per a una temperatura de 45 °C és d'1,25 centipoises (la de l'aigua a 45 °C és de 0,6 cp).

7.2. Cabal del circuit primari solar

El CTE indica que, en cas de no ser especificat pel fabricant, s'ha de seleccionar un cabal de disseny comprès entre 1,2 i 2 litres/s per cada 100 m² de superfície de captadors (entre 43,2 i 72 litres/h·m²). Sol triar-se un valor d'1,4 litres/s per cada 100 m², és a dir 50 litres/h·m².

Per a aquest cas, amb una superfície de captació solar de 56 m², el cabal del circuit primari s'estableix en 2.800 litres/h.

7.3. Canonades del circuit primari

Les canalitzacions del circuit primari des dels captadors solars fins al local en el qual se situa el dipòsit solar es faran amb canonada de coure.

S'ha de seleccionar la canonada de diàmetre comercial que complisca les següents condicions:

- 1) La pèrdua de càrrega per metre lineal de tub no supere els 40 m.m.ca
- 2) La velocitat de circulació del líquid siga superior a 0,3 m/s i inferior a 2 m/s

El diàmetre de les canonades es determinarà a partir del cabal que ha de circular per cada tram i tenint en compte el fluid caloportador seleccionat. La següent taula, que mostra la relació cabal-diàmetre interior d'una canonada de coure per a pèrdua de càrrega màxima de 40 m.m.ca quan el fluid és aigua sense additius, pot servir com a guia en una primera estimació del diàmetre de la canonada.

Diàmetre nominal (mm)	Gruix de paret (mm)	Diàmetre interior (mm)	Cabal (litres/h)
15	1,0	13,0	fins a 290
18	1,0	16,0	fins a 500
22	1,0	20,0	fins a 950
28	1,0	26,0	fins a 1900
35	1,0	33,0	fins a 3600
42	1,0	40,0	fins a 6200
54	1,2	51,6	fins a 12000

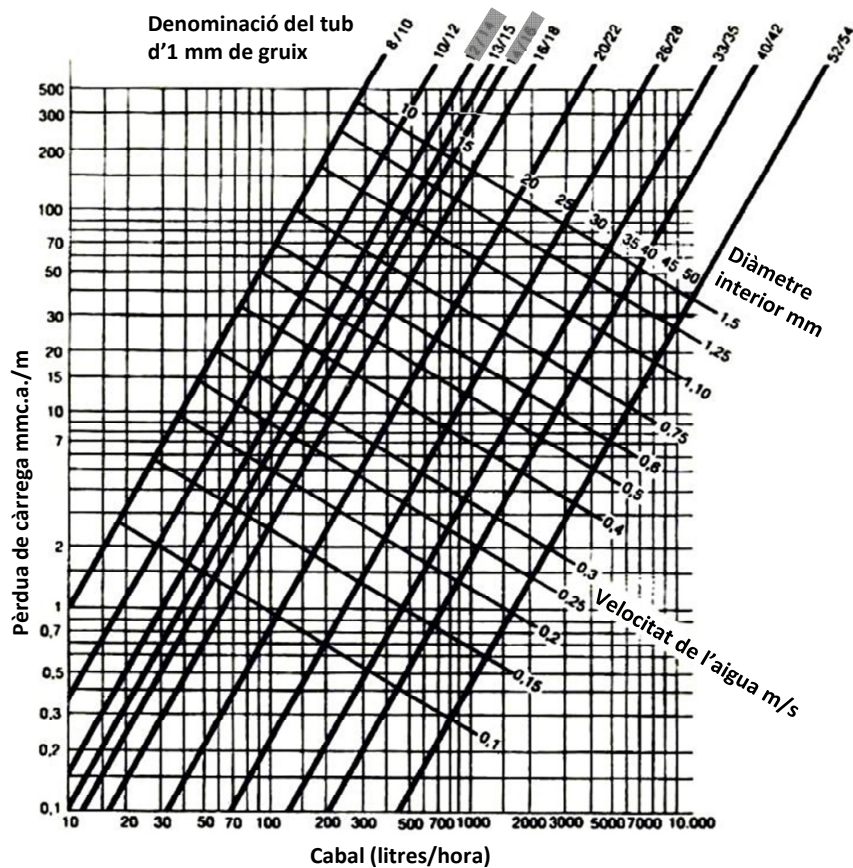
En canonades de parets llises (com les de coure) per les quals circula aigua calenta sense additius pot emprar-se la fórmula següent per a obtenir les pèrdues de càrrega en funció del cabal i del diàmetre interior de la canonada:

$$\text{Pèrdua de càrrega (mmca/m)} = 378 \cdot \frac{\text{Cabal [l/h]}^{1,75}}{\text{Diàmetre interior [mm]}^{4,75}}$$

Per a un diàmetre de canonada i un cabal donats, la velocitat del fluid pot obtenir-se mitjançant la següent expressió:

$$v \text{ (m/s)} = \frac{\text{Cabal [m}^3\text{/s]}}{\pi \cdot (\text{Diàmetre interior [m]}^2 / 4)} = 0,354 \cdot \frac{\text{Cabal [l/h]}}{\text{Diàmetre interior [mm]}^2}$$

De manera equivalent tant la pèrdua de càrrega com la velocitat poden obtenir-se gràficament a partir de l'àbac de pèrdues de càrrega en funció del cabal d'aigua (45 °C) per a canonades de coure.



Com que el fluid utilitzat és diferent de l'aigua, la pèrdua de càrrega s'ha d'incrementar en un factor igual a l'arrel quarta del quocient entre la viscositat de la dissolució i la de l'aigua a la temperatura considerada, en el nostre cas 45°. El factor de correcció que obtenim en fer aquest càlcul és:

$$\sqrt[4]{\frac{1,25cp}{0,6cp}} = 1,2$$

S'obtenen els següents resultats:

- Als trams de canonades generals, pels quals circula la totalitat del cabal del circuit primari (és a dir, 2.800 litres/h), els correspondria una canonada de tipus DN 35.
- Els trams que arrepleguen el cabal corresponent a dos grups de captadors (amb un cabal de 1.400 litres/h) serien de tipus DN 28.
- Finalment, els trams que connecten un únic grup de captadors (amb un cabal de 700 litres/h) es farien amb canonada de tipus DN22.

En la següent figura es pot veure la disposició dels captadors solars en la coberta de l'edifici i el recorregut i diàmetre de les canonades de cada tram.

Figura 2.6
Distribució dels captadors
i les canonades del circuit
primari i ubicació de la
sala de màquines.



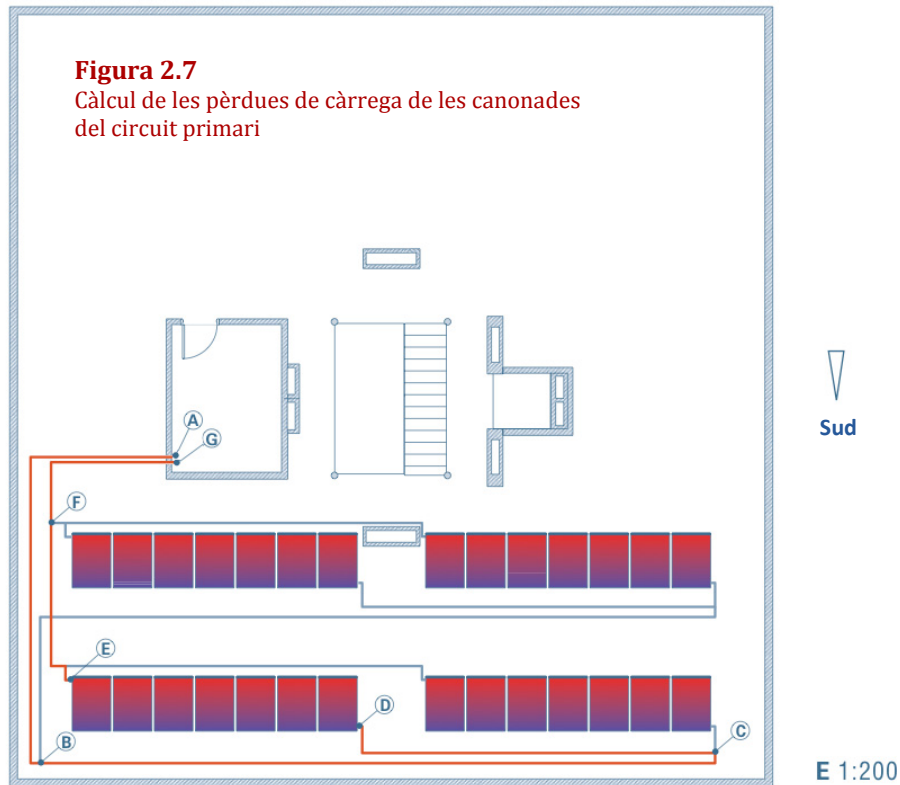
Les pèrdues de càrrega singulars s'estimen a partir de la següent taula proposada per Gas Natural, on s'indica la longitud equivalent de canonada recta per a cada singularitat.

	Diàmetre nominal de la canonada					
	18	22	28	35	42	54
Corba de 45°	0,34	0,43	0,47	0,56	0,7	0,85
Colze de 90°	0,5	0,63	0,76	1,01	1,32	1,71
Corba de 90°	0,33	0,45	0,6	0,84	0,96	1,27
Reducció	0,3	0,5	0,65	0,85	1	1,3
T →→	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
T →↑	2,5	3	3,6	4,1	4,6	5
T →↓	1,68	1,8	1,92	2,4	3	3,6
Vàlvula antiretorn de claveta	0,5	0,77	1,05	1,61	2,1	2,66

Longitud equivalent de canonada (en m) per a pèrdues de càrrega singulars.

Font: Gas Natural

Per a facilitar la comprensió dels càlculs, s'han assignat unes lletres als diferents punts del circuit, tal com s'indica en la següent figura. Per a la selecció de la bomba del circuit primari cal calcular la pèrdua de càrrega.



En la següent taula es detalla el càlcul de la pèrdua de càrrega de les canonades del circuit primari.

Taula 2.3
Pèrdues de càrrega de les canonades del circuit primari

Tram	Q (l/h)	DN (mm)	D (mm)	V(m/s)	Pdc _{unit} (mmca/m)	L(m)	Singularitats	L _{sing} (m)	L _{total} (m)	Pdc(mca)
AB	2800	35	33	0,91	29,9	10,0	4 corbes 90° - 1T-1 vàlvula A/R	5,4	15,4	0,460
BC	1400	28	26	0,73	27,6	17,7	2 corbes 90° - 1T	1,5	19,2	0,530
CD	700	22	20	0,62	28,6	9,2	3 corbes 90°	1,4	10,6	0,301
EF	1400	28	26	0,73	27,6	4,6	3 corbes 90°-1T	2,1	6,7	0,185
FG	2800	35	33	0,91	29,9	4,5	1 corba 90° - 1T	1,2	5,7	0,172
									Pdc TOTAL (mca) =	1,65

Q Cabal de fluid que circula per cada tram, en litres/h

DN Diàmetre nominal de la canonada, en mm

D Diàmetre interior de la canonada, en mm

v velocitat de circulació del fluid per cada tram

$$v(m/s)=0,354 \cdot Q/D^2$$

Pdc_{unit} Pèrdua de càrrega per metre lineal de canonada

$$Pdc_{unit}(mm.c.a./m)=1,2 \cdot 378 \cdot Q^{1,75} / D^{4,75}$$

El factor 1,2 de l'expressió anterior s'introdueix per a tenir en compte la presència d'anticongelant en el fluid primari, de major viscositat que l'aigua.

L Longitud del tram de canonada, en m

L_{sing} Longitud equivalent de les singularitats del tram, en m

L_{total} Longitud total a considerar, en m

$$L_{total} = L + L_{sing}$$

Pdc Pèrdua de càrrega del tram, en m

$$Pdc(m.c.a.)=Pdc_{unit} \times L_{total} \times 10^{-3}$$

La pèrdua de càrrega resultant és d'1,65 m.c.a.

Com es pot veure, la pèrdua de càrrega en les canonades és relativament petita, ja que els recorreguts de canonades en l'edifici triat són curts.

En aquest cas s'ha optat per un equilibrament mitjançant tornada invertida per a assegurar un correcte repartiment del cabal pels 4 grups de captadors. Un equilibrament mitjançant la instal·lació de vàlvules d'equilibrament hidràulic també hauria sigut vàlid.

Les canonades del circuit primari s'aïllaran segons s'indica en el Reglament d'instal·lacions tèrmiques en els edificis. En aquest cas, el material triat és una escuma elastomèrica de cèl·lula tancada subministrada en conques de 35 mm de gruix.

L'aïllament de tot el circuit primari es protegirà exteriorment amb una coberta de xapa d'alumini.

7.4. Bomba del circuit primari

L'elecció de la bomba es fa a partir de la pèrdua de càrrega total i el cabal del circuit primari. Per al càlcul de la pèrdua de càrrega del circuit cal tenir en compte les pèrdues en les canonades $Pd_{\text{canonades}}$ (incloses les pèrdues de càrrega singulars dels accessoris), la pèrdua de càrrega del bescanviador de calor $Pd_{\text{bescanviador}}$ i la dels captadors solars $Pd_{\text{captadors}}$.

Les pèrdues de càrrega en les canonades, $Pd_{\text{canonades}}$, s'han calculat en el punt anterior, amb un resultat d'1,65 m.c.a.

La pèrdua de càrrega en el bescanviador $Pd_{\text{bescanviador}}$, facilitada pel fabricant de l'equip, és d'1,5 m.c.a.

En l'exercici, cada bateria de captadors està formada per 7 captadors connectats en paral·lel, i per això a les pèrdues de càrrega dels captadors cal sumar la pèrdua de càrrega dels conductes de distribució. La pèrdua de càrrega total en els captadors $Pd_{\text{captadors}}$ es pot determinar a partir de la corba facilitada pel fabricant de pèrdua de càrrega en funció del nombre de captadors en paral·lel. En cas que no es dispose d'aquesta informació, però sí de la pèrdua de càrrega d'un únic captador, podem fer ús del mètode Censolar. En aquest cas, la pèrdua de càrrega d'un captador a un cabal de 100 l/h és de 30 mm.c.a., i per això la pèrdua del conjunt de $N=7$ captadors en paral·lel a un cabal de 700 l/h serà, aplicant l'expressió proposada per Censolar de l'ordre de:

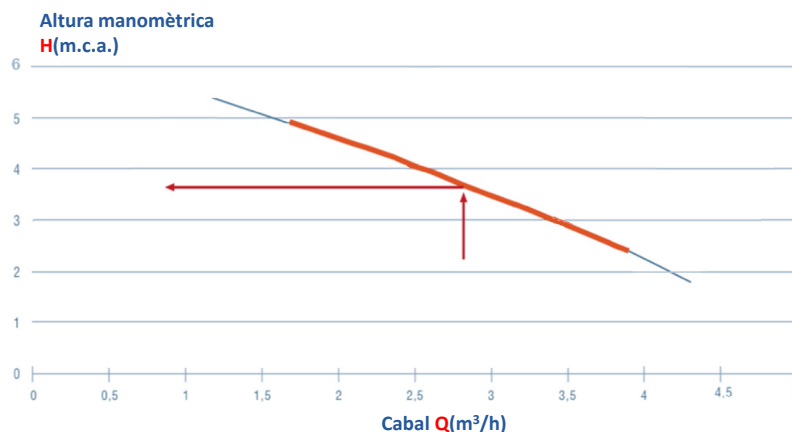
$$30\text{mm.c.a.} \cdot N \cdot (N+1) / 4 = 30 \text{ mm.c.a.} \cdot 7 \cdot 8 / 4 = 420 \text{ mmca.}$$

La suma dels valors anteriors donen com a resultat una pèrdua de càrrega de 3,57 m.c.a. (1,5 m.c.a + 1,65 m.c.a. + 0,42 mca).

Com s'ha indicat anteriorment, el cabal del circuit primari és de 2.800 litres/h, calculat a raó de 50 litres/h·m² de captació solar.

La selecció de la bomba del circuit primari es fa de manera que la seua corba característica continga aproximadament el punt de treball definit per una altura manomètrica igual a la pèrdua de càrrega del circuit $H = 3,57$ m.c.a. i un cabal Q igual a 2.800 litres/h.

Figura 2.8
Corba
característica de
la bomba del
circuit primari



És recomanable que, una vegada fet el càlcul de la pèrdua de càrrega, es trie la bomba de manera que la seua corba estiga de l'ordre d'un 20% per sobre del punt de treball, per a poder compensar possibles pèrdues de potència de la bomba després de l'engegada.

7.5. Vas d'expansió

El circuit primari ha de disposar d'un vas d'expansió per a absorbir les dilatacions del fluid caloportador. La seua capacitat es determina a partir de la següent fórmula,

$$V_t = (V_{\min} + V \cdot C_e + V_{\text{vap}}) \cdot C_p$$

V: Volum del fluid de treball de la instal·lació (l)

V_{\min} : Volum mínim o de reserva de fluid en el vas d'expansió (l) per a compensar la seua pèrdua o contracció a baixa temperatura.

V_{dil} : Volum de dilatació (l) = $V \cdot C_e$

V_{vap} : Volum de vaporització (l)

C_e : Coeficient d'expansió o dilatació del fluid ($\Delta V/V$)

$$C_p = \frac{V_t}{V_u} = \frac{P_{\max}}{P_{\max} - P_{\min}}$$

C_p : Coeficient de pressió

El **volum de líquid del circuit primari (V)** es pot calcular sumant els continguts dels diferents elements, principalment les canonades i els captadors.

El càlcul de V es detalla a continuació:

Taula 2.4
Volum de fluid
en les
canonades del
circuit primari.

DN (mm)	Diàmetre (mm)	L(m)	Capacitat (l/m)	Contingut total (l)
22	20	36,8	0,314	11,6
28	26	44,6	0,531	23,7
35	33	14,5	0,855	12,4
TOTAL				47,6

El contingut total de líquid en les canonades és de 47,6 litres.

A aquest volum ha de sumar-se la capacitat de líquid dels captadors, que és d'1,3 litres cadascun, és a dir, 36,4 litres per al total de 28 captadors.

El contingut total de líquid del circuit primari és, per tant, de $V = 84$ litres. ($47,6 + 36,4 = 84$ litres).

El **volum mínim o de reserva (V_{min})** s'agafa un 3% del volum total de la instal·lació amb un mínim de 3 litres.

$$3\% \times 84 \text{ litres} = 2,52 \text{ litres}$$

En ser inferior a 3 litres, afaem $V_{\text{min}} = 3$ litres.

El **volum de vaporització (V_{vap})** s'agafa igual al volum de fluid en captadors més un 10%:

$$28 \text{ captadors} \times (1,3 \text{ l/captador}) = 36,4 \text{ litres}$$

$$V_{\text{vap}} = 1,1 \times 36,4 \text{ litres} = 40 \text{ litres}$$

En cas de no poder disposar d'informació més concreta del valor del **coeficient d'expansió (C_e)** per part del distribuïdor o fabricant es fa ús de les expressions indicades en la norma UNE 100-155 per al càlcul del valor de C_e del fluid caloportador, la qual cosa resulta en un valor de 0,054. El **volum de dilatació (V_{dil})** valdrà:

$$V_{\text{dil}} = V \times C_e \approx 4,5 \text{ litres}$$

Per al valor de la pressió P_{max} s'agafa com a referència la pressió de taratge de la vàlvula de seguretat del circuit primari, que s'estableix en 3 kg/cm² en aquest cas pràctic. Aquest valor suposa una pressió absoluta P_{max} = 3,7 kg/cm² (sumant-li 1 kg/cm² de pressió atmosfèrica a la pressió de taratge de la vàlvula de seguretat i restant-li 0,3 kg/cm²).

Com a valor de P_{min} s'agafa 1,5 kg/cm², suposant que la pressió d'ompliment és de 0,5 kg/cm². En el cas que la sala de màquines estiguera situada al nivell de la planta baixa de l'edifici, per a la determinació de P_{min} s'hauria de tenir en compte la pressió de la columna d'aigua situada sobre el vas d'expansió.

El volum total del vas d'expansió valdrà:

$$V_t = (3 + 4,5 + 40) \cdot \frac{3,7}{3,7 - 1,5} = 80 \text{ litres}$$

En funció del fabricant podem trobar els següents valors comercials: 5, 8, 12, 18, 24, 25, 35, 50, 60, 80, 100, 150, 200, 220, 300, 350, 500, 700 i 750 litres. En la pràctica, s'instal·larà un vas d'expansió d'una grandària comercial de 80 litres.

El vas d'expansió s'instal·larà sense vàlvula de tall, de manera que no existisca la possibilitat d'aïllar-lo accidentalment del circuit primari al qual protegeix.

7.6. Altres elements del circuit primari

Com tot circuit sotmès a pressió i variacions de temperatura el circuit primari ha d'incorporar una vàlvula de seguretat com a element limitador de la pressió a la qual puga estar sotmès el circuit. La vàlvula de seguretat és imprescindible per a protegir els components de la instal·lació. El taratge de la vàlvula de seguretat, és a dir la pressió a la qual actua, ha de ser inferior a la pressió màxima que puga suportar l'element més feble de la instal·lació, que sol ser el vas d'expansió tancat.

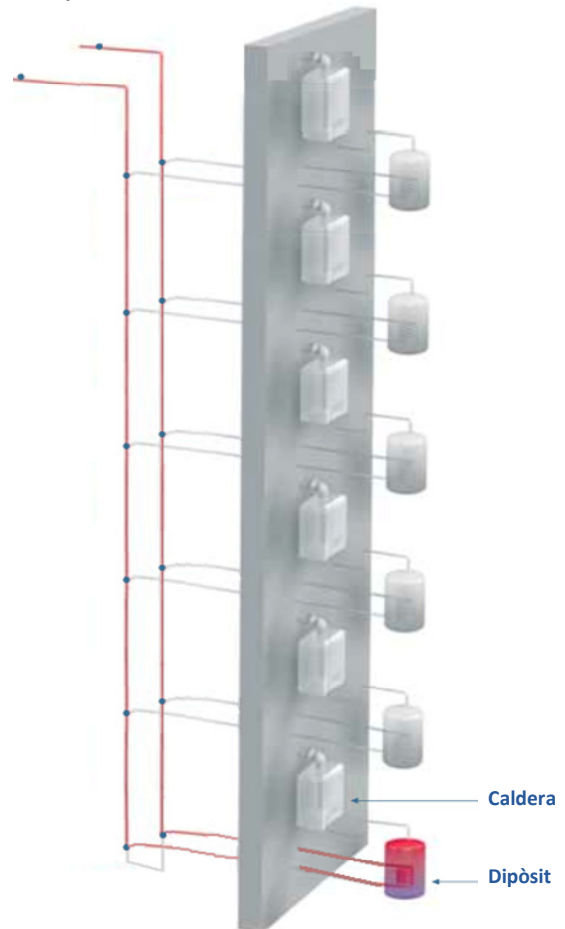
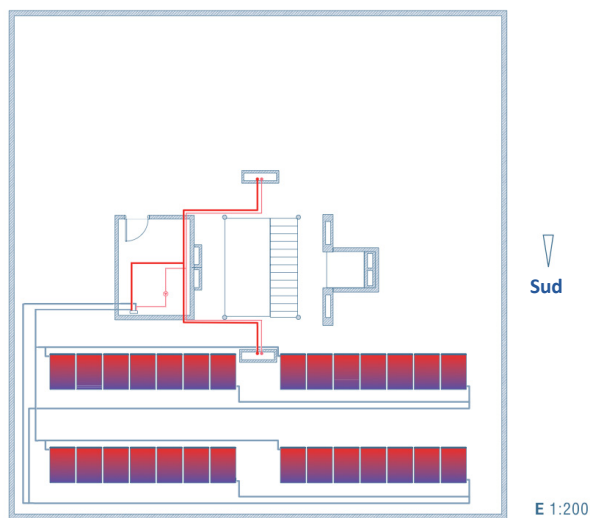
En el nostre cas s'instal·larà una **vàlvula de seguretat** amb descàrrega conduïda a desguàs de manera que l'obertura de la vàlvula no puga provocar cremades sobre les persones o afectar altres materials. La pressió de taratge serà de 3 kg/cm². Al costat de la vàlvula de seguretat s'instal·larà un manòmetre que permeti verificar la pressió del circuit.

En el traçat de les canonades cal tractar d'evitar la formació de punts alts que puguin provocar la formació de bosses d'aire que dificulten la circulació del fluid caloportador i provocar corrosions i punts d'elevada temperatura. S'instal·laran **4 purgadors** d'aire en els punts alts de cadascun dels grups de captadors solars.

En el circuit primari s'instal·larà una **vàlvula antiretorn** de claveta en la impulsió de la bomba de circulació, per a evitar l'eventual circulació inversa durant la nit.
En el circuit s'haurà de preveure una **connexió per a l'ompliment** i l'eventual reposició de fluid caloportador.

8. Circuit de distribució

El circuit secundari coincideix amb el de distribució i és el circuit hidràulic entre el bescanviador de calor de plaques i els interacumuladors dels habitatges.
Donada la disposició dels habitatges en l'edifici, es faran dos baixants verticals, cadascun dels quals es connectarà a 12 habitatges (dos per planta).



8.1. Fluid de treball

El fluid del circuit de distribució és aigua sense anticongelant.

8.2. Bescanviador de calor

L'elecció de les característiques del bescanviador es fa de la mateixa manera que en el cas de l'exercici de la instal·lació en edificació plurifamiliar amb acumulació solar centralitzada seguint les recomanacions del Plec de condicions tècniques d'instal·lacions de baixa temperatura de l'IDAE. A continuació s'indiquen els seus paràmetres de disseny:

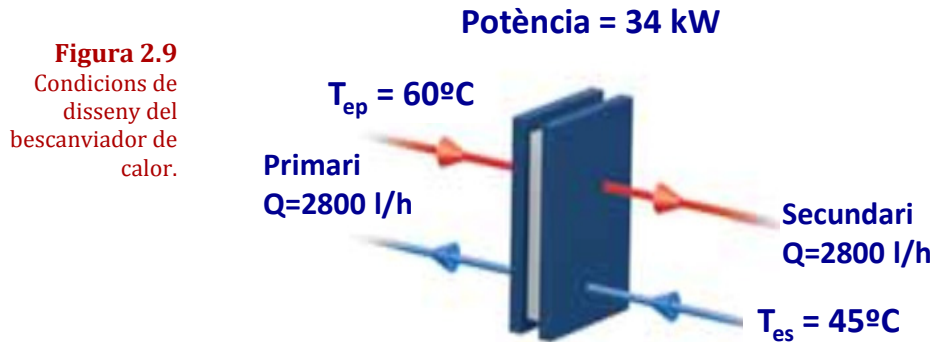
- Potència d'intercanvi: 34 kW (600 W per m² de captació solar)
 - Circuit primari: aigua amb anticongelant
- Temperatura d'entrada: 60 °C

Cabal de circulació: 2.800 litres/h

- Circuit secundari: aigua

Temperatura d'entrada: 45 °C

Cabal de circulació: 2.800 litres/h



8.3. Canonades del circuit de distribució

El cabal del circuit de distribució és de 2.800 litres/hora, igual al cabal del circuit primari de captació solar.

Donada la disposició dels habitatges en l'edifici, es faran dos baixants verticals, cadascun dels quals es connectarà a 12 habitatges (dos per planta).

Les canalitzacions es faran amb canonada de coure. El diàmetre de les canonades es determina a partir del cabal que ha de circular per cada tram.

En la següent figura es pot veure la disposició de les canonades en el tram en coberta de l'edifici.

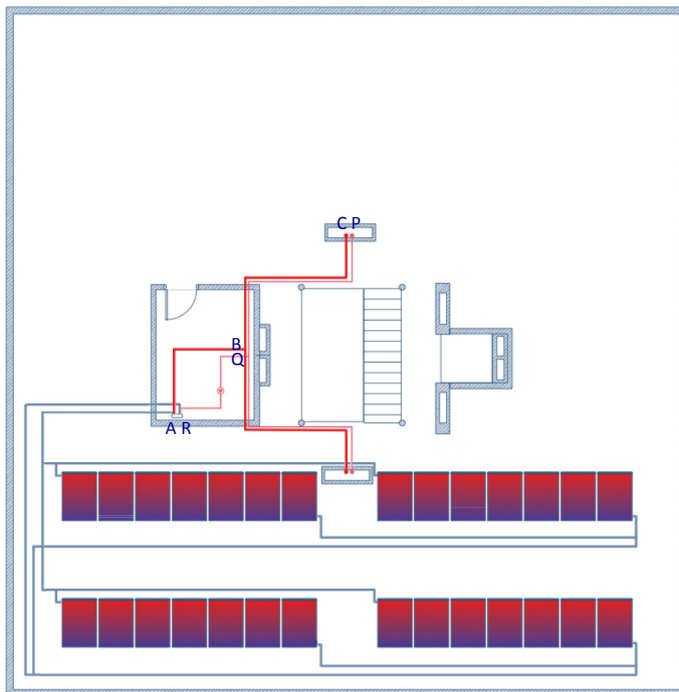
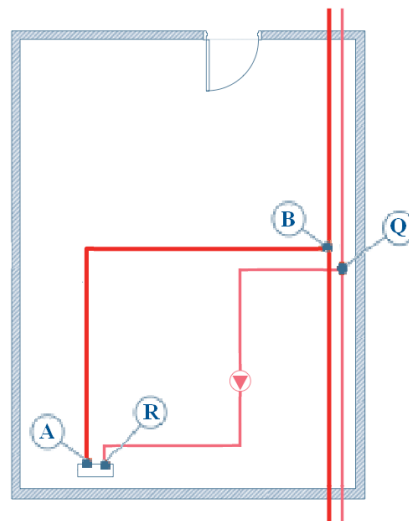
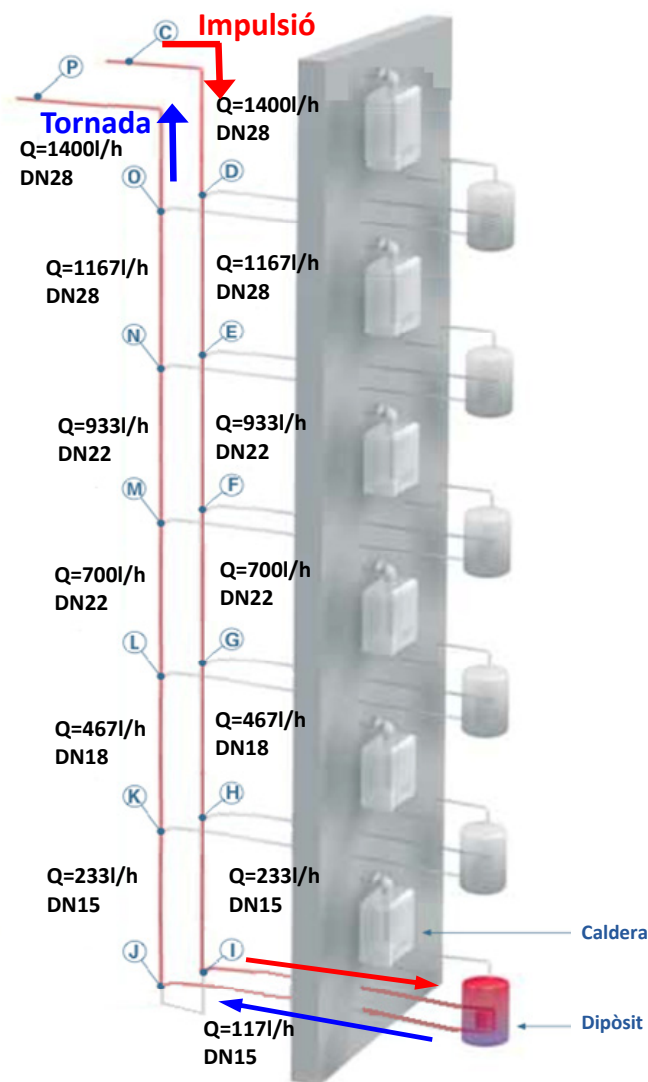


Figura 2.10
Càlcul de les pèrdues de càrrega en canonades del circuit de distribució. Tram en coberta de l'edifici.



En la següent figura es pot veure la disposició d'un dels baixants fins als interacumuladors individuals:




Figura 2.11
 Càlcul de les pèrdues de càrrega en canonades
 del circuit de distribució.
 Tram baixant fins a interacumuladors
 individuals.



El diàmetre de les canonades es determina a partir del cabal que ha de circular per cada tram. Per a facilitar la comprensió dels càlculs, s'han assignat unes lletres als diferents punts del circuit.

Per al càlcul de la pèrdua de càrrega del circuit, dada necessària per a dimensionar la bomba de circulació, es considerarà el recorregut més desfavorable per al fluid i que s'indica en les figures anteriors amb el traç en color roig.

Les pèrdues de càrrega singulars s'estimen a partir de la següent taula proposada per Gas Natural, en què s'indica la longitud equivalent de canonada recta per a cada singularitat.

Diàmetre nominal de la canonada						
	18	22	28	35	42	54
Corba de 45°	0,34	0,43	0,47	0,56	0,7	0,85
Colze de 90°	0,5	0,63	0,76	1,01	1,32	1,71
Corba de 90°	0,33	0,45	0,6	0,84	0,96	1,27
Reducció	0,3	0,5	0,65	0,85	1	1,3
T 	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
T 	2,5	3	3,6	4,1	4,6	5
T 	1,68	1,8	1,92	2,4	3	3,6
Vàlvula antiretorn de claveta	0,5	0,77	1,05	1,61	2,1	2,66

Longitud equivalent de canonada (en m) per a pèrdues de càrrega singulars.

Font: Gas Natural

A fi de no complicar excessivament l'esquema del baixant cap als interacumuladors individuals, en lloc de representar els 12 interacumuladors corresponents a un baixant, se'n representen únicament 6, però tenint en compte que en aquest baixant, en cada planta hi haurà una bifurcació cap a 2 interacumuladors.

Així, el tram CD, en la figura 2.11, presenta el mateix cabal (1.400 l/h), que el tram BC, en la figura 2.10, i que correspon a la meitat del cabal total de 2.800 l/h, per haver dividit el circuit en dos baixants.

El tram IJ, en la Figura 2.11 representa el tram d'entrada a un dels dos interacumuladors de la primera planta. D'ací que el cabal que cal vehicular siga de 117 l/h (és a dir, 1.400 l/h dividit entre 12 habitatges).

Atès que en cada planta d'aquest baixant hi ha dos interacumuladors, cal tenir present que hi ha dos trams iguals al tram IJ, és a dir, el cabal vehiculat per HI i JK és 233 l/h (aprox. 2 x 117 l/h).

Al seu torn, pels trams GH i KL es vehicularà el cabal corresponent a 4 interacumuladors, és a dir, 467 l/h (aprox. 4 x 117 l/h, o bé, 2 x 233 l/h).

Es procedeix així successivament fins a arribar al tram OP en el qual es torna a vehicular tot el cabal del baixant considerat, és a dir, 1.400 l/h.

En la taula següent es detalla el càlcul de la pèrdua de càrrega de les canonades del circuit hidràulic.

Taula 2.5

Pèrdues de càrrega de les canonades del circuit de distribució

Tram	Q (l/h)	DN (mm)	D (mm)	V(m/s)	Pdc _{unit} (mmca/m)	L (m)	Singularitats	L _{sing} (m)	L _{total} (m)	Pdc (mca)
A-B	2800	35	33	0,91	25,0	8,0	1 corba 90° - 1T	1,24	9,24	0,231
B-C	1400	28	26	0,73	23,0	8,5	4 corbes 90° - 1T	6,00	14,50	0,334
C-D	1400	28	26	0,73	23,0	0,5	1 corba 90°	0,60	1,10	0,025
D-E	1167	28	26	0,61	16,7	2,8	1T	0,30	3,10	0,052
E-F	933	22	20	0,83	39,3	2,8	1T	0,20	3,00	0,118
F-G	700	22	20	0,62	23,8	2,8	1T	0,20	3,00	0,071
G-H	467	18	16	0,65	33,8	2,8	1T	0,15	2,95	0,100
H-I	233	15	13	0,49	26,9	2,8	1T	0,15	2,95	0,079
I-J	117	15	13	0,25	8,0	4,0	6 corbes 90° - 1T	3,65	7,65	0,062
J-K	233	15	13	0,49	26,9	2,8	1T	0,15	2,95	0,079
K-L	467	18	16	0,65	33,8	2,8	1T	0,15	2,95	0,100
L-M	700	22	20	0,62	23,8	2,8	1T	0,20	3,00	0,071
M-N	933	22	20	0,83	39,3	2,8	1T	0,20	3,00	0,118
N-O	1167	28	26	0,61	16,7	2,8	1T	0,30	3,10	0,052
O-P	1400	28	26	0,73	23,0	0,5	1 corba 90°	0,60	1,10	0,025
P-Q	1400	28	26	0,73	23,0	8,5	4 corbes 90° - 1T	2,70	11,20	0,258
Q-R	2800	35	33	0,91	25,0	8,0	4 corbes 90° - 1T-1 vàlvula A/R	5,37	13,37	0,334

Pdc TOTAL (mca) = 2,11

Q Cabal de fluid que circula per cada tram, en litres/h

L Longitud del tram de canonada, en m

DN Diàmetre nominal de la canonada, en mm

L_{sing} Longitud equivalent de les singularitats del tram, en m

D Diàmetre interior de la canonada, en mm

L_{total} Longitud total a considerar, en m

v velocitat de circulació del fluid per cada tram

L_{total} = L + L_{sing}

$$v(m/s)=0,354 \cdot Q/D^2$$

Pdc Pèrdua de càrrega del tram, en m

Pdc_{unit} Pèrdua de càrrega per metre lineal de canonada

$$Pdc(m.c.a.)=Pdc_{unit} \times L_{total} \times 10^{-3}$$

$$Pdc_{unit}(mm.c.a./m)=378 \cdot Q^{1,75} / D^{4,75}$$

La pèrdua de càrrega resultant serà d'aproximadament 2,11 m.c.a.

Les canonades del circuit de distribució s'aïllaran segons s'indica en el Reglament d'instal·lacions tèrmiques en els edificis. En aquest cas, el material triat és una escuma elastomèrica de cèl·lula tancada subministrada en conques de 25 mm.

8.4. Bomba del circuit de distribució

L'elecció de la bomba es fa a partir de la pèrdua de càrrega total i el cabal del circuit de distribució.

Per al càlcul de la pèrdua de càrrega del circuit cal tenir en compte les pèrdues en les canonades $Pdc_{canonades}$ (incloses les pèrdues de càrrega singulars dels accessoris), la pèrdua de càrrega $Pdc_{bescanviador}$ de l'interacumulador individual (facilitada pel fabricant de l'equip, que és de 0,5 m.c.a.) i la del secundari del bescanviador de calor (facilitada pel fabricant de l'equip, que és d'1,4 m.c.a.).

Les pèrdues de càrrega en les canonades, $Pdc_{canonades}$, s'han calculat en el punt anterior, amb un resultat de 2,11 m.c.a.

La suma dels valors anteriors dona com a resultat una pèrdua de càrrega de aproximadament 4 m.c.a. (0,5 m.c.a. + 2,11 m.c.a. + 1,4 m.c.a.).

Com s'ha indicat anteriorment, el cabal del circuit de distribució és de 2.800 litres/h.

La selecció de la bomba del circuit de distribució es fa de manera que la seua corba característica continga aproximadament el punt de treball definit per una altura manomètrica igual a la pèrdua de càrrega del circuit $H = 4$ m.c.a. i un cabal Q igual a 2.800 litres/h.

És recomanable que, una vegada fet el càlcul de la pèrdua de càrrega, es trie finalment la

bomba de manera que la seua corba estiga de l'ordre d'un 20% per sobre del punt de treball, per a poder compensar possibles pèrdues de potència de la bomba després de l'engegada.

8.5. Vas d'expansió

El circuit de distribució ha de disposar d'un vas d'expansió per a absorbir les dilatacions del fluid caloportador. La seua capacitat es determina a partir de la següent fórmula,

$$V_t = (V_{\min} + V \cdot C_e + V_{\text{vap}}) \cdot C_p$$

V: Volum del fluid de treball de la instal·lació (l)

V_{min}: Volum mínim o de reserva de fluid en el vas d'expansió (l) per a compensar la seua pèrdua o contracció a baixa temperatura.

V_{dil}: Volum de dilatació (l) = V · C_e

V_{vap}: Volum de vaporització (l)

C_e: Coeficient d'expansió o dilatació del fluid (ΔV/V)

$$C_p = \frac{V_t}{V_u} = \frac{P_{\max}}{P_{\max} - P_{\min}}$$

C_p: Coeficient de pressió

És important tenir en compte que per al dimensionament del vas d'expansió s'ha de considerar el volum de fluid caloportador allotjat en tot el circuit hidràulic i no únicament en el recorregut més desfavorable com s'ha considerat per al càlcul de la pèrdua de càrrega. Tenint en compte que hi ha dos baixants idèntics i que cada un proveeix 12 interacumuladors, s'obtidria el següent volum de fluid a les canonades:

Taula 2.6
Volum de fluid en canonades del circuit de distribució.

DN (mm)	Diàmetre (mm)	L (m)	Capacitat (l/m)	Contingut total (l)
15	13	107,2	0,133	14,2
18	16	11,2	0,201	2,3
22	20	22,4	0,314	7,0
28	26	47,2	0,531	25,1
35	33	16,0	0,855	13,7
TOTAL				62,3

El contingut total de líquid en les canonades és d'aproximadament 62,3 litres.

Si es considera que el serpentí de cada interacumulador individual pot allotjar uns 3 litres, per als 24 interacumuladors, es tindrà un volum de 72 litres.

El contingut total de líquid del circuit primari és, per tant, V=134,3 litres. (62,3 + 72 = 134,3 litres).

El **volum mínim o de reserva (V_{min})** s'agafa un 3% del volum total de la instal·lació amb un mínim de 3 litres.

$$V_{\min} = 3\% \times 134,3 \text{ litres} = 4,03 \text{ litres}$$

El **volum de vaporització (V_{vap})** no es considera perquè no es tracta del circuit primari solar.

El fluid caloportador és aigua sense additius. Si es fa ús de les expressions indicades en la norma UNE 100-155 per al seu càlcul, el valor de C_e de l'aigua resulta ser de 0,04. El **volum de dilatació (V_{dil})** valdrà:

$$V_{\text{dil}} = V \times C_e = 5,4 \text{ litres}$$

Per al valor de la pressió P_{\max} es pren com a referència la pressió de taratge de la vàlvula de seguretat del circuit primari, que s'estableix en 3 kg/cm^2 en aquest cas pràctic. Aquest valor suposa una pressió absoluta $P_{\max} = 3,7 \text{ kg/cm}^2$ (sumant-li 1 kg/cm^2 de pressió atmosfèrica a la pressió de taratge de la vàlvula de seguretat i restant-li $0,3 \text{ kg/cm}^2$).

Com a valor de P_{\min} s'agafa $1,5 \text{ kg/cm}^2$, suposant que la pressió d'ompliment és de $0,5 \text{ kg/cm}^2$. La diferència de cotes és $h=0$.

El volum total del vas d'expansió valdrà:

$$V_t = (4,03 + 5,4 + 0) \cdot \frac{3,7}{3,7 - 1,5} = 15,8 \text{ litres}$$

En la pràctica, s'instal·larà un vas d'expansió d'una grandària comercial de 18 litres.

El vas d'expansió s'instal·larà sense vàlvula de tall, de manera que no existisca la possibilitat d'aïllar-lo accidentalment del circuit primari al qual protegeix.

9. Subsistema d'intercanvi i acumulació.

En la configuració en edificació plurifamiliar amb acumulació distribuïda, el subsistema d'intercanvi i acumulació està format únicament pels dipòsits interacumuladors individuals (un per habitatge).

Els interacumuladors triats tenen les següents característiques:

- Capacitat 150 litres
- Instal·lació mural vertical
- Dimensions aproximades $H = 1,265 \text{ m}$; $\phi = 0,56 \text{ m}$ (amb aïllament)
- Bescanviador intern, de serpenti
- Superfície d'intercanvi $0,6 \text{ m}^2$
- Volum de fluid en el serpenti 3 litres

La capacitat total d'acumulació és de 3.600 litres (24 dipòsits de 150 litres), de manera que la relació entre el volum d'aigua acumulada i la superfície de captació solar (56 m^2) és de $64,3 \text{ litres/m}^2$, que està dins de l'interval recomanat (entre 50 i 100 litres/m^2).

Igualment, la superfície d'intercanvi de $0,6 \text{ m}^2$ que presenten els interacumuladors escollits és més que suficient per a complir la recomanació del CTE d'un mínim de $0,15 \text{ m}^2_{\text{intercanvi}} / \text{m}^2_{\text{captació solar}}$:

$$0,6 \text{ m}^2 \cdot 24 \text{ interacumuladors} = 14,4 \text{ m}^2_{\text{intercanvi total en l'edifici}}$$
$$(14,4 \text{ m}^2_{\text{intercanvi}}) / (56 \text{ m}^2_{\text{captadors}}) = 0,26 \text{ m}^2_{\text{intercanvi}} / \text{m}^2_{\text{captació solar}}$$

Dos paràmetres molt importants en la definició d'un bescanviador són el rendiment i l'eficàcia d'intercanvi. El rendiment és la relació entre l'energia obtinguda i l'aportada. La diferència entre l'una i l'altra es deu a les pèrdues tèrmiques.

L'eficàcia d'intercanvi es defineix com la relació entre la potència tèrmica intercanviada i la màxima que teòricament podria intercanviar-se. Per a un cabal de fluid caloportador determinat, l'eficàcia és una constant que dependrà de la superfície d'intercanvi, de la seua forma i geometria i del material emprat.

Com més baixa siga l'eficàcia del bescanviador de calor, més alta serà la temperatura que retorna als captadors i per tant menor serà el rendiment de la instal·lació solar. Per al cas d'interacumuladors, l'intercanvi es produeix per convecció natural i l'eficàcia és:

$$\varepsilon = (T_e - T_s) / (T_e - T_{\text{acum}})$$

sent

ε : Eficàcia del bescanviador

T_e : Temperatura d'entrada del fluid caloportador, en °C

T_s : Temperatura d'eixida del fluid caloportador, en °C

T_{acum} : Temperatura de l'aigua acumulada, en °C

10. Subsistema de suport

L'eixida de l'aigua calenta de cada interacumulador es conduirà a una caldera mural de suport individual.

Per a la selecció de la caldera se seguirà el que s'indica en l'exercici 1 de Barcelona.

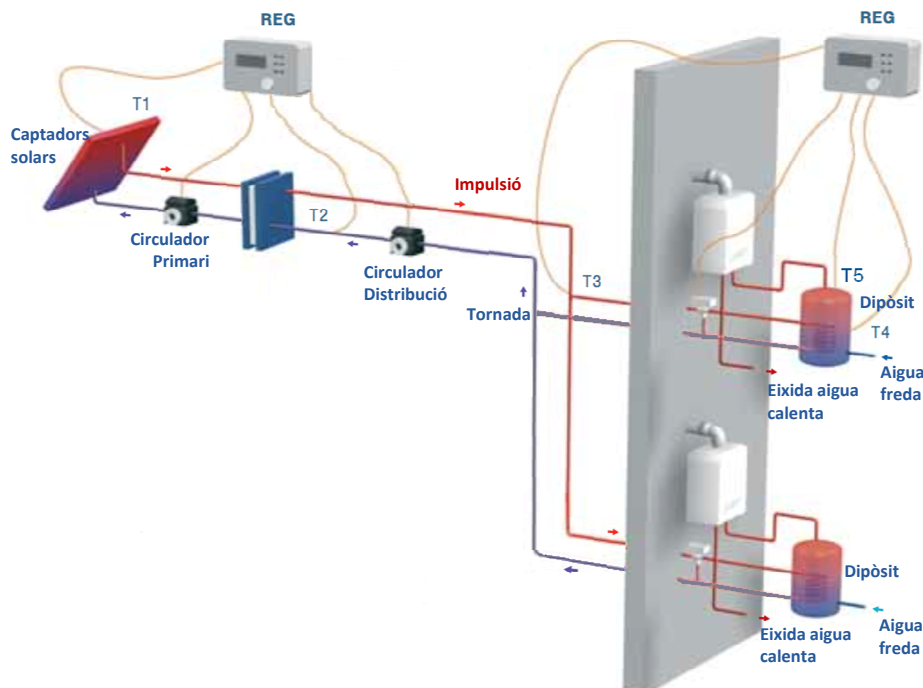
11. Regulació

La regulació de les bombes del circuit primari de captació i de distribució es farà mitjançant un termòstat diferencial amb dues sondes de temperatura. La sonda "calenta" T_1 s'instal·larà a l'eixida d'un grup de captadors solars i la sonda "frega" T_2 en la canalització de tornada de distribució.

Quan la temperatura T_1 supere un cert llindar definit per l'usuari (per exemple 50 °C) les bombes es posaran en funcionament.

Una vegada superat el llindar, les bombes es detindran quan la diferència entre T_1 i T_2 siga inferior a 2 °C.

Figura 2.12
Esquema de regulació de la instal·lació solar.



A més, a l'entrada del bescanviador dels interacumuladors s'instal·larà una **vàlvula de tres vies regulada amb un termòstat diferencial**. En aquest cas, les sondes de temperatura estaran situades en la canalització d'arribada al bescanviador T_3 i en la part inferior de l'acumulador T_4 .

VÁLVULAS DE ZONA MOTORIZADAS DE TRES VÍAS



- Para control ON-OFF SPDT (3 cables)
- Cuerpo de bronce.
- Contacto auxiliar SPDT.
- Temperatura máxima 95 °C.
- Presión máxima 20 bar.

Código	Descripción
HR4613120	VC4613MH6000 válvula de zona motorizada tres vías 230V/50Hz-3/4"-Kvs 7
HR4613130	VC4613MP6000 válvula de zona motorizada tres vías 230V/50Hz-1"-Kvs 7,7

La vàlvula de cada habitatge obrirà el pas cap al bescanviador de l'interacumulador quan la temperatura T_3 siga superior en uns 5 °C a T_4 i interromprà el pas quan aquesta diferència de temperatures siga inferior a 2 °C.

La temperatura T_5 en la part superior de l'interacumulador a fi de protegir als usuaris de cremades (hi obliga el Codi tècnic de l'edificació) es limita a 60 °C. A més, açò evita la formació de dipòsits de calç en localitats amb aigües dures.

Exercici 3: Instal·lació en edificació plurifamiliar amb acumulació solar mixta

1. Característiques de l'edifici

Per al desenvolupament d'aquest tercer exercici es considera un bloc d'habitatges de nova construcció situat a la ciutat de Madrid de similars característiques que en l'exercici 1. L'edifici consta de 24 habitatges repartits en 6 plantes, a raó de 4 habitatges per planta. Tots els habitatges són iguals i consten de les següents dependències:

- Saló menjador
- Tres habitacions dobles
- Cuina
- Bany complet amb banyera
- Lavabo sense dutxa

La planta de l'edifici és pràcticament quadrada (19,8 x 20,2 m), amb les escales i ascensor d'accés a les plantes situades en la part central. Una de les façanes de l'edifici està orientada al sud.

La coberta superior de l'edifici és una terrassa plana accessible i transitable.

La terrassa es troba parcialment ocupada per la claraboia situada sobre el buit d'escales, la cambra de maquinària de l'ascensor, les eixides dels conductes de ventilació i servei de les cuines i els banys.

La terrassa té un xicotet mur de 0,5 m d'alçària en tot el seu perímetre.

En les figures següents s'arregleguen els plànols de la planta tipus de l'edifici, la coberta i una secció.

Figura 3.1
Planta tipus de
l'edifici de
referència

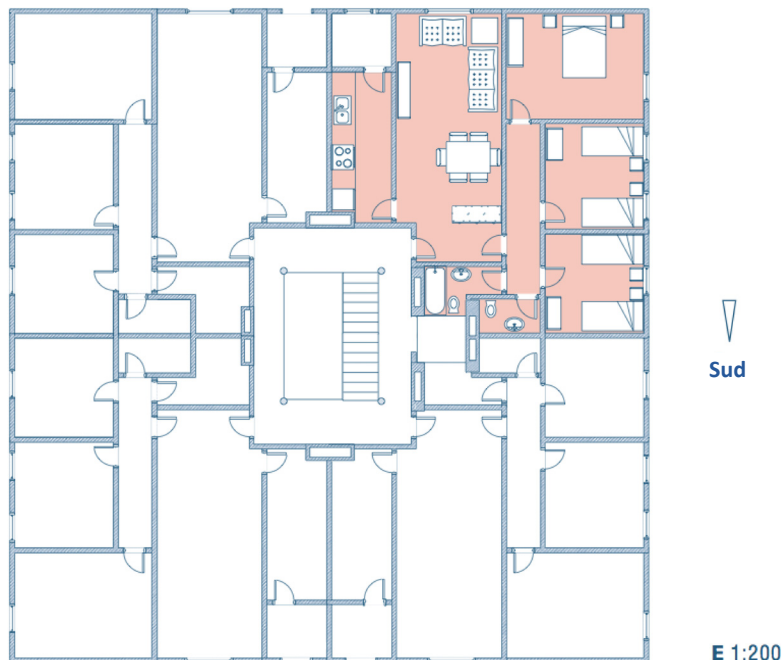


Figura 3.2
Secció de
l'edifici de
referència

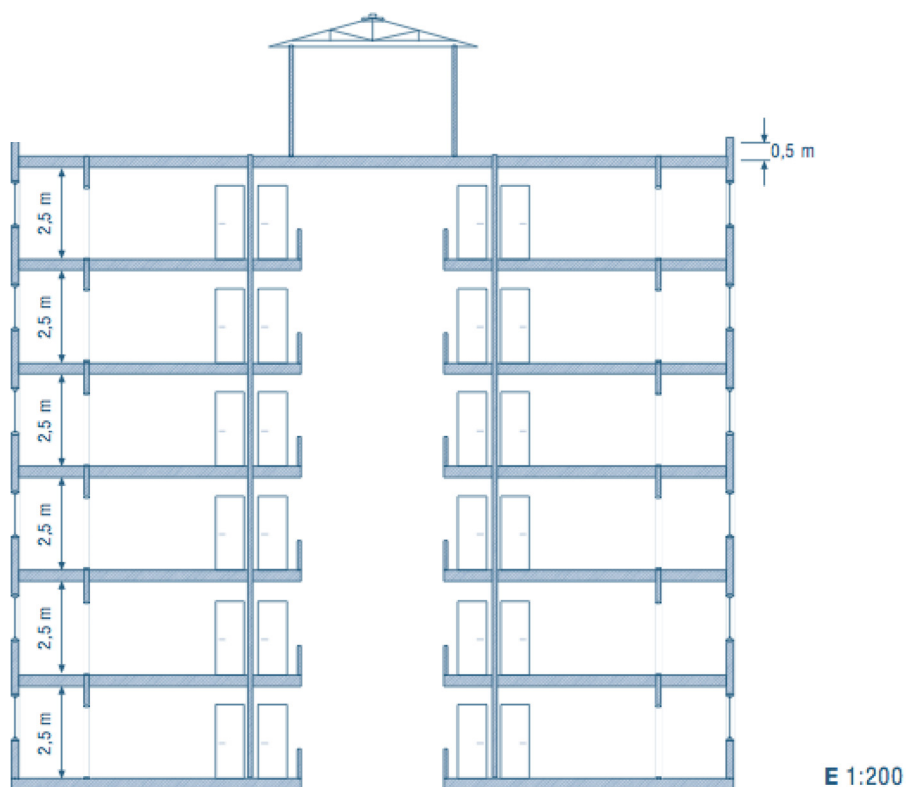
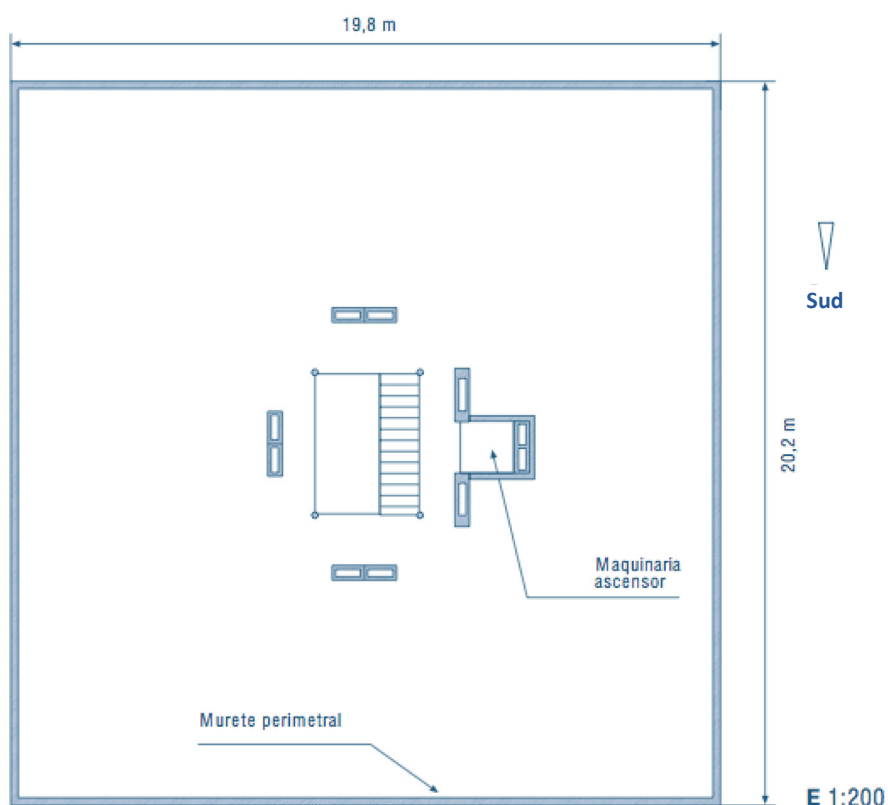


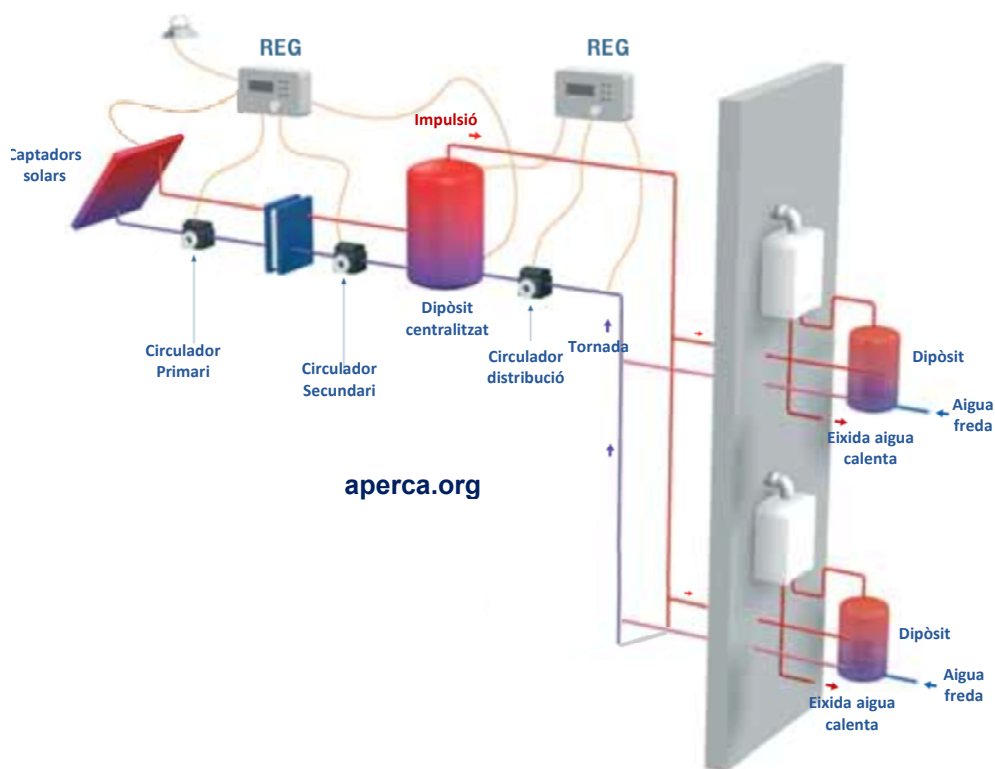
Figura 3.3
Planta de la
coberta de
l'edifici de
referència



Per a aquest cas, s'ha triat una configuració amb acumulació solar mixta (centralitzada + individual per a cada habitatge), amb la finalitat de poder reduir el volum dels dipòsits instal·lats a l'interior dels habitatges respecte del que s'obtidria en un cas d'únicament acumulació solar individual.

L'esquema de principi d'aquesta configuració s'indica en la figura següent:

Figura 3.4
Esquema de principi
d'una instal·lació en
edificació
plurifamiliar amb
acumulació solar
mixta (centralitzada
+ individual per a
cada habitatge).



2. Càlcul de la demanda energètica de l'edifici

La demanda energètica mensual derivada de la producció d'aigua calenta sanitària de l'edifici es calcula aplicant l'expressió següent:

$$Q_{ACS,mes} = C_{dia} \cdot N \cdot C_e \cdot \rho \cdot (T_{ACS} - T_{AF})$$

sent:

$Q_{ACS,mes}$: Demanda energètica en kWh/mes

C_{dia} : Consum diari d'aigua calenta sanitària a la temperatura de referència T_{ACS} , en litres/dia

N : Nombre de dies del mes considerat (dies/mes)

C_e : Calor específica, per a l'aigua $4,187 \cdot 10^{-3} \text{ MJ/kg } ^\circ\text{C} = 1,16 \cdot 10^{-3} \text{ kWh/kg } ^\circ\text{C}$

ρ : Densitat, per a l'aigua 1 kg/litre

T_{ACS} : Temperatura de referència utilitzada per a la quantificació del consum d'aigua calenta, en $^\circ\text{C}$

T_{AF} : Temperatura de l'aigua freda de xarxa, en $^\circ\text{C}$

En aquest cas, per al càlcul del consum diari d'aigua calenta sanitària C_{dia} no es tindran en compte les indicacions de l'Ordenança sobre captació d'energia solar per a usos tèrmics de l'Ajuntament de Madrid donat que aquesta va ser derogada el juliol del 2008.

Aplicant el Codi tècnic d'edificació (HE4), per a edificis d'habitatges ha de considerar-se un consum d'aigua calenta sanitària de 28 litres a 60°C per persona i dia amb un factor de centralització de 0,85 en tractar-se de 24 habitatges. El nombre de persones a considerar en cada habitatge es determina en funció del nombre de dormitoris. En aquest cas, amb habitatges de 3 dormitoris, l'ocupació que es considera és de 4 persones per habitatge.

Segons l'anterior, el consum diari d'aigua calenta sanitària que ha de considerar-se per al

càlcul de la instal·lació solar és de 2.284,8 litres/dia:

$$C_{\text{dia}} = 28 \cdot 0,85 \cdot 4 \cdot 24 = 2.284,8 \text{ litres/dia}$$

Com a dades de temperatura de l'aigua de xarxa a Madrid, s'agafen les procedents de Censolar i recollides en la publicació Instal·lacions d'Energia Solar Tèrmica. Plecs de Condicions Tècniques d'Instal·lacions de Baixa Temperatura de l'IDAE.

A **Taula 3.1**

Temperatura d'aigua freda en Madrid (°C) Font: IDAE

MES	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Setembre	Octubre	Novembre	Desembre	ANY
T _{AF}	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3

El càlcul de la demanda energètica mensual es fa a partir de les dades de consum diari d'aigua calenta i les temperatures de l'aigua freda i calenta.

Agafarem com a temperatura per al càlcul del consum d'aigua calenta un valor de 45 °C.

Tenint en compte aquestes dades, la demanda energètica total de l'edifici és de 48.112 kWh/any.

3. Elecció de la fracció solar anual

El Codi tècnic d'edificació per a la zona climàtica IV, menys de 5000 l/dia de consum estableix una contribució solar mínima del 50%.

En aquest cas concret suposarem que en la realització de la instal·lació ens imposen complir com a objectiu una contribució solar anual superior a aquest valor mínim, del 50%.

La ja derogada Ordenança sobre captació d'energia solar per a usos tèrmics de l'Ajuntament de Madrid establiria una contribució solar mínima del 75% per a aquesta instal·lació.

4. Elecció de la superfície de captadors i volum d'acumulació

Per a la determinació de la superfície de captadors solars necessària per a aconseguir la fracció solar requerida es procedeix a fer un càlcul energètic a partir del mètode iteratiu F-Chart.

La metodologia de càlcul és idèntica a l'exposada en l'exercici per al cas de la instal·lació en edificació plurifamiliar amb acumulació solar centralitzada a Barcelona.

No obstant això, en aquest cas s'ha de determinar el volum total consistent a sumar les aportacions d'acumulació solar individual de cadascun dels habitatges i la de l'acumulació centralitzada. La part d'acumulació distribuïda obtinguda amb el mètode F-Chart dividida pel nombre d'habitatges serà el volum que haurà de tenir l'interacumulador. Finalment, se seleccionarà un dipòsit interacumulador amb un volum estàndard de mercat i es calcularà la instal·lació amb aquest volum d'acumulació per a comprovar la fracció solar anual obtinguda.

Per a l'aplicació del mètode F-Chart es tindrà en compte el següent:

- Vista la disposició de l'edifici, se suposaran els captadors orientats al sud.
- Es triarà una inclinació de 45° respecte a l'horitzontal, ja que el consum d'aigua calenta es considera constant al llarg de l'any, sense variacions entre estiu i hivern.
- Els captadors solars triats presenten la següent corba de rendiment energètic:

$$\eta = 0,78 - 6,50 \cdot (T_f - T_{AMB})/I$$

És a dir, el captador té els coeficients característics següents:

Factor d'eficiència òptica del captador = 0,78

Coefficient global de pèrdues del captador = 6,50 W/m²K

- Com a modificador de l'angle d'incidència s'agafa aproximadament 0,96 per a captadors amb una coberta de vidre.
- Com a factor de correcció del conjunt captador – bescanviador és recomanable un valor de 0,95.
- El mètode F-Chart incorpora en el càlcul del paràmetre D₂ una estimació de l'energia perduda: de captador a bescanviador (factor de correcció de 0,95), pèrdues de calor en l'acumulador (per emmagatzemament) i en la resta de la instal·lació d'ACS.

Per al disseny i càlcul de les instal·lacions d'ACS utilitzarem el Plec oficial de condicions tècniques de l'IDAE vigent. Per tant, les dades de radiació solar i de temperatura exterior que s'han utilitzat són els que s'arrepleguen en el document Instal·lacions d'energia solar tèrmica. Plecs de condicions tècniques d'instal·lacions de baixa temperatura de l'IDAE.

Aplicant el mètode de càlcul, el resultat final que s'obté és el següent:

• Superfície de captació solar	A = 32 m ²
• Capacitat dels dipòsits d'acumulació individual	V = 50 litres
• Capacitat del dipòsit d'acumulació centralitzada	V = 1.500 litres
• Capacitat total d'acumulació	V _{total} = 2.700 litres
• Demanda energètica anual	48.112 kWh/any
• Producció energètica solar anual	24.771 kWh/any
• Fracció solar anual obtinguda	F = 51,5%
• Relació V _{total} /A	84,4 l/m ²

Com es pot observar, com a volum d'acumulació individual s'ha triat un dipòsit de 50 litres de capacitat per a cadascun dels 24 habitatges i un dipòsit centralitzat de 1.500 litres de capacitat situat a la coberta de l'edifici. D'aquesta manera, part del volum d'acumulació es trasllada a l'acumulador centralitzat situat a la coberta de l'edifici.

La capacitat total d'acumulació és per tant de 2.700 litres, la qual cosa suposa una relació entre volum d'acumulació solar i superfície de captació d'uns 84,4 litres/m², que està dins de l'interval recomanat per F-Chart (entre 50 i 100 litres/m²). Per a aquesta classe de configuracions, en edificació plurifamiliar amb acumulació solar mixta (centralitzada i individual) és preferible situar-se en la part mitjana-alta d'aquest rang.

5. Selecció del nombre de captadors solars necessaris

Per a l'elecció de la superfície de captació que finalment tindrà la instal·lació es parteix d'uns captadors de les següents característiques:

- Dimensions. Alçària: 2,0 m
Amplària: 1,0 m
- Superfície 2,0 m²
- Capacitat 1,3 litres
- Pèrdua de càrrega 30 m.m.c.a. per a un cabal de 100 l/h

Per a aconseguir una superfície de captació solar de 32 m² seran necessaris 16 captadors solars del tipus descrit. Els 16 captadors es disposaran en 4 grups de 4 captadors cadascun.

6. Situació dels captadors solars en l'edifici

Com en els casos anteriors, els captadors se situaran a la terrassa plana superior d'edifici.

6.1. Orientació i inclinació

L'orientació triada serà sud, paral·lelament a una de les façanes de l'edifici. La inclinació serà de 45° respecte a l'horitzontal.

Aquesta combinació d'orientació sud i inclinació similar a la latitud de l'emplaçament és la que permet l'aprofitament anual més gran de l'energia solar disponible.

6.2. Implantació dels captadors en la coberta

Els captadors s'instal·laran sobre estructures d'acer galvanitzat, subministrades pel mateix fabricant dels captadors solars, amb una inclinació de 45° respecte a l'horitzontal. Els caragols necessaris per a subjecció dels captadors a l'estructura seran d'acer inoxidable.

Per a la fixació de les estructures metàl·liques es construirà en cada grup de captadors una bancada de formigó amb les dimensions aproximadament iguals a les de la projecció vertical de la bancada i una alçada de 8 -10 cm.

Les bancades recolzaran directament sobre la superfície de la coberta, sense danyar-ne l'estanquitat.

6.3. Separació d'elements que puguen produir ombres

Els 4 grups de captadors se situaran en la coberta de l'edifici en dues files de dos grups cadascun.

La primera fila haurà de separar-se prou de la façana sud de l'edifici, a fi d'evitar la projecció d'ombres del mur de protecció.

El Plec de condicions tècniques d'instal·lacions de baixa temperatura de l'IDAE estableix que la distància mínima de separació que ha de deixar-se entre el final del mur i l'inici de la primera fila de captadors pot calcular-se de la següent manera:

$$d = h \cdot k$$

sent
h: l'alçada del mur
k = 1/tan (61° - latitud)

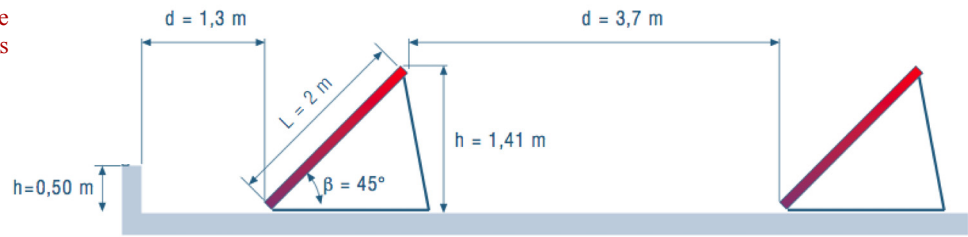
Per a la latitud de Madrid (uns 40°) k és igual a 2,6. Tenint en compte que l'alçada h del mur és de 0,5 m, la distància d és d'aproximadament 1,3 m.

De la mateixa manera, la segona fila de captadors ha de separar-se una certa distància de la primera. El procediment per al càlcul d'aquesta separació és idèntic a l'utilitzat anteriorment, amb la diferència que, en aquesta ocasió h és l'alçada vertical del primer grup de captadors, és a dir, suposant que la longitud del captador L és de 2 m:

$$h = L \cdot \text{sen } \beta = 2 \cdot \text{sen } 45^\circ = 1,41 \text{ m}$$
$$d = h \cdot k = 1,41 \cdot 2,6 = 3,67 \text{ m (aprox. 3,7 m)}$$

En la figura s'indiquen les distàncies mínimes de separació que cal respectar.

Figura 3.5
Separació de les files de captadors



6.4. Connexió dels captadors

Com en l'exercici anterior, els 4 captadors de cada grup es connectaran en paral·lel, amb l'entrada per la part inferior del primer captador i l'eixida per la part superior del quart captador.

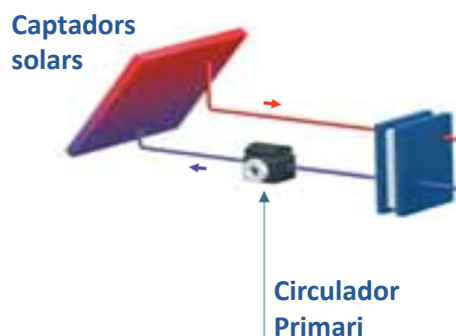
Els 4 grups també es connectaran entre si en paral·lel. A l'entrada de cada grup de captadors s'instal·larà una vàlvula d'equilibrament hidràulic per a garantir un repartiment homogeni del cabal del circuit primari pels 4 grups.

En la part superior de cada grup, a l'eixida, s'instal·larà un purgador automàtic de boia per a permetre l'eixida de l'aire dels captadors.

A més, s'instal·larà una vàlvula d'esfera a l'eixida per a poder aïllar cada grup de les canonades del circuit primari i poder procedir a fer eventuais operacions de manteniment o reparació sense necessitat de buidar la resta de la instal·lació.

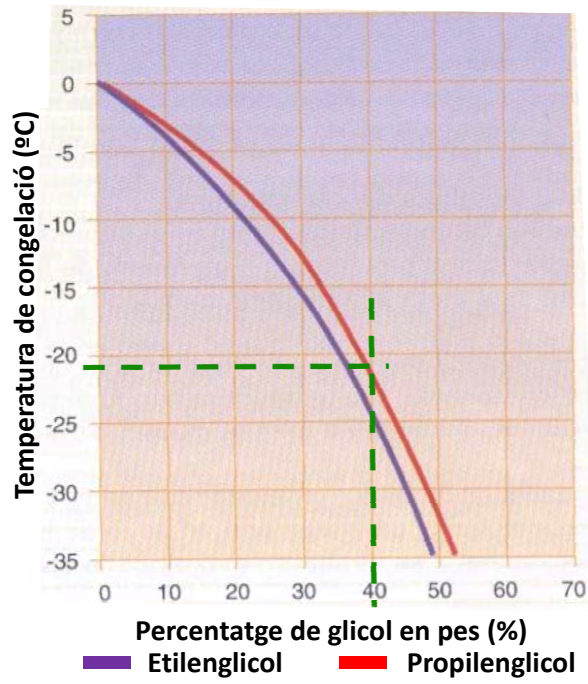
7. Circuit primari

En aquesta configuració d'edificació plurifamiliar amb acumulació solar mixta (centralitzada + individual), s'entén que el circuit primari és el comprès entre els captadors solars i el bescanviador de calor de l'acumulador centralitzat.

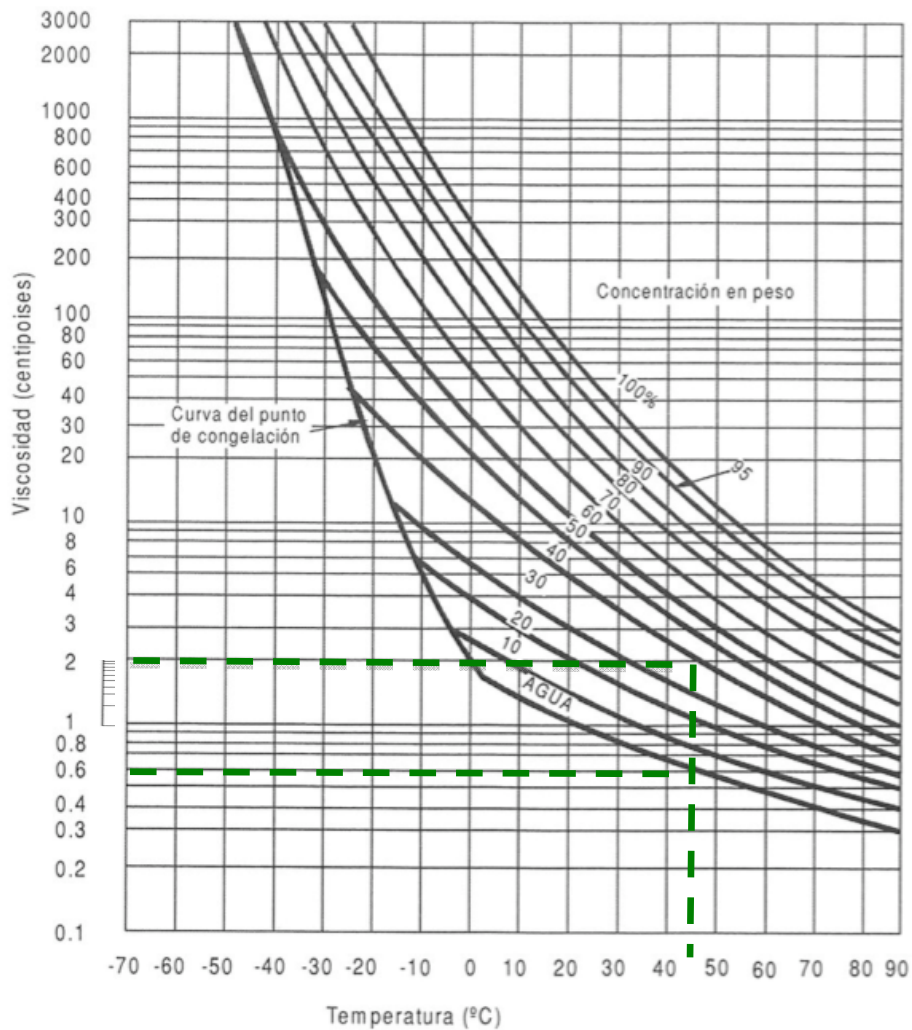


7.1. Fluid caloportador

La temperatura mínima històrica a Madrid és de -16° , no obstant la normativa RITE obliga que el sistema pugui suportar 5° per sota d'aquesta temperatura mínima històrica és a dir -21° . Per a això, necessitarem una proporció d'aproximadament el 40% de propilenglicol segons la gràfica per a evitar la congelació del fluid a l'hivern a la ciutat de Madrid.



En aquesta proporció la viscositat per a una temperatura de 45 °C és d'aproximadament 2 centipoises (la de l'aigua a 45 °C és d'aproximadament 0,6 cp).



7.2. Cabal del circuit primari solar

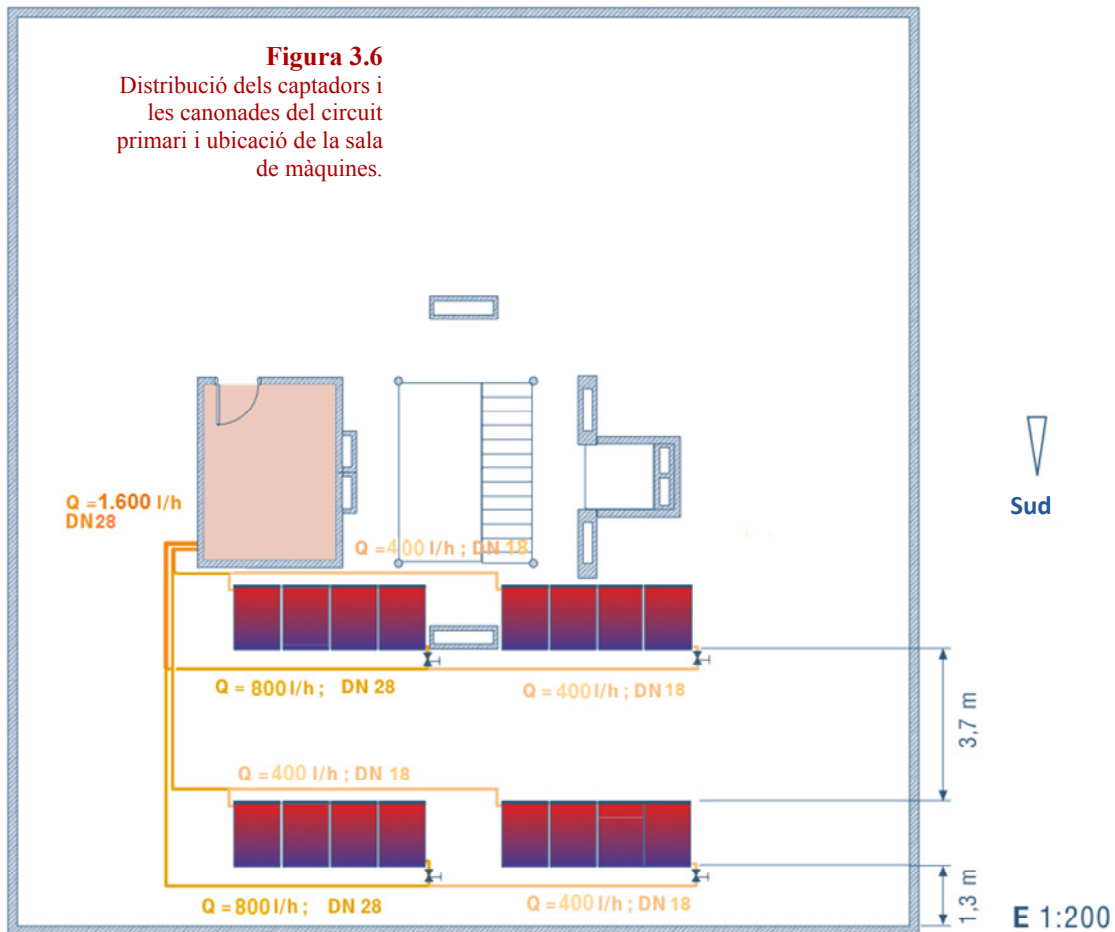
El CTE indica que, en cas de no ser especificat pel fabricant, s'ha de seleccionar un cabal de disseny comprès entre 1,2 i 2 litres/s per cada 100 m² de superfície de captadors (entre 43,2 i 72 litres/h·m²). Sol triar-se un valor d'1,4 litres/s per cada 100 m², és a dir 50 litres/h·m².

Per a aquest cas, amb una superfície de captació solar de 32 m², el cabal del circuit primari s'estableix en 1.600 litres/h.

7.3. Canonades del circuit primari

Com s'ha indicat anteriorment, el circuit primari de captació solar comprèn des dels captadors solars fins al bescanviador de calor d'escalfament de l'acumulador centralitzat. Les canalitzacions es construiran amb canonada de coure. El diàmetre de les canonades es determinarà a partir del cabal que ha de circular per cada tram i tenint en compte el fluid caloportador seleccionat.

En la següent figura es pot veure la disposició dels captadors solars en la coberta de l'edifici i el recorregut i el diàmetre de les canonades de cada tram del circuit primari.



El diàmetre de les canonades es determina a partir del cabal que ha de circular per cada tram i tenint en compte el fluid caloportador seleccionat. La següent taula que mostra la relació cabal-diàmetre interior d'una canonada de coure per a pèrdua de càrrega màxima de 40 m.m.ca quan el fluid és aigua sense additius pot servir com a guia en una primera estimació del diàmetre de la canonada.

Diàmetre nominal (mm)	Gruix de paret (mm)	Diàmetre interior (mm)	Cabal (litres/h)
15	1,0	13,0	fins a 290
18	1,0	16,0	fins a 500
22	1,0	20,0	fins a 950
28	1,0	26,0	fins a 1900
35	1,0	33,0	fins a 3600
42	1,0	40,0	fins a 6200
54	1,2	51,6	fins a 12000

S'obté un diàmetre DN35 per a les canonades principals per a un cabal de 2.000 l/h de fluid, DN28 per a les canonades d'un cabal de 1.000 l/h i DN22 per a la resta de canonades.

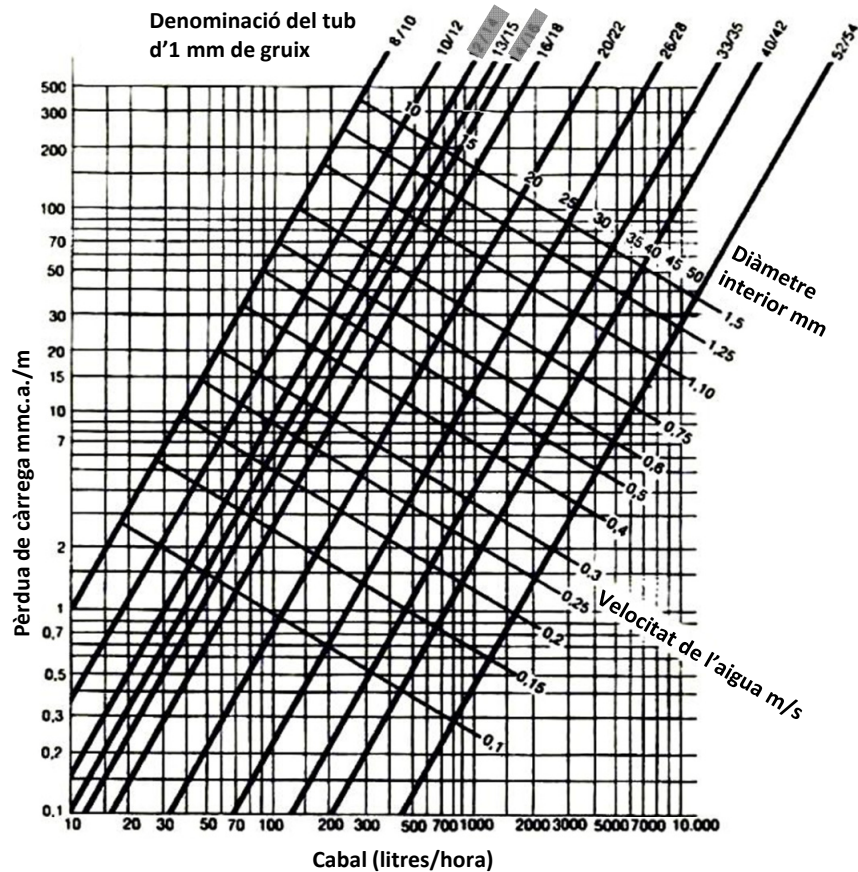
En canonades de parets llises (com les de coure) per les quals circula aigua calenta sense additius pot emprar-se la següent fórmula per a obtenir les pèrdues de càrrega en funció del cabal i del diàmetre interior de la canonada:

$$\text{Pèrdua de càrrega (mmca/m)} = 378 \cdot \frac{\text{Cabal}[\text{l/h}]^{1,75}}{\text{Diàmetre interior}[\text{mm}]^{4,75}}$$

Per a un diàmetre de canonada i un cabal donats, la velocitat del fluid pot obtenir-se mitjançant la següent expressió:

$$v(\text{m/s}) = \frac{\text{Cabal}[\text{m}^3/\text{s}]}{\pi \cdot (\text{Diàmetre interior}[\text{m}]^2 / 4)} = 0,354 \cdot \frac{\text{Cabal}[\text{l/h}]}{\text{Diàmetre interior}[\text{mm}]^2}$$

De manera equivalent tant la pèrdua de càrrega com la velocitat poden obtenir-se gràficament a partir de l'àbac de pèrdues de càrrega en funció del cabal d'aigua (45 °C) per a canonades de coure.



Cal tenir en compte que el fluid caloportador en aquest cas pràctic és aigua amb anticongelant, i per tant, la pèrdua de càrrega s'ha d'incrementar en un factor de:

$$(2/0,6)^{0,25} = 1,35$$

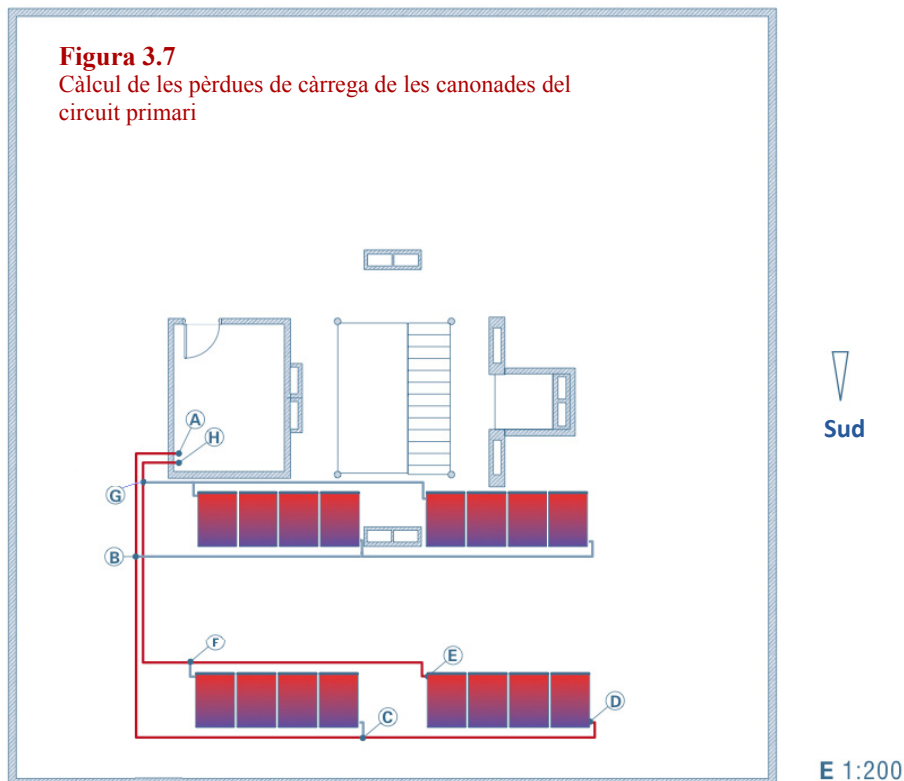
Les pèrdues de càrrega singulars s'estimen a partir de la següent taula proposada per Gas Natural, on s'indica la longitud equivalent de canonada recta per a cada singularitat.

	Diàmetre nominal de la canonada					
	18	22	28	35	42	54
Corba de 45°	0,34	0,43	0,47	0,56	0,7	0,85
Colze de 90°	0,5	0,63	0,76	1,01	1,32	1,71
Corba de 90°	0,33	0,45	0,6	0,84	0,96	1,27
Reducció	0,3	0,5	0,65	0,85	1	1,3
T →	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
T ↑	2,5	3	3,6	4,1	4,6	5
T ↓	1,68	1,8	1,92	2,4	3	3,6
Vàlvula antiretorn de claveta	0,5	0,77	1,05	1,61	2,1	2,66

Longitud equivalent de canonada (en m) per a pèrdues de càrrega singulars.

Font: Gas Natural

Per a facilitar la comprensió dels càlculs, s'han assignat unes lletres als diferents punts del circuit, tal com s'indica en la següent figura. Per a la selecció de la bomba del circuit primari cal calcular la pèrdua de càrrega en el recorregut més desfavorable per al fluid, marcat amb traç roig en la figura.



En la següent taula es detalla el càlcul de la pèrdua de càrrega de les canonades del circuit primari.

Taula 3.2
Pèrdues de càrrega de les canonades del circuit primari

Tram	Q (l/h)	DN (mm)	Diàmetre (mm)	V (m/s)	Pdc _{unit} (mmca/m)	L (m)	Singularitats	L _{sing} (m)	L _{total} (m)	Pdc (mca)
AB	1600	28	26	0,838	39,3	5,5	3 corbes 90° - 1 vàlvula A/R	2,85	8,35	0,328
BC	800	28	26	0,419	11,7	11,3	1 corba 90° - 1T	0,90	12,20	0,143
CD	400	18	16	0,553	34,9	6,5	3 corbes 90° - 1T	1,14	7,64	0,266
EF	400	18	16	0,553	34,9	7,0	3 corbes 90°	0,99	7,99	0,278
FG	800	28	26	0,419	11,7	6,3	1 corba 90° - 1T	0,90	7,20	0,084
GH	1600	28	26	0,838	39,3	3,5	3 corbes 90° - 1T	2,10	5,60	0,220

Pdc TOTAL (mca) = 1,32

Q	Cabal de fluid que circula per cada tram, en litres/h
DN	Diàmetre nominal de la canonada, en mm
D	Diàmetre interior de la canonada, en mm
v	velocitat de circulació del fluid per cada tram $v(m/s)=0,354 \cdot Q/D^2$
Pdc_{unit}	Pèrdua de càrrega per metre lineal de canonada $Pdc_{unit}(mm.c.a./m)=1,35 \cdot 378 \cdot Q^{1,75} / D^{4,75}$ El factor 1,35 de l'expressió anterior s'introdueix per a tenir en compte la presència d'anticongelant en el fluid primari, de major viscositat que l'aigua.
L	Longitud del tram de canonada, en m
L_{sing}	Longitud equivalent de les singularitats del tram, en m
L_{total}	Longitud total a considerar, en m $L_{total} = L + L_{sing}$
Pdc	Pèrdua de càrrega del tram, en m $Pdc(m.c.a.)=Pdc_{unit} \times L_{total} \times 10^{-3}$

La pèrdua de càrrega resultant serà d'1,32 m.c.a.

Les canonades del circuit primari s'aïllaran segons s'indica en el Reglament d'instal·lacions tèrmiques en els edificis. El material triat és una escuma elastomèrica de cèl·lula tancada subministrada en conques de 35 mm de grossària per a tots els trams en circular per l'exterior de l'edifici.

L'aïllament de tot el circuit primari es protegirà exteriorment amb una coberta de xapa d'alumini.

7.4. Bomba del circuit primari

L'elecció de la bomba es fa a partir de la pèrdua de càrrega total i el cabal del circuit primari. Per al càlcul de la pèrdua de càrrega del circuit han de tenir-se en compte les pèrdues en les canonades $Pd_{Canonades}$ (incloses les pèrdues de càrrega singulars dels accessoris), la pèrdua de càrrega del bescanviador de calor $Pdc_{Bescanviador}$ i la dels captadors solars $Pdc_{Captadors}$.

Les pèrdues de càrrega en les canonades, $Pd_{Canonades}$, s'han calculat en el punt anterior, amb un resultat d'1,32 m.c.a.

La pèrdua de càrrega en el bescanviador $Pdc_{Bescanviador}$, facilitada pel fabricant de l'equip, és d'1,5 m.c.a.

La pèrdua de càrrega en els captadors $Pdc_{Captadors}$ es pot determinar a partir de la corba facilitada pel fabricant. Si desconeixem la pèrdua de càrrega que ens proporciona el fabricant per a una agrupació de N captadors en paral·lel, Censolar proposa una expressió que proporciona un valor aproximat. Utilitzarem aquesta expressió a fi d'obtenir un càlcul estimatiu de les pèrdues de càrrega en captadors, en absència d'informació del fabricant. Atès que la pèrdua de càrrega d'un captador a un cabal de 100 l/h és de 30 mm c.a., la pèrdua del conjunt de N = 4 captadors en paral·lel a un cabal de 400 l/h serà, aplicant l'expressió proposada per Censolar de l'ordre de:

$$30 \text{ mm.c.a.} \cdot N \cdot (N+1) / 4 = 30 \text{ mm.c.a.} \cdot 4 \cdot 5 / 4 = 150 \text{ mm c.a.} = 0,150 \text{ m.c.a.}$$

La suma dels valors anteriors dóna com a resultat una pèrdua de càrrega d'aproximadament 2,97 m.c.a. (1,32 m.c.a + 1,5 m.c.a. + 0,15 m.c.a. = 2,97 m.c.a.).

Com s'ha indicat anteriorment, el cabal del circuit primari és de 1.600 litres/h, calculat a raó de 50 litres/h·m² de captació solar.

La selecció de la bomba del circuit primari es farà de manera que la seua corba característica continga aproximadament el punt de treball definit per una altura manomètrica igual a la pèrdua de càrrega del circuit $H = 2,97$ m.c.a. i un cabal Q igual a 1.600 litres/h.

És recomanable que, una vegada fet el càlcul de la pèrdua de càrrega, es trie la bomba de manera que la seua corba estiga de l'ordre d'un 20% per sobre del punt de treball, per a poder compensar possibles pèrdues de potència de la bomba després de l'engegada.

7.5. Vas d'expansió

El circuit primari ha de disposar d'un vas d'expansió per a absorbir les dilatacions del fluid caloportador. La seua capacitat es determina a partir de la següent fórmula,

$$V_t = (V_{\min} + V \cdot C_e + V_{\text{vap}}) \cdot C_p$$

V : Volum del fluid de treball de la instal·lació (l)

V_{\min} : Volum mínim o de reserva de fluid en el vas d'expansió (l) per a compensar la seua pèrdua o contracció a baixa temperatura.

V_{dil} : Volum de dilatació (l) = $V \cdot C_e$

V_{vap} : Volum de vaporització (l)

C_e : Coeficient d'expansió o dilatació del fluid ($\Delta V/V$)

C_p : Coeficient de pressió
$$C_p = \frac{V_t}{V_u} = \frac{P_{\max}}{P_{\max} - P_{\min}}$$

Per al càlcul del contingut de líquid del circuit primari cal sumar els continguts dels diferents elements, el corresponent a les canonades i el dels 16 captadors.

El càlcul del volum de fluid es detalla a continuació:

DN (mm)	Diàmetre (mm)	L (m)	Capacitat (l/m)	Contingut total (l)
18	16	30,0	0,201	6,0
28	26	34,1	0,531	18,1
TOTAL				24,1

Taula 3.3
Volum de fluid en les canonades del circuit primari.

El contingut total de líquid en les canonades és aproximadament 24,1 litres.

A aquest volum ha de sumar-se la capacitat de líquid dels captadors, que és d'1,3 litres cadascun, és a dir, 20,8 litres per al total de 16 captadors.

El contingut total de líquid del circuit primari és, per tant, d'uns 44,9 litres. (24,1 + 20,8 = 44,9 litres).

El **volum mínim o de reserva (V_{\min})** s'agafa un 3% del volum total de la instal·lació amb un mínim de 3 litres.

$$3\% \times 44,9 \text{ litres} = 1,35 \text{ litres}$$

En ser inferior a 3 litres, prendrem $V_{\min} = 3$ litres

El **volum de vaporització (V_{vap})** s'agafa igual al volum de fluid en captadors més un 10%:

$$16 \text{ captadors} \times (1,3 \text{ l/captador}) = 20,8 \text{ litres}$$

$$V_{\text{vap}} = 1,1 \times 20,8 \text{ litres} = 22,9 \text{ litres}$$

En cas de no disposar d'informació més concreta del valor del **coeficient d'expansió (C_e)** per part del distribuïdor o fabricant es fa ús de les expressions indicades en la norma UNE 100-155 per al càlcul del valor de C_e del fluid caloportador, i això resulta en un valor de 0,051. El **volum de dilatació (V_{dil})** val:

$$V_{dil} = V \times C_e = 2,29 \text{ litres}$$

Per al valor de la pressió P_{max} s'agafa com a referència la pressió de taratge de la vàlvula de seguretat del circuit primari, que s'estableix en 3 kg/cm² en aquest cas pràctic. Aquest valor suposa una pressió absoluta P_{max}= 3,7 kg/cm² (sumant-li 1 kg/cm² de pressió atmosfèrica a la pressió de taratge de la vàlvula de seguretat i restant-li 0,3 kg/cm²).

Com a valor de P_{min} s'agafa 1,5 kg/cm², suposant que la pressió d'ompliment és de 0,5 kg/cm². En el cas que la sala de màquines estiguera situada al nivell de la planta baixa de l'edifici, per a la determinació de P_{min} s'hauria de tenir en compte la pressió de la columna d'aigua situada sobre el vas d'expansió.

El volum total del vas d'expansió valdrà:

$$V_i = (3 + 2,29 + 22,9) \cdot \frac{3,7}{3,7 - 1,5} = 47,41 \text{ litres}$$

En funció del fabricant podem trobar els següents valors comercials: 5, 8, 12, 18, 24, 25, 35, 50, 60, 80, 100, 150, 200, 220, 300, 350, 500, 700 i 750 litres. En la pràctica, s'instal·larà un vas d'expansió d'una grandària comercial de 50 litres.

El vas d'expansió s'instal·larà sense vàlvula de tall, de manera que no existisca la possibilitat d'aïllar-lo accidentalment del circuit primari al qual protegeix.

7.6. Altres elements del circuit primari

El circuit primari ha de disposar d'una **vàlvula de seguretat** amb descàrrega conduïda a desguàs. La pressió de taratge serà de 3 kg/cm². Al costat de la vàlvula de seguretat s'instal·larà un manòmetre que permeti verificar la pressió del circuit.

En el traçat de les canonades haurà de tractar-se d'evitar la formació de punts alts que puguin provocar la formació de bosses d'aire que dificulten la circulació del fluid. S'instal·laran **4 purgadors** d'aire, un per cada grup de captadors, en els punts alts.

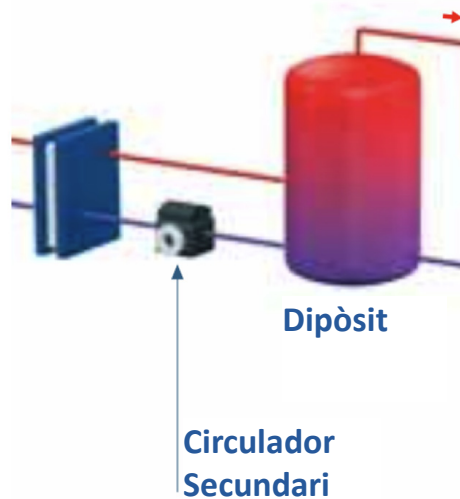
En el circuit primari s'instal·larà una **vàlvula antiretorn** de claveta en la impulsió de la bomba de circulació, per a evitar l'eventual circulació inversa durant la nit.

En el circuit cal preveure una **connexió per a l'ompliment** i l'eventual reposició de fluid caloportador.

8. Subsistema d'intercanvi i acumulació. Circuit secundari

En aquest cas, es considera que el subsistema d'intercanvi i acumulació està compost per l'acumulador centralitzat, amb la seua recirculació pel bescanviador de calor de plaques, el bescanviador dels interacumuladors individuals i els propis interacumuladors (un per habitatge).

S'entendrà per circuit secundari el circuit hidràulic entre el bescanviador de calor de plaques i l'acumulador centralitzat.



8.1. Fluid de treball

El fluid del circuit secundari és aigua de consum per a usos sanitaris en tot el subsistema d'intercanvi i acumulació.

8.2. Acumulació solar centralitzada

Per a determinar la capacitat de l'acumulador centralitzat cal tenir en compte que la capacitat total d'acumulació d'aigua ha d'estar compresa entre els límits aconsellats (50 i 100 litres per m² de captació solar). Per a aquest tipus de configuracions, en edificació plurifamiliar amb acumulació solar mixta (centralitzada i individual) és preferible situar-se en la part mitjana-alta d'aquest rang.

Com ja s'ha esmentat anteriorment, la capacitat dels dipòsits individuals s'ha establert en 50 litres per habitatge, és a dir, tenint en compte els 24 habitatges, s'obtenen 1.200 litres. Es pren un dipòsit centralitzat de 1.500 litres de capacitat, amb la qual cosa el volum total és de 2.700 litres (84,4 litres d'acumulació per m² de captació solar).

El dipòsit centralitzat pot ser d'acer. Se'l proveeix d'un aïllament exterior d'escuma de poliuretà de 80 mm de gruix, per sobre del valor exigint en el RITE.

La instal·lació de l'acumulador solar centralitzat es farà a l'interior del local situat a la coberta de l'edifici destinat a sala de màquines.

8.3. Bescanviador de calor

L'acumulador centralitzat serà calfat amb l'energia procedent dels captadors solars mitjançant un bescanviador de calor de plaques d'acer inoxidable.

L'elecció de les característiques del bescanviador es fa de la mateixa manera que en el cas de l'exercici de la instal·lació en edificació plurifamiliar amb acumulació solar centralitzada seguint les recomanacions del Plec de condicions tècniques d'instal·lacions de baixa temperatura de l'IDAE. A continuació s'indiquen els seus paràmetres de disseny:

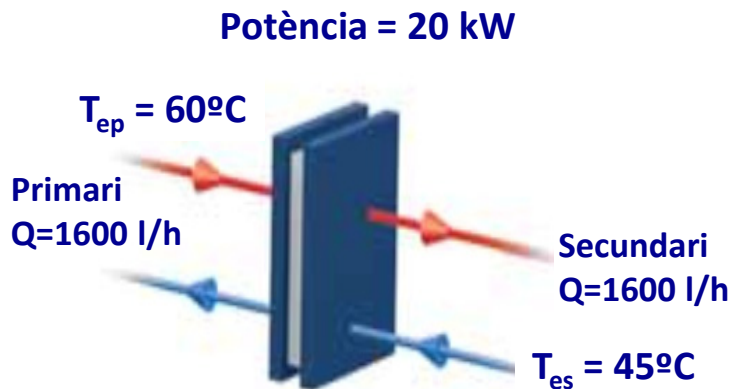
- Potència d'intercanvi: 20 kW (aprox. 600 W per m² de captació solar)
- Circuit primari: aigua amb anticongelant

Temperatura d'entrada: 60 °C

Cabal de circulació: 1.600 litres/h

- Circuit secundari: aigua

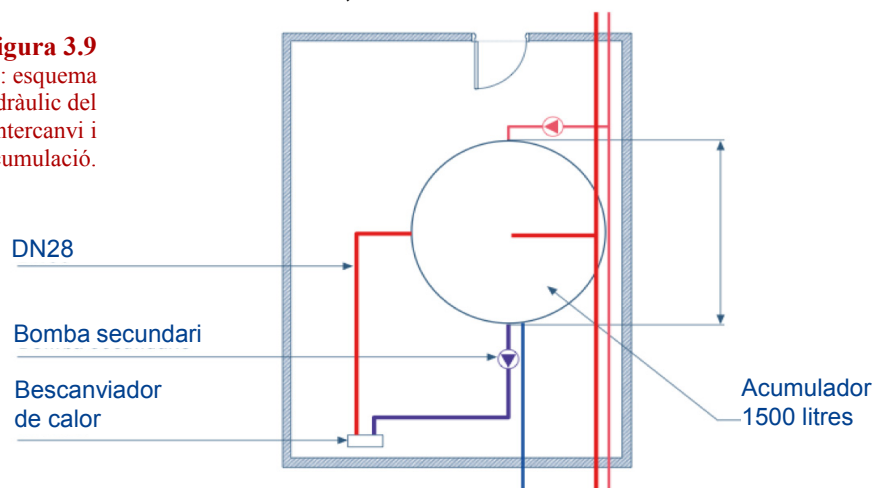
Temperatura d'entrada: 45 °C
 Cabal de circulació: 1.600 litres/h



8.4. Canonades del circuit secundari

El cabal de recirculació de l'aigua de l'acumulador pel costat secundari del bescanviador de calor s'estableix en 1.600 litres/hora, igual al cabal del circuit primari de captació solar. Les canonades seran de coure sanitari DN28, amb 25 mm d'aïllament.

Figura 3.9
 Sala de màquines: esquema del circuit hidràulic del subsistema d'intercanvi i acumulació.



8.5. Bomba de circulació del circuit secundari

L'elecció de la bomba de recirculació de l'aigua de l'acumulador col·lectiu pel bescanviador de calor de plaques es farà a partir del cabal (1.600 litres/h) i la pèrdua de càrrega del circuit.

La pèrdua de càrrega principal és la del bescanviador de calor de plaques (costat secundari). Aquest valor el proporciona el subministrador del bescanviador i en aquest cas pràctic se suposa que és d'1,4 m.c.a.

Taula 3.4
 Pèrdues de càrrega en les canonades del circuit secundari

Tram	Q (l/h)	DN (mm)	Diàmetre (mm)	V (m/s)	Pd _{cunit} (mmca/m)	L (m)	Singularitats	L _{sing} (m)	L _{total} (m)	Pdc (mca)
sec	1600	28	26	0,838	29,1	12,0	12 corbes 90°	7,20	19,20	0,56

Pdc TOTAL (mca) = 0,56

Q	Cabal de fluid que circula per cada tram, en litres/h
DN	Diàmetre nominal de la canonada, en mm
D	Diàmetre interior de la canonada, en mm
v	velocitat de circulació del fluid per cada tram $v(m/s)=0,354 \cdot Q/D^2$
Pdc_{unit}	Pèrdua de càrrega per metre lineal de canonada $Pdcunit(mm.c.a./m)=378 \cdot Q^{1,75}/D^{4,75}$
L	Longitud del tram de canonada, en m
L_{sing}	Longitud equivalent de les singularitats del tram, en m
L_{total}	Longitud total a considerar, en m $L_{total} = L + L_{sing}$
Pdc	Pèrdua de càrrega del tram, en m $Pdc(m.c.a.)=Pdc_{unit} \times L_{total} \times 10^{-3}$

Per tant, la pèrdua de càrrega resultant en les canonades és d'aproximadament 0,56 m.c.a.
La pèrdua de càrrega total és, per tant, de (1,4 + 0,56) m.c.a.=1,96 m.c.a
Per tant, la bomba de circulació del circuit secundari serà tal que el següent punt forme part de la seua corba característica:

$$H = 1,96 \text{ m.c.a.}$$

$$Q = 1.600 \text{ litres/h}$$

8.6. Acumulació individual

Per a l'acumulació individual, en aquest cas s'han triat 24 dipòsits interacumuladors (un per a cada habitatge), amb les següents característiques:

- Capacitat 50 litres
- Instal·lació mural vertical
- Dimensions aproximades $H = 0,83 \text{ m}$; $\phi = 0,38 \text{ m}$
- Bescanviador intern, de serpentí
- Superfície d'intercanvi $0,32 \text{ m}^2$
- Volum de fluid en el serpentí 1,55 litres

La superfície d'intercanvi de $0,32 \text{ m}^2$ que presenten els interacumuladors escollits és més que suficient per a complir la recomanació del CTE que es dimensiona amb un mínim de $0,15 \text{ m}^2_{intercanvi} / \text{m}^2_{captació solar}$:

$$0,32 \text{ m}^2 \cdot 24 \text{ interacumuladors} = 7,68 \text{ m}^2_{intercanvi} \text{ total en l'edifici}$$

$$7,68 \text{ m}^2_{intercanvi} / 32 \text{ m}^2_{captadors} = 0,24 \text{ m}^2_{intercanvi} / \text{m}^2_{captador solar}$$

El bescanviador de calor de cada acumulador estarà connectat a un circuit d'escalfament procedent de l'acumulador centralitzat de 1.500 litres situat a l'interior de la sala de màquines en la coberta de l'edifici.

8.7. Canonades del circuit de distribució

El circuit de distribució és el circuit hidràulic entre l'acumulador centralitzat i els

interacumuladors individuals. Les canonades d'aquest circuit seran també de coure sanitari, degudament aïllades.

Per a la determinació del cabal del circuit de distribució cal tenir en compte les recomanacions del fabricant dels interacumuladors. En aquest exemple, s'ha triat un cabal de 200 litres/h per acumulador, és a dir, un cabal de 4.800 litres/h (=200 litres/h · 24 interacumuladors).

Donada la disposició dels habitatges en l'edifici, es faran dos baixants verticals, cadascun dels quals es connectarà a 12 habitatges (dos per planta i baixant). Per cada baixant es vehicularan 2.400 l/h.

El diàmetre de les canonades es determinarà a partir del cabal que ha de circular per cada tram. Així, es determinen els següents diàmetres:

Canonades de servei a 1 interacumulador: DN15 amb 200 l/h

Canonades de servei a 2 interacumuladors: DN18 amb 400 l/h

Canonades de servei a 4 interacumuladors: DN22 amb 800 l/h

Canonades de servei a 6 interacumuladors: DN28 amb 1.200 l/h

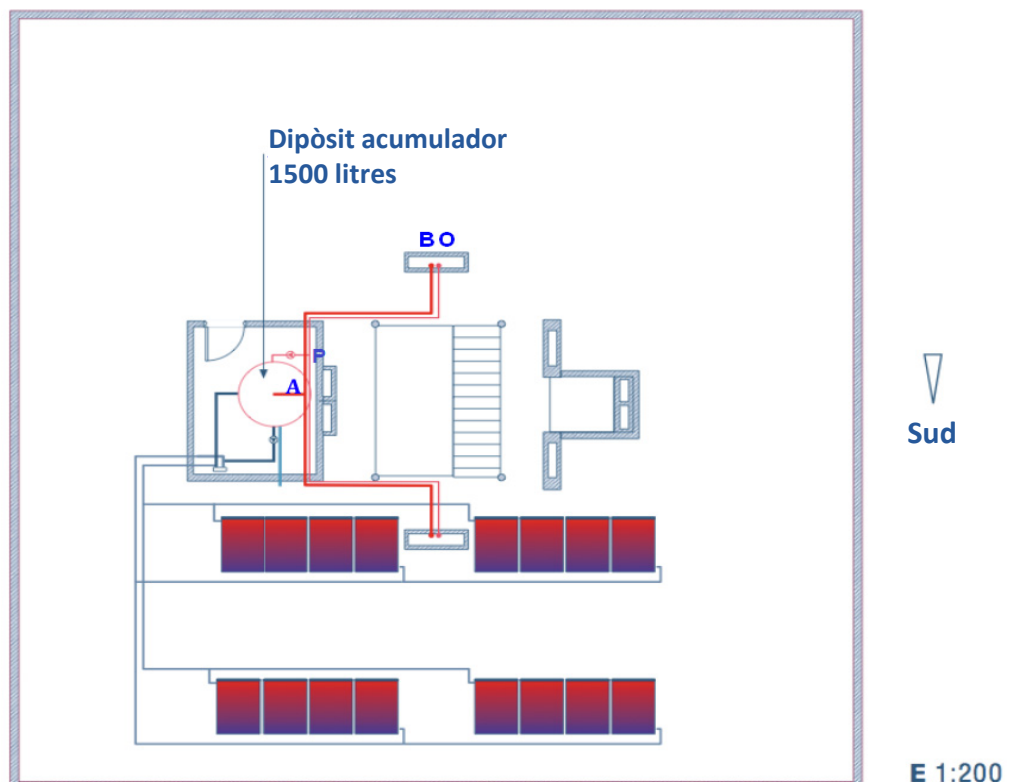
Canonades de servei a 8 interacumuladors: DN28 amb 1.600 l/h

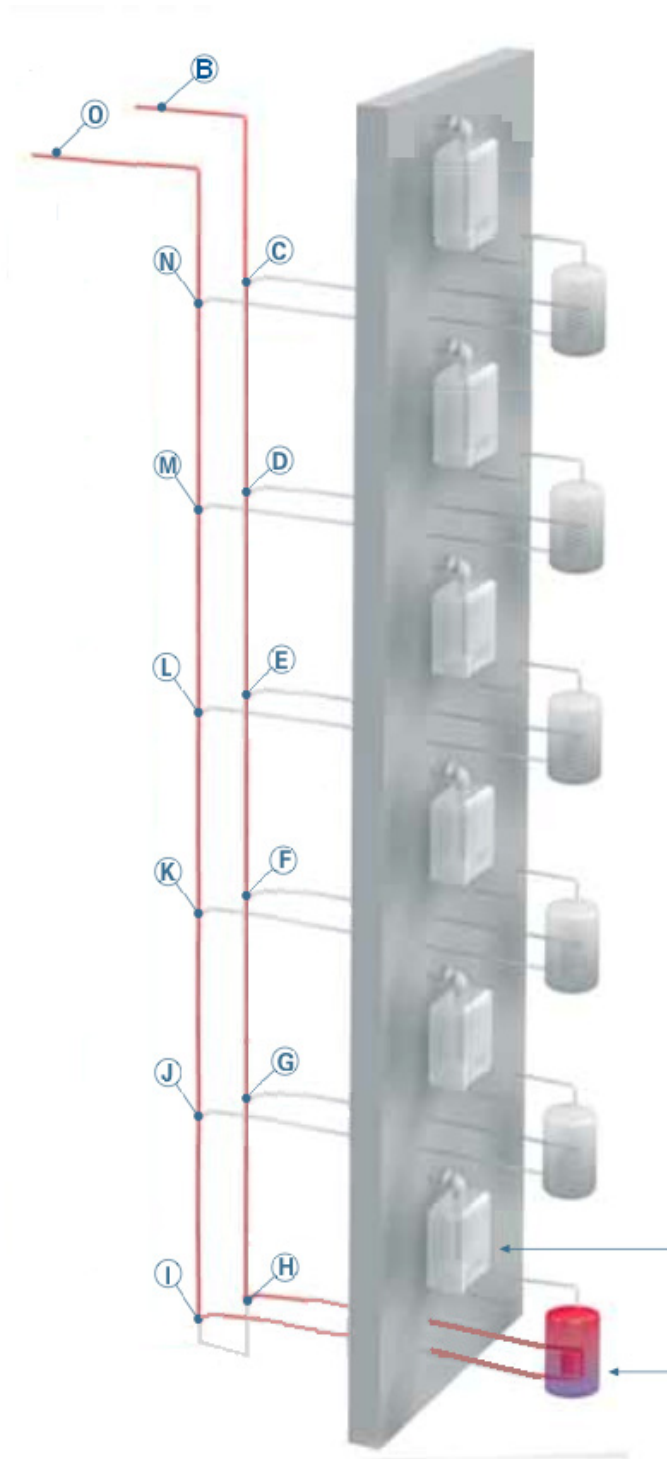
Canonades de servei a 10 interacumuladors: DN35 amb 2.000 l/h

Canonades de servei a 12 interacumuladors: DN35 amb 2.400 l/h

Figura 3.10

Càlcul de les pèrdues de càrrega en canonades del circuit de distribució. Tram en coberta de l'edifici.





Les canonades del circuit de distribució s'aïllaran amb escuma elastomèrica de cèl·lula tancada en conquilles de 25 mm.

8.8. Bomba de circulació del circuit de distribució

La bomba de circulació del circuit de distribució entre l'acumulador centralitzat i els interracumuladors individuals es triarà a partir de les pèrdues de càrrega del circuit i del cabal 4.800 litres/h. de distribució.

La metodologia del càlcul de la pèrdua de càrrega és la mateixa que en el cas de l'exercici de la instal·lació en edificació plurifamiliar amb acumulació individual, però tenint en compte que el circuit s'inicia en l'acumulador centralitzat.

Per al càlcul de la pèrdua de càrrega del circuit, dada necessària per a dimensionar la bomba de circulació, es considerarà el recorregut més desfavorable per al fluid i que s'indica en les figures anteriors amb el traç en color roig.



Les pèrdues de càrrega singulars s'estimen a partir de la taula proposada per Gas Natural, on s'indica la longitud equivalent de canonada recta per a cada singularitat.

A fi de no complicar excessivament l'esquema del baixant cap als interacumuladors individuals, en lloc de representar els 12 interacumuladors corresponents a un baixant, es representen únicament 6, però tenint en compte que en aquest baixant, en cada planta hi haurà una bifurcació cap a 2 interacumuladors.

Així, s'obté una pèrdua de càrrega per a les canonades $Pd_{\text{canonades}}$ d'1,78 m.c.a. En la taula següent es detalla el càlcul de la pèrdua de càrrega de les canonades del circuit de distribució.

Taula 3.5

Pèrdues de càrrega de les canonades del circuit de distribució

Tram	Q (l/h)	DN (mm)	Diàmetre (mm)	V (m/s)	Pd_{unit} (mmca/m)	L (m)	Singularitats	L_{sing} (m)	L_{total} (m)	Pd_{c} (mca)
AB	2400	35	33	0,78	22,9	8,5	4 corbes 90° - 1T 	7,46	15,96	0,365
BC	2400	35	33	0,78	22,9	0,5	1 corba 90°	0,84	1,34	0,031
CD	2000	35	33	0,65	16,6	2,8	1T	0,40	3,20	0,053
DE	1600	28	26	0,84	34,9	2,8	1T	0,30	3,10	0,108
EF	1200	28	26	0,63	21,1	2,8	1T	0,30	3,10	0,065
FG	800	22	20	0,71	36,1	2,8	1T	0,20	3,00	0,108
GH	400	18	16	0,55	31,0	2,8	1T	0,15	2,95	0,091
HI	200	15	13	0,42	24,7	4,0	6 corbes 90° - 1T 	3,65	7,65	0,189
IJ	400	18	16	0,55	31,0	2,8	1T	0,15	2,95	0,091
JK	800	22	20	0,71	36,1	2,8	1T	0,20	3,00	0,108
KL	1200	28	26	0,63	21,1	2,8	1T	0,30	3,10	0,065
LM	1600	28	26	0,84	34,9	2,8	1T	0,30	3,10	0,108
MN	2000	35	33	0,65	16,6	2,8	1T	0,40	3,20	0,053
NO	2400	35	33	0,78	22,9	0,5	1 corba 90°	0,84	1,34	0,031
OP	2400	35	33	0,78	22,9	8,5	4 corbes 90° - 1T- 1 vàlvula A/R	5,37	13,87	0,317

$Pd_{\text{c}} \text{ TOTAL (mca)} = 1,78$

Q Cabal de fluid que circula per cada tram, en litres/h

DN Diàmetre nominal de la canonada, en mm

D Diàmetre interior de la canonada, en mm

v velocitat de circulació del fluid per cada tram

$$v(\text{m/s})=0,354 \cdot Q/D^2$$

Pd_{unit} Pèrdua de càrrega per metre lineal de canonada

$$Pd_{\text{unit}}(\text{mm.c.a./m})=378 \cdot Q^{1,75} / D^{4,75}$$

L Longitud del tram de canonada, en m

L_{sing} Longitud equivalent de les singularitats del tram, en m

L_{total} Longitud total a considerar, en m

$$L_{\text{total}} = L + L_{\text{sing}}$$

Pd_{c} Pèrdua de càrrega del tram, en m

$$Pd_{\text{c}}(\text{m.c.a.})=Pd_{\text{unit}} \times L_{\text{total}} \times 10^{-3}$$

La pèrdua de càrrega en el bescanviador $Pd_{\text{bescanviador}}$ de l'interacumulador individual facilitada pel fabricant de l'equip, és de 0,5 m.c.a.

Tenint en compte totes les pèrdues de càrrega, s'obté com a resultat una pèrdua de càrrega total d'aproximadament 2,28 m.c.a. (1,78 + 0,5 m.c.a.).

La selecció de la bomba del circuit es farà de manera que la seua corba característica continga aproximadament el punt de treball definit per una altura manomètrica igual a la pèrdua de càrrega del circuit $H = 2,28$ m.c.a. i un cabal Q igual a 4.800 litres/h.

8.9. Vas d'expansió dels circuits secundari i de distribució

El circuit hidràulic entre l'acumulador centralitzat i els interacumuladors individuals conjuntament amb el circuit secundari (vegeu fig. 3.4) constitueix un circuit hidràulic tancat que ha de disposar d'un vas d'expansió per a absorbir les dilatacions del fluid que en aquest cas és aigua sense additius.

Per al dimensionament del vas d'expansió hem de tenir en compte tots els elements d'aquest circuit tancat, que són: el circuit hidràulic de secundari, l'acumulador centralitzat, el circuit hidràulic de distribució i el volum ocupat en els serpentins dels bescanviadors dels interacumuladors. El volum de fluid en el costat secundari del bescanviador solar es considera negligible.

En el circuit de secundari tenim (anada i tornada) 12 m de canonada DN28 (de 26 mm de diàmetre intern), la qual cosa suposa un volum de 6,4 litres.

Per al càlcul del volum en el circuit de distribució, és important tenir en compte que cal considerar el volum de fluid caloportador (aigua) allotjat en tot el circuit i no únicament en el recorregut més desfavorable com s'ha considerat per al càlcul de la pèrdua de càrrega.

Tenint en compte que hi ha dos baixants idèntics i que cada un serveix a 12 interacumuladors, s'obtidria el següent volum per a les canonades:

Taula 3.6
Volum de fluid en
canonades del circuit
de distribució

DN (mm)	Diàmetre (mm)	L (m)	Capacitat (l/m)	Contingut total (l)
15	13	96,0	0,133	12,7
18	16	11,2	0,201	2,3
22	20	11,2	0,314	3,5
28	26	22,4	0,531	11,9
35	33	47,2	0,855	40,4
TOTAL				70,8

El contingut total de líquid en les canonades del circuit de distribució és d'aproximadament 71 litres.

Per al càlcul del contingut total de líquid del circuit tancat cal sumar a aquest valor el corresponent a les canonades de secundari (6,4 litres corresponents a 12 m de canonada DN28), el de l'acumulador principal (1500 l) i el dels serpentins dels 24 interacumuladors (37,2 litres si es considera que el serpentí de cada interacumulador allotja uns 1,55 litres), sent el contingut total de 1614,4 litres.

El **volum mínim o de reserva (V_{\min})** s'agafa un 3% del volum total de la instal·lació amb un mínim de 3 litres.

$$3\% \times 1614,4 \text{ litres} = 48,43 \text{ litres}$$

El **volum de vaporització (V_{vap})** no es considera perquè no es tracta del circuit primari solar.

El fluid caloportador és aigua sense additius. Si es fa ús de les expressions indicades en la norma UNE 100-155 per al seu càlcul el valor del **coeficient d'expansió (C_e)** de l'aigua resulta ser de 0,04. El **volum de dilatació (V_{dil})** valdrà:

$$V_{\text{dil}} = V \times C_e = 64,6 \text{ litres}$$

Per al valor de la pressió P_{\max} s'agafa com a referència la pressió de taratge de la vàlvula de

seguretat, que s'estableix en 3 kg/cm² en aquest cas pràctic. Aquest valor suposa una pressió absoluta P_{max}= 3,7 kg/cm² (sumant-li 1 kg/cm² de pressió atmosfèrica a la pressió de taratge de la vàlvula de seguretat i restant-li 0,3 kg/cm²).

Com a valor de P_{min} s'agafa 1,5 kg/cm², suposant que la pressió d'ompliment és de 0,5 kg/cm².

El volum total del vas d'expansió valdrà:

$$V_t = (V_{\min} + V \cdot C_e + V_{\text{vap}}) \cdot C_p$$

$$V_t = (48,43 + 64,6 + 0) \cdot \frac{3,7}{3,7 - 1,5} = 190,1 \text{ l}$$

En funció del fabricant podem trobar els següents valors comercials: 5, 8, 12, 18, 24, 25, 35, 50, 60, 80, 100, 150, 200, 220, 300, 350, 500, 700 i 750 litres. En la pràctica, s'instal·larà un vas d'expansió d'una grandària comercial de 200 litres.

El vas d'expansió s'instal·larà sense vàlvula de tall, de manera que no existisca la possibilitat d'aïllar-lo accidentalment del circuit al qual protegeix.

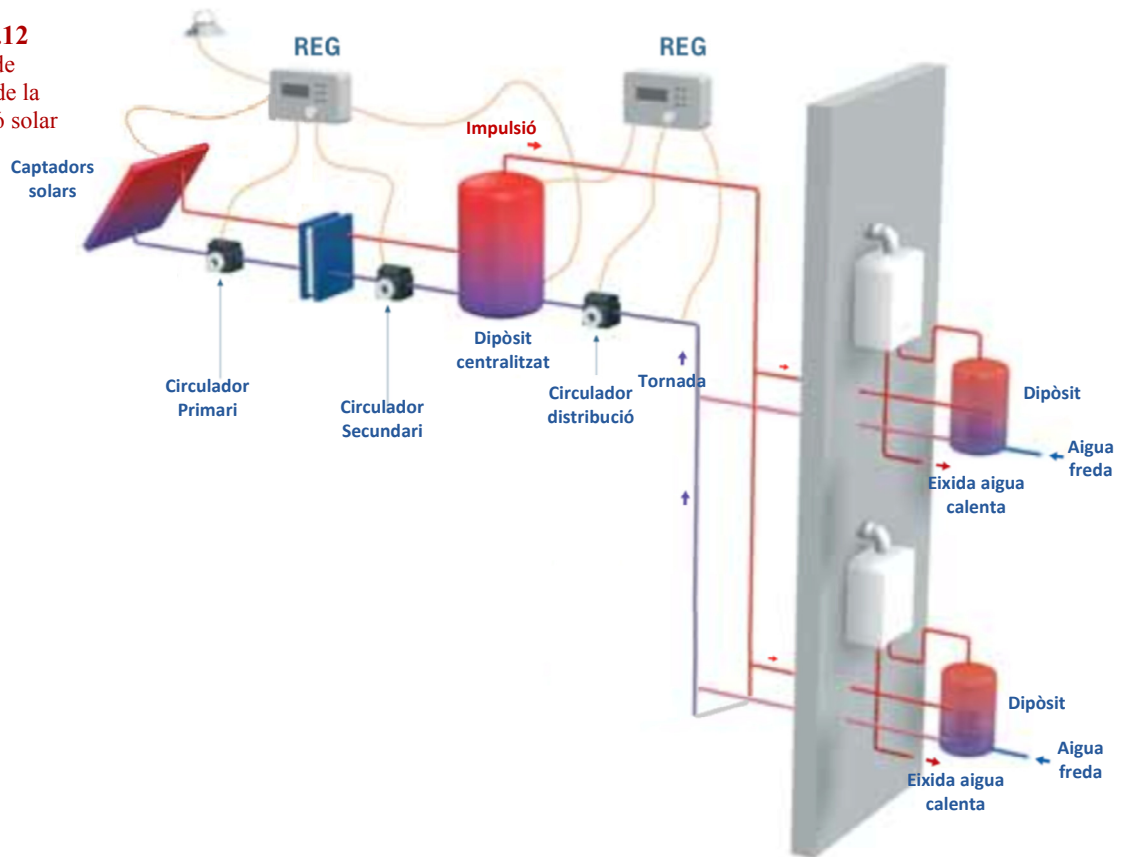
9. Subsistema de suport

L'eixida de l'aigua calenta de cada interacumulador individual es conduirà a una caldera mural de suport, que es triarà de la mateixa manera que en els exercicis precedents.

10. Regulació

La bomba de circulació del circuit primari de captació solar es regularà mitjançant una sonda d'insolació, col·locada en una zona assolellada, amb la mateixa orientació i inclinació que els captadors. La regulació de l'engegada i parada d'aquesta bomba s'efectuarà de forma similar a la bomba de circuit primari del cas de configuració en edificació plurifamiliar amb acumulació solar centralitzada.

Figura 3.12
Esquema de regulació de la instal·lació solar



L'engegada i la parada de la bomba de recirculació de l'aigua de l'acumulador col·lectiu pel bescanviador de calor de plaques (bomba de secundari) es controlarà mitjançant un termòstat diferencial, amb la sonda calenta situada a l'eixida de captadors i la sonda freda en la part inferior de l'acumulador. L'engegada de la bomba es produirà quan la diferència de temperatures siga superior a uns 6 °C i es detindrà quan aquesta diferència siga inferior a 2 °C.

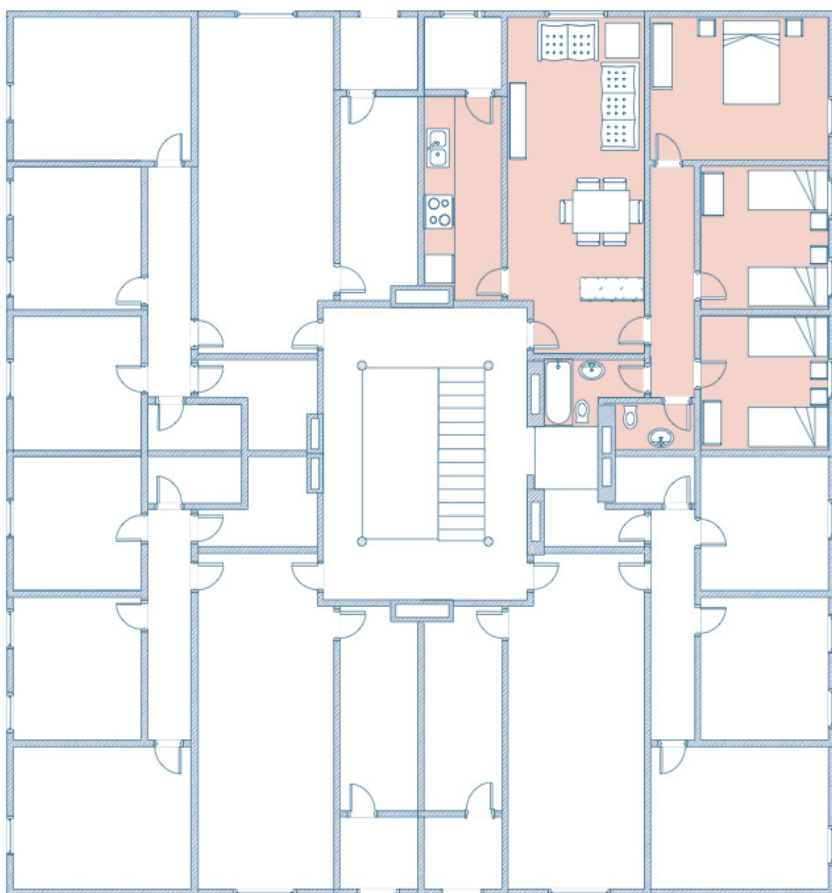
Finalment, la bomba del circuit d'unió de l'acumulador col·lectiu amb els interacumuladors individuals (bomba de distribució) es regularà mitjançant un altre termòstat diferencial, en aquesta ocasió amb la sonda calenta situada en la part superior de l'acumulador centralitzat i la sonda freda instal·lada en la canalització de tornada dels interacumuladors. Els salts tèrmics per a l'engegada i la detenció del circulator seran els mateixos que els indicats anteriorment (6 °C i 2 °C).

Exercici 1: Instal·lació en edificació plurifamiliar amb acumulació solar centralitzada



Característiques de l'edifici(I)

- 24 habitatges repartits en 6 plantes (4 habitatges per planta) a Barcelona



Tots els habitatges són iguals i consten de:

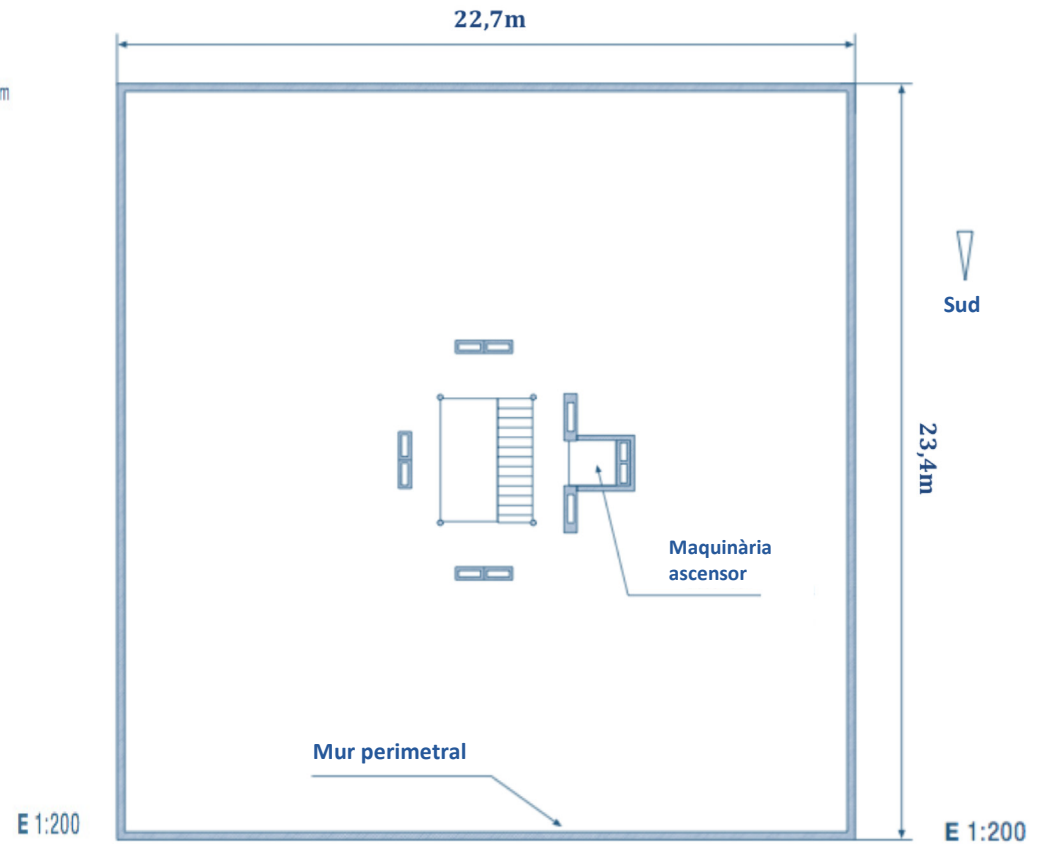
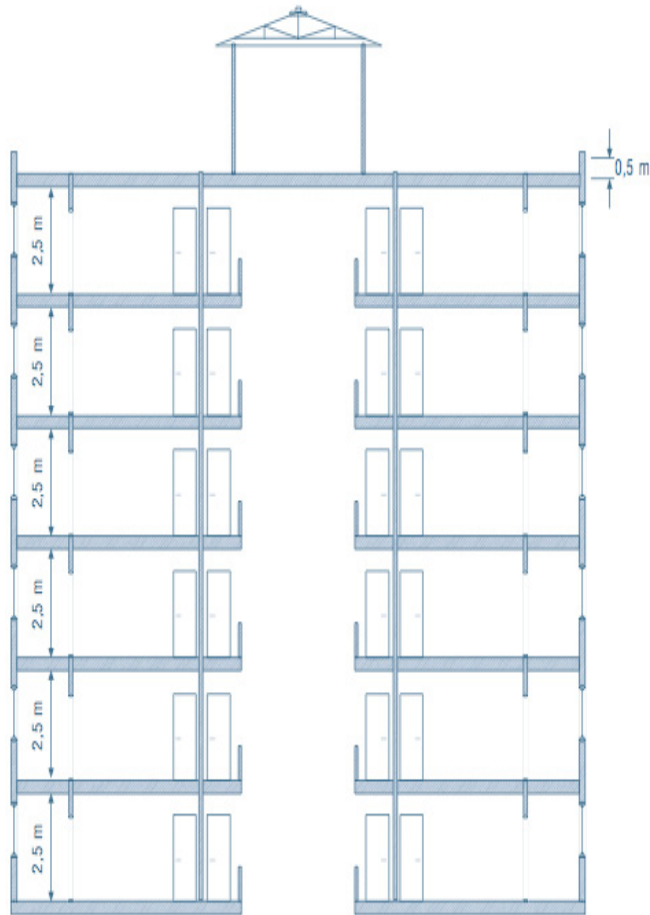
- Saló menjador
- Tres habitacions dobles
- Cuina
- Bany complet amb banyera
- Lavabo sense dutxa



E 1:200

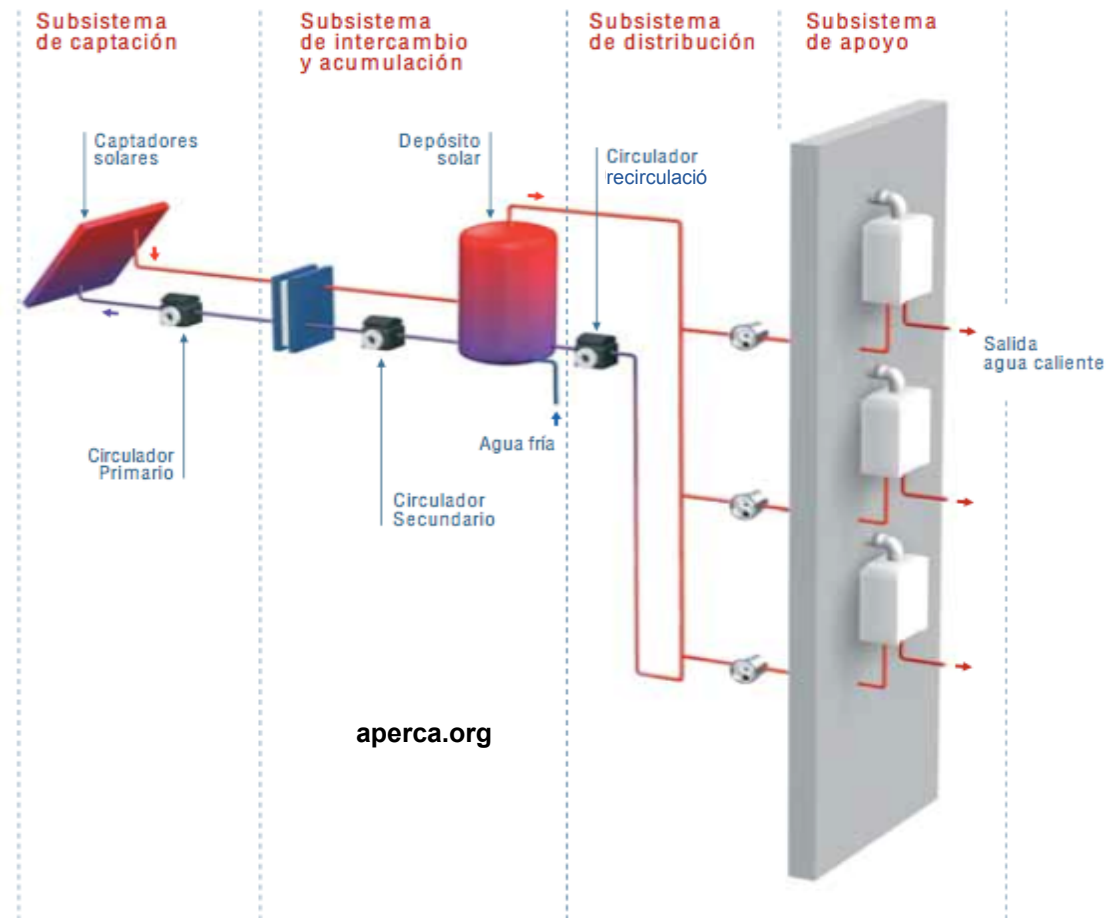
Característiques de l'edifici(II)

Secció de l'edifici de referència



Instal·lació en edificació plurifamiliar amb acumulació solar centralitzada

Esquema de principi
d'una instal·lació en
edificació
plurifamiliar amb
acumulació solar
centralitzada



Demanda energètica

$$Q_{ACS,mes} = C_{dia} \cdot N \cdot C_e \cdot \rho \cdot (T_{ACS} - T_{AF})$$

□ sent:

- $Q_{ACS,mes}$: Demanda energètica en kWh/mes
- C_{dia} : Consum diari d'aigua calenta sanitària a la temperatura de referència T_{ACS} , en litres/dia
- N : Nombre de dies del mes considerat (dies/mes)
- C_e : Calor específica, per a l'aigua $4,187 \cdot 10^{-3}$ MJ/ kg°C = $1,16 \cdot 10^{-3}$ kWh/kg°C
- ρ : Densitat, per a l'aigua 1 kg/litre
- T_{ACS} : Temperatura de referència utilitzada per a la quantificació del consum d'aigua calenta, en °C
- T_{AF} : Temperatura de l'aigua freda de xarxa, en °C

□ Segons Ordenança Aj. Barcelona:

- 22 litres d'aigua a 60°C per persona i dia
- 4 persones per habitatge (3 dormitoris)

Demanda energètica

A una temperatura diferent de 60º

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

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

- D(T): Consum d'aigua calenta sanitària anual a la temperatura T de disseny (litres)
- D_i(T): Consum d'aigua calenta sanitària durant el mes i a la temperatura T de disseny (litres/mes)
- D_i(60ºC): Consum d'aigua calenta sanitària durant el mes i a la temperatura de 60ºC (litres/mes)
- T: Temp. de disseny de l'acumulador final (ºC), en aquest cas 45ºC
- T_i: Temp. mitjana d'entrada d'aigua freda durant el mes i (ºC)

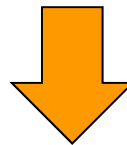
MES	Dies del mes considerat	Consum (l/dia) a 60ºC	Consum (l/mes) a 60ºC	Consum (l/mes) a 45ºC	Font: Ord.MediAmbient	Estimació de la demanda mensual	
					Txarxa	kWh/mes	MJ/mes
Gener	31	2112	65472	93750	10,27	3777	13633
Febrer	28	2112	59136	85012	10,72	3380	12202
Març	31	2112	65472	95588	12,39	3616	13051
Abril	30	2112	63360	94167	14,15	3370	12163
Maig	31	2112	65472	100089	16,63	3294	11889
Juny	30	2112	63360	100471	19,39	2985	10773
Juliol	31	2112	65472	106239	20,91	2969	10716
Agost	31	2112	65472	109004	22,44	2853	10296
Setembre	30	2112	63360	103854	21,53	2827	10206
Octubre	31	2112	65472	103346	19,07	3109	11220
Novembre	30	2112	63360	94987	14,95	3311	11951
Desembre	31	2112	65472	94964	11,7	3668	13241
TOTALS						39158	141341

Elecció de la fracció solar

$$FS = \frac{Q_s}{Q_{ACS}} (\%)$$

Q_s : Demanda d'ACS coberta mitjançant la instal·lació solar
 Q_{ACS} : Demanda tèrmica total d'ACS.

- 30% mínim CTE (zona climàtica II)
- 60% mínim Ordenança Aj. Barcelona



23.495 kWh/any

Elecció de superfície de captadors i volum acumulació

- Necessitat d'utilitzar les dades de radiació mitjana diària (Exemple: www.icaen.net)
- Captadors solars orientats al sud amb inclinació 45°.
- F-Chart, permet determinar la superfície total de captació i el volum total d'acumulació
 - Superfície total de captació 40 m²
 - Volum total d'acumulació 3000 litres
 - Que compleix: $50 < \frac{V}{A} < 100$ (interval recomanat)
 - Fracció solar 62,3% > 60%

Característiques captador

- La corba de rendiment energètic del captador solar triat és la següent:

$$\eta = 0,73 - 6,8 \cdot (T_f - T_{AMB})/I$$

- Dimensions:
 - Alçària 2,0 m / Amplària 1,0 m
 - Superfície 2,0 m²
 - Capacitat 1,3 litres
 - Pèrdua de càrrega 30 m.m.c.a. per a un cabal de 100 l/h
- 40 m²: 4 grups de 5 captadors en paral·lel cadascun

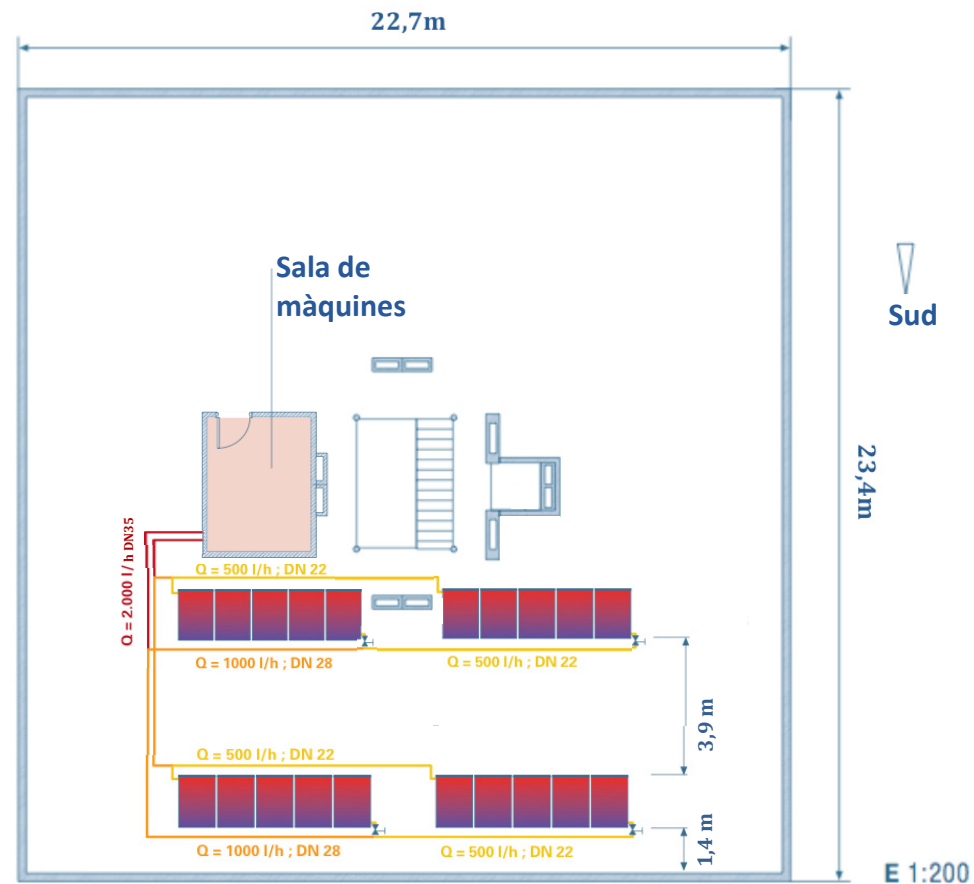
Instal·lació captadors

- **Orientat al sud amb inclinació de 45°:**
 - És aproximadament la latitud de l'emplaçament (major aprofitament de l'energia solar).
- Els captadors **s'instal·laran sobre estructures d'acer galvanitzat**, subministrades pel mateix fabricant dels captadors solars, amb una inclinació de 45° respecte a l'horitzontal. Els caragols necessaris per a subjecció dels captadors a l'estructura seran d'acer inoxidable.
- **Per a la fixació** de les estructures metàl·liques es farà en cada grup de captadors **una bancada de formigó amb les dimensions** aproximadament iguals a les de la **projecció vertical** de la bancada (1,5 m x 5,5 m) i una alçària de 8 -10 cm.

Instal·lació captadors

□ Paral·lel / paral·lel

Distribució dels captadors i les canonades del circuit primari i ubicació de la sala de màquines

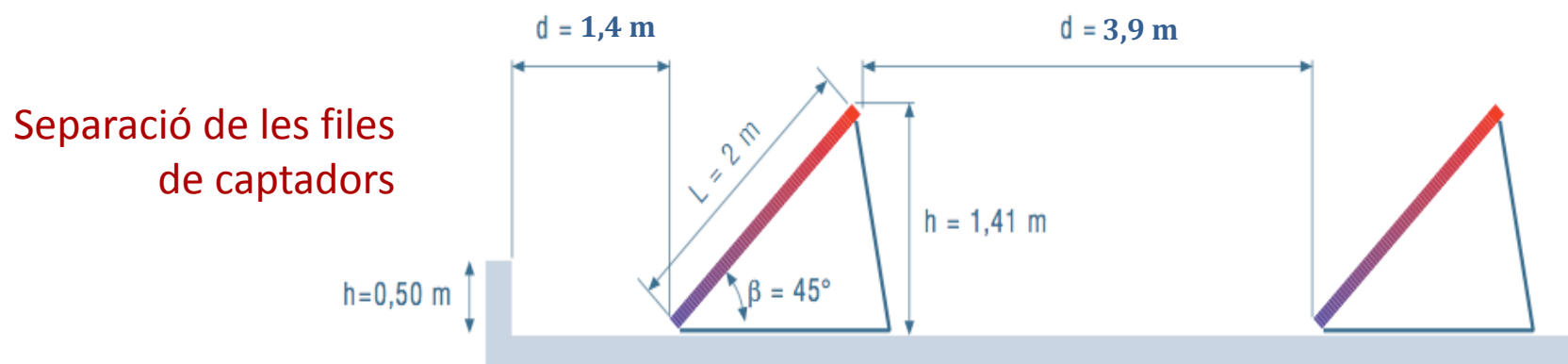


Instal·lació captadors

- Els 4 grups de captadors se situaran en la coberta de l'edifici en dues files de dos grups cadascun.
 - La primera fila haurà de separar-se prou de la façana sud de l'edifici, a fi d'evitar la projecció d'ombres del petit mur de protecció.
-
- Segons el CTE:
 - $d = h \cdot k$, sent h l'alçada del mur i $k = 1/\tan(61^\circ - \text{latitud})$
 - Latitud de Barcelona $41^\circ \rightarrow k = 2,75$
 - Alçària del mur: $0,5 \text{ m} \rightarrow d = 1,37 \text{ m} \rightarrow$ fixem $1,4 \text{ m}$

 - Separació de la segona fila respecte a la primera
 - h és l'alçada del primer grup de captadors, tenint en compte $L = 2 \text{ m}$:
 - $h = L \cdot \text{sen } \beta = 2 \cdot \text{sen } 45^\circ = 1,41 \text{ m}$
 - $d = h \cdot k = 1,41 \cdot 2,75 = 3,9 \text{ m}$

Instal·lació captadors

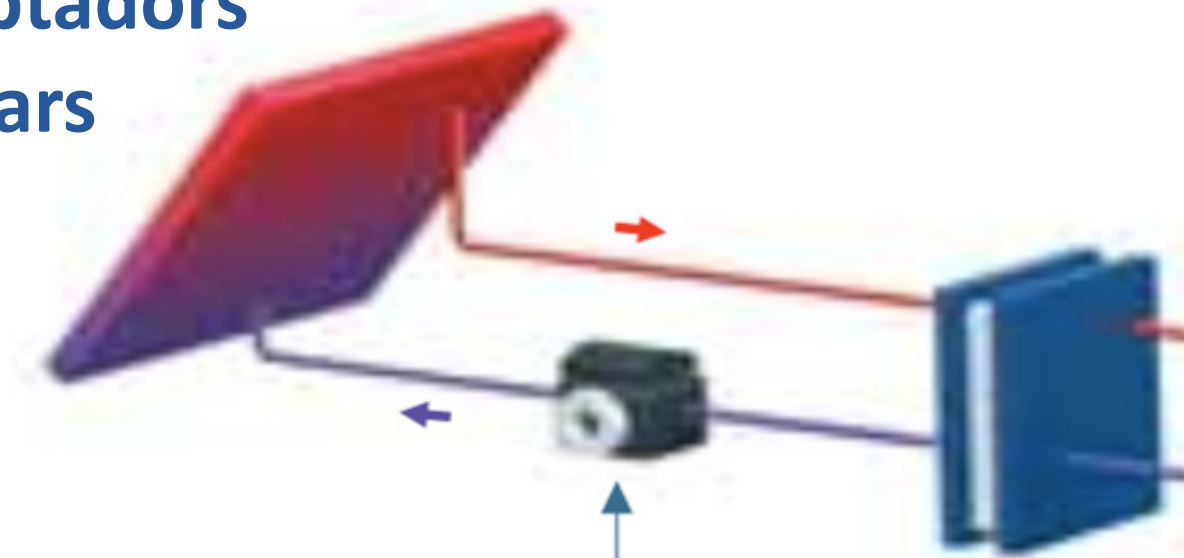


□ Connexió paral·lel / paral·lel

- A l'entrada de cada grup s'instal·larà una **vàlvula d'equilibrament** hidràulic per a garantir un repartiment homogeni del cabal del circuit primari pels 4 grups.
- En la part superior de cada grup, a l'eixida, s'instal·larà un purgador automàtic de boia per a permetre l'eixida de l'aire dels captadors.
- A més, s'instal·larà una **vàlvula d'esfera a l'eixida** per a poder aïllar cada grup de les canonades del circuit primari i poder dur a terme eventuais operacions de manteniment o reparació sense necessitat de buidar la resta de la instal·lació.

Circuit primari solar

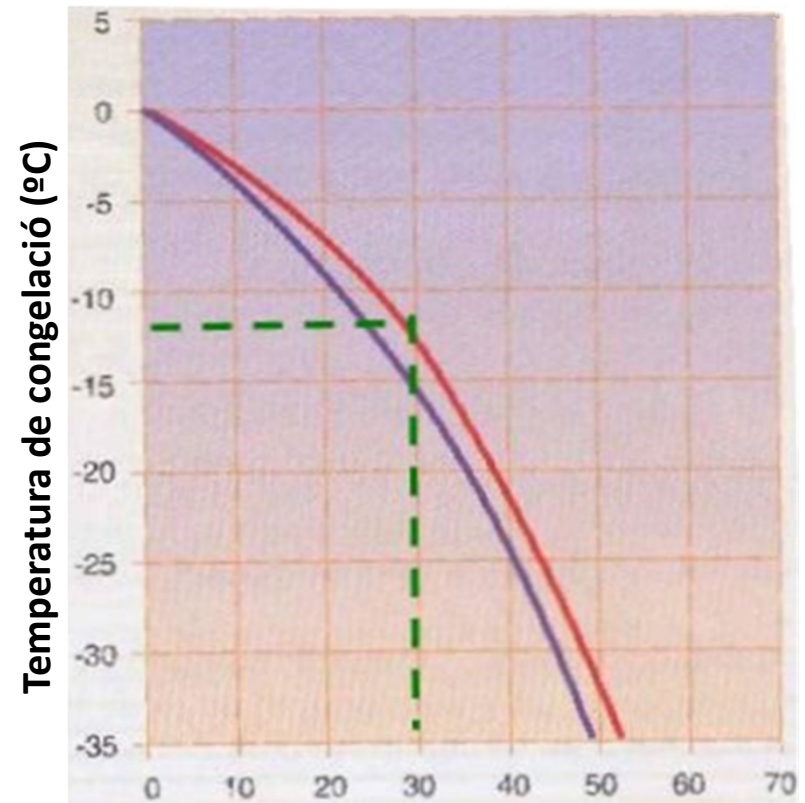
**Captadors
solars**



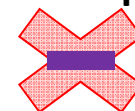
**Circulador
Primari**

Fluid caloportador

- La temperatura mínima històrica a Barcelona és de -7° , no obstant la normativa RITE obliga que el sistema pugui suportar 5° per sota d'aquesta temperatura mínima històrica és a dir -12° .
- Per a això, necessitem una proporció d'aproximadament el 30% de propilenglicol segons la gràfica per a evitar la congelació del fluid a l'hivern a la ciutat de Barcelona.



Percentatge de glicol en pes (%)

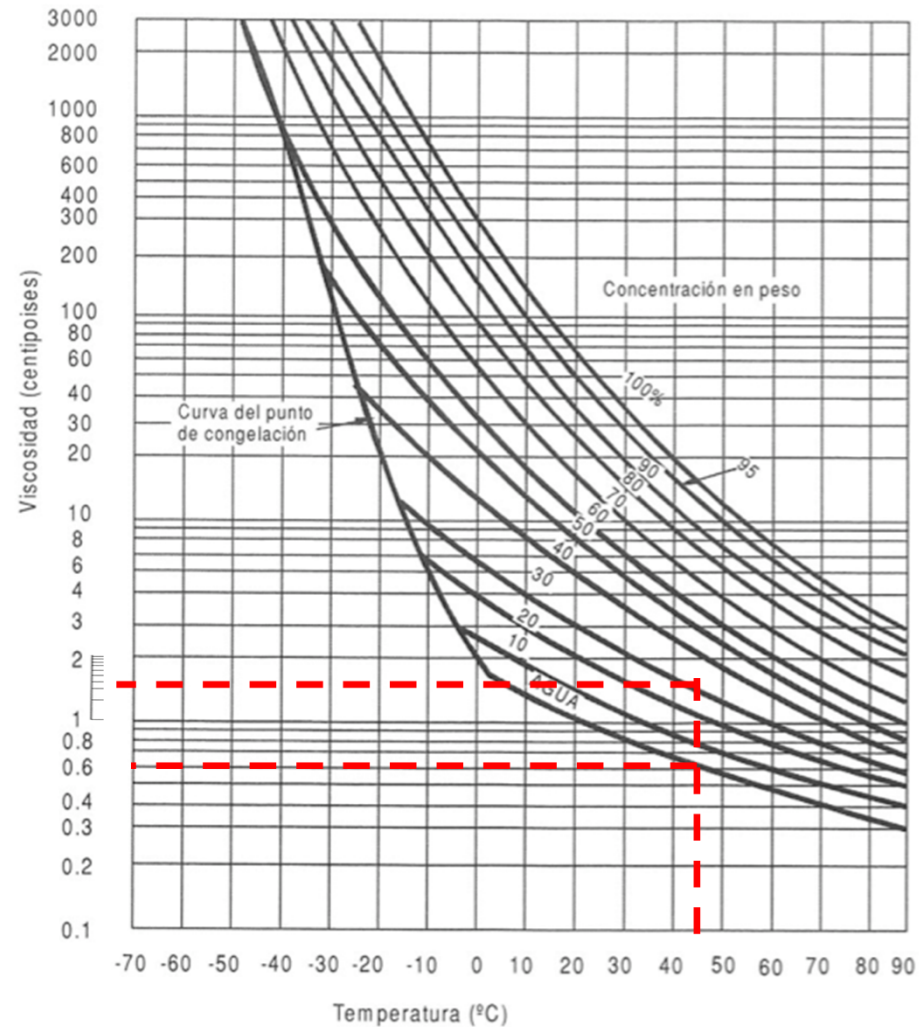


Etilenglicol

Propilenglicol

Fluid caloportador. Canvi de viscositat

- En aquesta proporció la viscositat per a una temperatura de 45°C és d'1,25 centipoises (la de l'aigua a 45°C és de 0,6 cp).



Viscositat d'una dissolució de propilenglicol, en funció de la temperatura. La unitat de viscositat en el Sistema Internacional és el pascal/segon, que equival a 1000 centipoises.

Cabal del circuit primari


Selecció del cabal:

- El CTE indica que, en cas de no ser especificat pel fabricant, s'ha de **seleccionar un cabal** de disseny comprès entre **1,2 i 2 litres/s per cada 100 m² de superfície de captadors** (entre 43,2 i 72 litres/h·m²).
- Sol escollir-se un valor d'**1,4 litres/s per cada 100 m²**, és a dir **50 litres/h·m²**.
- Per a aquest cas, amb una superfície de captació solar de 40 m², el cabal del circuit primari s'estableix en

2.000 litres/h

Canonades del circuit primari

- Es faran amb canonada de coure.
- Selecció diàmetre de les canonades:
 - 1) La pèrdua de càrrega per metre lineal de tub no supere els 40 m.m.ca
 - 2) La velocitat de circulació del líquid siga superior a 0,3 m/s i inferior a 2 m/s
- El diàmetre es determina a partir del cabal que ha de circular per cada tram i tenint en compte el fluid caloportador seleccionat:



Diàmetre nominal (mm)	Gruix de paret (mm)	Diàmetre interior (mm)	Cabal (litres/h)
15	1,0	13,0	fins a 290
18	1,0	16,0	fins a 500
22	1,0	20,0	fins a 950
28	1,0	26,0	fins a 1900
35	1,0	33,0	fins a 3600
42	1,0	40,0	fins a 6200
54	1,2	51,6	fins a 12000

Canonades del circuit primari

- En canonades de parets llises (com les de coure) per les quals circula aigua calenta sense additius:

$$\text{Pèrdua de càrrega (mmca / m)} = 378 \cdot \frac{\text{Cabal [l / h]}^{1,75}}{\text{Diàmetre interior [mm]}^{4,75}}$$

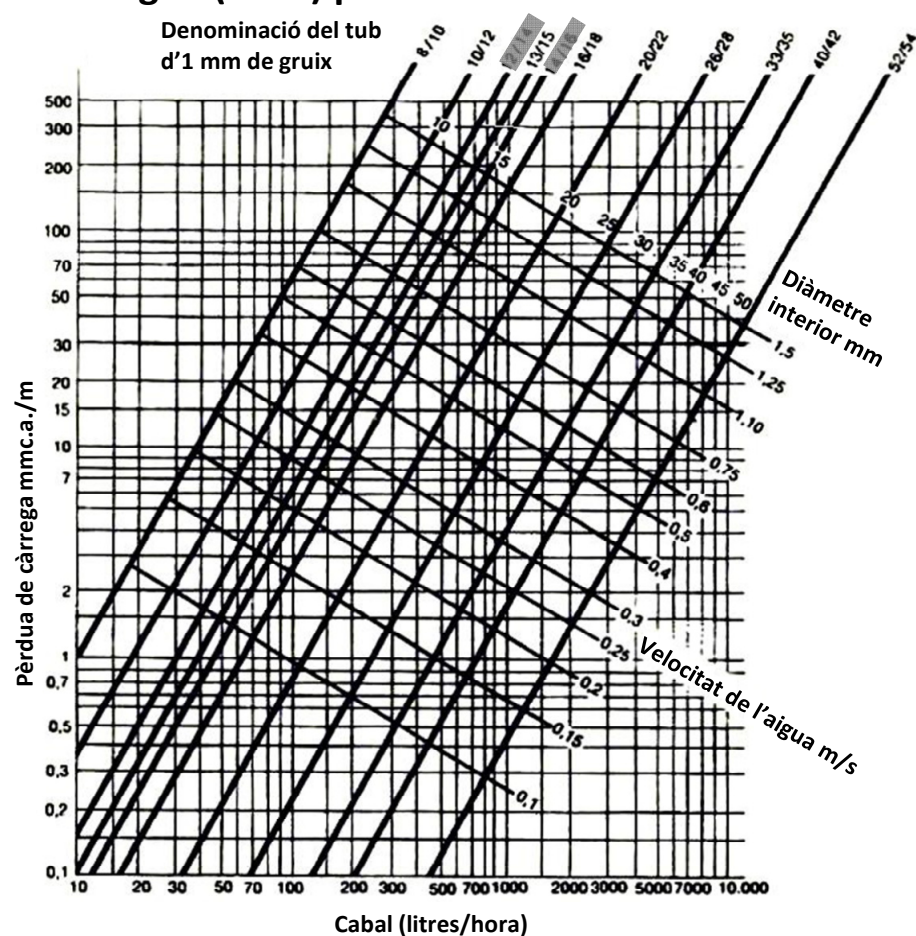
- Per a un diàmetre de canonada i un cabal donats

$$v \text{ (m / s)} = \frac{\text{Cabal [m}^3 \text{ / s]}}{\pi \cdot (\text{Diàmetre interior [m]}^2 / 4)} = 0,354 \cdot \frac{\text{Cabal [l / h]}}{\text{Diàmetre interior [mm]}^2}$$

Canonades del circuit primari

- De manera equivalent tant la pèrdua de càrrega com la velocitat poden obtenir-se gràficament:

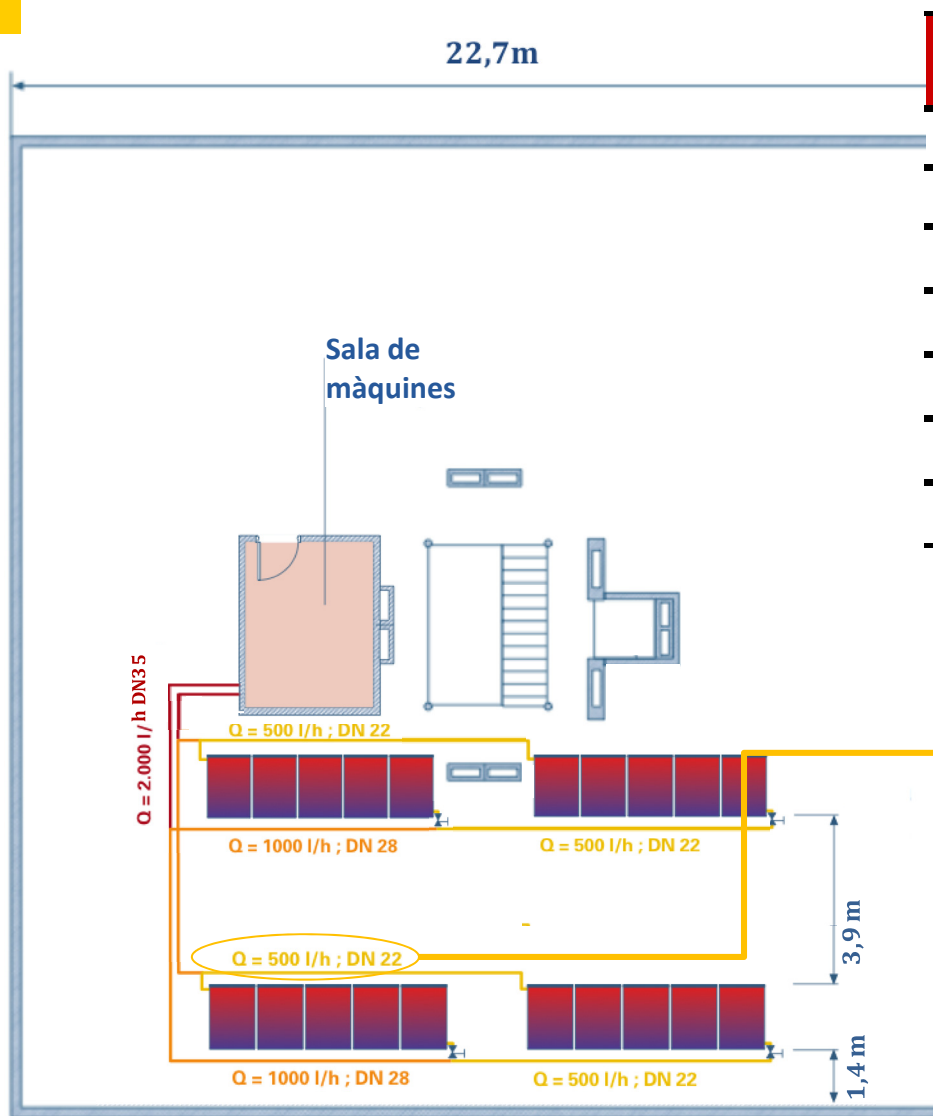
Pèrdues de càrrega en funció del cabal d'aigua (45°C) per a canonades de coure.



- Com que el fluid utilitzat és diferent de l'aigua, la pèrdua de càrrega s'ha d'incrementar en un factor igual a l'arrel quarta del quocient entre la viscositat de la dissolució i la de l'aigua a la temperatura considerada, en el nostre cas 45°C.

$$\sqrt[4]{\frac{1,25cp}{0,6cp}} = 1,2$$

Canonades del circuit primari



Diàmetre nominal (mm)	Gruix de paret (mm)	Diàmetre interior (mm)	Cabal (litres/h)
15	1,0	13,0	fins a 290
18	1,0	16,0	fins a 500
22	1,0	20,0	fins a 950
28	1,0	26,0	fins a 1900
35	1,0	33,0	fins a 3600
42	1,0	40,0	fins a 6200
54	1,2	51,6	fins a 12000

Està en el límit i, a més, aquesta taula és sense additius. En el nostre cas (additius) → s'agafa de 22 mm.

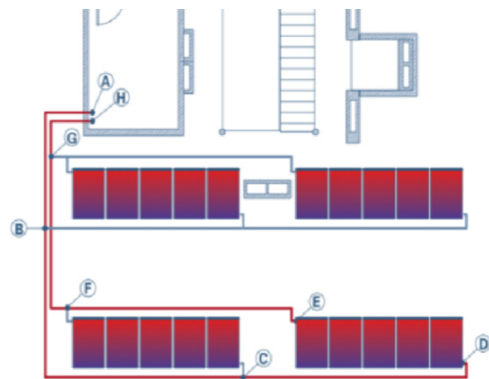
Canonades del circuit primari – trajectòria de major recorregut

Pèrdues de càrrega de les canonades del circuit primari

Tram	Q (l/h)	DN (mm)	Diàmetre (mm)	V (m/s)	Pdc _{unit} (mmca/m)	L (m)	Singularitats	L _{sing} (m)	L _{total} (m)	Pdc (mca)
AB	2000	35	33	0,650	16,6	5,5	3 corbes 90° 1 vàlvula A/R	4,13	9,63	0,160
BC	1000	28	26	0,524	15,3	11,5	1 corba 90° 1T	0,90	12,40	0,190
CD	500	22	20	0,443	15,9	7,5	3 corbes 90° 1T	1,55	9,05	0,144
EF	500	22	20	0,443	15,9	8,0	3 corbes 90° 1 corba 90°	1,35	9,35	0,148
FG	1000	28	26	0,524	15,3	5,5	1T	0,90	6,40	0,098
GH	2000	35	33	0,650	16,6	3,5	3 corbes 90° 1T	2,92	6,42	0,107

Pdc TOTAL (mca) = 0,85

Per al dimensionament de la bomba → Es consideren els camins més llargs



Q Cabal de fluid que circula per cada tram, en litres/h

DN Diàmetre nominal de la canonada, en mm

D Diàmetre interior de la canonada, en mm

v velocitat de circulació del fluid per cada tram

$$v(\text{m/s}) = 0,354 \cdot Q/D^2$$

Pdc_{unit} Pèrdua de càrrega per metre lineal de canonada

$$Pdc_{unit}(\text{mm.c.a./m}) = 1,2 \cdot 378 \cdot Q^{1,75} / D^{4,75}$$

El factor 1,2 de l'expressió anterior s'introdueix per a tenir en compte la presència d'anticongelant en el fluid primari, de major viscositat que l'aigua.

L Longitud del tram de canonada, en m

L_{sing} Longitud equivalent de les singularitats del tram, en m

L_{total} Longitud total a considerar, en m

$$L_{total} = L + L_{sing}$$

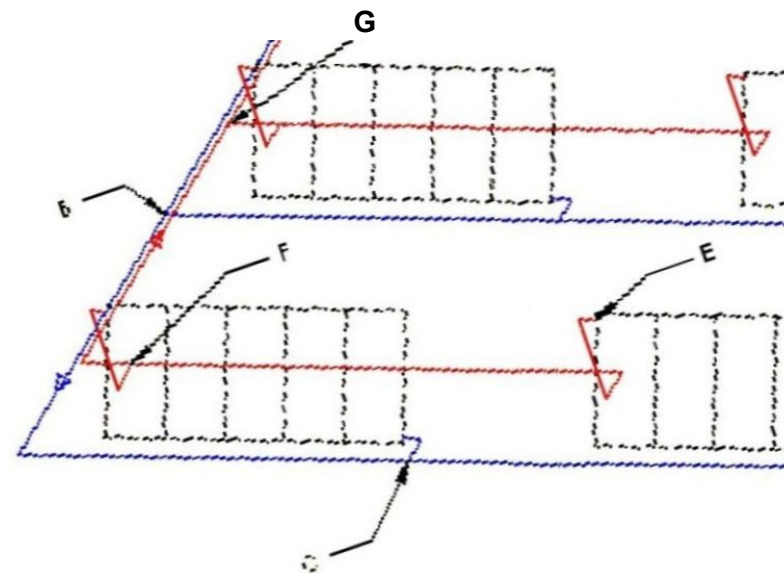
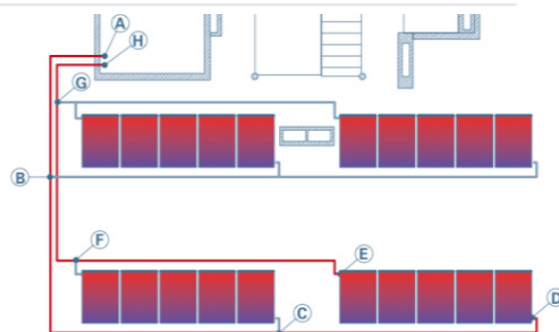
Pdc Pèrdua de càrrega del tram, en m

$$Pdc(\text{m.c.a.}) = Pdc_{unit} \times L_{total} \times 10^{-3}$$

Canonades del circuit primari – Singularitats

Longitud equivalent de canonada (en m) per a pèrdues de càrrega singulars.

	Diàmetre nominal de la canonada					
	18	22	28	35	42	54
Corba de 45°	0,34	0,43	0,47	0,56	0,7	0,85
Colze de 90°	0,5	0,63	0,76	1,01	1,32	1,71
Corba de 90°	0,33	0,45	0,6	0,84	0,96	1,27
Reducció	0,3	0,5	0,65	0,85	1	1,3
T	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
T	2,5	3	3,6	4,1	4,6	5
T	1,68	1,8	1,92	2,4	3	3,6
Vàlvula antiretorn de claveta	0,5	0,77	1,05	1,61	2,1	2,66



Tram	Q (l/h)	DN (mm)	Diàmetre (mm)	V (m/s)	Pdc _{unit} (mmca/m)	L (m)	Singularitats	Lsing (m)	Ltotal (m)	Pdc (mca)
AB	2000	35	33	0,650	16,6	5,5	3 corbes 90° 1 vàlvula A/R	4,13	9,63	0,160
BC	1000	28	26	0,524	15,3	11,5	1 corba 90° 1T	0,90	12,40	0,190
CD	500	22	20	0,443	15,9	7,5	3 corbes 90° 1T	1,55	9,05	0,144
EF	500	22	20	0,443	15,9	8,0	3 corbes 90°	1,35	9,35	0,148
FG	1000	28	26	0,524	15,3	5,5	1 corba 90° 1T	0,90	6,40	0,098
GH	2000	35	33	0,650	16,6	3,5	3 corbes 90° 1T	2,92	6,42	0,107

Pdc TOTAL (mca) = **0,85**

Canonades del circuit primari - Conclusió

- ❑ La pèrdua de càrrega en les canonades és molt petita (inferior a 1 m.c.a.), ja que els recorreguts de canonades en l'edifici triat són molt curts.
- ❑ En aquest cas s'ha optat per la **instal·lació de vàlvules d'equilibrament** hidràulic per a assegurar un correcte repartiment del cabal pels 4 grups de captadors.
- ❑ Un equilibrament mitjançant **tornada invertida** també haguera sigut vàlid.
- ❑ Les vàlvules d'equilibrament hidràulic **s'ajustaran en cada grup** de captadors de manera que la pèrdua de càrrega per qualsevol dels recorreguts del circuit siga la mateixa.
- ❑ Les canonades del circuit primari s'aïllaran segons s'indica en el Reglament d'instal·lacions tèrmiques en els edificis. En aquest cas, el material triat és una escuma elastomèrica de cèl·lula tancada subministrada en conques aïllants de 35 mm de gruix.
- ❑ L'aïllament de tot el circuit primari es protegirà exteriorment amb **una coberta de xapa d'alumini**.

Bomba del circuit primari

- Se selecciona en funció de la pèrdua de càrrega total (Pdc_{Total}) i el cabal del circuit primari.

$$Pdc_{Total} = Pdc_{canonades} + Pdc_{bescanviador} + Pdc_{captadors}$$

- $Pdc_{canonades} = 0,85 \text{ mca}$
- $Pdc_{bescanviador} = 1,5 \text{ mca}$ (fixada pel fabricant)
- $Pdc_{captadors}$:
 - cada bateria de captadors està formada per 5 captadors connectats en paral·lel → cal sumar-li la pèrdua de càrrega dels conductes de distribució.
 - $Pdc_{captadors}$ es pot determinar a partir de la corba facilitada pel fabricant.
 - En cas que no es dispose d'aquesta informació però sí de la pèrdua de càrrega d'un sol captador podem fer ús **del mètode Censolar**. En aquest cas, la pèrdua de càrrega d'un captador a un cabal de 100 l/h és de 30 mm c.a.; per això la pèrdua del conjunt de $N=5$ captadors en paral·lel a un cabal de 500 l/h serà:

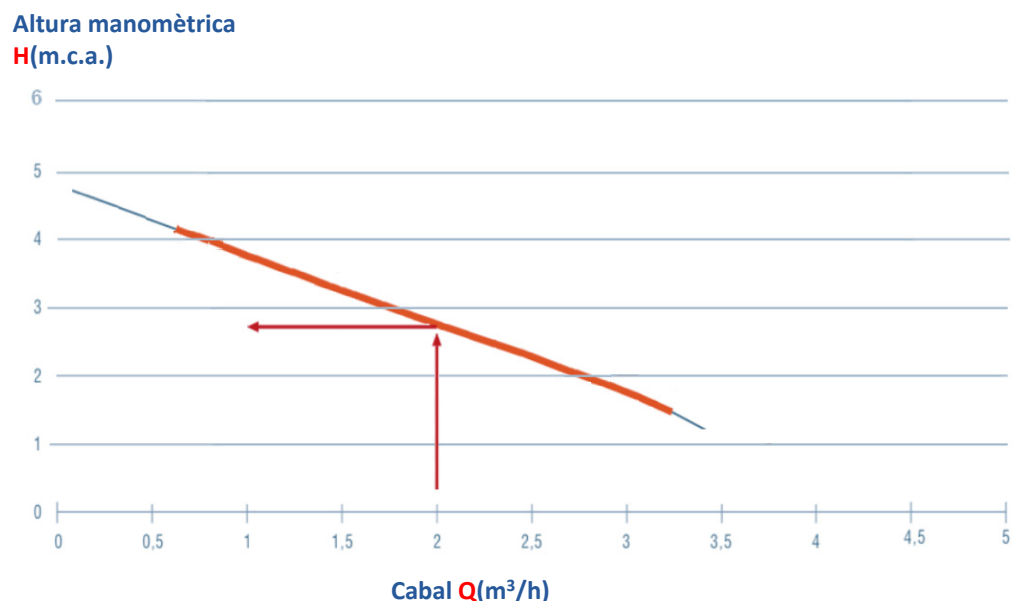
$$30\text{mm.c.a.} \cdot N \cdot (N+1) / 4 = 30 \text{ mm.c.a.} \cdot 5 \cdot 6 / 4 = 225 \text{ mmca.}$$

- $Pdc_{Total} = 2,575 \text{ mca}$ ← Dada per al dimensionament de la bomba de pressió.

Bomba del circuit primari

- El cabal del circuit primari és de 2.000 litres/h, calculat a raó de 50 litres/h·m² de captació solar.
- La selecció de la bomba del circuit primari es farà de manera que la seua corba característica continga aproximadament el punt de treball definit per una altura manomètrica igual a la pèrdua de càrrega del circuit $H = 2,575$ m.c.a. i un cabal Q igual a 2.000 litres/h.

És recomanable que, una vegada realitzat el càlcul de la pèrdua de càrrega, es trie la bomba de manera que **la seua corba estiga de l'ordre d'un 20% per sobre del punt de treball**, per a poder compensar possibles pèrdues de potència de la bomba després de l'engegada.



Vas d'expansió del circuit primari

El volum total del vas d'expansió (V_t en litres) es calcula mitjançant l'expressió següent:

$$V_t = (V_{\min} + V \cdot C_e + V_{\text{vap}}) \cdot C_p = (V_{\min} + V_{\text{dil}} + V_{\text{vap}}) \cdot \frac{P_{\max}}{P_{\max} - P_{\min}}$$

V : Volum del fluid de treball de la instal·lació (l)

V_{\min} : Volum mínim o de reserva de fluid en el vas d'expansió (l) per a compensar la seua pèrdua o contracció a baixa temperatura.

V_{dil} : Volum de dilatació (l) = $V \cdot C_e$

V_{vap} : Volum de vaporització (l)

C_e : Coeficient d'expansió o dilatació del fluid ($\Delta V/V$)

C_p : Coeficient de pressió = V_t / V_u

Vas d'expansió del circuit primari

Volum total de fluid en el circuit primari (V):

Es pot calcular sumant els continguts dels diferents elements, principalment canonades i captadors.

Volum de fluid en les canonades del circuit primari	DN (mm)	Diàmetre (mm)	L (m)	Capacitat (l/m)	Contingut total (l)
	22	20	34,0	0,314	10,7
	28	26	24,5	0,531	13,0
	35	33	9,0	0,855	7,7
			TOTAL	31,4	

Cada captador té una capacitat d'1,3 litres. Per tant:

$$20 \text{ captadors} \times (1,3 \text{ l/captador}) = 26 \text{ litres}$$

El contingut total de líquid del circuit primari serà:

$$V = 31,4 \text{ litres} + 26 \text{ litres} = 57,4 \text{ litres}$$

Vas d'expansió del circuit primari

Volum mínim o de reserva (V_{\min}):

S'agafa un 3% del volum total de la instal·lació amb un mínim de 3 litres:

$$3\% \times 57,4 \text{ litres} = 1,72 \text{ litres}$$

Agafarem $V_{\min} = 3$ litres

Volum de vaporització (V_{vap}):

L'agafem igual al volum de fluid en captadors més un 10%:

$$20 \text{ captadors} \times (1,3 \text{ l/captador}) = 26 \text{ litres}$$

$$V_{\text{vap}} = 1,1 \times 26 \text{ litres} = 28,6 \text{ litres}$$

Vas d'expansió del circuit primari

Coeficient d'expansió:

Si no es disposa d'informació més concreta del valor de C_e per part del distribuïdor o fabricant, es pot fer ús de les expressions indicades en la norma UNE 100-155 per al càlcul del valor de C_e del fluid caloportador que resulta ser de:

$$C_e = 0,054$$

Volum de dilatació (V_{dil}):

$$V_{dil} = V \times C_e = 3,1 \text{ litres}$$

Vas d'expansió del circuit primari

Coefficient de pressió:

$$C_p = \frac{V_t}{V_u} = \frac{P_{\max}}{P_{\max} - P_{\min}} = \frac{3,7}{3,7 - 1,5} = 1,68$$

$$P_{\text{man_min}} = 0,5 \text{ bar} + h(\text{m}) \cdot 0,1 \frac{\text{bar}}{\text{m}} = 0,5 \text{ bar}$$

$$P_{\min} = P_{\text{man_min}} + 1 \text{ atm} = 1,5 \text{ bar}$$

La pressió d'ompliment és de 0,5 bar i la sala de màquines està a la terrassa de l'edifici ($h=0$).

$$P_{\text{man_max}} = P_{\text{vs}} - 0,3 \text{ bar} = 2,7 \text{ bar}$$

$$P_{\max} = P_{\text{man_max}} + 1 \text{ atm} = 3,7 \text{ bar}$$

La pressió de taratge de la vàlvula de seguretat és de 3bar.

Vas d'expansió del circuit primari

$$V_t = (V_{\min} + V \cdot C_e + V_{\text{vap}}) \cdot \frac{P_{\max}}{P_{\max} - P_{\min}} = (3 + 3,1 + 28,6) \cdot \frac{3,7}{3,7 - 1,5} = 58,4 \text{ litres}$$

En la pràctica, s'instal·larà un vas d'expansió d'una grandària comercial de 60 litres.

En funció del fabricant podem trobar els següents valors comercials: 5, 8, 12, 18, 24, 25, 35, 50, 60, 80, 100, 150, 200, 220, 300, 350, 500, 700 i 750 litres.

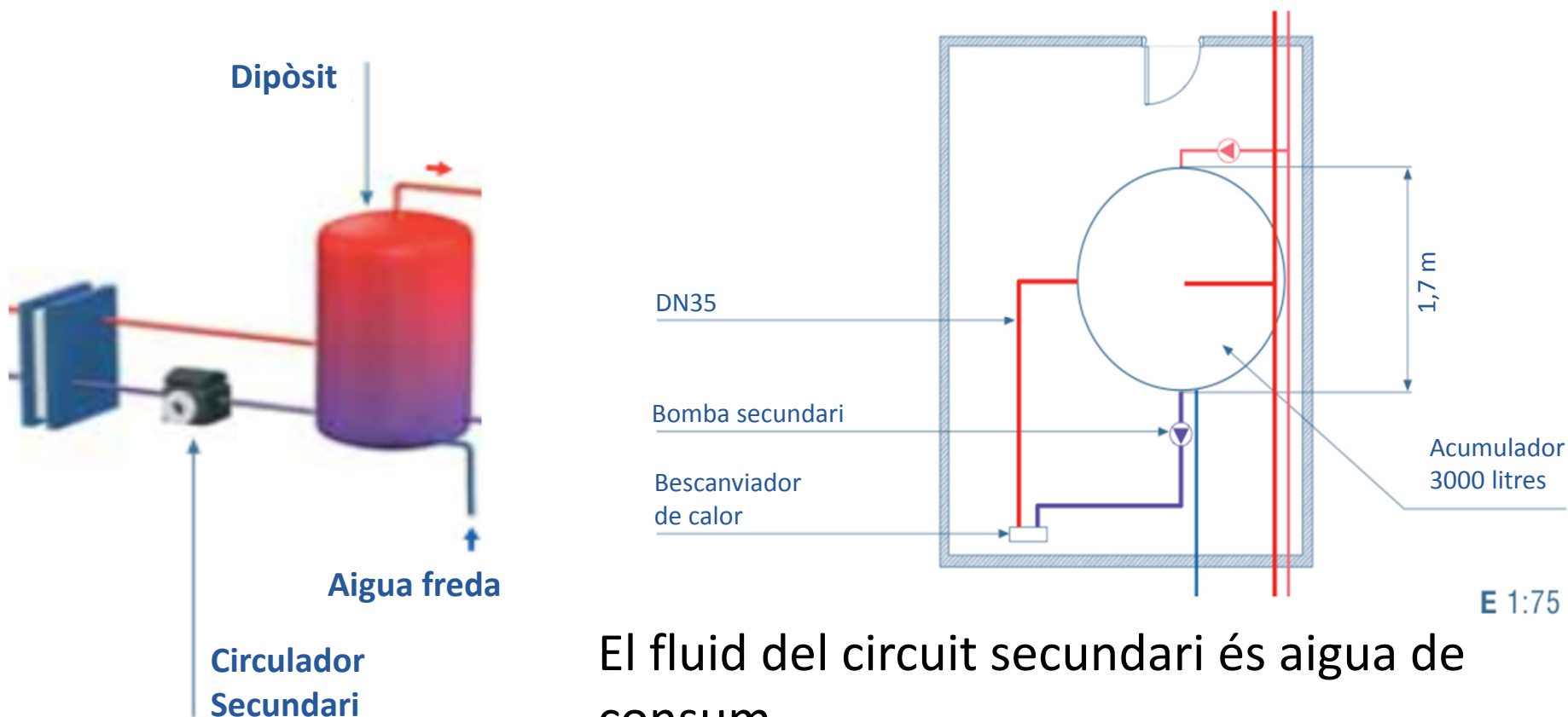
El vas d'expansió s'instal·larà sense vàlvula de tall, de manera que no existisca la possibilitat d'aïllar-lo accidentalment del circuit primari al qual protegeix.

Altres elements del circuit primari

- ✓ **Vàlvula de seguretat:** És l'element limitador de la pressió a la qual puga estar sotmès el circuit sotmès a variacions de pressió i de temperatura; és imprescindible per a protegir els components de la instal·lació. En el nostre cas s'instal·larà una vàlvula de seguretat amb descàrrega conduïda a desguàs de manera que l'obertura de la vàlvula no puga provocar cremades sobre les persones o afectar altres materials. La pressió de taratge serà de 3 bar. Al costat de la vàlvula de seguretat s'instal·larà un manòmetre que permeta verificar la pressió del circuit.
- ✓ S'instal·laran **4 purgadors** d'aire en els punts alts de cadascun dels grups de captadors solars per a evitar la formació de bosses d'aire que dificulten la circulació del fluid caloportador.
- ✓ **Vàlvula antiretorn** de claveta en la impulsió de la bomba de circulació, per a evitar l'eventual circulació inversa durant la nit.
- ✓ **Connexió per a l'ompliment** i l'eventual reposició de fluid caloportador.

Circuit secundari

S'entendrà per circuit secundari el circuit hidràulic entre el bescanviador de calor de plaques i l'acumulador centralitzat.



El fluid del circuit secundari és aigua de consum.

La instal·lació de l'acumulador solar es farà a l'interior del local destinat a sala de màquines en la coberta de l'edifici.

Acumulador del circuit secundari

El volum d'acumulació proporcionat pel mètode F-Chart és de 3000 litres (a raó de 75 litres/m²)

Dimensions aproximades: 1,7 m de diàmetre i 2,4 m d'alçada.

Aïllament exterior d'escuma de poliuretà de 80 mm de gruix, per sobre del valor exigut en el RITE.

Esquema de connexions del depòsit acumulador.



En la canonada d'entrada de l'aigua freda a l'acumulador solar s'instal·larà la **vàlvula de seguretat** amb descàrrega conduïda a desguàs i tarada a 8 bar. Entre la vàlvula de seguretat i l'acumulador no s'instal·larà cap vàlvula de tall perquè no existisca la possibilitat d'aïllar-la accidentalment del circuit al qual protegeix.

Bescanviador del circuit secundari

Potència d'intercanvi

Segons el CTE la potència d'intercanvi haurà de ser d'almenys, 500 W per m² de captador solar:

$$P \geq 0,5 \cdot A$$

sent:

P: Potència d'intercanvi en kW

A: Superfície total de captadors instal·lats, en m²

Prendrem una potència d'intercanvi de 600 W/m² (en comptes de 500 W/m²), amb la qual cosa es compleix de sobres la condició marcada pel CTE.

Potència d'intercanvi = 24 kW

Bescanviador del circuit secundari

Cabals

El ***cabal del circuit secundari*** se sol establir en un valor ***similar al del primari***, sense que la diferència siga inferior a un 10%.

Cabal primari \geq Cabal secundari

Cabal de circulació de primari i secundari= 2.000 litres/h

Bescanviador del circuit secundari

Temperatures

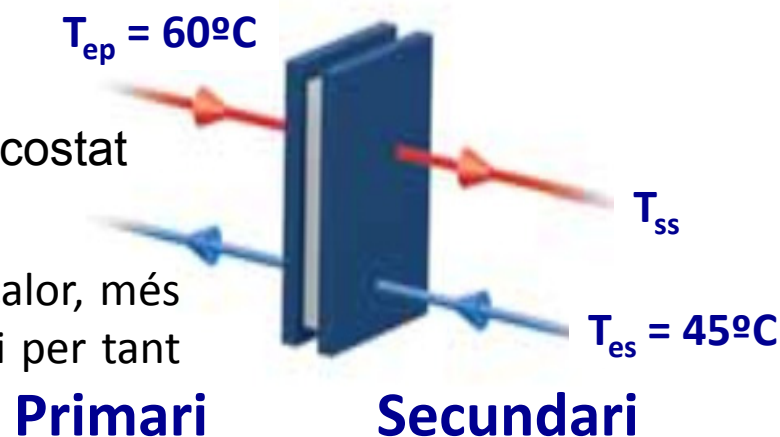
- ✓ T_{ep} : *temperatura d'entrada del fluid del circuit primari* al bescanviador de calor de plaques. Encara que varia durant el funcionament de la instal·lació, l'IDAE recomana agafar 60°C com a temperatura de disseny.
- ✓ T_{es} : *temperatura d'entrada de l'aigua al bescanviador en el costat secundari*. S'agafa un valor representatiu de la temperatura en la part mitjana-baixa de l'acumulador, que és des d'on s'aspira l'aigua cap al bescanviador. L'IDAE recomana prendre 45°C.

Eficàcia del bescanviador de calor (ϵ):

$$\epsilon = (T_{ss} - T_{es}) / (T_{ep} - T_{es})$$

T_{ss} : temperatura d'eixida del bescanviador en el costat secundari.

Com més baixa siga l'eficàcia del bescanviador de calor, més alta serà la temperatura que retorna als captadors i per tant més baix serà el rendiment de la instal·lació solar.



Bescanviador del circuit secundari

Pèrdua de càrrega

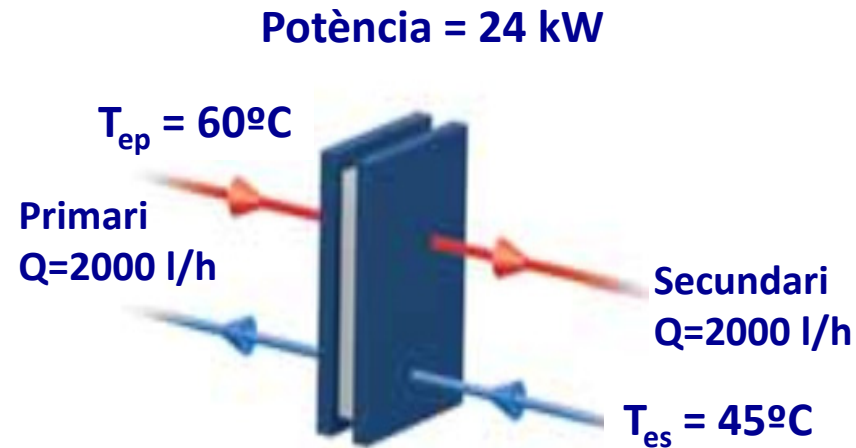
La pèrdua de càrrega provocada per un bescanviador de calor de plaques pot ser elevada.

Com a criteri de selecció, l'IDAE estableix com a admissible una ***pèrdua de càrrega en un bescanviador de calor de plaques*** de fins a uns ***3 m.c.a.***, tant en primari com en secundari.

En el nostre cas el bescanviador té unes pèrdues de càrrega d'***1,5 m.c.a. en primari i 1,4 m.c.a. en secundari.***

Bescanviador del circuit secundari

Condicions de disseny del bescanviador de calor

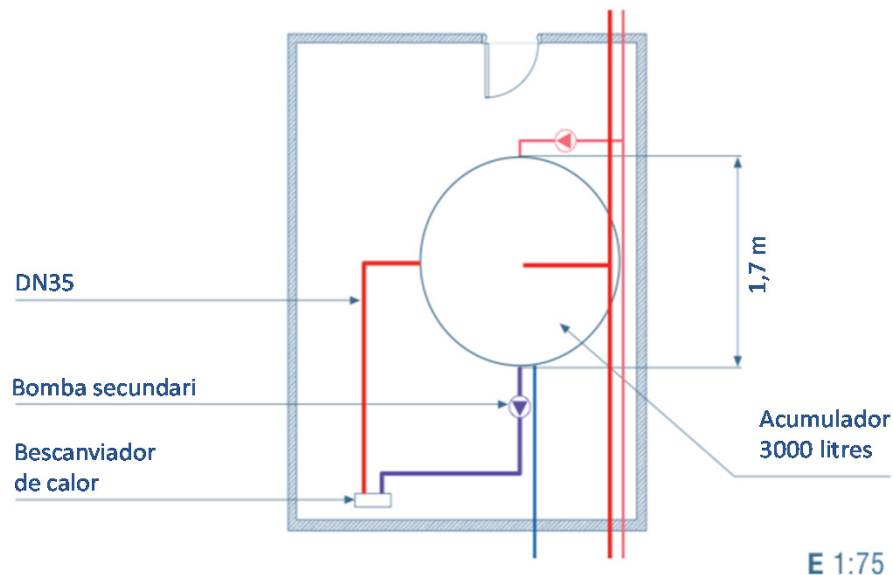


		Primari	Secundari
Temperatura d'entrada	$^{\circ}\text{C}$	60	45
Cabal	l/h	$50 * A$	$50 * A (-10\%)$
Pèrdua de càrrega	m.c.a.	< 3	< 3
Potència	kW	$0,6 * A$	

A: Superfície total de captadors instal·lats en m^2

Canonades del circuit secundari

Sala de màquines: esquema del circuit hidràulic del subsistema d'intercanvi i acumulació.



Les canonades de connexió de l'acumulador al costat secundari del bescanviador de calor de plaques seran de coure, amb un DN35, com correspon al cabal de 2000 litres/h.

Cabal (l/h)	DN	Gruix paret (mm)	Diàmetre interior (mm)
<500	18	1	16
<950	22	1	20
<1.900	28	1	26
<3.600	35	1	33
<6.200	42	1	40
<12.000	54	1,2	51,6

Aïllament d'escuma elastomèrica de 25 mm

Pèrdues de càrrega en canonades del circuit secundari

Pèrdues de càrrega en les canonades del circuit secundari

Tram	Q (l/h)	DN (mm)	Diàmetre (mm)	V (m/s)	Pdc _{unit} (mmca/m)	L (m)	Singularitats	L _{sing} (m)	L _{total} (m)	Pdc (mca)
sec	2000	35	33	0,650	13,8	12,0	12 corbes 90°	10,08	22,08	0,306
Pdc TOTAL (m.c.a.) =										0,31

Q Cabal de fluid que circula per cada tram, en litres/h

DN Diàmetre nominal de la canonada, en mm

D Diàmetre interior de la canonada, en mm

v velocitat de circulació del fluid per cada tram

$$v(\text{m/s}) = 0,354 \cdot Q/D^2$$

Pdc_{unit} Pèrdua de càrrega per metre lineal de canonada

$$Pdc_{unit}(\text{mm.c.a./m}) = 378 \cdot Q^{1,75} / D^{4,75}$$

L Longitud del tram de canonada, en m

L_{sing} Longitud equivalent de les singularitats del tram, en m

L_{total} Longitud total a considerar, en m

$$L_{total} = L + L_{sing}$$

Pdc Pèrdua de càrrega del tram, en m

$$Pdc(\text{m.c.a.}) = Pdc_{unit} \times L_{total} \times 10^{-3}$$

Bomba de circulació del circuit secundari

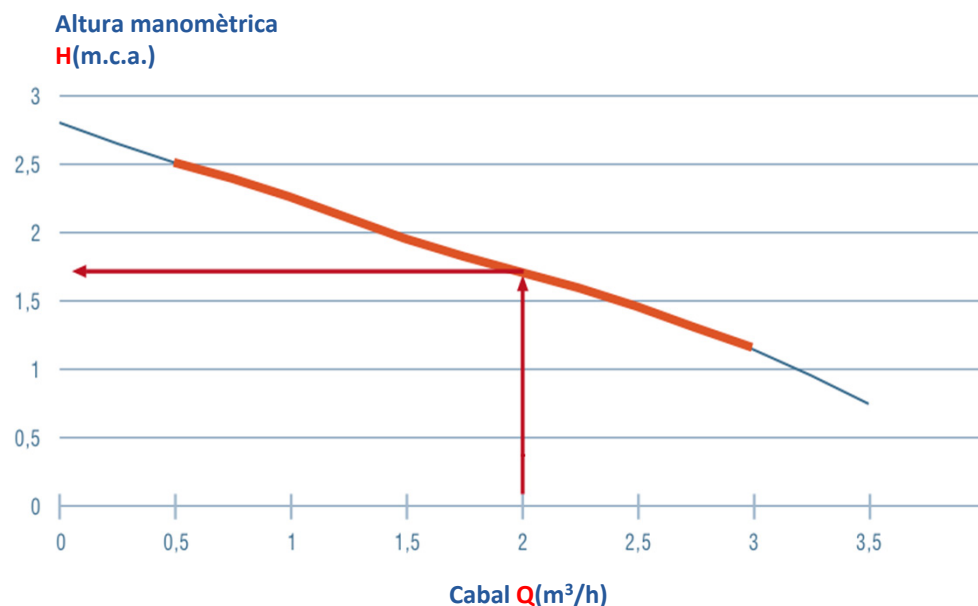
La pèrdua de càrrega principal és la del bescanviador de calor de plaques (costat secundari) que és proporcionada pel subministrador del bescanviador i és d'1,4 m.c.a.

La pèrdua de càrrega en canonades és de 0,31 m.c.a

Altura manomètrica $H = 1,4 \text{ m.c.a} + 0,31 \text{ m.c.a} \approx 1,7 \text{ m.c.a}$

Cabal $Q = 2.000 \text{ litres/h}$.

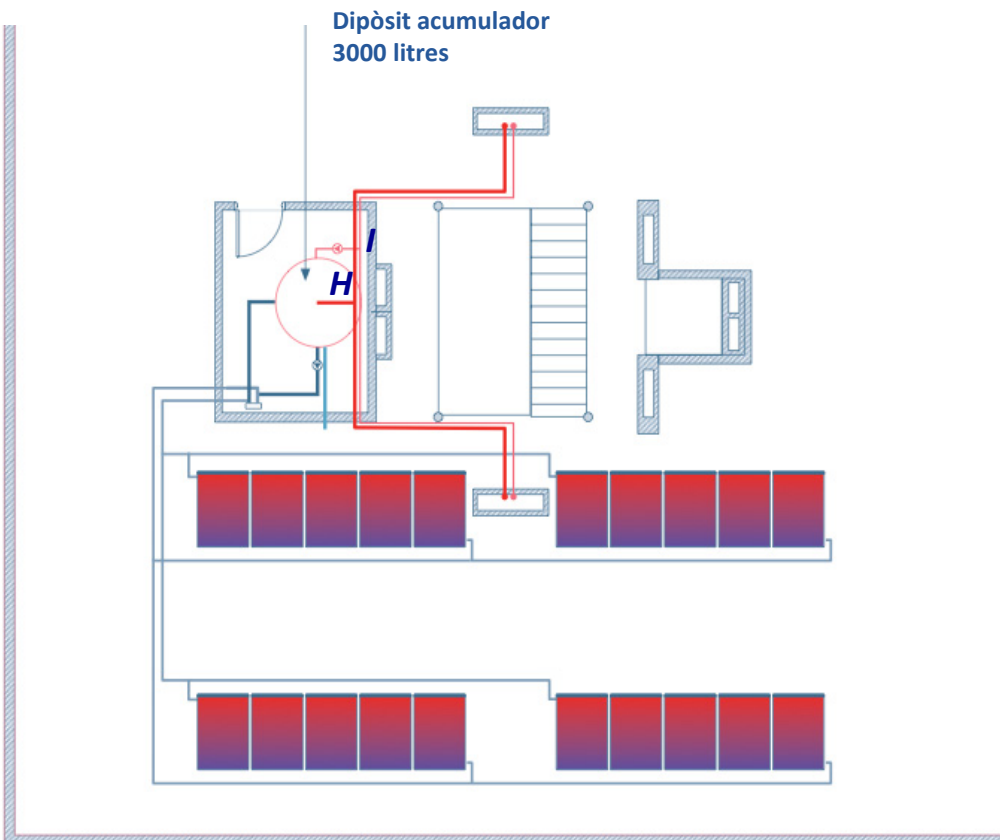
Corba característica de la bomba del circuit secundari



Circuit de distribució

L'aigua preescalfada procedent de l'acumulador solar es distribuirà per tot l'edifici mitjançant una xarxa de canonades de coure.

A l'eixida de l'acumulador solar s'instal·larà una vàlvula termostàtica mescladora amb temperatura regulable.



Vàlvula mescladora termostàtica



Limita i manté constants les temperatures de mescla en els sistemes d'aigua calenta

▼
Dos baixants de distribució, un per als habitatges de la façana nord i un altre per als habitatges de la façana sud. ***Cadascun dels dos baixants subministrarà aigua calenta a 12 habitatges (dos per planta).***

Cabal de disseny del circuit de distribució

Procediment proposat per Gas Natural.

1. Se suposa que el consum de disseny d'aigua calenta dels diferents grups de consum d'un habitatge és el següent:
 - Per a una cambra de bany amb banyera: 0,25 l/s
 - Per a una cambra de bany o lavabo amb dutxa: 0,15 l/s
 - Per a un lavabo sense dutxa: 0,10 l/s
 - Per a una cuina: 0,15 l/s
2. Per a estimar el consum d'un determinat tram de canonada haurà de sumar-se el cabal corresponent als grups de consum proveïts (cambra de bany amb banyera, amb dutxa o cuina) i multiplicar el resultat per un coeficient de simultaneïtat que és funció del nombre de grups de consum.

Cabal de disseny del circuit de distribució

Coeficients de simultaneïtat per al càlcul de les canonades de distribució.

Nombre de grups de consum	Coeficient de simultaneïtat
1	1
2	0,75
3	0,6
4	0,55
5	0,53
6	0,5
7	0,49
8	0,48
9	0,46
10	0,45

Nombre de grups de consum	Coeficient de simultaneïtat
20	0,4
30	0,38
40	0,37
50	0,35
75	0,33
100	0,32
150	0,31
200	0,3
500	0,27
1000	0,25

Cabal de disseny del circuit de distribució

En el nostre cas cadascun dels habitatges disposa d'un **bany amb banyera, un lavabo sense dutxa i una cuina** ($0,25 + 0,1 + 0,15 = 0,5$), és a dir, tres grups de consum. El cabal de disseny d'entrada a un dels habitatges serà igual a la suma dels cabals dels tres grups de consum multiplicat pel coeficient de simultaneïtat corresponent a tres grups de consum, que és de 0,6:

$$\text{Cabal de disseny (un habitatge)} = (0,25 + 0,10 + 0,15) \cdot 0,6 = 0,30 \text{ l/s}$$

Per a dos habitatges, el nombre de grups de consum és de 6, per la qual cosa el coeficient de simultaneïtat és de 0,5 i el cabal de disseny és igual a 0,50 l/s.

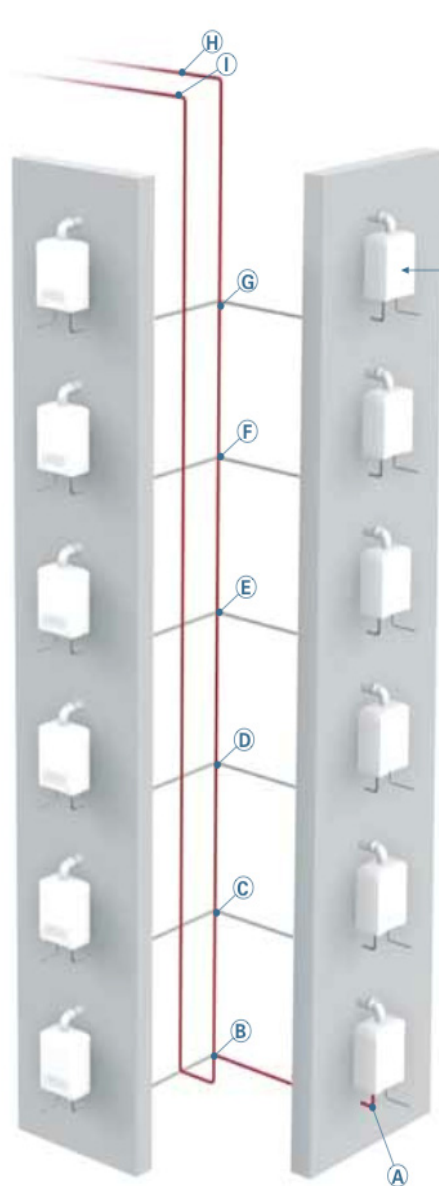
$$\text{Cabal de disseny (dos habitatges)} = 2 \cdot (0,25 + 0,10 + 0,15) \cdot 0,5 = 0,50 \text{ l/s}$$

Canonades del circuit de distribució

Es trien els diàmetres de canonades de manera que la velocitat de l'aigua estiga compresa entre 0,5 i 2 m/s; s'accepten fins a 3 m/s en trams que discórreguen per zones no habitades. El diàmetre d'entrada a un habitatge serà, com a mínim, de 18 mm.

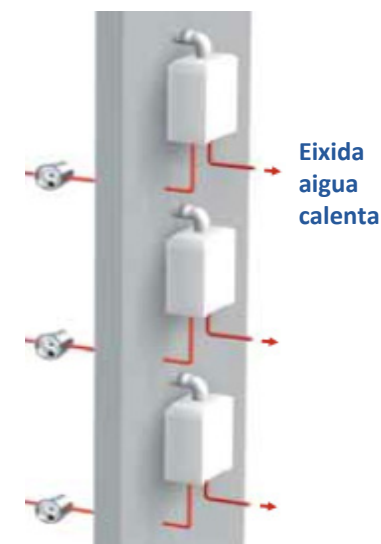
$$v \text{ (m/s)} = \frac{\text{Cabal}[\text{m}^3/\text{s}]}{\pi \cdot (\text{Diàmetre interior}[\text{m}]^2 / 4)} = 0,354 \cdot \frac{\text{Cabal}[\text{l/h}]}{\text{Diàmetre interior}[\text{mm}]^2}$$

Canonades del circuit de distribució

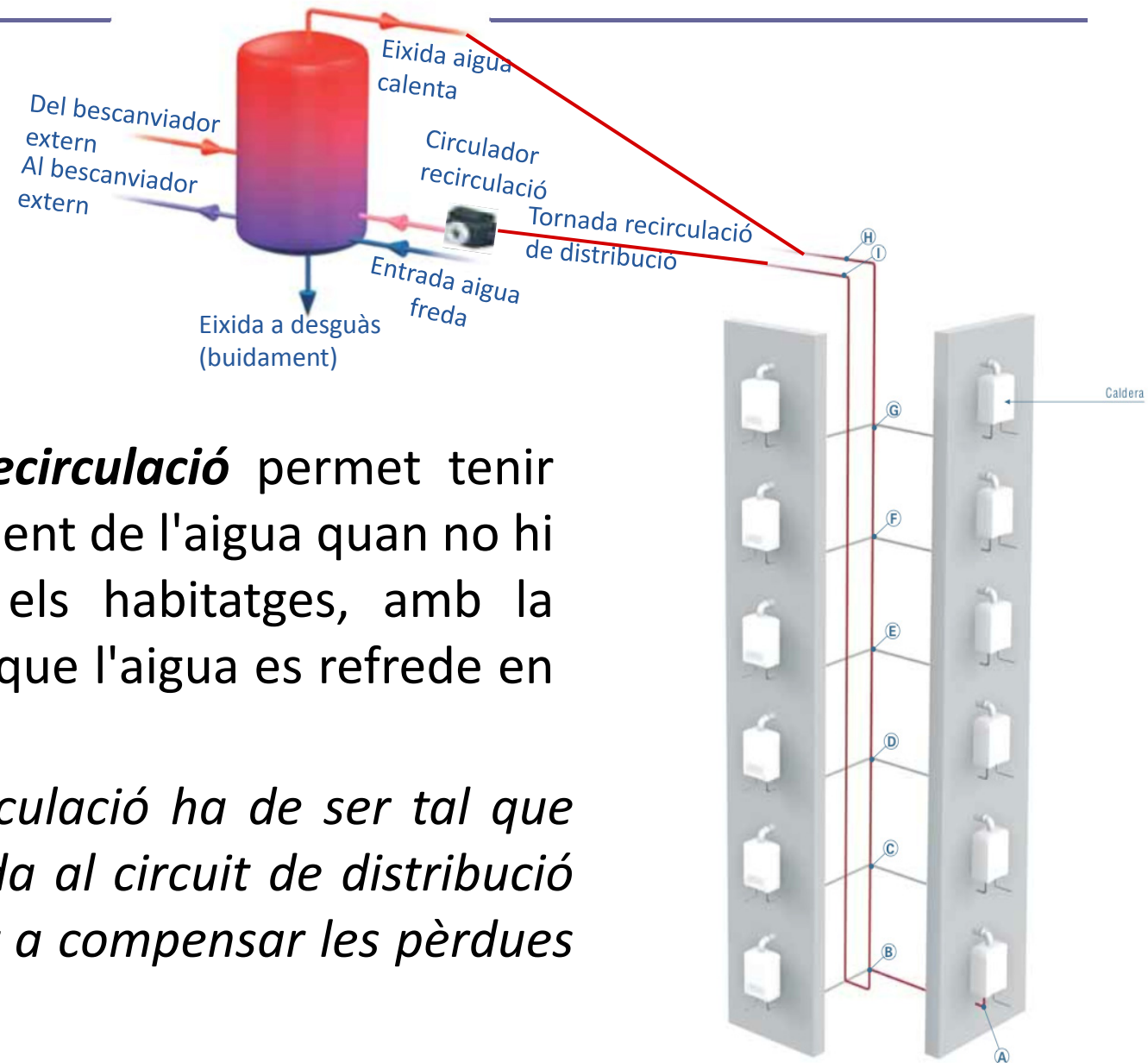


Tram	Nombre habitatges servits	Nombre grups de consum	Coef. Simultaneïtat	Cabal (l/s)	Cabal (l/h)	DN (mm)	Diàmetre (mm)	V (m/s)
A-B	1	3	0,60	0,30	1080	18	16	1,49
B-C	2	6	0,50	0,50	1800	22	20	1,59
C-D	4	12	0,44	0,88	3168	28	26	1,66
D-E	6	18	0,42	1,26	4536	35	33	1,47
E-F	8	24	0,39	1,56	5616	35	33	1,83
F-G	10	30	0,38	1,90	6840	42	40	1,51
G-H	12	36	0,37	2,22	7992	42	40	1,77

A l'interior de cada habitatge, abans de l'entrada a la caldera, s'instal·larà un **comptador d'aigua per a permetre conèixer el consum individual de cada usuari** i poder repartir el cost de la factura d'aigua de manera proporcional a la despesa feta.



Cabal de recirculació del circuit de distribució



La **bomba de recirculació** permet tenir un mínim moviment de l'aigua quan no hi ha consum en els habitatges, amb la finalitat d'evitar que l'aigua es refrede en les canonades.

El cabal de recirculació ha de ser tal que l'energia aportada al circuit de distribució siga suficient per a compensar les pèrdues energètiques.

Cabal de recirculació del circuit de distribució

Quantitat d'energia per unitat de temps que s'aporta mitjançant la recirculació:

$$P_A = C_f \cdot \rho \cdot Q \cdot \Delta T = (1,16 \text{ Wh/l}\cdot^\circ\text{C}) \cdot Q \cdot \Delta T$$

P_A: Energia aportada per unitat de temps al circuit de distribució a causa de la recirculació (W = J/s)

C_f: Calor específica de l'aigua 1,16 W·h/kg^{°C}

ρ: Densitat de l'aigua 1kg/litre

Q: Cabal de recirculació (l/h)

ΔT: Pèrdua de temperatura admissible en el circuit de distribució.

Un valor acceptable de ΔT pot ser **de 3°C**.

Cabal de recirculació del circuit de distribució

Pèrdues de calor en canonades aïllades:

$$P_p = \sum (L_i \cdot P_i)$$

P_p: Energia perduda per unitat de temps per les canonades del circuit de distribució (W)

P_i: Pèrdues en les canonades del tram i (W/m)

L_i: Longitud del tram i (m)

Cabal de recirculació del circuit de distribució

Pèrdues de calor en canonades aïllades:

Per a canonades interiors per les quals circulen fluids a 50°C i una temperatura ambient de 10°C.

En * els valors per al gruix d'aïllament recomanat pel RITE que és de 25 mm fins a DN35 i 30mm per a DN42.

Font: Comentarís RITE
2007 (Ministeri d'Indústria,
Turisme i Comerç i IDAE)

Diàmetre exterior tubería	Pérdidas energéticas en tuberías en W/m de tubería. Fluidos calientes, interior				
	Espesores de aislamiento (mm) de tuberías				
	10	15	20	25	30
16	10,1	8,4	7,4	6,7*	
18	10,9	9,0	7,9	7,1*	
20	11,7	9,6	8,3	7,5*	
22	12,5	10,2	8,8	7,9*	
25	13,7	11,1	9,5	8,5*	
28	14,9	11,9	10,2	9,1*	
30	15,6	12,5	10,7	9,5*	
32	16,4	13,1	11,2	9,9*	
35	17,6	14,0	11,8	10,4*	
40	19,5	15,4	13,0	11,4	10,3*
45	21,4	16,8	14,1	12,3	11,1*
50	23,3	18,2	15,2	13,3	11,9*
55	25,2	19,6	16,3	14,2	12,7*
60	27,1	21,0	17,4	15,1	13,5*

* Espesor de aislamiento mínimo establecido en el RITE 2007.

La densidad de flujo lineal en W/m se ha calculado con el programa AISLAM para las siguientes condiciones: $T_i=50^\circ\text{C}$, $T_{ext}=10^\circ\text{C}$, $\lambda_{ref}=0,040 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ a 10°C . Se desprecia la resistividad térmica del tubo y la de película interior. Coeficiente de película exterior $h_{ext}=12 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Cabal de recirculació del circuit de distribució

Igualant les dues expressions anteriors obtenim el cabal a recircular per a mantenir un salt de temperatures entre l'eixida del dipòsit i la tornada no superior a $\Delta T = 3^{\circ}\text{C}$:

$$Q = (\sum L_i \cdot P_i) / (1,16 \cdot \Delta T)$$

- ✓ *És convenient que la velocitat de circulació resultant estiga compresa entre 2 m/s i 0,5 m/s.*
- ✓ Per al tram final de tornada, des de la connexió de l'últim punt de consum fins a l'acumulador, el diàmetre de canonada ha de ser, de com a mínim 15 mm.
- ✓ Per a la selecció de la bomba de recirculació, n'hi ha prou amb tenir en compte el càlcul de les pèrdues de càrrega en el tram esmentat de canonada de tornada.

Cabal de recirculació del circuit de distribució

Suposant un diàmetre de 15 mm per al tram final de tornada.

Pèrdues energètiques en el circuit de distribució.

Tram	DN (mm)	Diàmetre intern (mm)	L(m)	Pèrdues Unitàries (W/m)	Pèrdues tram (W)
B-C	22	20	3	7,90	23,70
C-D	28	26	3	9,10	27,30
D-E	35	33	3	10,40	31,20
E-F	35	33	3	10,40	31,20
F-G	42	40	3	10,60	31,80
G-H	42	40	10	10,60	106,00
B-I (tornada)	15	13	25	6,50	162,50

Pèrdues totals (W) = 413,7

$$Q = (\sum L_i \cdot P_i) / (1,16 \cdot \Delta T) = \\ = 413,7 / (1,16 \cdot 3) = \\ = 119 \text{ litres/h}$$

Tanmateix, amb aquest cabal, la velocitat de circulació no seria superior a 0,5 m/s. A més, diàmetres majors donen lloc a velocitats inferiors.

$$v = 0,354 \cdot (Q / D^2) = 0,354 \cdot (119 / 13^2) = 0,25 \text{ m/s}$$

Per a complir la condició cal triar un **cabal de recirculació de** com a mínim **250 litres/h**, per al qual $\Delta T < 3^\circ\text{C}$:

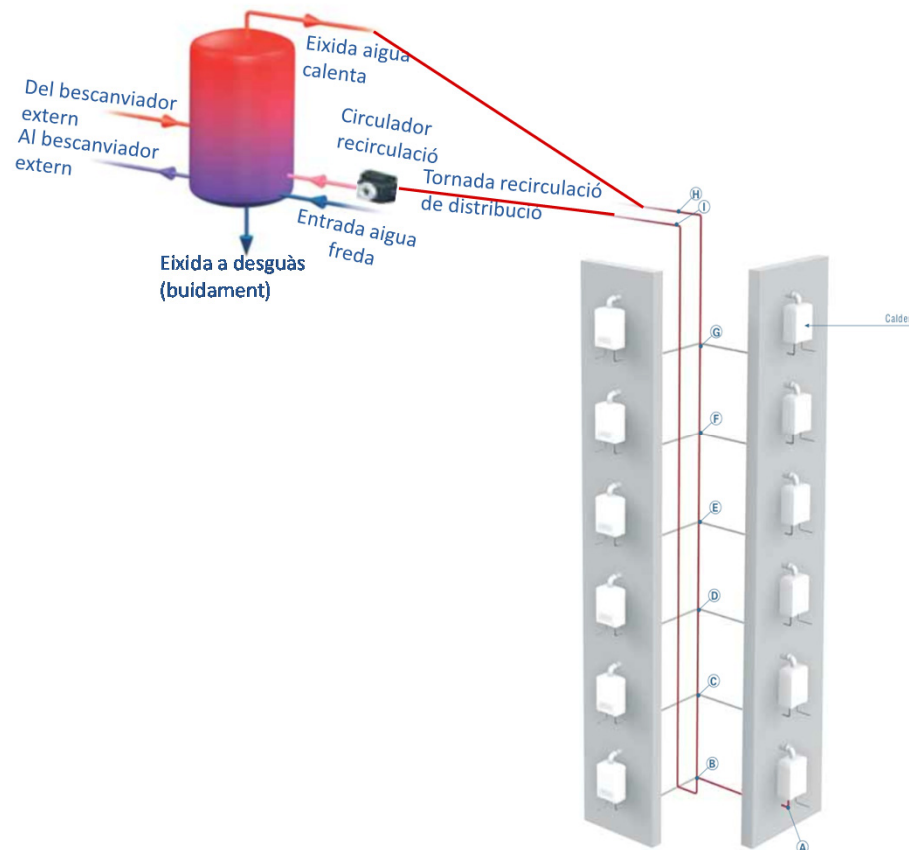
$$v = 0,354 \cdot (Q / D^2) = 0,354 \cdot (250 / 13^2) = 0,52 \text{ m/s}$$

Pèrdua de càrrega en el tram de tornada (B-I) del circuit de distribució

Pèrdues de càrrega en el tram de tornada del circuit de distribució.

Tram	Q (l/h)	DN (mm)	Diàmetre (mm)	V(m/s)	Pdc _{unit} (mmca/m)	L (m)	Singularitats	L _{sing} (m)	L _{total} (m)	Pdc(mca)
BI (tornada)	250	15	13	0,524	30,4	25,0	8 corbes 90°	2,00	27,00	0,82

Pdc TOTAL (mca) = 0,82



Q Cabal de fluid que circula per cada tram, en litres/h

DN Diàmetre nominal de la canonada, en mm

D Diàmetre interior de la canonada, en mm

v velocitat de circulació del fluid per cada tram

$$v(m/s)=0,354 \cdot Q/D^2$$

Pdc_{unit} Pèrdua de càrrega per metre lineal de canonada

$$Pdc_{unit}(mm.c.a./m)=378 \cdot Q^{1,75} / D^{4,75}$$

L Longitud del tram de canonada, en m

L_{sing} Longitud equivalent de les singularitats del tram, en m

L_{total} Longitud total a considerar, en m

$$L_{total} = L + L_{sing}$$

Pdc Pèrdua de càrrega del tram, en m

$$Pdc(m.c.a.)=Pdc_{unit} \times L_{total} \times 10^{-3}$$

Bomba de recirculació del circuit de distribució

Atès que hi ha dos muntants, el cabal de la bomba de recirculació Q serà de:

$$Q = 2 \times 250 \text{ litres/h} = 500 \text{ litres/h}$$

L'**altura manomètrica** (H) només haurà de compensar la pèrdua de càrrega del tram de tornada (és a dir B-I), i per això haurà de ser d'almenys 1 m.c.a. (perquè els dos muntants tenen la mateixa pèrdua de càrrega).

És recomanable instal·lar una vàlvula d'equilibrament hidràulic i un termòmetre en la tornada del circuit per a poder ajustar el cabal de circulació.

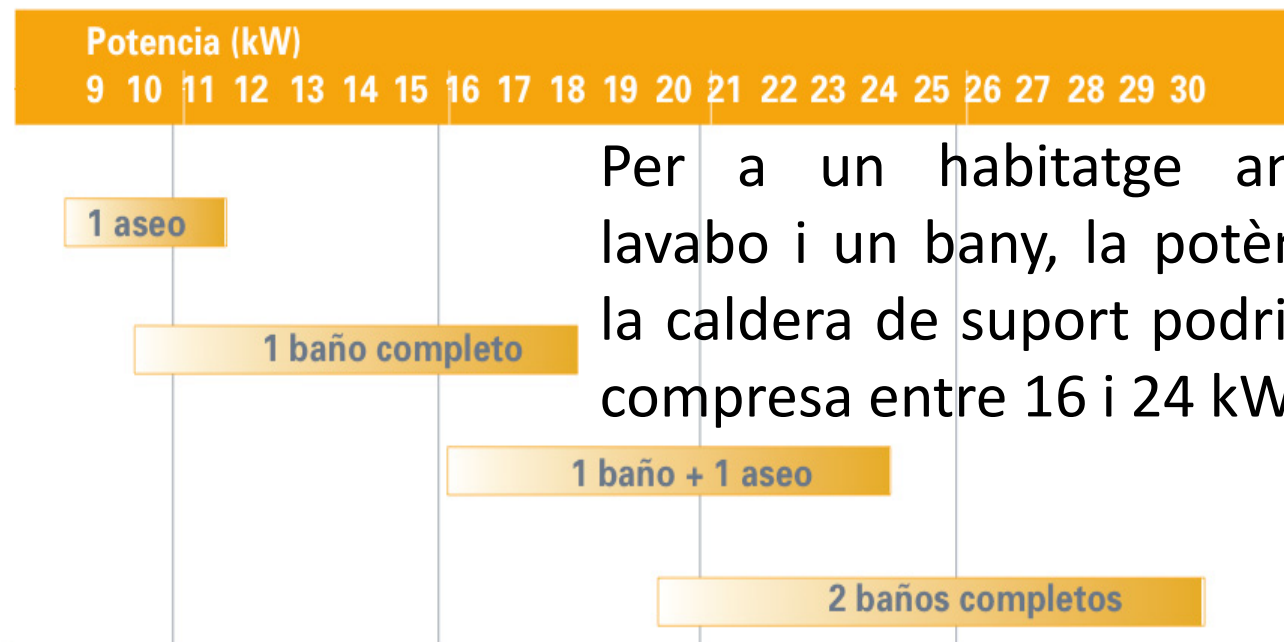
Selecció de la caldera de suport

La potència de l'escalfador o caldera de suport s'ha de triar de la mateixa manera que si l'habitatge no disposara d'una instal·lació solar, ja que l'equip ha de ser capaç de cobrir la totalitat de la demanda en dies en els quals la captació solar siga nul·la.

Potència de generació d'ACS d'una caldera o escalfador instantani en funció del tipus d'habitatge proposat per Gas Natural:

Orientación para la selección de la potencia de una caldera o calentador de producción de agua caliente sanitaria. El color naranja más intenso representa una mayor seguridad de suministro de agua caliente

Font: Gas Natural



Per a un habitatge amb un lavabo i un bany, la potència de la caldera de suport podria estar compresa entre 16 i 24 kW.

Selecció de la caldera de suport

El cabal d'aigua calenta que pot proporcionar una caldera o escalfador instantani en litres/minut:

$$Q = [1/(C_f \cdot \rho)] \cdot [P / (T_{ACS} - T_{AF})] = (14,3 \text{ l} \cdot \text{°C}/\text{kW} \cdot \text{min}) \cdot [P / (T_{ACS} - T_{AF})]$$

Q: Cabal màxim d'aigua calenta subministrat per l'equip (litres/minut).

P: Potència màxima d'escalfament de l'equip per a la producció d'aigua calenta sanitària (kW)

C_f: Calor específica de l'aigua $1,16 \cdot 60 \cdot 10^{-3} \text{ kW} \cdot \text{min}/\text{kg} \cdot \text{°C}$

ρ: Densitat de l'aigua 1kg/litre

T_{AF}: Temperatura de l'aigua freda de xarxa, en °C.

T_{ACS}: Temperatura de preparació d'aigua calenta sanitària, en °C.

El cabal d'ACS a 40°C que es pot obtenir amb un escalfador de 20 kW, suposant una temperatura de l'aigua de xarxa de 15°C seria:

$$Q = (14,3 \cdot P) / (T_{ACS} - T_{AF}) = (14,3 \cdot 20) / (40 - 15) = 11,4 \text{ l/min}$$

Selecció de la caldera de suport

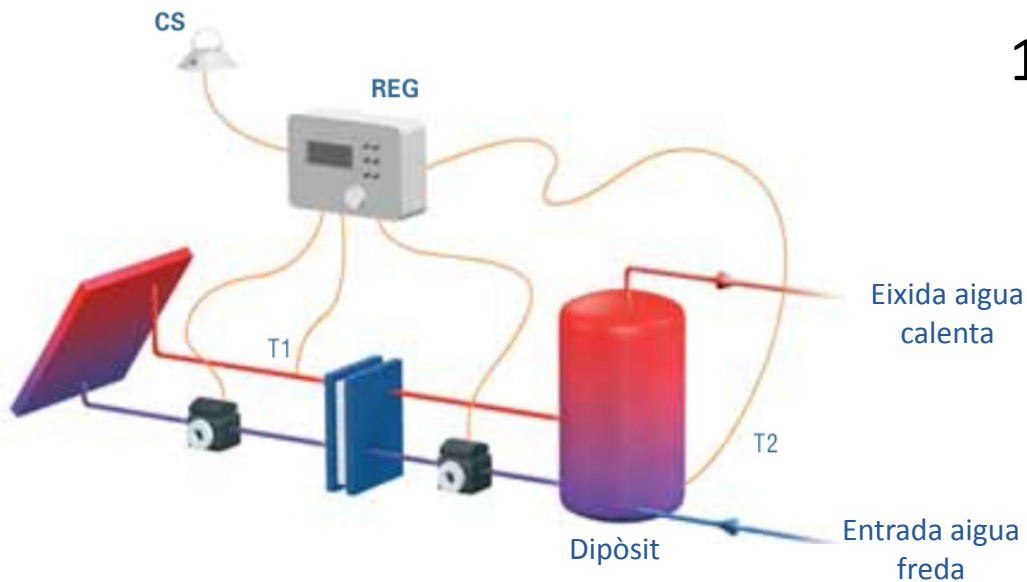
El cabal d'11,4 l/min d'ACS a 40°C podria ser suficient per a atendre una dutxa a ple servei (a uns 9 l/min) o una dutxa i un lavabo funcionant simultàniament, si els cabals requerits per tots dos serveis són moderats (p. ex. 4 l/min per al lavabo i 7,5 l/min per a la dutxa).

**Cabal dels diferents
aparells de consum
d'aigua calenta
sanitària en un
habitatge**

Punt de consum	Cabal a 40°C (litres/minut)
lavabo	3 a 5
dutxa	6 a 9
banyera	10 a 15
bidet	3 a 6
fregador	6 a 8

Si són previsibles grans consums puntuals d'aigua calenta en l'habitatge, pot optar-se per la instal·lació de calderes amb acumulació, que, a més, permeten garantir la compatibilitat amb els sistemes solars.

Regulació de les bombes de primari i secundari



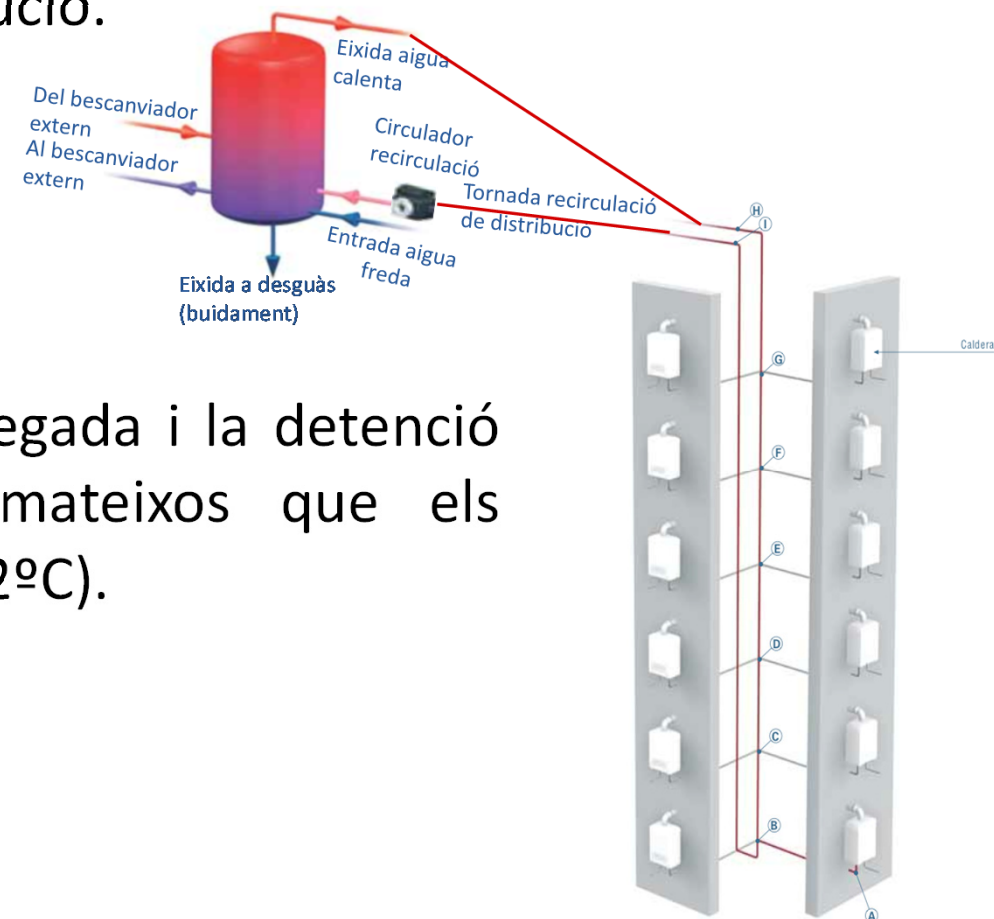
1. El circulador primari es posa en funcionament quan la insolació mesurada per la sonda CS, és suficient per a permetre una captació efectiva d'energia ($>100 \text{ W/m}^2$).

2. Amb el circulador primari en marxa, augmenta la temperatura del circuit de captadors. Quan T_1 supera en $4\text{-}6 \text{ }^\circ\text{C}$ a T_2 , s'engega el circulador secundari, i s'inicia l'aportació d'energia solar al dipòsit acumulador.

3. El circulador secundari es deté quan la diferència entre T_1 i T_2 és inferior a uns 2°C .

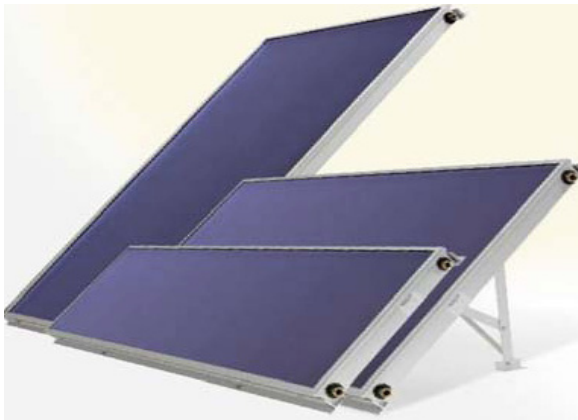
Regulació de la bomba de recirculació del circuit de distribució

- ✓ Es regularà mitjançant un termòstat diferencial, amb la sonda calenta situada en la part superior de l'acumulador centralitzat i la sonda freda instal·lada en la canalització de tornada del circuit de distribució.



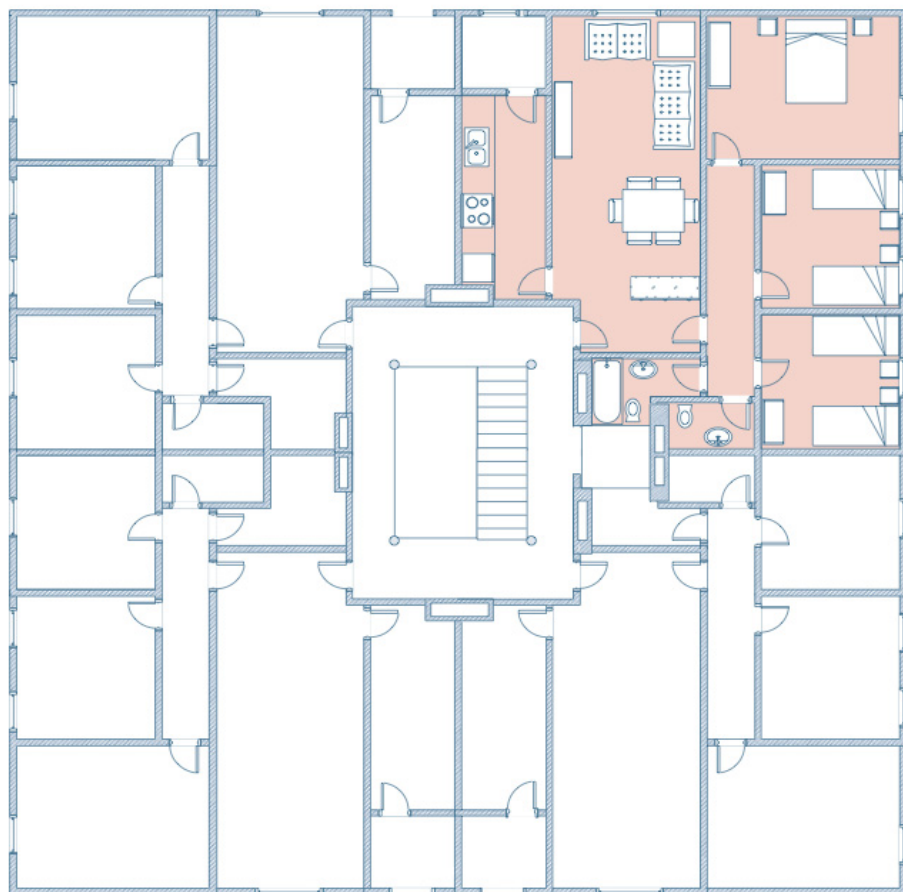
- ✓ Els salts tèrmics per a l'engegada i la detenció del circulator seran els mateixos que els indicats anteriorment (6°C i 2°C).

Exercici 2: Instal·lació en edificació plurifamiliar amb acumulació solar individual



Característiques de l'edifici(I)

- 24 habitatges repartits en 6 plantes (4 habitatges per planta) a Sevilla



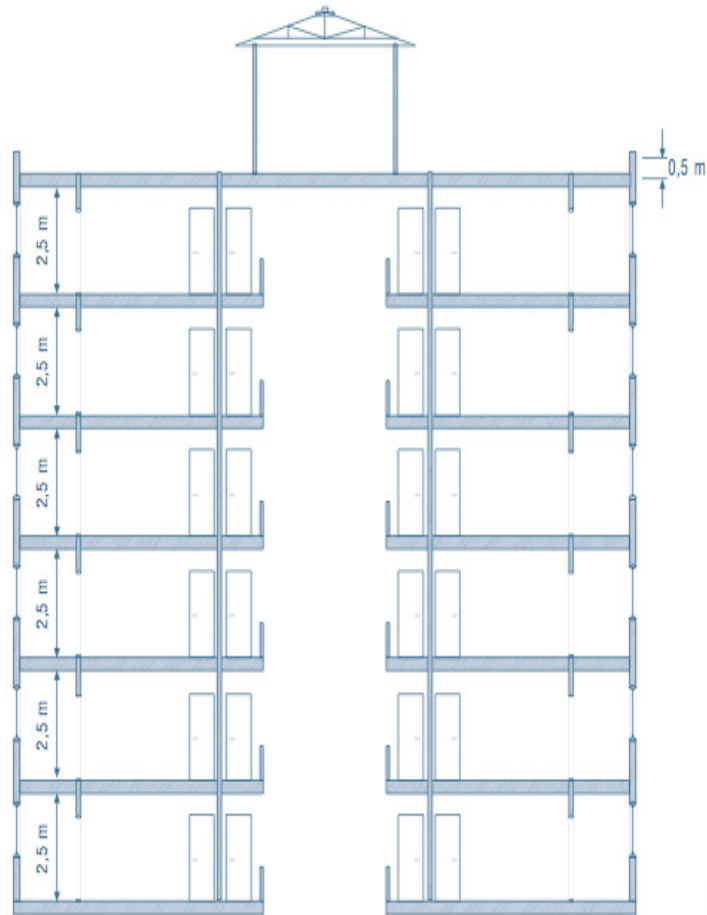
E 1:200

Tots els habitatges són iguals i consten de:

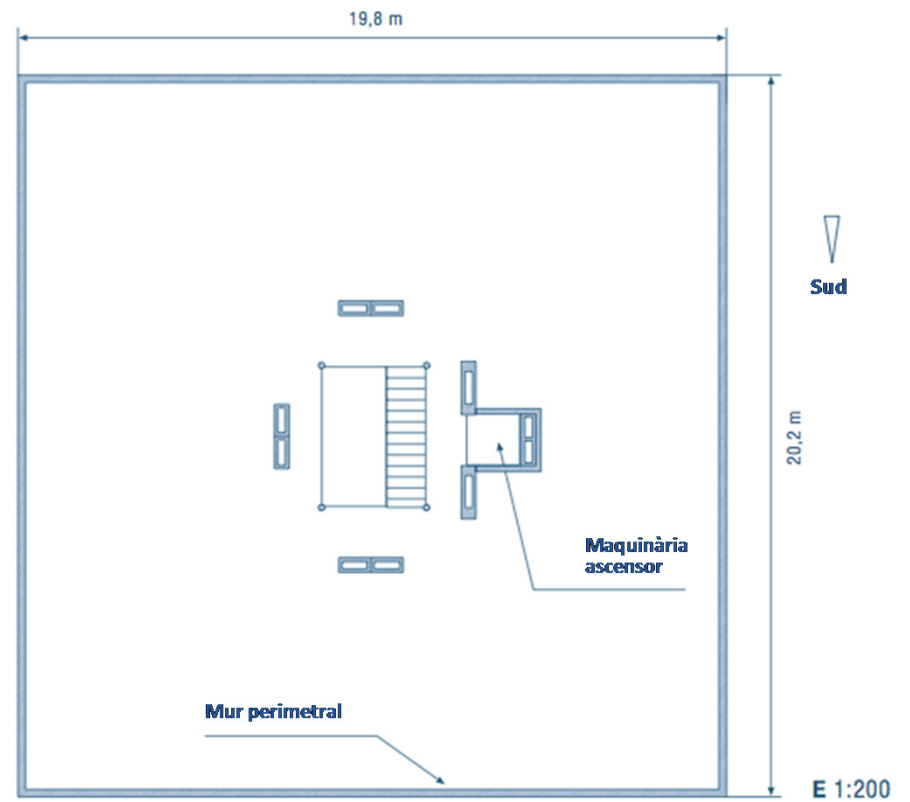
- Saló menjador
- Tres habitacions dobles
- Cuina
- Bany complet amb banyera
- Lavabo sense dutxa

Característiques de l'edifici(II)

Secció de l'edifici de referència



E 1:200

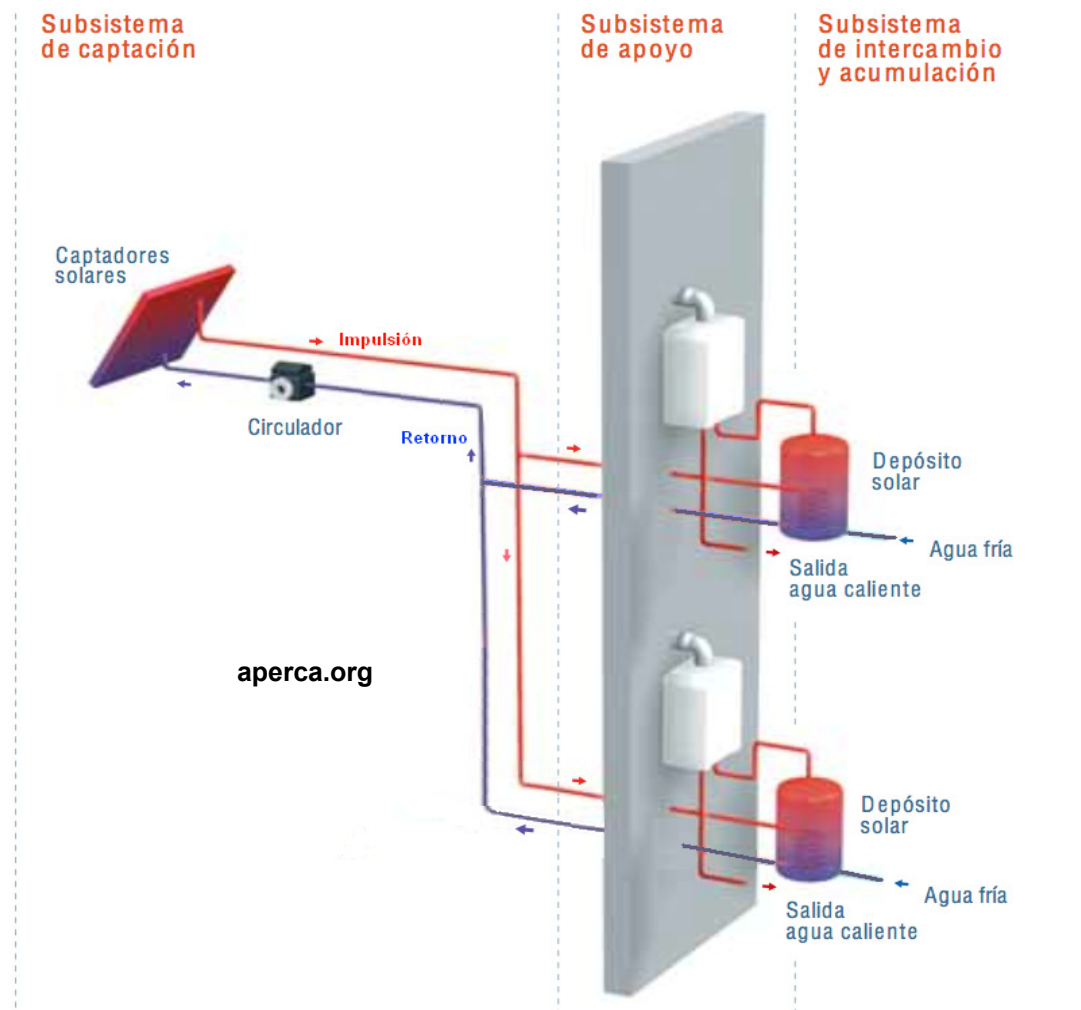


E 1:200

Instal·lació en edificació plurifamiliar amb acumulació solar individual

- La configuració podria no utilitzar bescanviador extern, ja que presenta bescanviadors individuals en cada habitatge que independitzen el circuit de distribució del de consum.

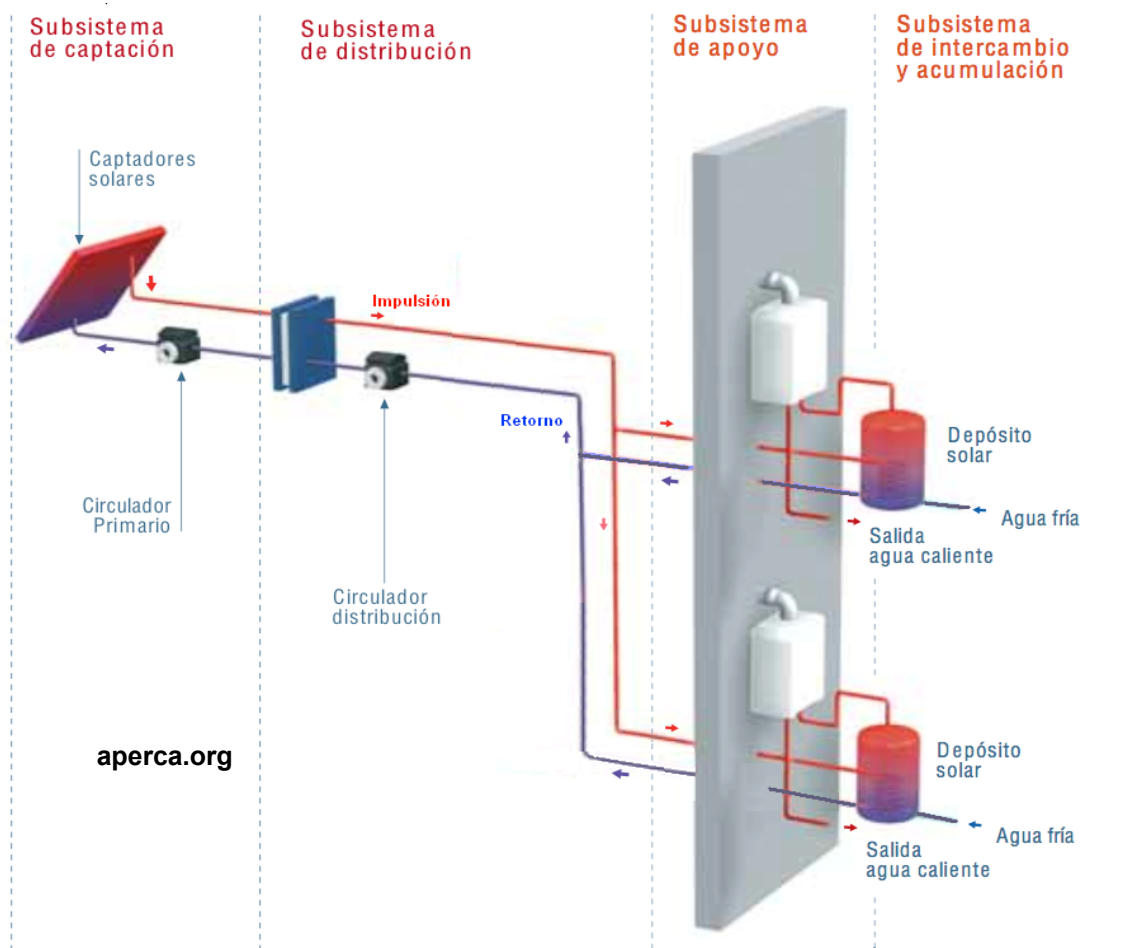
Esquema de principi d'una instal·lació en edificació plurifamiliar amb acumulació solar individual per a cada habitatge.



Instal·lació en edificació plurifamiliar amb acumulació solar individual

- No obstant això, és recomanable la utilització del bescanviador extern, donat que el circuit de distribució és llarg i es requeririen grans volums d'anticongelant en cas de no emprar-lo.

Esquema de principi d'una instal·lació en edificació plurifamiliar amb acumulació solar individual per a cada habitatge.



Demanda energètica

$$Q_{ACS,mes} = C_{dia} \cdot N \cdot C_e \cdot \rho \cdot (T_{ACS} - T_{AF})$$

□ sent:

- $Q_{ACS,mes}$: Demanda energètica en kWh/mes
- C_{dia} : Consum diari d'aigua calenta sanitària a la temperatura de referència T_{ACS} , en litres/dia
- N : Nombre de dies del mes considerat (dies/mes)
- C_e : Calor específica, per a l'aigua $4,187 \cdot 10^{-3}$ MJ/ kg°C = $1,16 \cdot 10^{-3}$ kWh/kg°C
- ρ : Densitat, per a l'aigua 1 kg/litre
- T_{ACS} : Temperatura de referència utilitzada per a la quantificació del consum d'aigua calenta, en °C
- T_{AF} : Temperatura de l'aigua freda de xarxa, en °C

Demanda energètica

Segons CTE:

- 28 litres d'aigua a 60°C per persona i dia amb un factor de centralització de 0,85
- 4 persones per habitatge (3 dormitoris)
- A una temperatura diferent de 60°C:

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

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

- D(T): Consum anual d'ACS a la temperatura T de disseny (litres)
- D_i(T): Consum d'ACS durant el mes i a la temperatura T de disseny (litres/mes)
- D_i(60°C): Consum d'ACS durant el mes i a la temperatura de 60°C (litres/mes)
- T: Temperatura de disseny de l'acumulador final (°C), en aquest cas 45°C.
- T_i: Temperatura mitjana d'entrada d'aigua freda durant el mes i (°C)

Font: SODEAN

ESTIMACIÓ DE LA DEMANDA MENSUAL

MES	Dies del mes considerat	Consum (l/dia) a 60°C	Consum (l/mes) a 60°C	Consum (l/mes) a 45°C	Txarxa	kWh/mes	MJ/mes
Gener	31	2284,8	70828,8	101184,0	10	4108	14828
Febrer	28	2284,8	63974,4	92198,4	11	3636	13125
Març	31	2284,8	70828,8	103023,7	12	3944	14235
Abril	30	2284,8	68544,0	100674,0	13	3737	13489
Maig	31	2284,8	70828,8	105100,8	14	3779	13642
Juny	30	2284,8	68544,0	102816,0	15	3578	12915
Juliol	31	2284,8	70828,8	107464,4	16	3615	13049
Agost	31	2284,8	70828,8	107464,4	16	3615	13049
Setembre	30	2284,8	68544,0	102816,0	15	3578	12915
Octubre	31	2284,8	70828,8	104029,8	13	3862	13938
Novembre	30	2284,8	68544,0	98784,0	11	3896	14063
Desembre	31	2284,8	70828,8	101184,0	10	4108	14828

TOTALS 45456 164074

Demanda energètica

Segons Ordenança Solar de Sevilla:

- 40 litres d'aigua a 45°C per persona i dia
- 6 persones per habitatge (3 dormitoris i 2 persones/dormitori)
- Factor reductor del consum (f) amb el nombre d'habitatges (n):

f = 1 per a edificis de menys de 10 habitatges

f = 1,2 – 0,02 · n per a edificis de 10 a 25 habitatges

f = 0,7 per a edificis de més de 25 habitatges

Amb 24 habitatges, f = 1,2 – 0,02 · 24 = 0,72

MES	Dies del mes considerat	Consum (l/dia)	Consum (l/mes)	Txarxa	ESTIMACIÓ DE LA DEMANDA MENSUAL	
					kWh/mes	MJ/mes
Gener	31	4147,2	128563	10	5220	18840
Febrer	28	4147,2	116122	11	4580	16531
Març	31	4147,2	128563	12	4921	17764
Abril	30	4147,2	124416	13	4618	16670
Maig	31	4147,2	128563	14	4623	16687
Juny	30	4147,2	124416	15	4330	15628
Juliol	31	4147,2	128563	16	4325	15611
Agost	31	4147,2	128563	16	4325	15611
Setembre	30	4147,2	124416	15	4330	15628
Octubre	31	4147,2	128563	13	4772	17225
Novembre	30	4147,2	124416	11	4907	17712
Desembre	31	4147,2	128563	10	5220	18840
				TOTALS	56170	202746

Font: SODEAN

Elecció de la fracció solar

$$FS = \frac{Q_s}{Q_{ACS}} (\%)$$

Q_s : Demanda d'ACS coberta mitjançant la instal·lació solar
 Q_{ACS} : Demanda tèrmica total d'ACS.

- 60% mínim CTE (zona climàtica V)
- $2/3 \cong 67\%$ mínim Ordenança Solar Sevilla

Elecció de superfície de captadors i volum acumulació

- Necessitat d'utilitzar les dades de radiació mitjana diària (IDAE-Censolar).
- Captadors solars orientats al sud amb inclinació 45°.
- F-Chart, permet determinar la superfície total de captació i el volum total d'acumulació.
 - Superfície total de captació 56 m²
 - Volum d'acumulació individual 150 litres
 - Volum total d'acumulació 24•150 litres = 3600 litres
 - Que compleix: $50 < \frac{V}{A} < 100$ (interval recomanat)
 - Fracció solar 67,6% > 67%

Característiques captador

- La corba de rendiment energètic del captador solar triada és la següent:

$$\eta = 0,79 - 6,4 \cdot (T_f - T_{AMB}) / I$$

- Dimensions:

- Alçària 2,0 m / Amplària 1,0 m
- Superfície 2,0 m²
- Capacitat 1,3 litres
- Pèrdua de càrrega 30 m.m.c.a. per a un cabal de 100 l/h

- 56 m²: 4 grups de 7 captadors en paral·lel cadascun

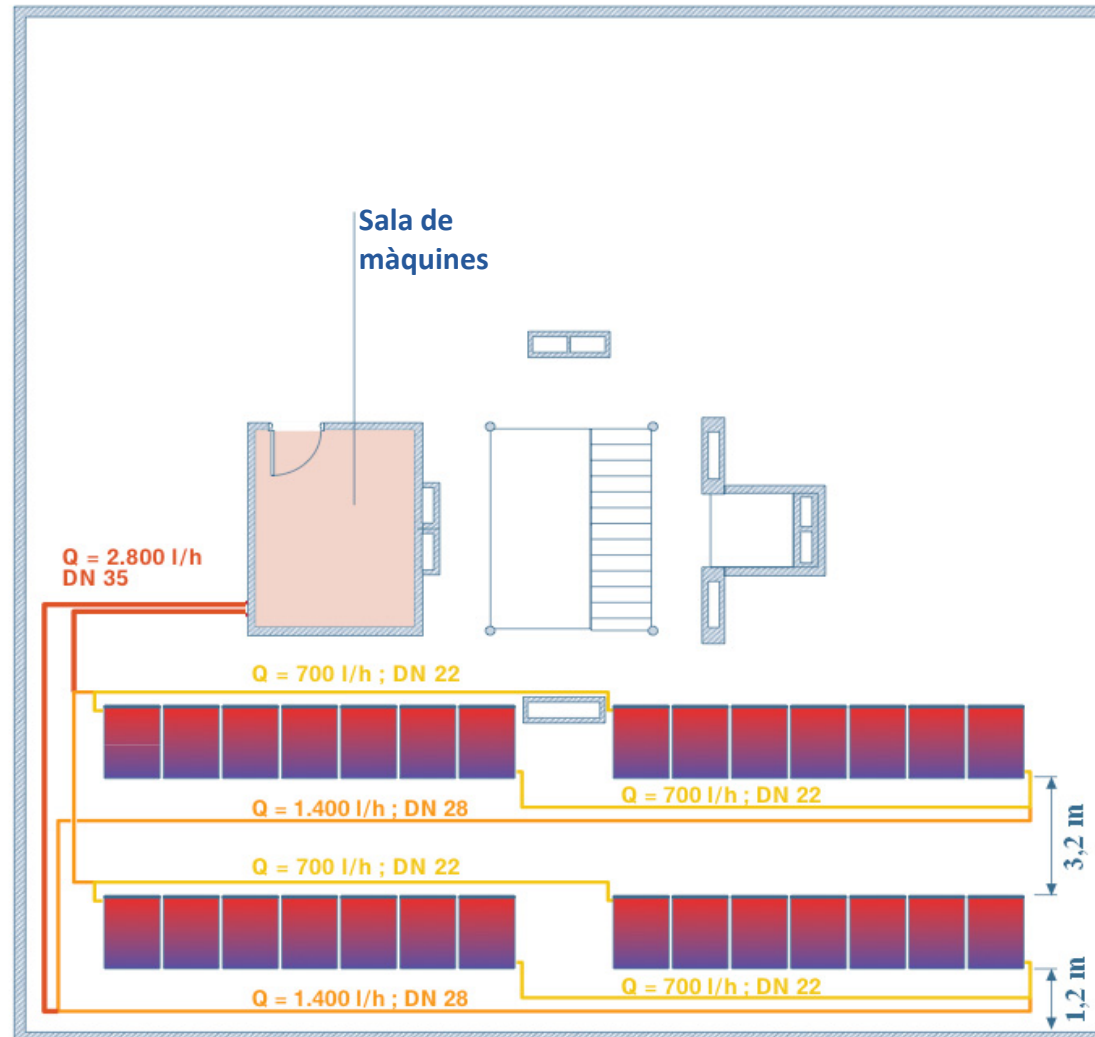
Instal·lació captadors

- Orientat al sud amb inclinació de 45° :
 - És aproximadament la latitud de l'emplaçament (major aprofitament de l'energia solar).
- Els captadors **s'instal·laran sobre estructures d'acer galvanitzat**, subministrades pel mateix fabricant dels captadors solars, amb una inclinació de 45° respecte a l'horitzontal. Els caragols necessaris per a subjecció dels captadors a l'estructura serà d'acer inoxidable.
- **Per a la fixació** de les estructures metàl·liques es farà en cada grup de captadors **una bancada de formigó amb les dimensions** aproximadament iguals a les de la **projecció vertical** de la bancada (1,5 m x 7,5 m) i una alçària de 8 -10 cm.

Instal·lació captadors

□ Paral·lel / paral·lel

Distribució dels captadors i les canonades del circuit primari i ubicació de la sala de màquines

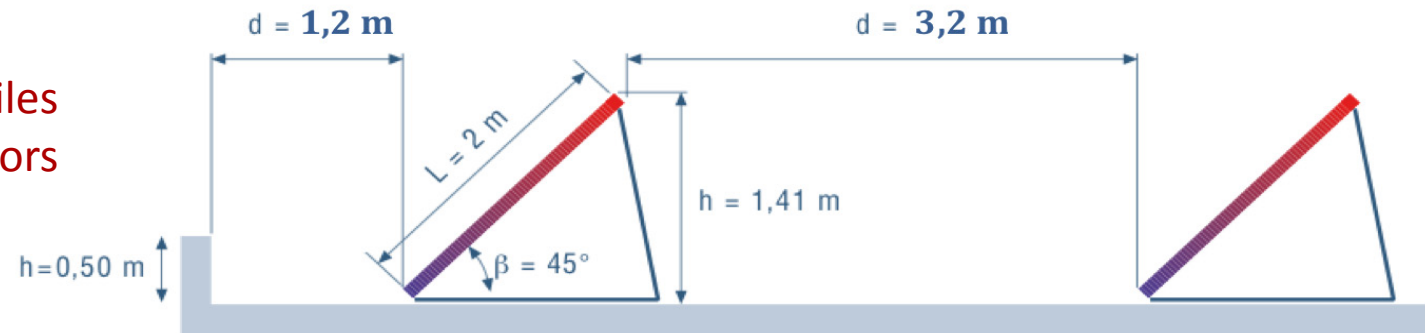


Instal·lació captadors

- Els 4 grups de captadors se situaran en la coberta de l'edifici en dues files de dos grups cadascun.
- La primera fila haurà de separar-se prou de la façana sud de l'edifici, a fi d'evitar la projecció d'ombres del xicotet mur de protecció.
- Segons el CTE:
 - $d = h \cdot k$, sent h l'alçada del mur i $k = 1/\tan(61^\circ - \text{latitud})$
 - Latitud de Sevilla $37^\circ \rightarrow k = 2,25$
 - Alçada del mur: $0,5 \text{ m} \rightarrow d = 1,12 \text{ m}$; fixem $1,2 \text{ m}$
- Separació de la segona fila respecte a la primera.
 - h és l'alçada del primer grup de captadors, tenint en compte $L=2 \text{ m}$:
 - $h = L \cdot \sin \beta = 2 \cdot \sin 45^\circ = 1,41 \text{ m}$
 - $d = h \cdot k = 1,41 \cdot 2,25 \approx 3,2 \text{ m}$

Instal·lació captadors

Separació de les files de captadors



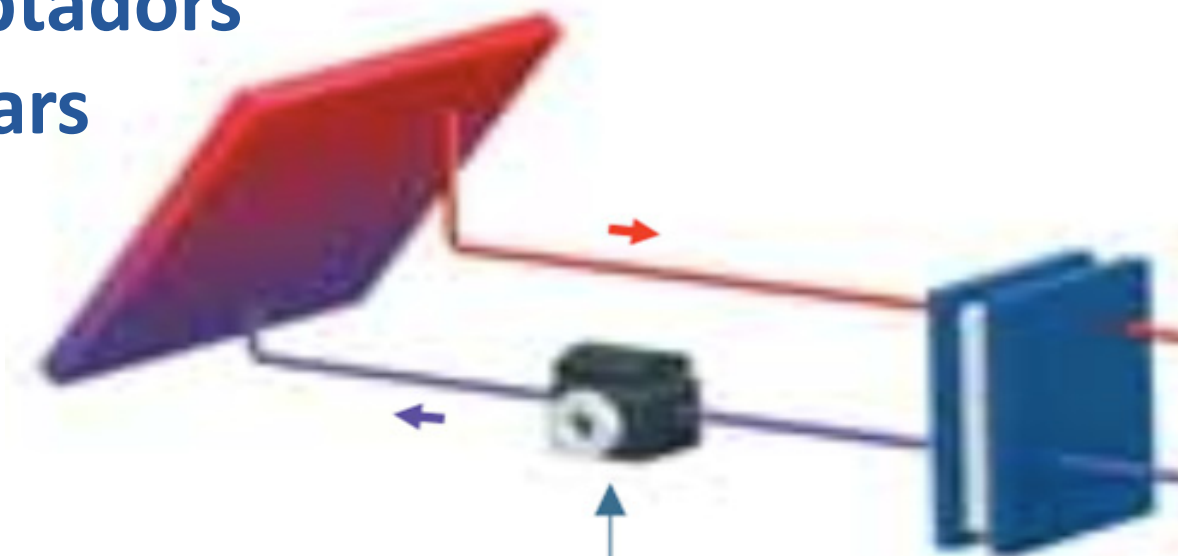
□ Connexió paral·lel / paral·lel

- En aquest cas l'equilibrament **hidràulic** es farà mitjançant una disposició en **tornada invertida**.
- En la part superior de cada grup, a l'eixida, s'instal·larà un purgador automàtic de boia per a permetre l'eixida de l'aire dels captadors.
- A més, s'instal·larà una **vàlvula d'esfera a l'entrada i l'eixida** per a poder aïllar cada grup de les canonades del circuit primari i poder procedir a realitzar eventuais operacions de manteniment o reparació sense necessitat de buidar la resta de la instal·lació.

Circuit primari solar

El circuit primari de captació solar comprèn des dels captadors solars fins a la connexió amb el bescanviador solar.

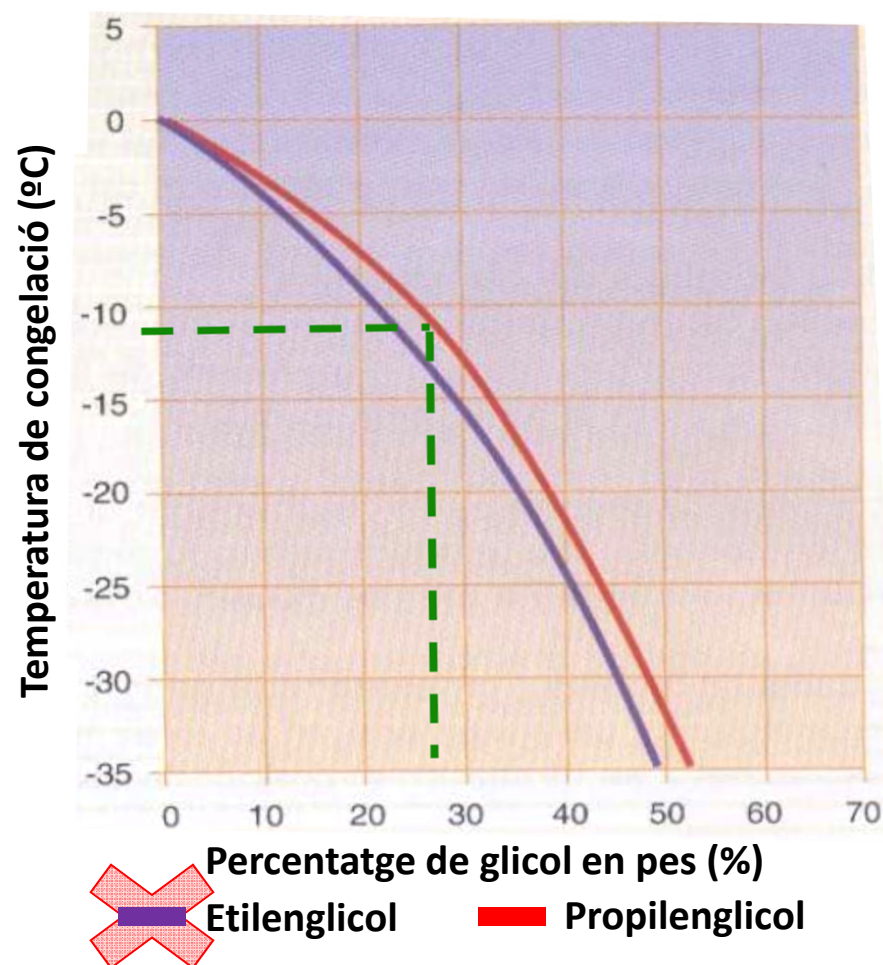
Captadors solars



Circulador Primari

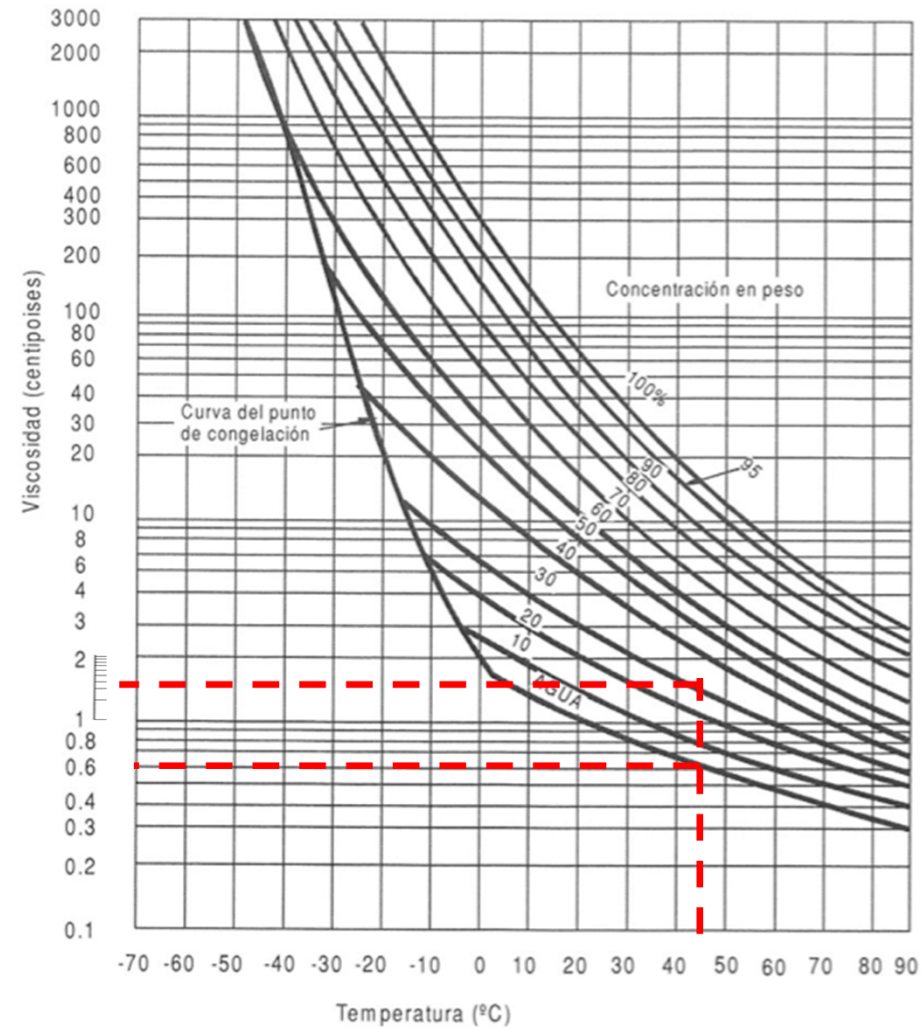
Fluid caloportador

- La temperatura mínima històrica a Sevilla és de -6° , no obstant la normativa RITE obliga que el sistema pugui suportar 5° per sota d'aquesta temperatura mínima històrica és a dir -11° .
- Per a això, necessitarem una proporció d'aproximadament el 30% de propilenglicol segons la gràfica per a evitar la congelació del fluid a l'hivern a la ciutat de Sevilla.



Fluid caloportador. Canvi de viscositat

- En aquesta proporció la viscositat per a una temperatura de 45 °C és d'1,25 centipoises (la de l'aigua a 45°C és de 0,6 cp).



Viscositat d'una dissolució de propilenglicol, en funció de la temperatura. La unitat de viscositat en el Sistema Internacional és el pascal/segon, que equival a 1000 centipoises.

Cabal del circuit primari

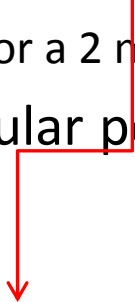
Selecció del cabal:

- El CTE indica que, en cas de no ser especificat pel fabricant, s'ha de **seleccionar un cabal** de disseny comprès entre **1,2 i 2 litres/s per cada 100 m² de superfície de captadors** (entre 43,2 i 72 litres/h·m²).
- Sol escollir-se un valor d'**1,4 litres/s per cada 100 m²**, és a dir **50 litres/h · m²**.
- Per a aquest cas, amb una superfície de captació solar de 56 m², el cabal del circuit primari s'estableix en

2.800 litres/h

Canonades del circuit primari

- Es faran amb canonada de coure.
- Selecció diàmetre de les canonades:
 - 1) La pèrdua de càrrega per metre lineal de canonada no supere els 40 m.m.ca
 - 2) La velocitat de circulació del líquid siga superior a 0,3 m/s i inferior a 2 m/s
- El diàmetre es determina a partir del cabal que ha de circular per cada tram i tenint en compte el fluid caloportador seleccionat



Diàmetre nominal (mm)	Gruix de paret (mm)	Diàmetre interior (mm)	Cabal (litres/h)
15	1,0	13,0	fins a 290
18	1,0	16,0	fins a 500
22	1,0	20,0	fins a 950
28	1,0	26,0	fins a 1900
35	1,0	33,0	fins a 3600
42	1,0	40,0	fins a 6200
54	1,2	51,6	fins a 12000

Canonades del circuit primari

- En canonades de parets llises (com les de coure) per les quals circula aigua calenta sense additius:

$$\text{Pèrdua de càrrega (mmca / m)} = 378 \cdot \frac{\text{Cabal [l / h]}^{1,75}}{\text{Diàmetre interior [mm]}^{4,75}}$$

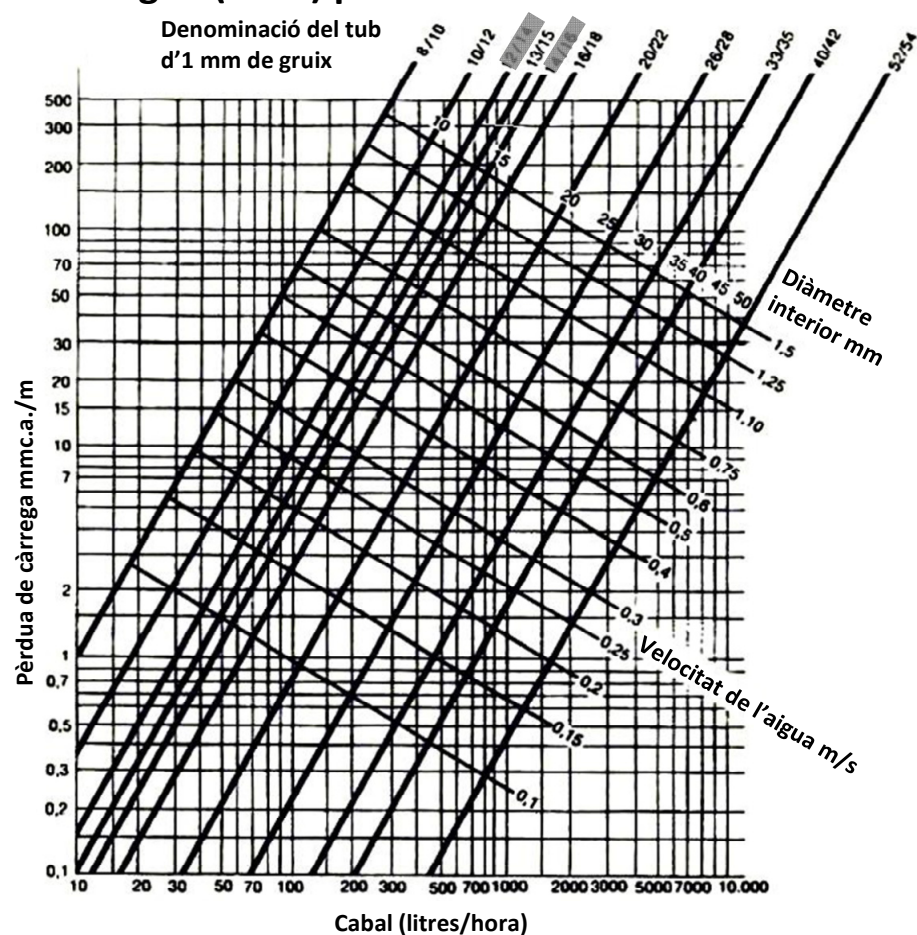
- Per a un diàmetre de canonada i un cabal donats

$$v \text{ (m / s)} = \frac{\text{Cabal [m}^3 \text{ / s]}}{\pi \cdot (\text{Diàmetre interior [m]}^2 / 4)} = 0,354 \cdot \frac{\text{Cabal [l / h]}}{\text{Diàmetre interior [mm]}^2}$$

Canonades del circuit primari

- De forma equivalent tant la pèrdua de càrrega com la velocitat poden obtenir-se gràficament:

Pèrdues de càrrega en funció del cabal d'aigua (45°C) per a canonades de coure.

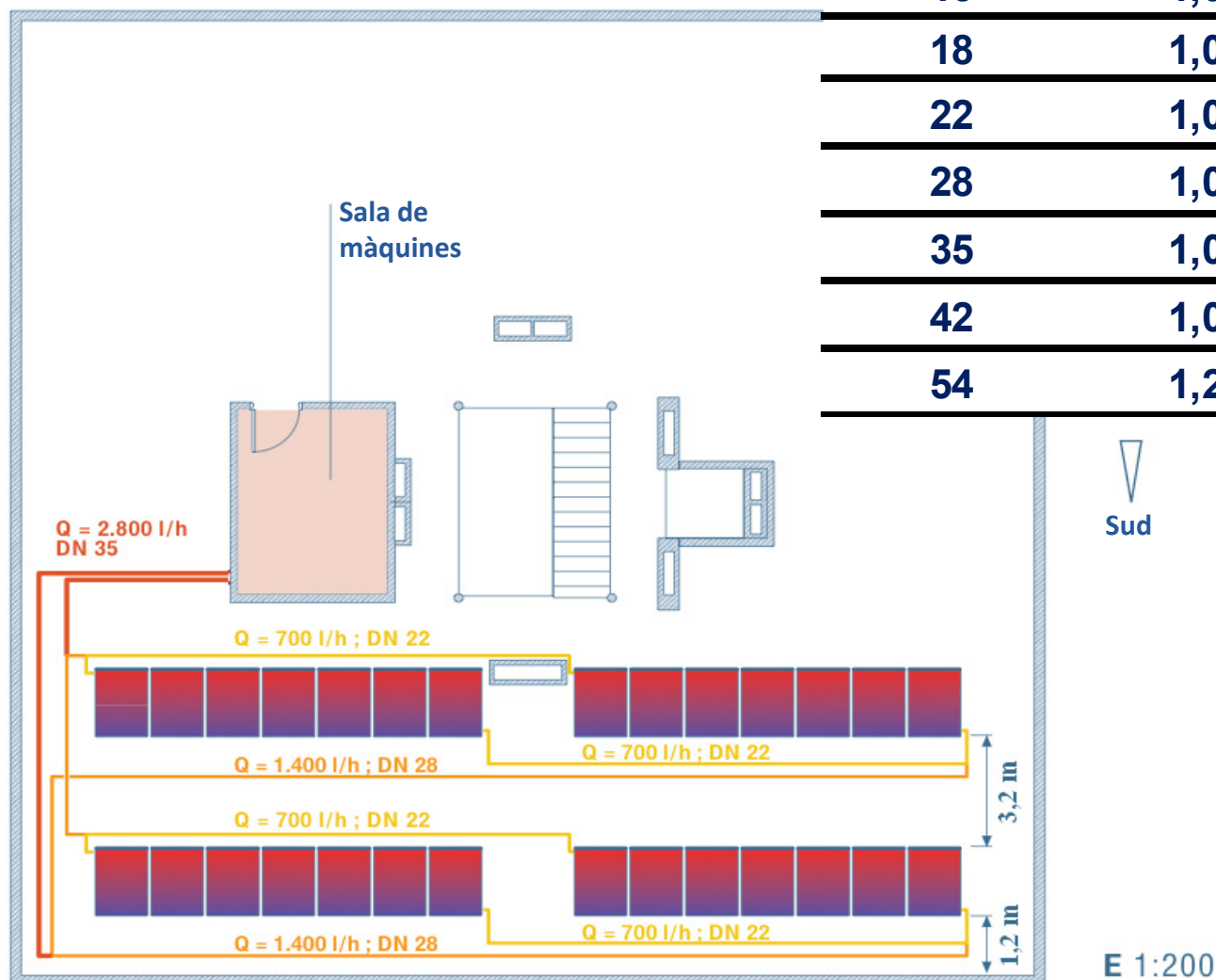


- Com que el fluid utilitzat és diferent de l'aigua, la pèrdua de càrrega s'ha d'incrementar en un factor igual a l'arrel quarta del quocient entre la viscositat de la dissolució i la de l'aigua a la temperatura considerada, en el nostre cas 45°

$$\sqrt[4]{\frac{1,25c_p}{0,6c_p}} = 1,2$$

Canonades del circuit primari

Diàmetre nominal (mm)	Gruix de paret (mm)	Diàmetre interior (mm)	Cabal (litres/h)
15	1,0	13,0	fins a 290
18	1,0	16,0	fins a 500
22	1,0	20,0	fins a 950
28	1,0	26,0	fins a 1900
35	1,0	33,0	fins a 3600
42	1,0	40,0	fins a 6200
54	1,2	51,6	fins a 12000

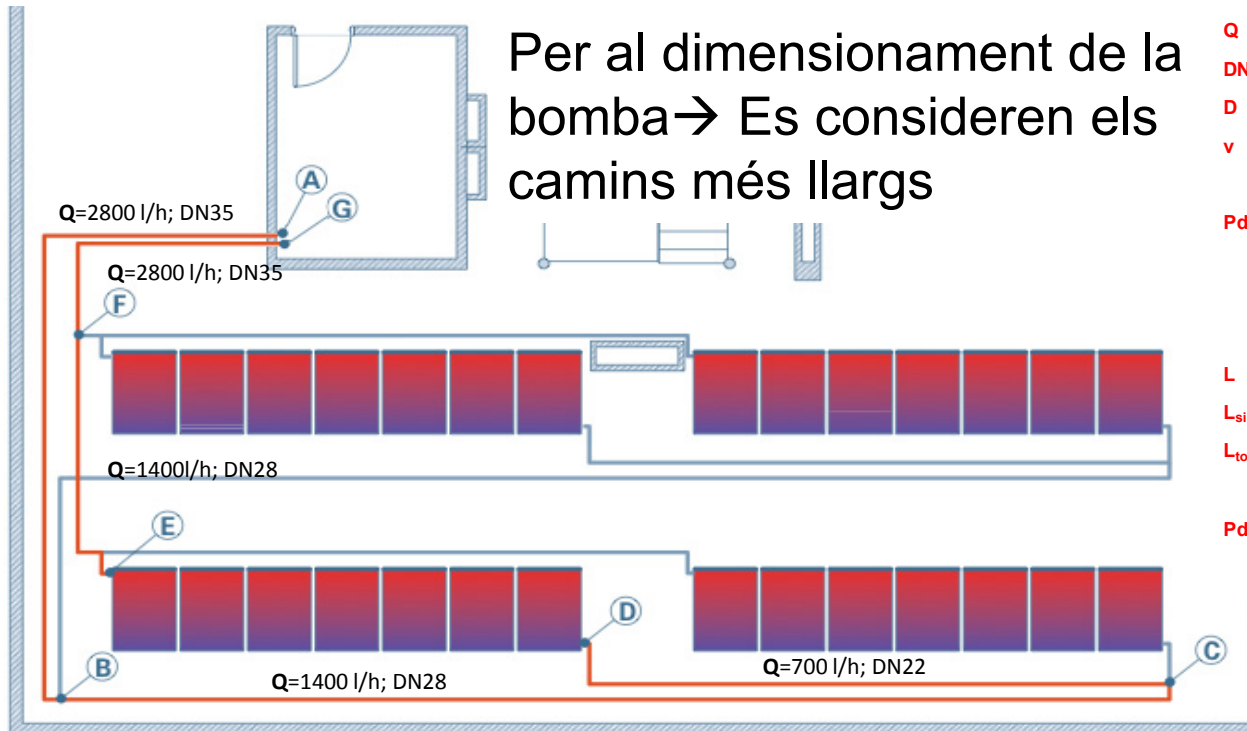


Canonades del circuit primari – trajectòria de major recorregut

Pèrdues de càrrega de les canonades del circuit primari

Tram	Q (l/h)	DN (mm)	D (mm)	V(m/s)	Pdc _{unit} (mmca/m)	L(m)	Singularitats	L _{sing} (m)	L _{total} (m)	Pdc(mca)
AB	2800	35	33	0,91	29,9	10,0	4 corbes 90° - 1T-1 vàlvula A/R	5,4	15,4	0,460
BC	1400	28	26	0,73	27,6	17,7	2 corbes 90° - 1T	1,5	19,2	0,530
CD	700	22	20	0,62	28,6	9,2	3 corbes 90°	1,4	10,6	0,301
EF	1400	28	26	0,73	27,6	4,6	3 corbes 90°-1T	2,1	6,7	0,185
FG	2800	35	33	0,91	29,9	4,5	1 corba 90° - 1T	1,2	5,7	0,172

Pdc TOTAL (mca) = 1,65



- Q** Cabal de fluid que circula per cada tram, en litres/h
- DN** Diàmetre nominal de la canonada, en mm
- D** Diàmetre interior de la canonada, en mm
- v** velocitat de circulació del fluid per cada tram
 $v(m/s)=0,354 \cdot Q/D^2$
- Pdc_{unit}** Pèrdua de càrrega per metre lineal de canonada
 $Pdc_{unit}(mm.c.a./m)=1,2 \cdot 378 \cdot Q^{1,75} / D^{4,75}$
 El factor 1,2 de l'expressió anterior s'introdueix per a tenir en compte la presència d'anticongelant en el fluid primari, de major viscositat que l'aigua.
- L** Longitud del tram de canonada, en m
- L_{sing}** Longitud equivalent de les singularitats del tram, en m
- L_{total}** Longitud total a considerar, en m
 $L_{total} = L + L_{sing}$
- Pdc** Pèrdua de càrrega del tram, en m
 $Pdc(m.c.a.)=Pdc_{unit} \times L_{total} \times 10^{-3}$

Canonades del circuit primari – Singularitats

Longitud equivalent de canonada (en m) per a pèrdues de càrrega singulars.

	Diàmetre nominal de la canonada					
	18	22	28	35	42	54
Corba de 45°	0,34	0,43	0,47	0,56	0,7	0,85
Colze de 90°	0,5	0,63	0,76	1,01	1,32	1,71
Corba de 90°	0,33	0,45	0,6	0,84	0,96	1,27
Reducció	0,3	0,5	0,65	0,85	1	1,3
T →↔	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
T ↕↑	2,5	3	3,6	4,1	4,6	5
T ↕↔	1,68	1,8	1,92	2,4	3	3,6
Vàlvula antiretom de claveta	0,5	0,77	1,05	1,61	2,1	2,66

Tram	Q (l/h)	DN (mm)	D (mm)	V(m/s)	Pdc _{unit} (mmca/m)	L(m)	Singularitats	L _{sing} (m)	L _{total} (m)	Pdc(mca)
AB	2800	35	33	0,91	29,9	10,0	4 corbes 90° - 1T-1 vàlvula A/R	5,4	15,4	0,460
BC	1400	28	26	0,73	27,6	17,7	2 corbes 90° - 1T	1,5	19,2	0,530
CD	700	22	20	0,62	28,6	9,2	3 corbes 90°	1,4	10,6	0,301
EF	1400	28	26	0,73	27,6	4,6	3 corbes 90°-1T	2,1	6,7	0,185
FG	2800	35	33	0,91	29,9	4,5	1 corba 90° - 1T	1,2	5,7	0,172

Pdc TOTAL (mca) = 1,65

Canonades del circuit primari - Conclusió

- ❑ La pèrdua de càrrega en les canonades és petita, ja que els recorreguts de canonades en l'edifici triat són curts.
- ❑ En aquest cas s'ha optat per un equilibrament mitjançant **tornada invertida** per a assegurar un correcte repartiment del cabal pels 4 grups de captadors.
- ❑ Un equilibrament mitjançant **la instal·lació de vàlvules d'equilibrament** hidràulic també haguera sigut vàlid.
- ❑ Les canonades del circuit primari s'aïllaran segons s'indica en el Reglament d'instal·lacions tèrmiques en els edificis. En aquest cas, el material triat és **una escuma elastomèrica** de cèl·lula tancada subministrada en conques de 35 mm de gruix.
- ❑ L'aïllament del circuit primari es protegirà exteriorment amb **una coberta de xapa d'alumini**.

Bomba del circuit primari

- Se selecciona en funció de la pèrdua de càrrega total (Pdc_{Total}) i el cabal del circuit primari.

$$Pdc_{Total} = Pdc_{canonades} + Pdc_{bescanviador} + Pdc_{captadors}$$

- $Pdc_{canonades} = 1,65 \text{ mca}$

- $Pdc_{bescanviador} = 1,5 \text{ mca}$ (fixada pel fabricant)

- $Pdc_{captadors}$:

- cada bateria de captadors està formada per 7 captadors connectats en paral·lel → cal sumar-li la pèrdua de càrrega dels conductes de distribució.
- $Pdc_{captadors}$ es pot determinar a partir de la corba facilitada pel fabricant.
- En cas que no es dispose d'aquesta informació, però sí de la pèrdua de càrrega d'un únic captador, podem fer ús **del mètode** Censolar. En aquest cas, la pèrdua de càrrega d'un captador a un cabal de 100 l/h és de 30 mm c.a., i per això la pèrdua del conjunt de $N=7$ captadors en paral·lel a un cabal de 700 l/h serà:

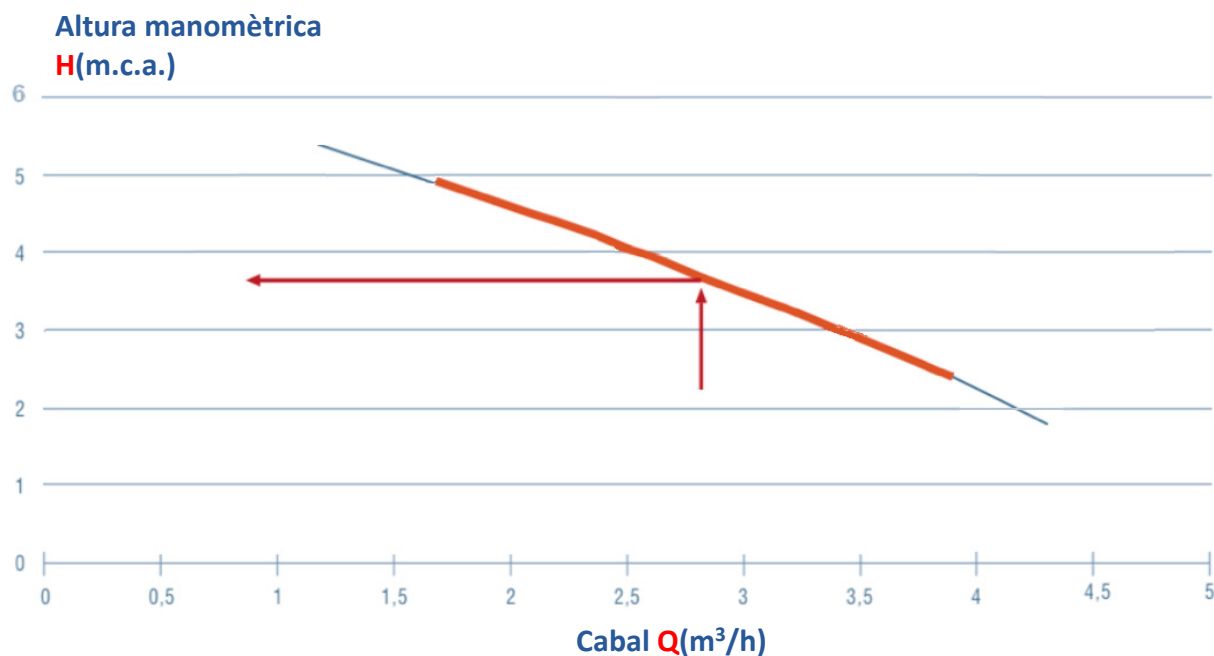
$$30 \text{ mm.c.a. } N*(N+1)/4 = 30 \text{ mm.c.a. } 7*8/4 = 420 \text{ mmca.}$$

- $Pdc_{Total} = 3,57 \text{ mca}$ ← Dada per al dimensionament de la bomba de pressió.

Bomba del circuit primari

- El cabal del circuit primari és de 2.800 litres/h, calculat a raó de 50 litres/h*m² de captació solar.
- La selecció de la bomba del circuit primari es realitzarà de manera que la seua corba característica continga aproximadament el punt de treball definit per una altura manomètrica igual a la pèrdua de càrrega del circuit $H = 3,57$ m.c.a. i un cabal Q igual a 2.800 litres/h.

Resulta recomanable que, una vegada fet el càlcul de la pèrdua de càrrega, es trie la bomba de manera que **la seua corba estiga de l'ordre d'un 20% per sobre del punt de treball**, per a poder compensar possibles pèrdues de potència de la bomba després de l'engegada.



Vas d'expansió del circuit primari

El volum total del vas d'expansió (V_t en litres) es calcula mitjançant l'expressió:

$$V_t = (V_{\min} + V \cdot C_e + V_{\text{vap}}) \cdot C_p = (V_{\min} + V_{\text{dil}} + V_{\text{vap}}) \cdot \frac{P_{\max}}{P_{\max} - P_{\min}}$$

V : Volum del fluid de treball de la instal·lació (l)

V_{\min} : Volum mínim o de reserva de fluid en el vas d'expansió (l) per a compensar la seua pèrdua o contracció a baixa temperatura.

V_{dil} : Volum de dilatació (l) = $V \cdot C_e$

V_{vap} : Volum de vaporització (l)

C_e : Coeficient d'expansió o dilatació del fluid ($\Delta V/V$)

C_p : Coeficient de pressió = V_t / V_u

Vas d'expansió del circuit primari

Volum total de fluid en el circuit primari (V):

Es pot calcular sumant els continguts dels diferents elements, principalment canonades i captadors.

DN (mm)	Diàmetre (mm)	L(m)	Capacitat (l/m)	Contingut total (l)
22	20	36,8	0,314	11,6
28	26	44,6	0,531	23,7
35	33	14,5	0,855	12,4
TOTAL				47,6

Cada captador té una capacitat d'1,3 litres. Per tant:

$$28 \text{ captadors} \times (1,3 \text{ l/captador}) = 36,4 \text{ litres}$$

El contingut total de líquid del circuit primari serà:

$$V = 47,6 \text{ litres} + 36,4 \text{ litres} = 84 \text{ litres}$$

Vas d'expansió del circuit primari

Volum mínim o de reserva (V_{\min}):

S'agafa un 3% del volum total de la instal·lació amb un mínim de 3 litres:

$$3\% \times 84 \text{ litres} = 2,52 \text{ litres}$$

Agafem $V_{\min} = 3$ litres

Volum de vaporització (V_{vap}):

L'agafem igual al volum de fluid en captadors més un 10%:

$$28 \text{ captadors} \times (1,3 \text{ l/captador}) = 36,4 \text{ litres}$$

$$V_{\text{vap}} = 1,1 \times 36,4 \text{ litres} = 40 \text{ litres}$$

Vas d'expansió del circuit primari

Coeficient d'expansió:

En cas de no poder disposar d'informació més concreta del valor de C_e per part del distribuïdor o fabricant, es fa ús de les expressions indicades en la norma UNE 100-155 per al càlcul del valor de C_e del fluid caloportador. Resulta de 0,054.

$$C_e = 0,054$$

Volum de dilatació (V_{dil}):

$$V_{dil} = V \times C_e \cong 4,5 \text{ litres}$$

Vas d'expansió del circuit primari

Coeficient de pressió:

$$C_p = \frac{V_t}{V_u} = \frac{P_{\max}}{P_{\max} - P_{\min}} = \frac{3,7}{3,7 - 1,5} = 1,68$$

$$P_{\text{man_min}} = 0,5 \text{ bar} + h(\text{m}) \cdot 0,1 \frac{\text{bar}}{\text{m}} = 0,5 \text{ bar}$$

$$P_{\min} = P_{\text{man_min}} + 1 \text{ atm} = 1,5 \text{ bar}$$

La pressió d'ompliment és de 0,5 bar i la sala de màquines està a la terrassa de l'edifici ($h=0$).

$$P_{\text{man_max}} = P_{\text{vs}} - 0,3 \text{ bar} = 2,7 \text{ bar}$$

$$P_{\max} = P_{\text{man_max}} + 1 \text{ atm} = 3,7 \text{ bar}$$

La pressió de taratge de la vàlvula de seguretat és de 3 bar.

Vas d'expansió del circuit primari

$$V_t = (V_{\min} + V \cdot C_e + V_{\text{vap}}) \cdot \frac{P_{\max}}{P_{\max} - P_{\min}} = (3 + 4,5 + 40) \cdot \frac{3,7}{3,7 - 1,5} = 80 \text{ litres}$$

En la pràctica, s'instal·larà un vas d'expansió d'una grandària comercial de 80 litres.

En funció del fabricant podem trobar els següents valors comercials: 5, 8, 12, 18, 24, 25, 35, 50, 60, 80, 100, 150, 200, 220, 300, 350, 500, 700 i 750 litres.

El vas d'expansió s'instal·larà sense vàlvula de tall, de manera que no existisca la possibilitat d'aïllar-lo accidentalment del circuit primari al qual protegeix.

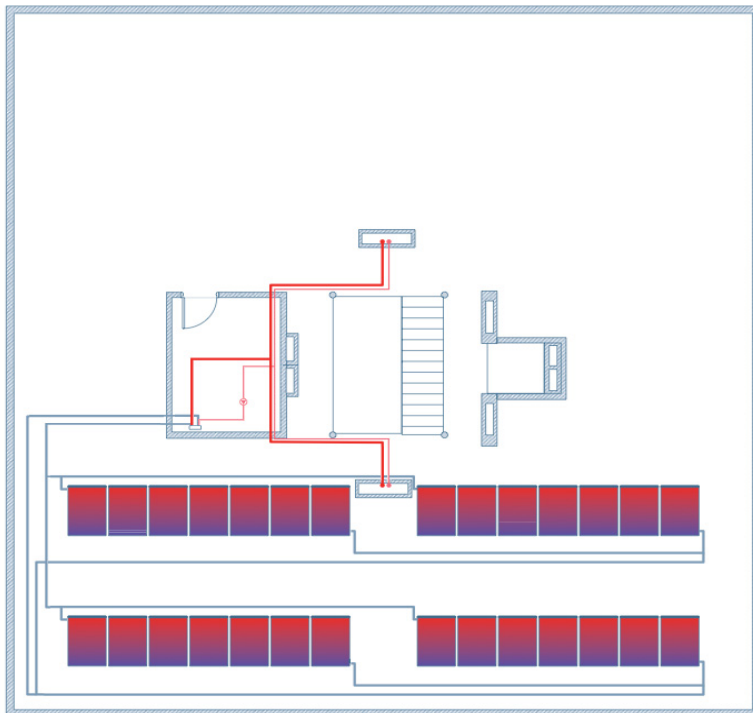
Altres elements del circuit primari

- ✓ **Vàlvula de seguretat:** És l'element limitador de la pressió a la qual puga estar sotmès el circuit sotmès a variacions de pressió i de temperatura; és imprescindible per a protegir els components de la instal·lació. En el nostre cas s'instal·larà una vàlvula de seguretat amb descàrrega conduïda a desguàs de manera que l'obertura de la vàlvula no puga provocar cremades sobre les persones o afectar altres materials. La pressió de taratge serà de 3 bar. Al costat de la vàlvula de seguretat s'instal·larà un manòmetre que permeti verificar la pressió del circuit.
- ✓ S'instal·laran **4 purgadors** d'aire en els punts alts de cadascun dels grups de captadors solars per a evitar la formació de bosses d'aire que dificulten la circulació del fluid caloportador.
- ✓ **Vàlvula antiretorn de claveta** en la impulsió de la bomba de circulació (de primari), per a evitar l'eventual circulació inversa durant la nit.
- ✓ **Connexió per a l'ompliment** i l'eventual reposició de fluid caloportador.

Circuit de distribució

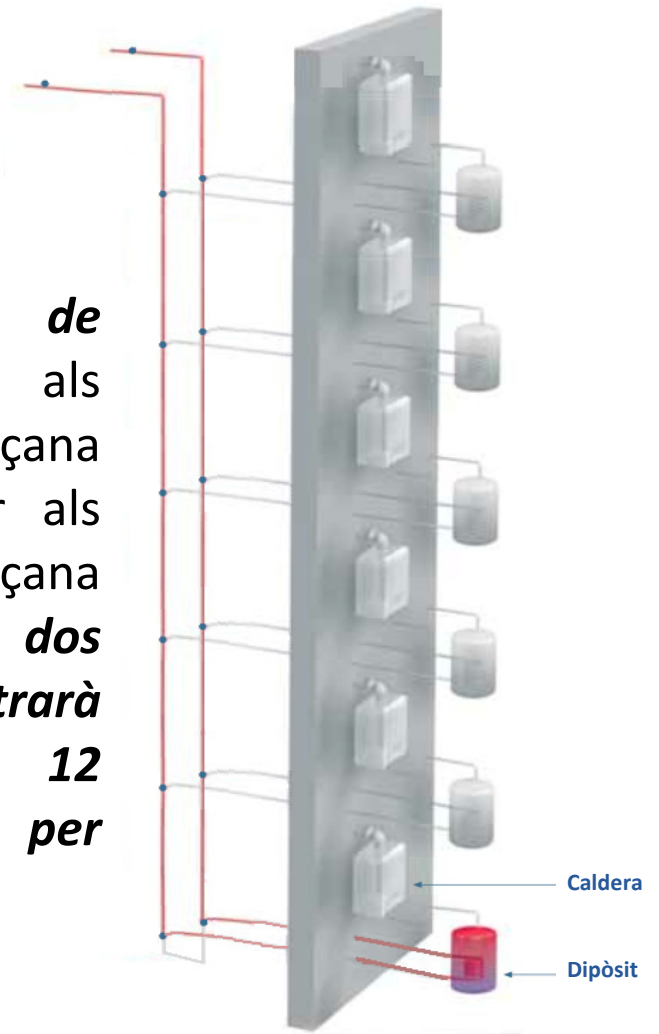
El circuit secundari coincideix amb el de distribució i és el circuit hidràulic entre el bescanviador de calor de plaques i els interacumuladors dels habitatges.

El fluid del circuit de distribució és aigua sense anticongelant.



Dos baixants de distribució, un per als habitatges de la façana nord i un altre per als habitatges de la façana sud. ***Cadascun dels dos baixants subministrarà aigua calenta a 12 habitatges (dos per planta).***

E 1:200

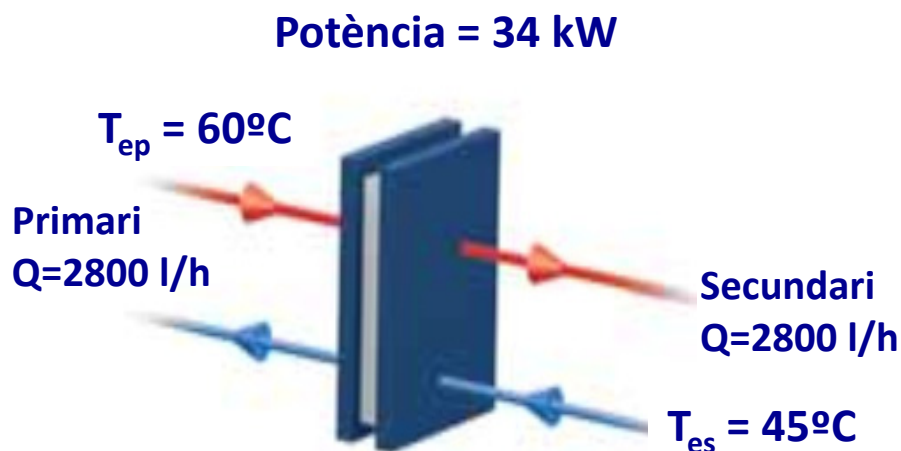


Bescanviador del circuit de distribució

Agafem una potència d'intercanvi de 600 W/m^2 (en comptes de 500 W/m^2), i amb això es compleix de sobres la condició marcada pel CTE.

Potència d'intercanvi = 34 kW

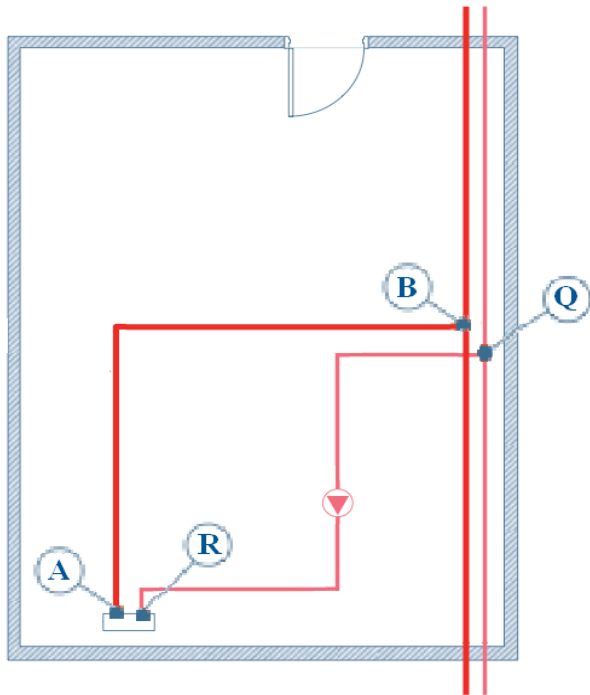
Condicions de disseny del
bescanviador de calor



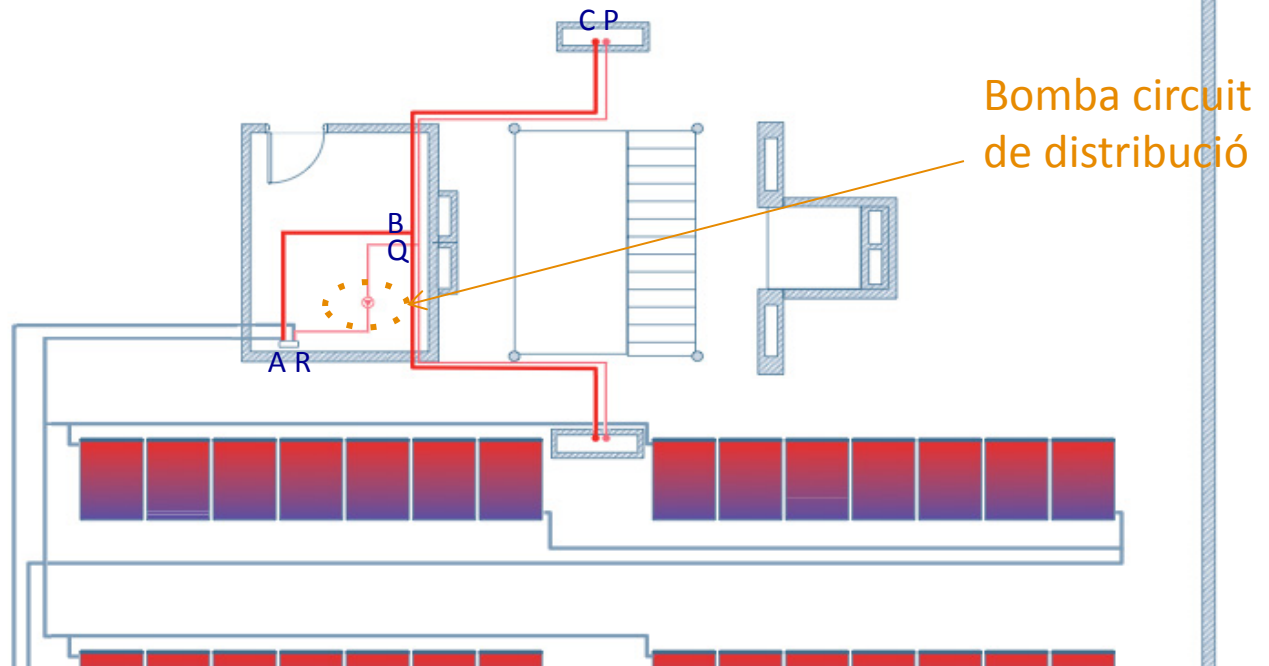
En el nostre cas el bescanviador té unes pèrdues de càrrega d'**1,5 m.c.a.** en el costat primari i **1,4 m.c.a.** en el costat secundari.

Canonades del circuit de distribució: trajectòria de major recorregut

1. Tram en coberta de l'edifici:



Diàmetre nominal (mm)	Guix de paret (mm)	Diàmetre interior (mm)	Cabal (litres/h)
15	1,0	13,0	fins a 290
18	1,0	16,0	fins a 500
22	1,0	20,0	fins a 950
28	1,0	26,0	fins a 1900
35	1,0	33,0	fins a 3600
42	1,0	40,0	fins a 6200
54	1,2	51,6	fins a 12000



Bomba circuit de distribució

Els trams de canonades dins la sala de màquines AB i QR seran amb un DN35, com correspon al cabal de 2800 litres/h.

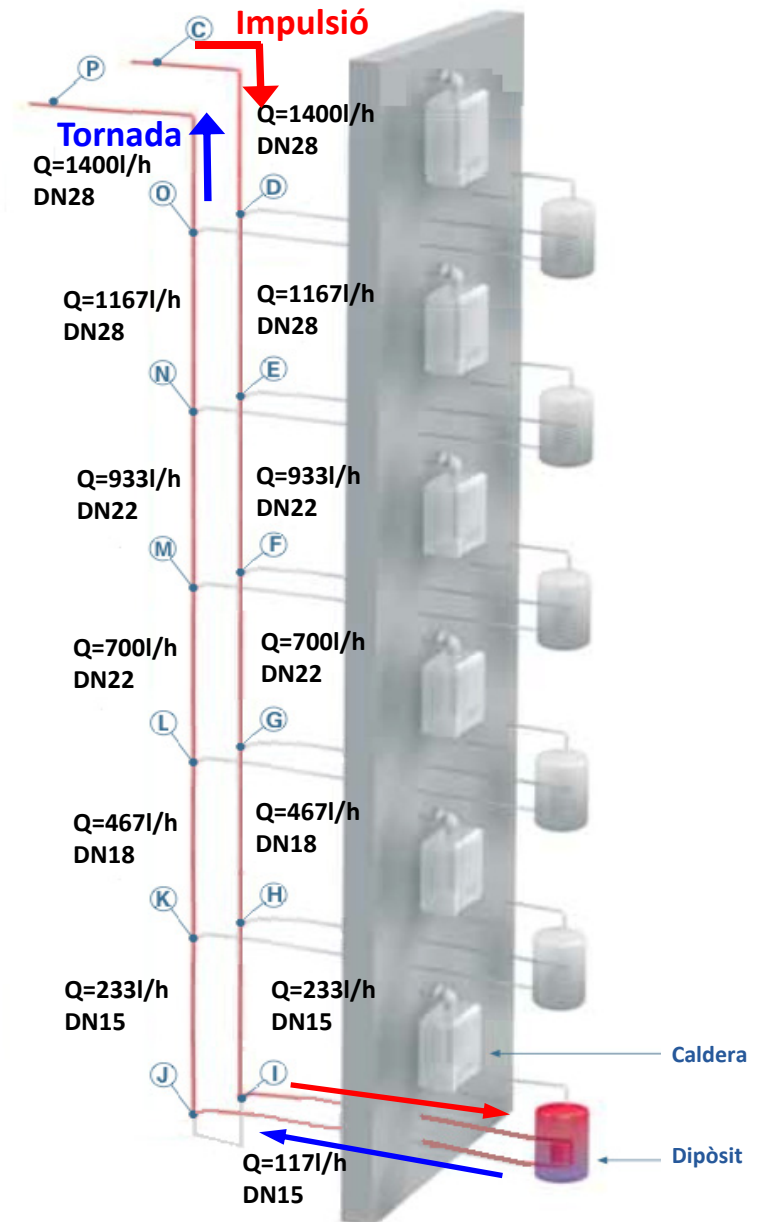
Canonades del circuit de distribució: trajectòria de major recorregut

2. Tram baixant fins a interacumuladors individuals:



Diàmetre nominal (mm)	Gruix de paret (mm)	Diàmetre interior (mm)	Cabal (litres/h)
15	1,0	13,0	fins a 290
18	1,0	16,0	fins a 500
22	1,0	20,0	fins a 950
28	1,0	26,0	fins a 1900
35	1,0	33,0	fins a 3600
42	1,0	40,0	fins a 6200
54	1,2	51,6	fins a 12000

Cabals:

- Trams CD i OP: $(2800 \text{ l/h}) / (\text{n}^{\circ} \text{ baixants}) = 1400 \text{ l/h}$
- Tram IJ: $(1400 \text{ l/h}) / (12 \text{ habitatges}) \approx 117 \text{ l/h}$
Hi ha 2 trams IJ encara que solament es represente un.
- Trams HI i JK: $2 \cdot 117 \text{ l/h} = 233 \text{ l/h}$
- Trams GH i KL: $4 \cdot 117 \text{ l/h} = 467 \text{ l/h}$
- Trams FG i LM: $6 \cdot 117 \text{ l/h} = 700 \text{ l/h}$
- Trams EF i MN: $8 \cdot 117 \text{ l/h} = 933 \text{ l/h}$
- Trams DE i NO: $10 \cdot 117 \text{ l/h} = 1167 \text{ l/h}$



Canonades del circuit de distribució: trajectòria de major recorregut

Tram	Q (l/h)	DN (mm)	D (mm)	V(m/s)	Pdc _{unit} (mmca/m)	L (m)	Singularitats	L _{sing} (m)	L _{total} (m)	Pdc (mca)
A-B	2800	35	33	0,91	25,0	8,0	1 corba 90° - 1T	1,24	9,24	0,231
B-C	1400	28	26	0,73	23,0	8,5	4 corbes 90° - 1T 	6,00	14,50	0,334
C-D	1400	28	26	0,73	23,0	0,5	1 corba 90°	0,60	1,10	0,025
D-E	1167	28	26	0,61	16,7	2,8	1T	0,30	3,10	0,052
E-F	933	22	20	0,83	39,3	2,8	1T	0,20	3,00	0,118
F-G	700	22	20	0,62	23,8	2,8	1T	0,20	3,00	0,071
G-H	467	18	16	0,65	33,8	2,8	1T	0,15	2,95	0,100
H-I	233	15	13	0,49	26,9	2,8	1T	0,15	2,95	0,079
I-J	117	15	13	0,25	8,0	4,0	6 corbes 90° - 1T 	3,65	7,65	0,062
J-K	233	15	13	0,49	26,9	2,8	1T	0,15	2,95	0,079
K-L	467	18	16	0,65	33,8	2,8	1T	0,15	2,95	0,100
L-M	700	22	20	0,62	23,8	2,8	1T	0,20	3,00	0,071
M-N	933	22	20	0,83	39,3	2,8	1T	0,20	3,00	0,118
N-O	1167	28	26	0,61	16,7	2,8	1T	0,30	3,10	0,052
O-P	1400	28	26	0,73	23,0	0,5	1 corba 90°	0,60	1,10	0,025
P-Q	1400	28	26	0,73	23,0	8,5	4 corbes 90° - 1T	2,70	11,20	0,258
Q-R	2800	35	33	0,91	25,0	8,0	4 corbes 90° - 1T-1 vàlvula A/R	5,37	13,37	0,334

Pdc TOTAL (mca) = 2,11

Q Cabal de fluid que circula per cada tram, en litres/h

DN Diàmetre nominal de la canonada, en mm

D Diàmetre interior de la canonada, en mm

v velocitat de circulació del fluid per cada tram

$$v(m/s)=0,354 \cdot Q/D^2$$

Pdc_{unit} Pèrdua de càrrega per metre lineal de canonada

$$Pdc_{unit}(mm.c.a./m)=378 \cdot Q^{1,75} / D^{4,75}$$

L Longitud del tram de canonada, en m

L_{sing} Longitud equivalent de les singularitats del tram, en m

L_{total} Longitud total a considerar, en m

$$L_{total} = L + L_{sing}$$

Pdc Pèrdua de càrrega del tram, en m

$$Pdc(m.c.a.)=Pdc_{unit} \times L_{total} \times 10^{-3}$$

Canonades del circuit de distribució – Singularitats

	Diàmetre nominal de la canonada					
	18	22	28	35	42	54
Longitud equivalent de canonada (en m) per a pèrdues de càrrega singulars.						
Font: Gas Natural						
Corba de 45°	0,34	0,43	0,47	0,56	0,7	0,85
Colze de 90°	0,5	0,63	0,76	1,01	1,32	1,71
Corba de 90°	0,33	0,45	0,6	0,84	0,96	1,27
Reducció	0,3	0,5	0,65	0,85	1	1,3
T	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
T	2,5	3	3,6	4,1	4,6	5
T	1,68	1,8	1,92	2,4	3	3,6
Vàlvula antiretorn de claveta	0,5	0,77	1,05	1,61	2,1	2,66

Tram	Q (l/h)	DN (mm)	D (mm)	V(m/s)	Pdc _{unit} (mmca/m)	L (m)	Singularitats	L _{sing} (m)	L _{total} (m)	Pdc (mca)
A-B	2800	35	33	0,91	25,0	8,0	1 corba 90° - 1T	1,24	9,24	0,231
B-C	1400	28	26	0,73	23,0	8,5	4 corbes 90° - 1T	6,00	14,50	0,334
C-D	1400	28	26	0,73	23,0	0,5	1 corba 90°	0,60	1,10	0,025
D-E	1167	28	26	0,61	16,7	2,8	1T	0,30	3,10	0,052
E-F	933	22	20	0,83	39,3	2,8	1T	0,20	3,00	0,118
F-G	700	22	20	0,62	23,8	2,8	1T	0,20	3,00	0,071
G-H	467	18	16	0,65	33,8	2,8	1T	0,15	2,95	0,100
H-I	233	15	13	0,49	26,9	2,8	1T	0,15	2,95	0,079
I-J	117	15	13	0,25	8,0	4,0	6 corbes 90° - 1T	3,65	7,65	0,062
J-K	233	15	13	0,49	26,9	2,8	1T	0,15	2,95	0,079
K-L	467	18	16	0,65	33,8	2,8	1T	0,15	2,95	0,100
L-M	700	22	20	0,62	23,8	2,8	1T	0,20	3,00	0,071
M-N	933	22	20	0,83	39,3	2,8	1T	0,20	3,00	0,118
N-O	1167	28	26	0,61	16,7	2,8	1T	0,30	3,10	0,052
O-P	1400	28	26	0,73	23,0	0,5	1 corba 90°	0,60	1,10	0,025
P-Q	1400	28	26	0,73	23,0	8,5	4 corbes 90° - 1T	2,70	11,20	0,258
Q-R	2800	35	33	0,91	25,0	8,0	4 corbes 90° - 1T-1 vàlvula A/R	5,37	13,37	0,334

Pdc TOTAL (mca) = **2,11**

Les canonades del circuit de distribució s'aïllaran amb escuma elastomèrica de cèl·lula tancada en conques de 25 mm.

Bomba del circuit de distribució

- Se selecciona en funció de la pèrdua de càrrega total (Pdc_{Total}) i el cabal del circuit de distribució.

$$Pdc_{Total} = Pdc_{canonades} + Pdc_{bescanviador} + Pdc_{bescanviador-individual}$$

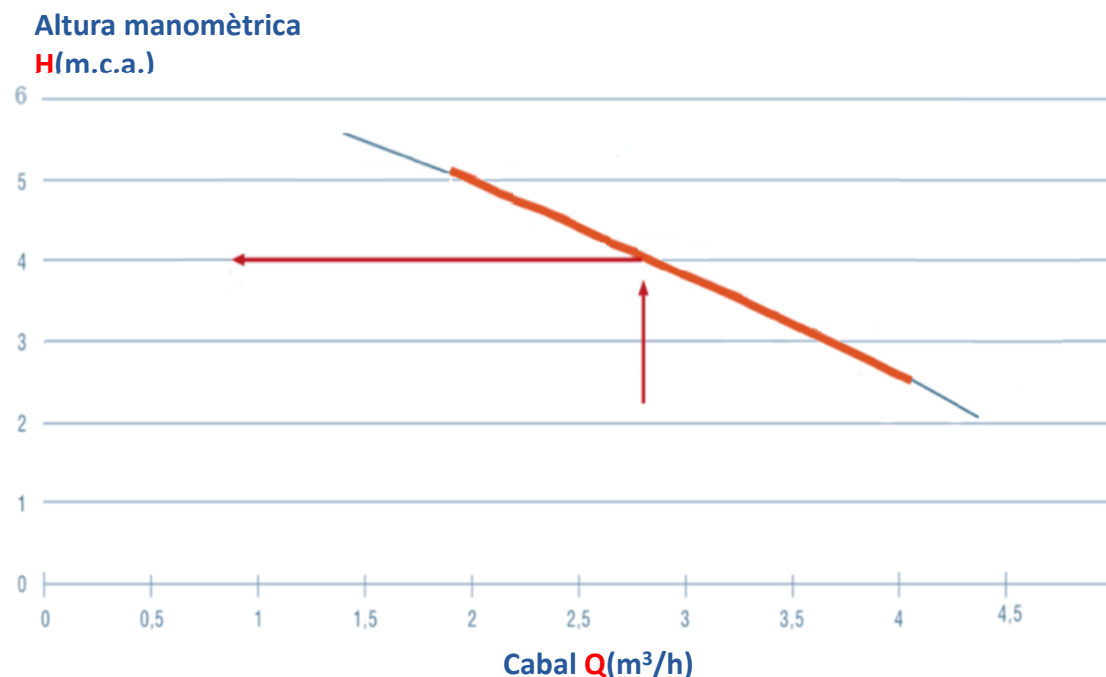
- $Pdc_{canonades} = 2,11$ m.c.a.
- $Pdc_{bescanviador} = 1,4$ m.c.a. (proporcionada pel fabricant)
- $Pdc_{bescanviador-individual} = 0,5$ m.c.a. (proporcionada pel fabricant)

- $Pdc_{Total} = 4$ m.c.a. ← Dada per al dimensionament de la bomba de pressió.

Bomba del circuit de distribució

- El cabal del circuit de distribució és de 2.800 litres/h.
- La selecció de la bomba del circuit de distribució es farà de manera que la seua corba característica continga aproximadament el punt de treball definit per una altura manomètrica igual a la pèrdua de càrrega del circuit $H = 4$ m.c.a. i un cabal Q igual a 2.800 litres/h.

És recomanable que, una vegada fet el càlcul de la pèrdua de càrrega, es trie la bomba de manera que **la seua corba estiga de l'ordre d'un 20% per sobre del punt de treball**, per a poder compensar possibles pèrdues de potència de la bomba després de l'engegada.



Vas d'expansió del circuit de distribució

El volum total del vas d'expansió (V_t en litres) es calcula mitjançant l'expressió:

$$V_t = (V_{\min} + V \cdot C_e + V_{\text{vap}}) \cdot C_p = (V_{\min} + V_{\text{dil}} + V_{\text{vap}}) \cdot \frac{P_{\max}}{P_{\max} - P_{\min}}$$

V : Volum del fluid de treball de la instal·lació (l)

V_{\min} : Volum mínim o de reserva de fluid en el vas d'expansió (l) per a compensar la seua pèrdua o contracció a baixa temperatura.

V_{dil} : Volum de dilatació (l) = $V \cdot C_e$

V_{vap} : Volum de vaporització (l)

C_e : Coeficient d'expansió o dilatació del fluid ($\Delta V/V$)

C_p : Coeficient de pressió = V_t / V_u

Vas d'expansió del circuit de distribució

Volum total de fluid en el circuit de distribució (V):

Es pot calcular sumant els continguts dels diferents elements: canonades i el serpentí de cada acumulador individual.

DN (mm)	Diàmetre (mm)	L (m)	Capacitat (l/m)	Contingut total (l)
15	13	107,2	0,133	14,2
18	16	11,2	0,201	2,3
22	20	22,4	0,314	7,0
28	26	47,2	0,531	25,1
35	33	16,0	0,855	13,7
TOTAL				62,3

El serpentí de cada interacumulador individual té una capacitat de 3 litres. Per tant:

$$24 \text{ interacumuladors} \times (3 \text{ l/interacumulador}) = 72 \text{ litres}$$

El contingut total de líquid del circuit de distribució serà:

$$V = 62,3 \text{ litres} + 72 \text{ litres} = 134,3 \text{ litres}$$

Vas d'expansió del circuit de distribució

Volum mínim o de reserva (V_{\min}):

S'agafa un 3% del volum total de la instal·lació amb un mínim de 3 litres:

$$V_{\min} = 3\% \times 134,3 \text{ litres} = 4,03 \text{ litres}$$

Volum de vaporització (V_{vap}):

No es considera perquè no es tracta del circuit primari solar.

Vas d'expansió del circuit de distribució

Coeficient d'expansió:

El fluid caloportador és aigua sense additius. Si es fa ús de les expressions indicades en la norma UNE 100-155 per al seu càlcul, el valor de C_e de l'aigua resulta ser de 0,04.

$$C_e = 0,04$$

Volum de dilatació (V_{dil}):

$$V_{dil} = V \times C_e = 134,3 \text{ litres} \times 0,04 = 5,4 \text{ litres}$$

Vas d'expansió del circuit de distribució

Coeficient de pressió:

$$C_p = \frac{V_t}{V_u} = \frac{P_{\max}}{P_{\max} - P_{\min}} = \frac{3,7}{3,7 - 1,5} = 1,68$$

$$P_{\text{man_min}} = 0,5 \text{ bar} + h(\text{m}) \cdot 0,1 \frac{\text{bar}}{\text{m}} = 0,5 \text{ bar}$$

$$P_{\text{min}} = P_{\text{man_min}} + 1 \text{ atm} = 1,5 \text{ bar}$$

La pressió d'ompliment és de 0,5 bar i la diferència de cotes és $h=0$.

$$P_{\text{man_max}} = P_{\text{vs}} - 0,3 \text{ bar} = 2,7 \text{ bar}$$

$$P_{\text{max}} = P_{\text{man_max}} + 1 \text{ atm} = 3,7 \text{ bar}$$

La pressió de taratge de la vàlvula de seguretat és de 3 bar.

Vas d'expansió del circuit de distribució

$$V_t = (V_{\min} + V \cdot C_e + V_{\text{vap}}) \cdot \frac{P_{\max}}{P_{\max} - P_{\min}} = (4,03 + 5,4 + 0) \cdot \frac{3,7}{3,7 - 1,5} = 15,8 \text{ litres}$$

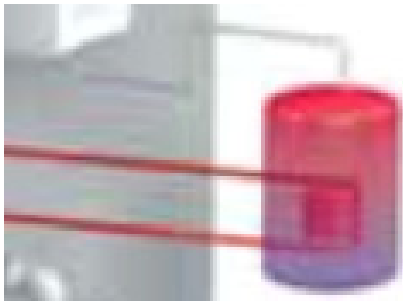
En la pràctica, s'instal·larà un vas d'expansió d'una grandària comercial de 18 litres.

En funció del fabricant podem trobar els següents valors comercials: 5, 8, 12, 18, 24, 25, 35, 50, 60, 80, 100, 150, 200, 220, 300, 350, 500, 700 i 750 litres.

El vas d'expansió s'instal·larà sense vàlvula de tall, de manera que no existisca la possibilitat d'aïllar-lo accidentalment del circuit de distribució al qual protegeix.

Subsistema d'intercanvi i acumulació

Està format únicament pels dipòsits interacumuladors individuals (un per habitatge).



- Capacitat 150 litres (3600 litres/ 24 habitatges)
- Instal·lació mural vertical
- Dimensions aproximades $H = 1,265 \text{ m}$;
 $\Phi = 0,56 \text{ m}$ (amb aïllament)
- Bescanviador intern, de serpentí
- Superfície d'intercanvi $0,6 \text{ m}^2$
- Volum de fluid en el serpentí 3 litres

La recomanació del CTE d'un mínim de $0,15 \text{ m}^2_{\text{intercanvi}} / \text{m}^2_{\text{captació solar}}$ es compleix:

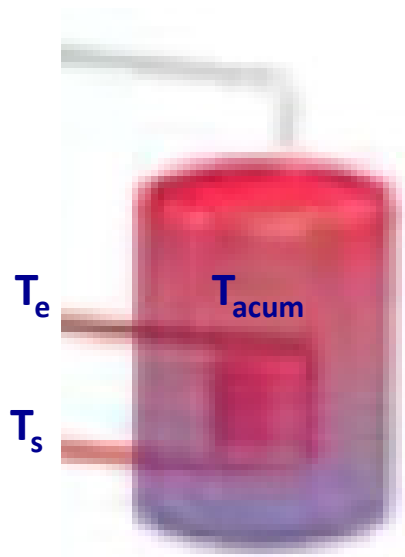
$$0,6 \text{ m}^2 \cdot 24 \text{ interacumuladors} = 14,4 \text{ m}^2_{\text{intercanvi total en l'edifici}}$$
$$(14,4 \text{ m}^2_{\text{intercanvi}}) / (56 \text{ m}^2_{\text{captadors}}) = 0,26 \text{ m}^2_{\text{intercanvi}} / \text{m}^2_{\text{captació solar}}$$

Subsistema d'intercanvi i acumulació

Eficàcia del bescanviador de calor en cas d'interacumulador (ϵ):

$$\epsilon = (T_e - T_s) / (T_e - T_{acum})$$

- ✓ *Temperatura d'entrada del fluid caloportador (T_e).*
- ✓ *Temperatura d'eixida del fluid caloportador (T_s).*
- ✓ *Temperatura de l'aigua acumulada (T_{acum}).*

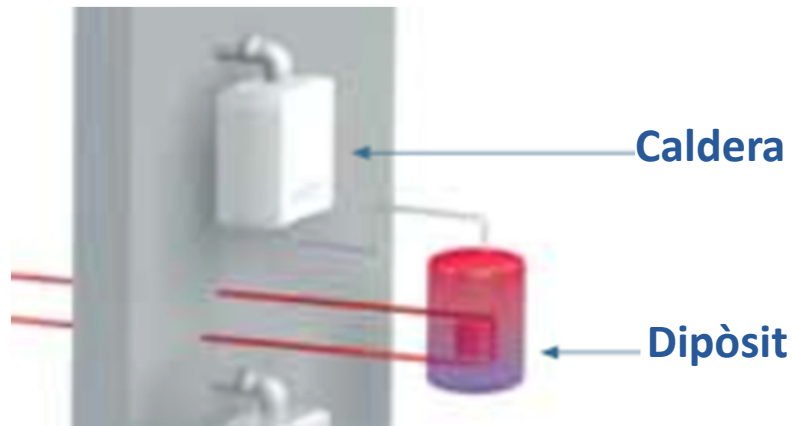


Com més baixa siga l'eficàcia del bescanviador de calor, més alta serà la temperatura de tornada i, per tant, més baix serà el rendiment de la instal·lació solar.

Subsistema de suport

L'eixida de l'aigua calenta de cada interacumulador es conduirà a una caldera mural de suport individual.

Per a la selecció de la caldera se seguirà el que s'indica en l'exercici 1 de Barcelona.

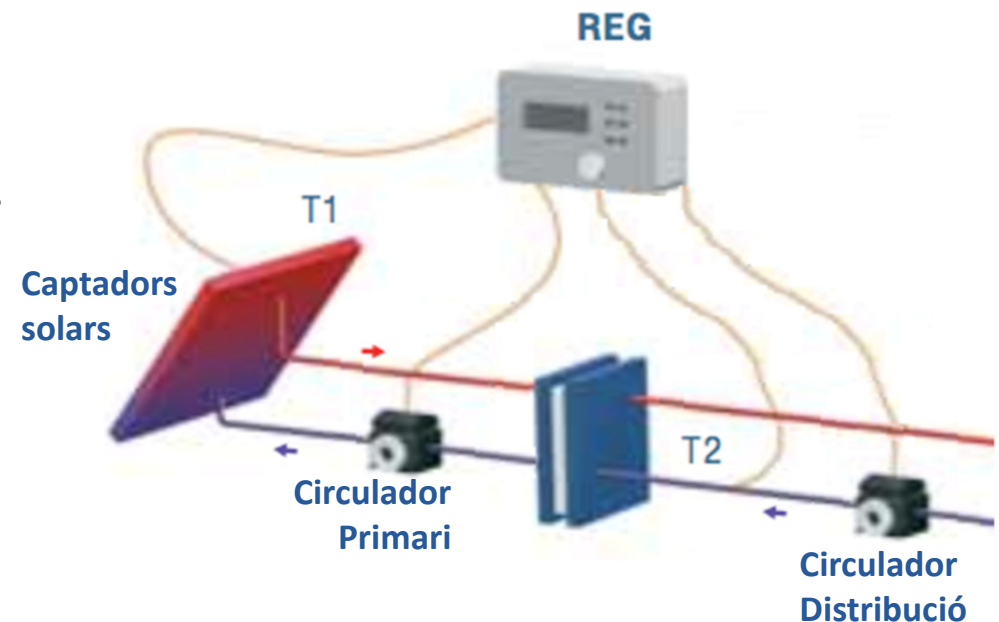


Regulació

La regulació de les bombes del circuit primari de captació i de distribució es farà mitjançant un termòstat diferencial amb dues sondes de temperatura. La sonda “calenta” T_1 s'instal·larà a l'eixida d'un grup de captadors solars i la sonda “freda” T_2 en la canalització de tornada de distribució.

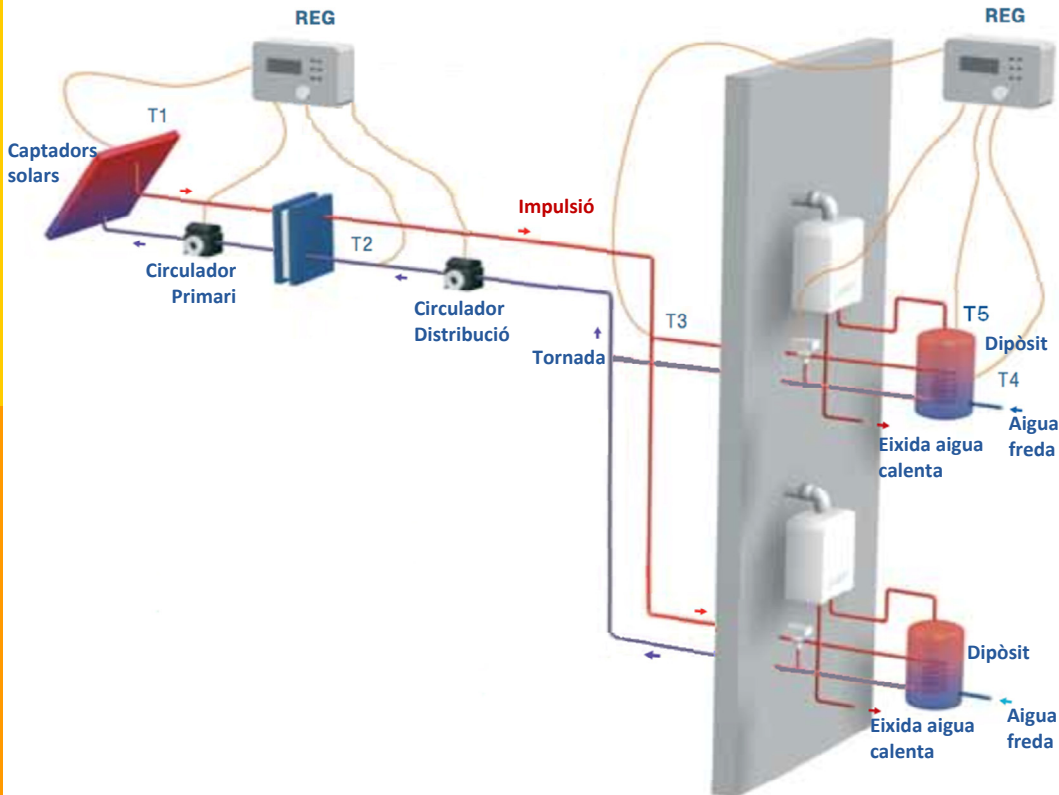
Quan la temperatura T_1 supere un cert llindar definit per l'usuari (per exemple 50°C), es considera que hi ha disponibilitat d'energia solar i les bombes es posaran en funcionament.

Una vegada superat el llindar, les bombes es detindran quan la diferència entre T_1 i T_2 siga inferior a 2°C .



Regulació

A l'entrada del bescanviador dels interacumuladors s'instal·larà una **vàlvula de tres vies regulada amb un termòstat diferencial**. En aquest cas, les sondes de temperatura estaran situades en la canalització d'arribada al bescanviador T_3 i en la part inferior de l'acumulador T_4 .



La vàlvula de cada habitatge obrirà el pas cap al bescanviador de l'interacumulador quan la temperatura T_3 siga superior en uns 5°C a T_4 i interromprà el pas quan aquesta diferència de temperatures siga inferior a 2°C .

Si aquesta vàlvula no hi fóra, es produiria el refredament de l'aigua d'un acumulador quan, en un període d'escàs ús d'aigua calenta, la seua temperatura fóra major que la del circuit de distribució. Per tant, podria haver-hi una transferència d'energia tèrmica entre acumuladors "carregats" i acumuladors "descarregats".

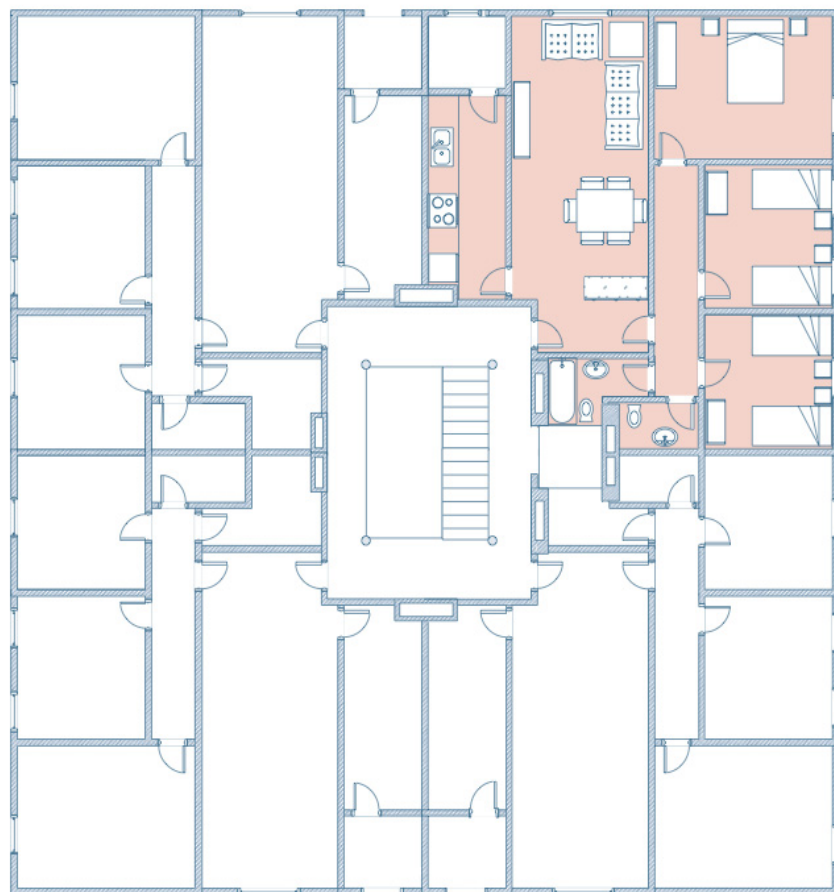
La temperatura T_5 en la part superior de l'interacumulador ha de limitar-se a 60°C per a protegir davant cremades i dipòsits de calç.

Exercici 3: Instal·lació en edificació plurifamiliar amb acumulació solar mixta



Característiques de l'edifici (I)

- 24 habitatges repartits en 6 plantes (4 habitatges per planta) a Madrid



▼
Sud

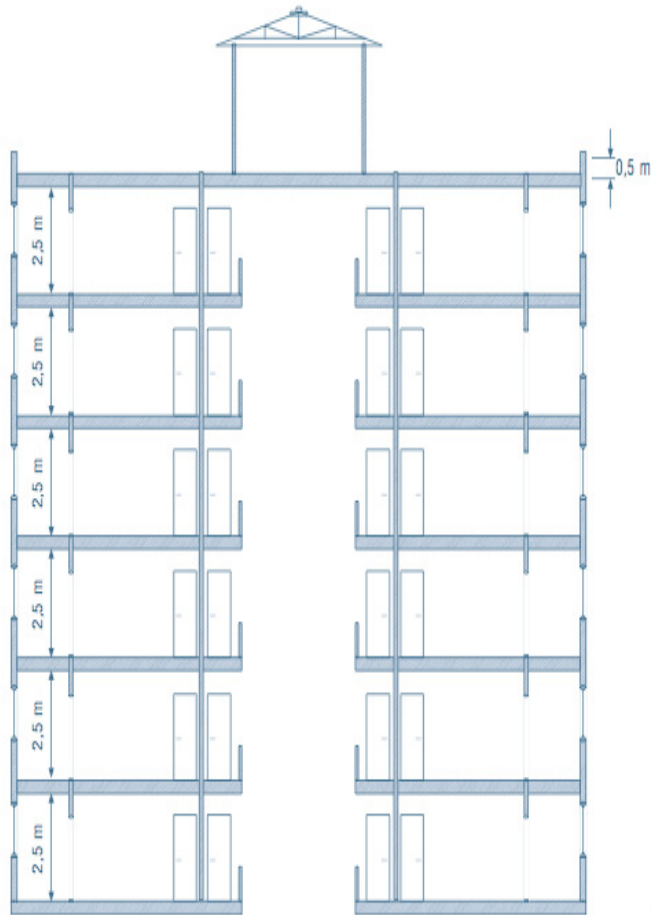
Tots els habitatges són iguals i consten de:

- Saló menjador
- Tres habitacions dobles
- Cuina
- Bany complet amb banyera
- Lavabo sense dutxa

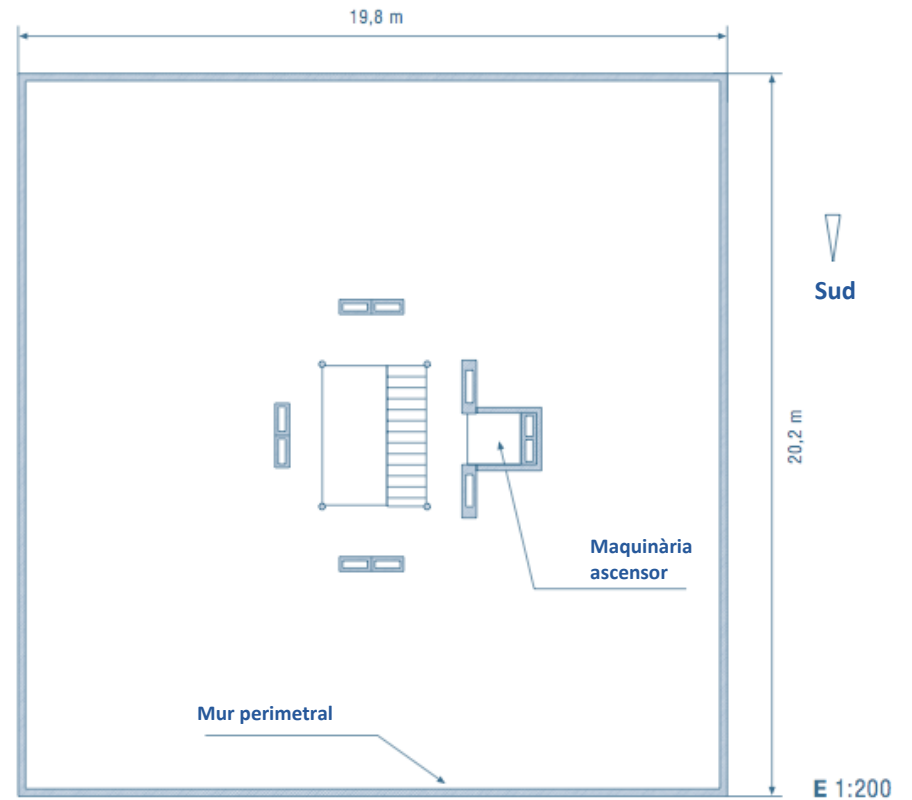
E 1:200

Característiques de l'edifici (II)

Secció de l'edifici de referència



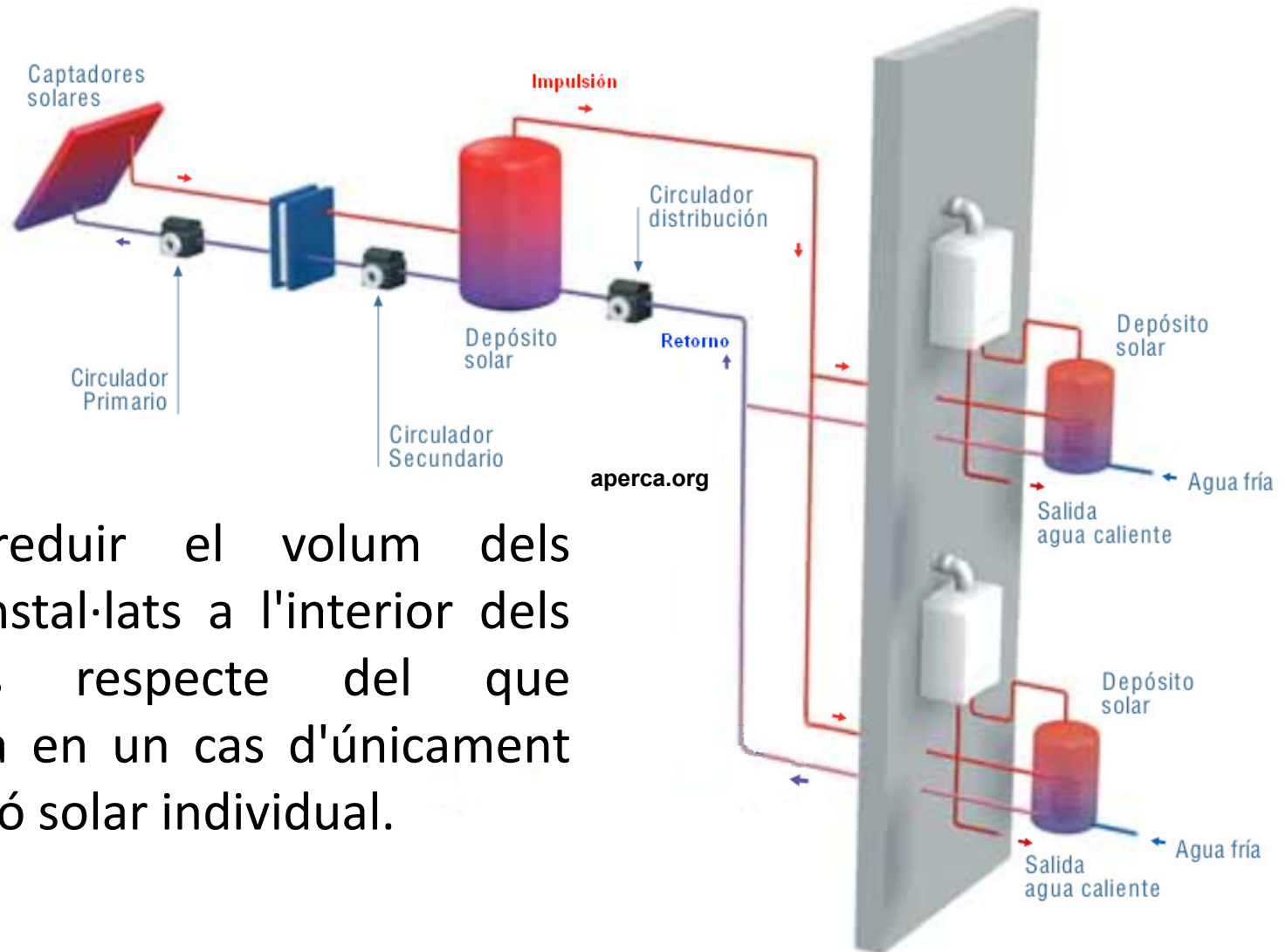
E 1:200



E 1:200

Instal·lació en edificació plurifamiliar amb acumulació solar mixta

Esquema de principi d'una instal·lació en edificació plurifamiliar amb acumulació solar mixta



Permet reduir el volum dels dipòsits instal·lats a l'interior dels habitatges respecte del que s'obtindria en un cas d'únicament acumulació solar individual.

Demanda energètica

$$Q_{ACS,mes} = C_{dia} \cdot N \cdot C_e \cdot \rho \cdot (T_{ACS} - T_{AF})$$

□ sent:

- $Q_{ACS,mes}$: Demanda energètica en kWh/mes
- C_{dia} : Consum diari d'aigua calenta sanitària a la temperatura de referència T_{ACS} , en litres/dia
- N : Nombre de dies del mes considerat (dies/mes)
- C_e : Calor específica, per a l'aigua $4,187 \cdot 10^{-3}$ MJ/ kg°C = $1,16 \cdot 10^{-3}$ kWh/kg°C
- ρ : Densitat, per a l'aigua 1 kg/litre
- T_{ACS} : Temperatura de referència utilitzada per a la quantificació del consum d'aigua calenta, en °C
- T_{AF} : Temperatura de l'aigua freda de xarxa, en °C

L'Ordenança sobre captació d'energia solar per a usos tèrmics de l'Ajuntament de Madrid va ser derogada el juliol del 2008:

- Establia 22 litres d'aigua a 60°C per persona i dia.
- Imposava una temp. de referència per al càlcul del consum de 60°C.

Demanda energètica

Segons CTE:

- 28 litres d'aigua a 60°C per persona i dia amb un factor de centralització de 0,85
- 4 persones per habitatge (3 dormitoris).

A una temperatura de 45°C diferent de 60°C

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

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

- D(T): Consum d'aigua calenta sanitària anual a la temperatura T de disseny (litres)
- D_i(T): Consum d'aigua calenta sanitària durant el mes i a la temperatura T de disseny (litres/mes)
- D_i(60°C): Consum d'aigua calenta sanitària durant el mes i a la temperatura de 60°C (litres/mes)
- T: Temperatura de disseny de l'acumulador final (°C), en aquest cas 45°C
- T_i: Temperatura mitjana d'entrada d'aigua freda durant el mes i (°C)

Font: IDAE

Estimació de la demanda mensual

MES	Dies del mes considerat	T ^a xarxa (T _{AF})	Consum (l/dia) a 60°	Consum (l/dia) a 45°	DE_MES (kWh/mes)	DE_MES (MJ/mes)
Gener	31	6	2284,8	3163,6	4437	16014
Febrer	28	7	2284,8	3186,7	3933	14197
Març	31	9	2284,8	3236,8	4190	15125
Abril	30	11	2284,8	3292,8	3896	14063
Maig	31	12	2284,8	3323,3	3944	14235
Juny	30	13	2284,8	3355,8	3737	13489
Juliol	31	14	2284,8	3390,3	3779	13642
Agost	31	13	2284,8	3355,8	3862	13938
Setembre	30	12	2284,8	3323,3	3817	13776
Octubre	31	11	2284,8	3292,8	4026	14531
Novembre	30	9	2284,8	3236,8	4055	14637
Desembre	31	6	2284,8	3163,6	4437	16014

TOTALS

48112

173660

Elecció de la fracció solar

$$FS = \frac{Q_s}{Q_{ACS}} (\%)$$

Q_s : Demanda d'ACS coberta mitjançant la instal·lació solar
 Q_{ACS} : Demanda tèrmica total d'ACS.

- 50% mínim CTE (zona climàtica IV)
- 75% mínim establida la derogada Ordenança Solar de Madrid

Farem els càlculs per a complir amb el 50% que marca el CTE.

Elecció de superfície de captadors i volum acumulació

- Necessitat d'utilitzar les dades de radiació mitjana diària (IDAE-Censolar)
- Captadors solars orientats al sud amb inclinació 45°.
- F-Chart, permet determinar la superfície total de captació i el volum total d'acumulació
 - Superfície total de captació 32 m²
 - Volum d'acumulació individual 50 litres
 - Volum d'acumulació centralitzada 1500 litres
 - Volum total d'acumulació 2700 litres
 - Que compleix: $50 < \frac{V}{A} < 100$ (interval recomanat)
 - Fracció solar 51,5% > 50%

Característiques captador

- La corba de rendiment energètic del captador solar triada és la següent:

$$\eta = 0,78 - 6,5 \cdot (T_f - T_{AMB})/I$$

- Dimensions:
 - Alçària 2,0 m / Amplària 1,0 m
 - Superfície 2,0 m²
 - Capacitat 1,3 litres
 - Pèrdua de càrrega 30 m.m.c.a. per a un cabal de 100 l/h
- 32 m²: 4 grups de 4 captadors en paral·lel cadascun

Instal·lació captadors

- **Orientat al sud amb inclinació de 45°:**
 - És aproximadament la latitud de l'emplaçament (major aprofitament de l'energia solar).
- Els captadors **s'instal·laran sobre estructures d'acer galvanitzat**, subministrades pel mateix fabricant dels captadors solars, amb una inclinació de 45° respecte a l'horitzontal. Els caragols necessaris per a subjecció dels captadors a l'estructura seran d'acer inoxidable.
- **Per a la fixació** de les estructures metàl·liques es construirà en cada grup de captadors **una bancada de formigó amb les dimensions** aproximadament iguals a les de la **projecció vertical** de la bancada (1,5 m x 5,5 m) i una alçària de 8 -10 cm.

Instal·lació captadors

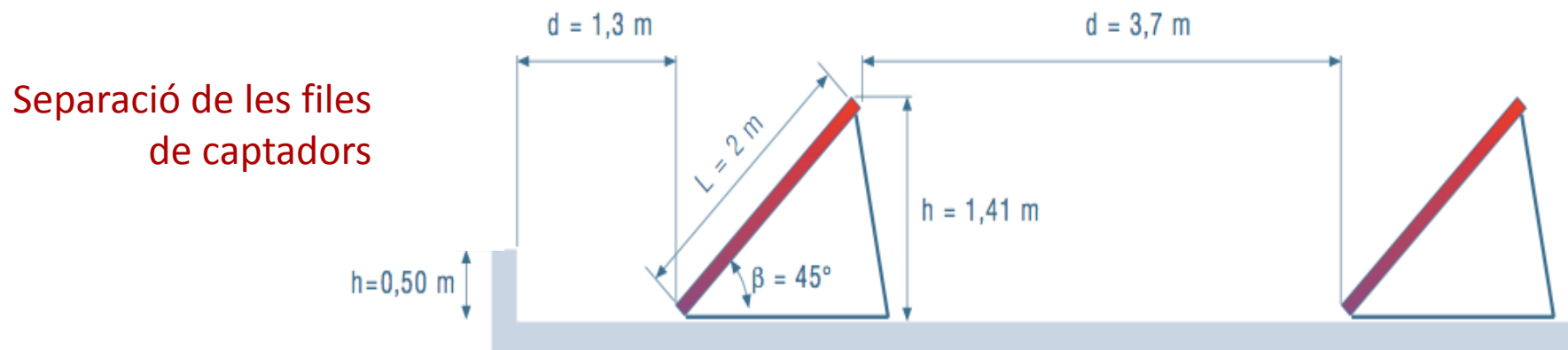
□ Paral·lel / paral·lel



Instal·lació captadors

- Els 4 grups de captadors se situaran en la coberta de l'edifici en dues files de dos grups cadascuna.
- La primera fila ha de separar-se prou de la façana sud de l'edifici a fi d'evitar la projecció d'ombres del mur de protecció.
- Segons el CTE:
 - $d = h \cdot k$, sent h l'alçada del mur i $k = 1/\tan(61^\circ - \text{latitud})$
 - Latitud de Madrid $40^\circ \rightarrow k = 2,6$
 - Alçada del mur: $0,5 \text{ m} \rightarrow d = 1,3 \text{ m}$
- Separació de la segona fila respecte a la primera.
 - h és l'alçada del primer grup de captadors, tenint en compte que $L = 2 \text{ m}$:
 - $h = L \cdot \sin \beta = 2 \cdot \sin 45^\circ = 1,41 \text{ m}$
 - $d = h \cdot k = 1,41 \cdot 2,6 \approx 3,7 \text{ m}$

Instal·lació captadors



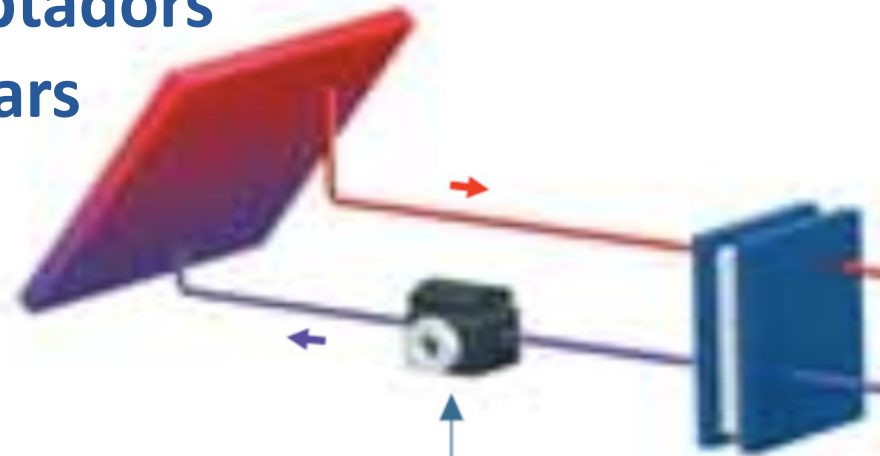
□ Connexió paral·lel / paral·lel

- A l'entrada de cada grup s'instal·larà una **vàlvula d'equilibrament** hidràulic per a garantir un repartiment homogeni del cabal del circuit primari pels 4 grups.
- En la part superior de cada grup, a l'eixida, s'instal·larà un purgador automàtic de boia per a permetre l'eixida de l'aire dels captadors.
- A més, s'instal·larà una **vàlvula d'esfera a l'entrada i l'eixida** per a poder aïllar cada grup de les canonades del circuit primari i poder dur a terme eventuais operacions de manteniment o reparació sense necessitat de buidar la resta de la instal·lació

Circuit primari solar

Circuit comprès entre els captadors solars i el bescanviador de calor de l'acumulador centralitzat.

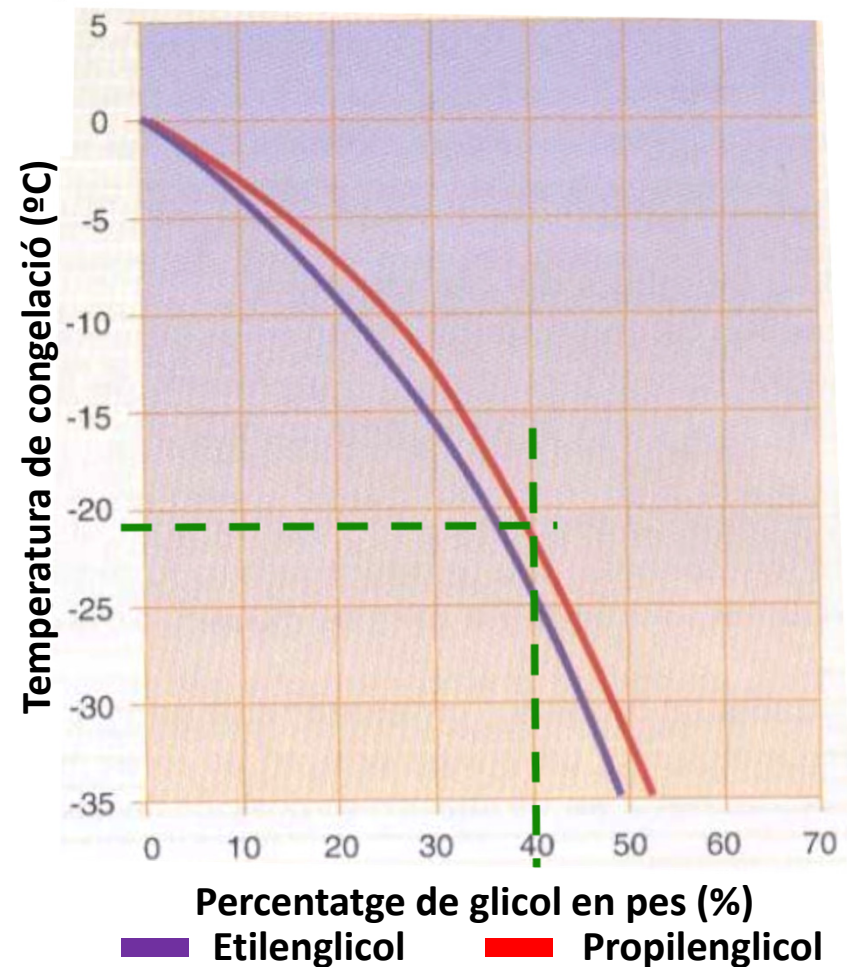
Captadors solars



Circulador Primari

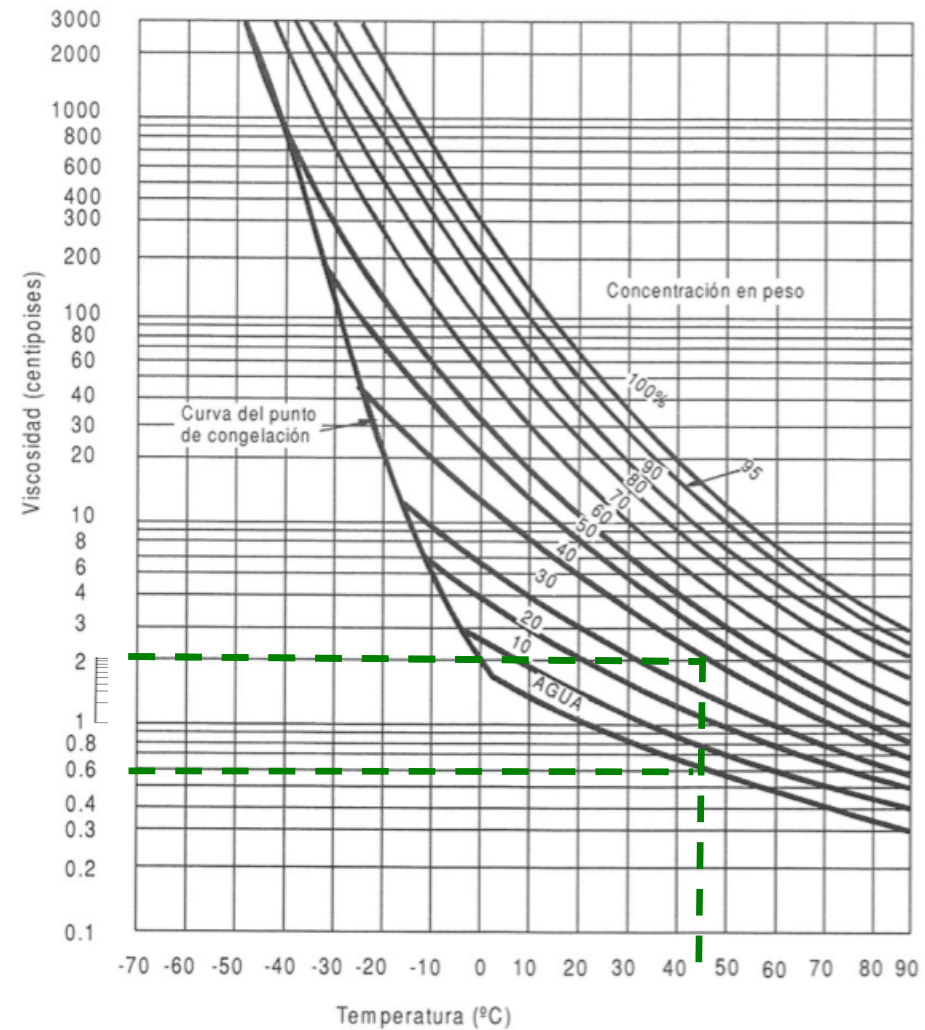
Fluid caloportador

- La temperatura mínima històrica a Madrid és de -16° . Això no obstant, la normativa RITE obliga que el sistema pugui suportar 5° per sota d'aquesta temperatura mínima històrica és a dir -21° .
- Per a això, necessitarem una proporció d'aproximadament el 40% de propilenglicol segons la gràfica per a evitar la congelació del fluid a l'hivern a la ciutat de Madrid.



Fluid caloportador. Canvi de viscositat

- En aquesta proporció la viscositat per a una temperatura de 45°C és de 2 centipoises (la de l'aigua a 45°C és de 0,6 cp).



Viscositat d'una dissolució de propilenglicol, en funció de la temperatura. La unitat de viscositat en el Sistema Internacional és el pascal/segon, que equival a 1000 centipoises.

Cabal del circuit primari


Selecció del cabal:

- El CTE indica que, en cas de no ser especificat pel fabricant, s'ha de **seleccionar un cabal** de disseny comprès entre **1,2 i 2 litres/s per cada 100 m² de superfície de captadors** (entre 43,2 i 72 litres/h·m²).
- Sol triar-se un valor d'**1,4 litres/s per cada 100 m²**, és a dir **50 litres/h · m²**.
- Per a aquest cas, amb una superfície de captació solar de 32 m², el cabal del circuit primari s'estableix en

1.600 litres/h

Canonades del circuit primari

- Es faran amb canonada de coure.
- Selecció diàmetre de les canonades:
 - 1) La pèrdua de càrrega per metre lineal de tub no supere els 40 m.m.ca
 - 2) La velocitat de circulació del líquid siga superior a 0,3 m/s i inferior a 2 m/s
- El diàmetre es determinarà a partir del cabal que ha de circular per cada tram i tenint en compte el fluid caloportador seleccionat



Diàmetre nominal (mm)	Gruix de paret (mm)	Diàmetre interior (mm)	Cabal (litres/h)
15	1,0	13,0	fins a 290
18	1,0	16,0	fins a 500
22	1,0	20,0	fins a 950
28	1,0	26,0	fins a 1900
35	1,0	33,0	fins a 3600
42	1,0	40,0	fins a 6200
54	1,2	51,6	fins a 12000

Canonades del circuit primari

- En canonades de parets llises (com les de coure) per les quals circula aigua calenta sense additius:

$$\text{Pèrdua de càrrega (mmca / m)} = 378 \cdot \frac{\text{Cabal [l / h]}^{1,75}}{\text{Diàmetre interior [mm]}^{4,75}}$$

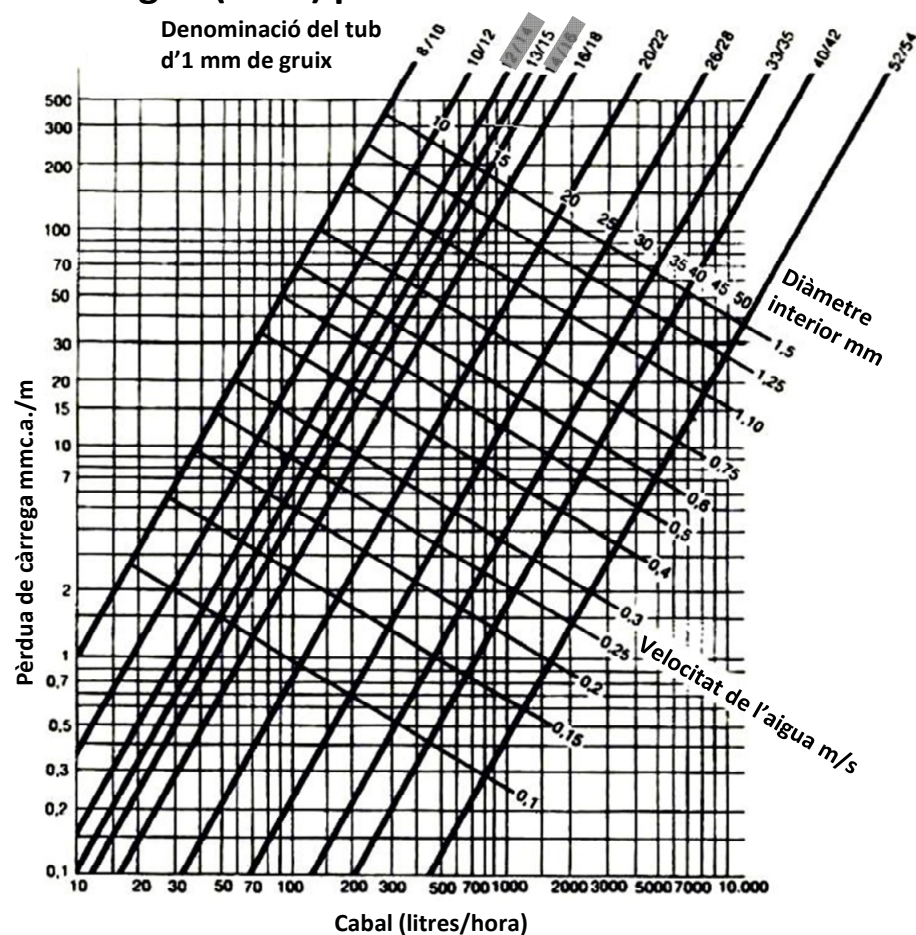
- Per a un diàmetre de canonada i un cabal donats

$$v \text{ (m / s)} = \frac{\text{Cabal [m}^3 \text{ / s]}}{\pi \cdot (\text{Diàmetre interior [m]}^2 / 4)} = 0,354 \cdot \frac{\text{Cabal [l / h]}}{\text{Diàmetre interior [mm]}^2}$$

Canonades del circuit primari

- De manera equivalent tant la pèrdua de càrrega com la velocitat poden obtenir-se gràficament:

Pèrdues de càrrega en funció del cabal d'aigua (45°C) per a canonades de coure.

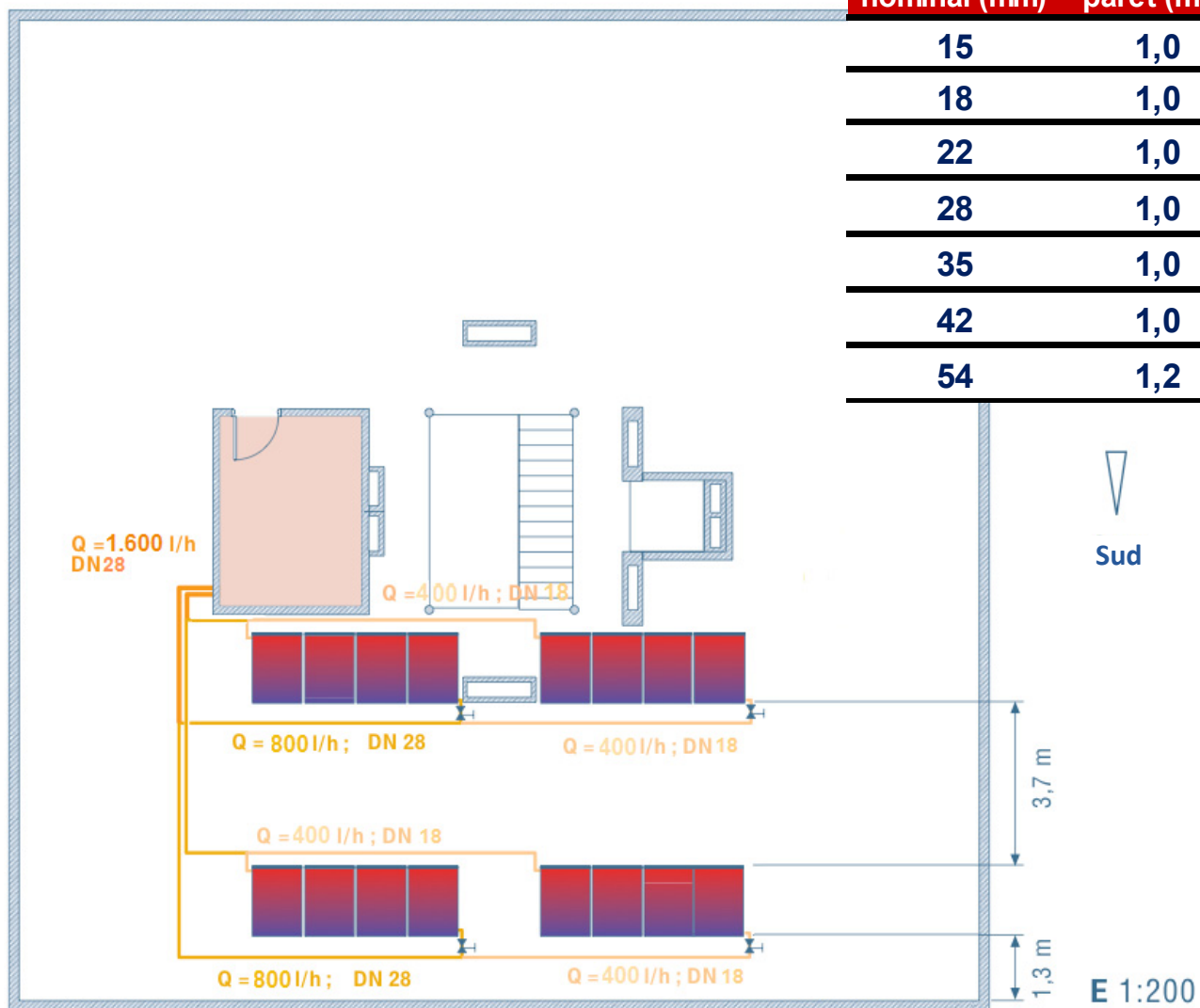


- Com que el fluid utilitzat és diferent de l'aigua, la pèrdua de càrrega s'ha d'incrementar en un factor igual a l'arrel quarta del quocient entre la viscositat de la dissolució i la de l'aigua a la temperatura considerada, en el nostre cas 45°C

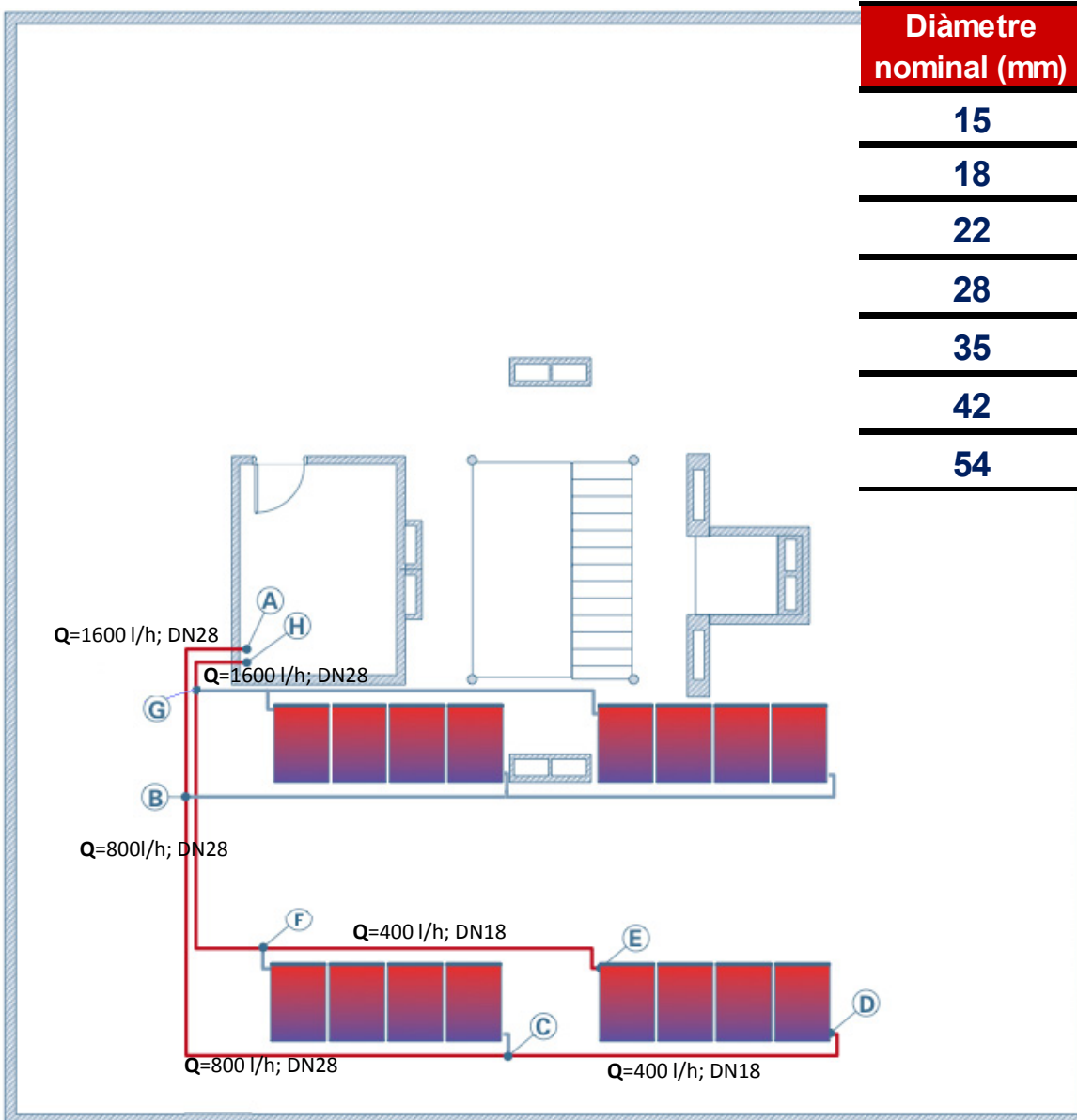
$$\sqrt[4]{\frac{2c_p}{0,6c_p}} = 1,35$$

Canonades del circuit primari

Diàmetre nominal (mm)	Gruix de paret (mm)	Diàmetre interior (mm)	Cabal (litres/h)
15	1,0	13,0	fins a 290
18	1,0	16,0	fins a 500
22	1,0	20,0	fins a 950
28	1,0	26,0	fins a 1900
35	1,0	33,0	fins a 3600
42	1,0	40,0	fins a 6200
54	1,2	51,6	fins a 12000



Canonades del circuit primari: trajectòria de major recorregut



Diàmetre nominal (mm)	Gruix de paret (mm)	Diàmetre interior (mm)	Cabal (litres/h)
15	1,0	13,0	fins a 290
18	1,0	16,0	fins a 500
22	1,0	20,0	fins a 950
28	1,0	26,0	fins a 1900
35	1,0	33,0	fins a 3600
42	1,0	40,0	fins a 6200
54	1,2	51,6	fins a 12000



Per al dimensionament de la bomba. → Es consideren els camins més llargs.

E 1:200

Canonades del circuit primari: trajectòria de major recorregut

Tram	Q (l/h)	DN (mm)	Diàmetre (mm)	V (m/s)	Pdc _{unit} (mmca/m)	L (m)	Singularitats	L _{sing} (m)	L _{total} (m)	Pdc (mca)
AB	1600	28	26	0,838	39,3	5,5	3 corbes 90° - 1 vàlvula A/R	2,85	8,35	0,328
BC	800	28	26	0,419	11,7	11,3	1 corba 90° - 1T	0,90	12,20	0,143
CD	400	18	16	0,553	34,9	6,5	3 corbes 90° - 1T	1,14	7,64	0,266
EF	400	18	16	0,553	34,9	7,0	3 corbes 90°	0,99	7,99	0,278
FG	800	28	26	0,419	11,7	6,3	1 corba 90° - 1T	0,90	7,20	0,084
GH	1600	28	26	0,838	39,3	3,5	3 corbes 90° - 1T	2,10	5,60	0,220

Pdc TOTAL (mca) = 1,32

Pèrdues de càrrega de les canonades del circuit primari

Q Cabal de fluid que circula per cada tram, en litres/h

DN Diàmetre nominal de la canonada, en mm

D Diàmetre interior de la canonada, en mm

v velocitat de circulació del fluid per cada tram

$$v(\text{m/s}) = 0,354 \cdot Q/D^2$$

Pdc_{unit} Pèrdua de càrrega per metre lineal de canonada

$$Pdc_{unit}(\text{mm.c.a./m}) = 1,35 \cdot 378 \cdot Q^{1,75} / D^{4,75}$$

El factor 1,35 de l'expressió anterior s'introdueix per a tenir en compte la presència d'anticongelant en el fluid primari, de major viscositat que l'aigua.

L Longitud del tram de canonada, en m

L_{sing} Longitud equivalent de les singularitats del tram, en m

L_{total} Longitud total a considerar, en m

$$L_{total} = L + L_{sing}$$

Pdc Pèrdua de càrrega del tram, en m

$$Pdc(\text{m.c.a.}) = Pdc_{unit} \times L_{total} \times 10^{-3}$$

Canonades del circuit primari – Singularitats

Longitud equivalent de canonada (en m) per a pèrdues de càrrega singulars.

	Diàmetre nominal de la canonada					
	18	22	28	35	42	54
Corba de 45°	0,34	0,43	0,47	0,56	0,7	0,85
Colze de 90°	0,5	0,63	0,76	1,01	1,32	1,71
Corba de 90°	0,33	0,45	0,6	0,84	0,96	1,27
Reducció	0,3	0,5	0,65	0,85	1	1,3
T	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
T	2,5	3	3,6	4,1	4,6	5
T	1,68	1,8	1,92	2,4	3	3,6
Vàlvula antiretorn de claveta	0,5	0,77	1,05	1,61	2,1	2,66

Tram	Q (l/h)	DN (mm)	Diàmetre (mm)	V (m/s)	Pdc _{unit} (mmca/m)	L (m)	Singularitats	L _{sing} (m)	L _{total} (m)	Pdc (mca)
AB	1600	28	26	0,838	39,3	5,5	3 corbes 90° - 1 vàlvula A/R	2,85	8,35	0,328
BC	800	28	26	0,419	11,7	11,3	1 corba 90° - 1T	0,90	12,20	0,143
CD	400	18	16	0,553	34,9	6,5	3 corbes 90° - 1T	1,14	7,64	0,266
EF	400	18	16	0,553	34,9	7,0	3 corbes 90°	0,99	7,99	0,278
FG	800	28	26	0,419	11,7	6,3	1 corba 90° - 1T	0,90	7,20	0,084
GH	1600	28	26	0,838	39,3	3,5	3 corbes 90° - 1T	2,10	5,60	0,220

Pdc TOTAL (mca) = **1,32**

Canonades del circuit primari - Conclusió

- ❑ La pèrdua de càrrega en les canonades és relativament xicoteta, ja que els recorreguts de canonades en l'edifici triat són molt curts.
- ❑ En aquest cas s'ha optat per la **instal·lació de vàlvules d'equilibrament** hidràulic per a assegurar un correcte repartiment del cabal pels 4 grups de captadors.
- ❑ Un equilibrament mitjançant **tornada invertida** també haguera sigut vàlid.
- ❑ Les vàlvules d'equilibrament hidràulic s'ajustaran en cada grup de captadors de manera que la pèrdua de càrrega per qualsevol dels recorreguts del circuit siga la mateixa.
- ❑ Les canonades del circuit primari s'aïllaran segons s'indica en el Reglament d'instal·lacions tèrmiques en els edificis. En aquest cas, el material triat és una escuma elastomèrica de cèl·lula tancada subministrada en conques de 35 mm de gruix en circular per l'exterior de l'edifici.
- ❑ L'aïllament de tot el circuit primari es protegirà exteriorment amb **una coberta de xapa d'alumini.**

Bomba del circuit primari

- Se selecciona en funció de la pèrdua de càrrega total (Pdc_{Total}) i el cabal del circuit primari.

$$Pdc_{Total} = Pdc_{canonades} + Pdc_{bescanviador} + Pdc_{captadors}$$

- $Pdc_{canonades} = 1,32$ m.c.a.

- $Pdc_{bescanviador} = 1,5$ m.c.a. (proporcionada pel fabricant)

- $Pdc_{captadors}$:

- Cada bateria de captadors està formada per 4 captadors connectats en paral·lel → cal sumar-li la pèrdua de càrrega dels conductes de distribució.

- $Pdc_{captadors}$ es pot determinar a partir de la corba facilitada pel fabricant.

- En cas que no es dispose d'aquesta informació, però sí de la pèrdua de càrrega d'un sol captador, podem fer ús **del mètode Censolar**. En aquest cas, la pèrdua de càrrega d'un captador a un cabal de 100 l/h és de 30 mm c.a., per la qual cosa la pèrdua del conjunt de $N=4$ captadors en paral·lel a un cabal de 400 l/h serà:

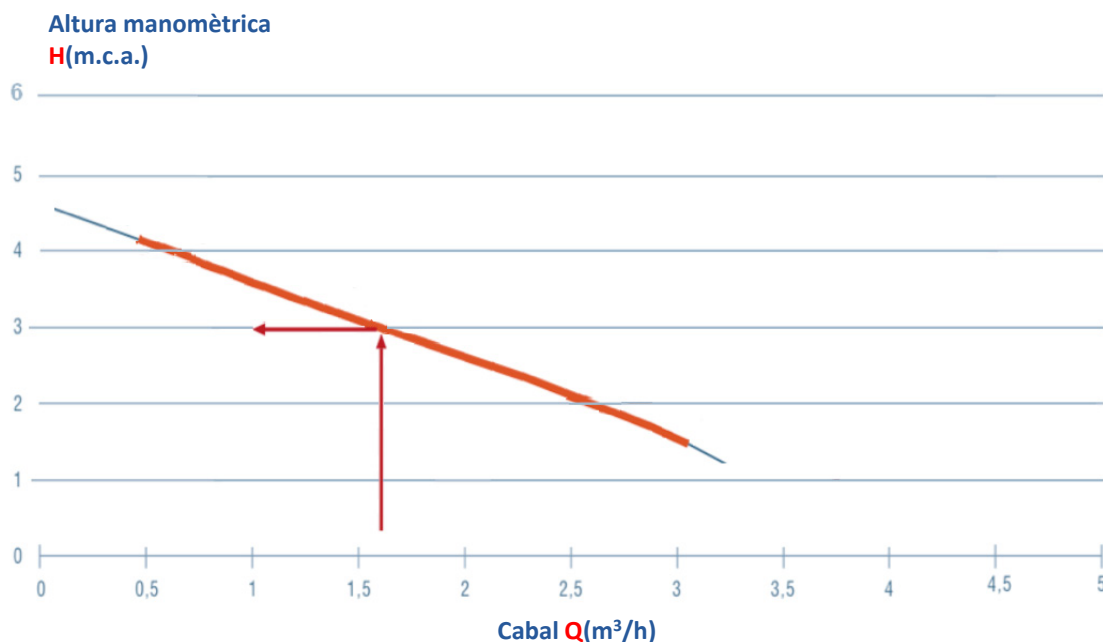
$$30 \text{ mm.c.a. } N \cdot (N+1) / 4 = 30 \text{ mm.c.a. } 4 \cdot 5 / 4 = 150 \text{ mm.c.a.} = 0,150 \text{ m.c.a.}$$

- $Pdc_{Total} = 2,97$ m.c.a. ← Dada per al dimensionament de la bomba de pressió.

Bomba del circuit primari

- El cabal del circuit primari és de 1.600 litres/h, calculat a raó de 50 litres/h·m² de captació solar.
- La selecció de la bomba del circuit primari es farà de manera que la seua corba característica continga aproximadament el punt de treball definit per una altura manomètrica igual a la pèrdua de càrrega del circuit $H = 2,97$ m.c.a. i un cabal Q igual a 1.600 litres/h.

És recomanable que, una vegada fet el càlcul de la pèrdua de càrrega, es trie la bomba de manera que **la seua corba estiga de l'ordre d'un 20% per sobre del punt de treball**, per a poder compensar possibles pèrdues de potència de la bomba després de l'engegada.



Vas d'expansió del circuit primari

El volum total del vas d'expansió (V_t en litres) es calcula mitjançant la següent expressió:

$$V_t = (V_{\min} + V \cdot C_e + V_{\text{vap}}) \cdot C_p = (V_{\min} + V_{\text{dil}} + V_{\text{vap}}) \cdot \frac{P_{\max}}{P_{\max} - P_{\min}}$$

V : Volum del fluid de treball de la instal·lació (l)

V_{\min} : Volum mínim o de reserva de fluid en el vas d'expansió (l) per a compensar la seua pèrdua o contracció a baixa temperatura.

V_{dil} : Volum de dilatació (l) = $V \cdot C_e$

V_{vap} : Volum de vaporització (l)

C_e : Coeficient d'expansió o dilatació del fluid ($\Delta V/V$)

C_p : Coeficient de pressió = V_t / V_u

Vas d'expansió del circuit primari

Volum total de fluid en el circuit primari (V):

Es pot calcular sumant els continguts dels diferents elements: canonades i captadors.

Volum de fluid en les canonades del circuit primari.

DN (mm)	Diàmetre (mm)	L (m)	Capacitat (l/m)	Contingut total (l)
18	16	30,0	0,201	6,0
28	26	34,1	0,531	18,1
TOTAL				24,1

Cada captador té una capacitat d'1,3 litres. Per tant:

$$16 \text{ captadors} \times (1,3 \text{ l/captador}) = 20,8 \text{ litres}$$

El contingut total de líquid del circuit primari serà:

$$V = 24,1 \text{ litres} + 20,8 \text{ litres} = 44,9 \text{ litres}$$

Vas d'expansió del circuit primari

Volum mínim o de reserva (V_{\min}):

S'agafa un 3% del volum total de la instal·lació amb un mínim de 3 litres:

$$3\% \times 44,9 \text{ litres} = 1,35 \text{ litres}$$

Agafarem $V_{\min} = 3$ litres

Volum de vaporització (V_{vap}):

L'agafarem igual al volum de fluid en captadors més un 10%:

$$16 \text{ captadors} \times (1,3 \text{ l/captador}) = 20,8 \text{ litres}$$

$$V_{\text{vap}} = 1,1 \times 20,8 \text{ litres} = 22,9 \text{ litres}$$

Vas d'expansió del circuit primari

Coeficient d'expansió:

En cas de no disposar d'informació més concreta del valor de C_e per part del distribuïdor o fabricant, es fa ús de les expressions indicades en la norma UNE 100-155 per al càlcul del valor de C_e del fluid caloportador. Resulta de 0,051.

$$C_e = 0,051$$

Volum de dilatació (V_{dil}):

$$V_{dil} = V \times C_e = 2,29 \text{ litres}$$

Vas d'expansió del circuit primari

Coeficient de pressió:

$$C_p = \frac{V_t}{V_u} = \frac{P_{\max}}{P_{\max} - P_{\min}} = \frac{3,7}{3,7 - 1,5} = 1,68$$

$$P_{\text{man_min}} = 0,5 \text{ bar} + h(\text{m}) \cdot 0,1 \frac{\text{bar}}{\text{m}} = 0,5 \text{ bar}$$

$$P_{\text{min}} = P_{\text{man_min}} + 1 \text{ atm} = 1,5 \text{ bar}$$

La pressió d'ompliment és de 0,5 bar i la sala de màquines està a la terrassa de l'edifici ($h=0$)

$$P_{\text{man_max}} = P_{\text{vs}} - 0,3 \text{ bar} = 2,7 \text{ bar}$$

$$P_{\text{max}} = P_{\text{man_max}} + 1 \text{ atm} = 3,7 \text{ bar}$$

La pressió de taratge de la vàlvula de seguretat és de 3 bar.

Vas d'expansió del circuit primari

$$V_t = (V_{\min} + V \cdot C_e + V_{\text{vap}}) \cdot \frac{P_{\max}}{P_{\max} - P_{\min}} = (3 + 2,29 + 22,9) \cdot \frac{3,7}{3,7 - 1,5} = 47,41 \text{ litres}$$

En la pràctica, s'instal·larà un vas d'expansió d'una grandària comercial de 50 litres.

En funció del fabricant podem trobar els següents valors comercials: 5, 8, 12, 18, 24, 25, 35, 50, 60, 80, 100, 150, 200, 220, 300, 350, 500, 700 i 750 litres.

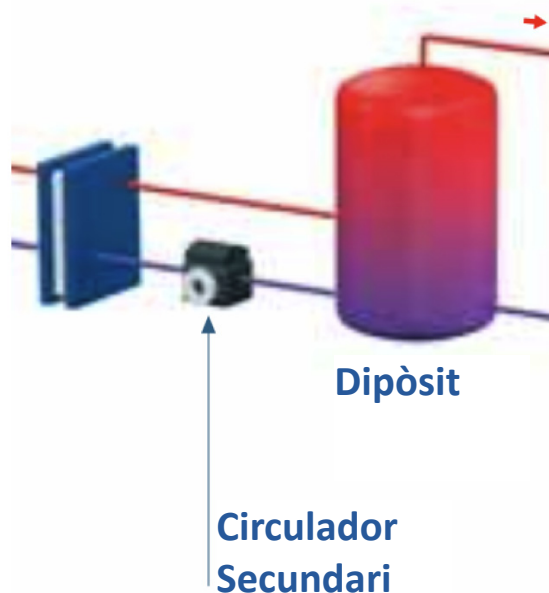
El vas d'expansió s'instal·larà sense vàlvula de tall, de manera que no existisca la possibilitat d'aïllar-lo accidentalment del circuit primari al qual protegeix.

Altres elements del circuit primari

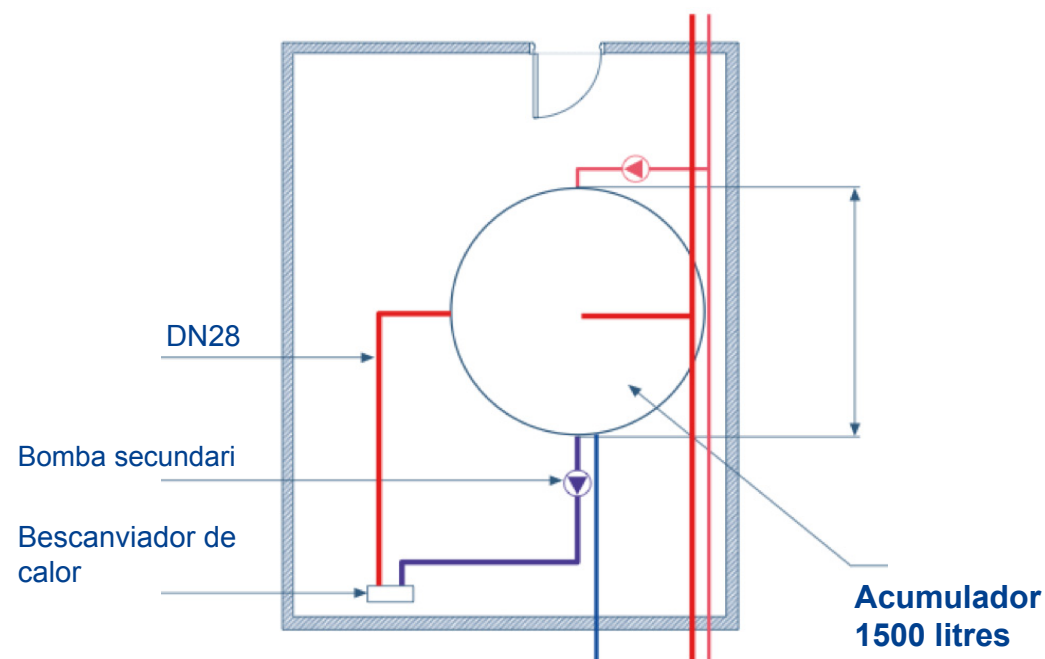
- ✓ **Vàlvula de seguretat:** És l'element limitador de la pressió a la qual puga estar sotmès el circuit sotmès a variacions de pressió i de temperatura sent imprescindible per a protegir els components de la instal·lació. En el nostre cas s'instal·larà una vàlvula de seguretat amb descàrrega conduïda a desguàs de manera que l'obertura de la vàlvula no puga provocar cremades sobre les persones o afectar altres materials. La pressió de taratge serà de 3 bar. Al costat de la vàlvula de seguretat s'instal·larà un manòmetre que permeti verificar la pressió del circuit.
- ✓ S'instal·laran **4 purgadors** d'aire en els punts alts de cadascun dels grups de captadors solars per a evitar la formació de bosses d'aire que dificulten la circulació del fluid caloportador.
- ✓ **Vàlvula antiretorn** de claveta en la impulsió de la bomba de circulació, per a evitar l'eventual circulació inversa durant la nit.
- ✓ **Connexió per a l'ompliment** i l'eventual reposició de fluid caloportador.

Circuit secundari

S'entendrà per circuit secundari el circuit hidràulic entre el bescanviador de calor de plaques i l'acumulador centralitzat.



El fluid del circuit secundari és aigua sense anticongelant.



La instal·lació de l'acumulador solar centralitzat es farà a l'interior del local situat a la coberta de l'edifici i destinat a sala de màquines.

Acumulador centralitzat del circuit secundari

El volum d'acumulació solar centralitzada proporcionat pel mètode F-Chart és de 1500 litres.

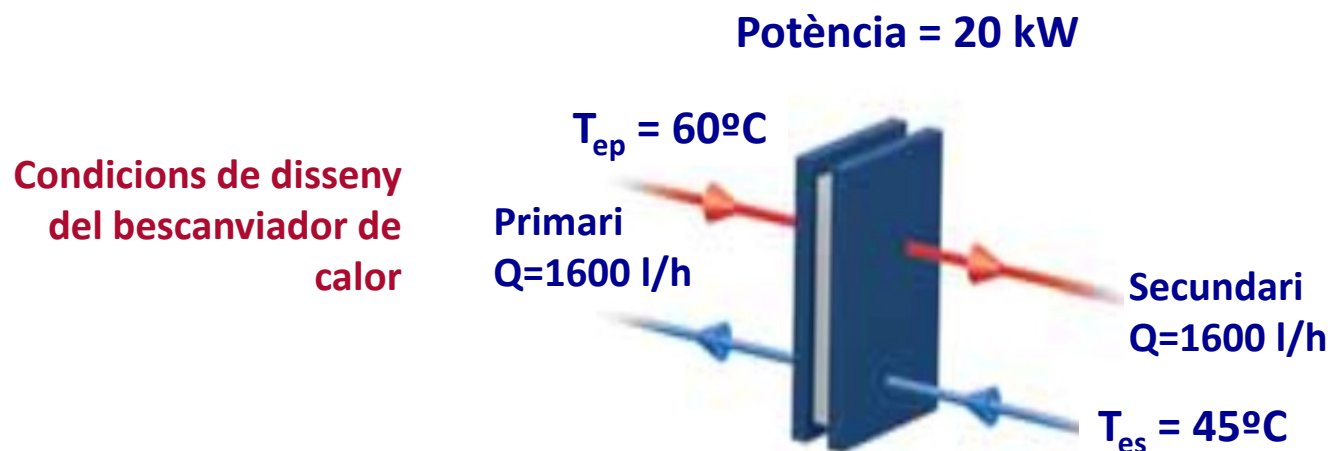
Aïllament exterior d'escuma de poliuretà de 80 mm de gruix per sobre del valor exigít en el RITE.



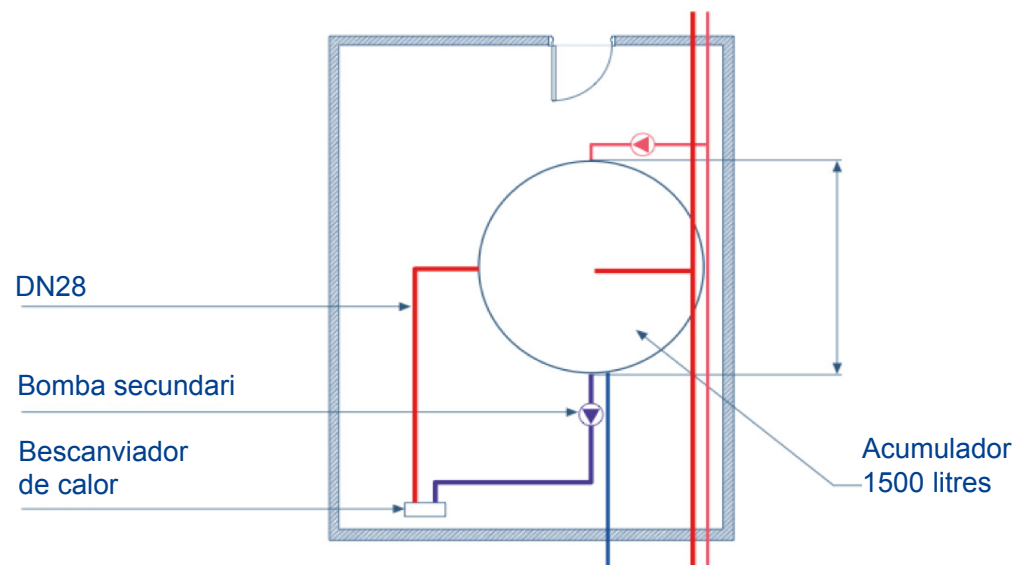
Bescanviador del circuit secundari

Paràmetres de disseny:

- Potència d'intercanvi: 20 kW (600 W per m² de captadors)
- Circuit primari: aigua amb anticongelant
Temperatura d'entrada: 60°C (recomanació IDAE)
Cabal de circulació: 1.600 litres/h
- Circuit secundari: aigua
Temperatura d'entrada: 45°C (recomanació IDAE)
Cabal de circulació: 1.600 litres/h



Canonades del circuit secundari



Les canonades de connexió de l'acumulador solar al costat secundari del bescanviador de calor de plaques seran de coure, amb un DN28, com correspon al cabal de 1600 litres/h.

Diàmetre nominal (mm)	Gruix de paret (mm)	Diàmetre interior (mm)	Cabal (litres/h)
15	1,0	13,0	fins a 290
18	1,0	16,0	fins a 500
22	1,0	20,0	fins a 950
28	1,0	26,0	fins a 1900
35	1,0	33,0	fins a 3600
42	1,0	40,0	fins a 6200
54	1,2	51,6	fins a 12000

Aïllament d'escuma elastomèrica de 25 mm

Pèrdues de càrrega en canonades del circuit secundari

Pèrdues de càrrega en les canonades del circuit secundari

Tram	Q (l/h)	DN (mm)	Diàmetre (mm)	V (m/s)	Pdc _{unit} (mmca/m)	L (m)	Singularitats	L _{sing} (m)	L _{total} (m)	Pdc (mca)
sec	1600	28	26	0,838	29,1	12,0	12 corbes 90°	7,20	19,20	0,56

Pdc TOTAL (mca) = 0,56

Q Cabal de fluid que circula per cada tram, en litres/h

DN Diàmetre nominal de la canonada, en mm

D Diàmetre interior de la canonada, en mm

v velocitat de circulació del fluid per cada tram

$$v(\text{m/s}) = 0,354 \cdot Q/D^2$$

Pdc_{unit} Pèrdua de càrrega per metre lineal de canonada

$$Pdc_{\text{unit}}(\text{mm.c.a./m}) = 378 \cdot Q^{1,75} / D^{4,75}$$

L Longitud del tram de canonada, en m

L_{sing} Longitud equivalent de les singularitats del tram, en m

L_{total} Longitud total a considerar, en m

$$L_{\text{total}} = L + L_{\text{sing}}$$

Pdc Pèrdua de càrrega del tram, en m

$$Pdc(\text{m.c.a.}) = Pdc_{\text{unit}} \times L_{\text{total}} \times 10^{-3}$$

Bomba de circulació del circuit secundari

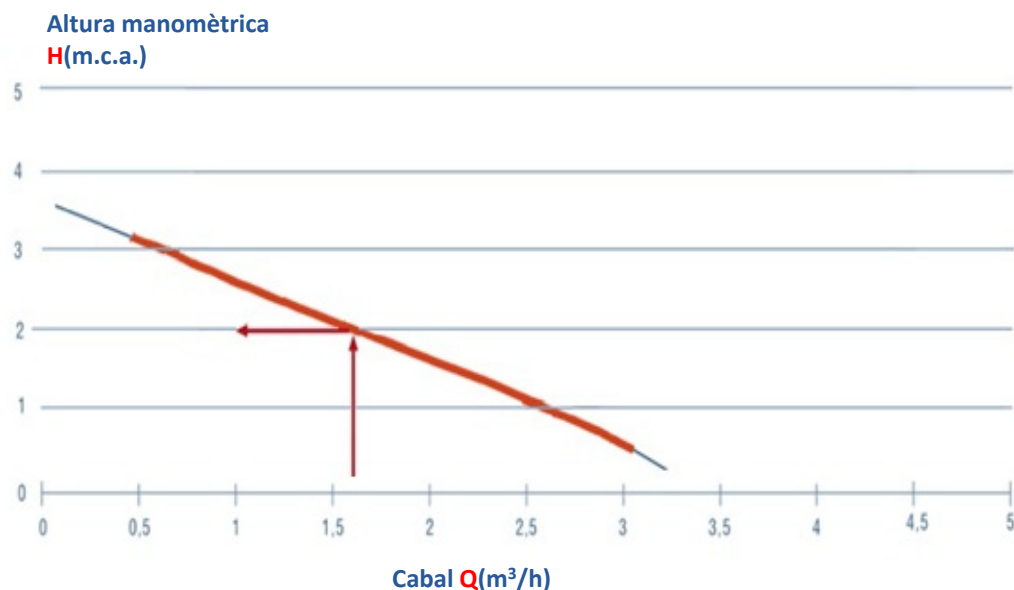
La pèrdua de càrrega principal és la del bescanviador de calor de plaques (costat secundari) que és proporcionada pel subministrador del bescanviador i és d'1,4 m.c.a.

La pèrdua de càrrega en les canonades és d'aprox. 0,56 m.c.a

Altura manomètrica $H = 1,4 \text{ m.c.a} + 0,56 \text{ m.c.a} = 1,96 \text{ m.c.a}$

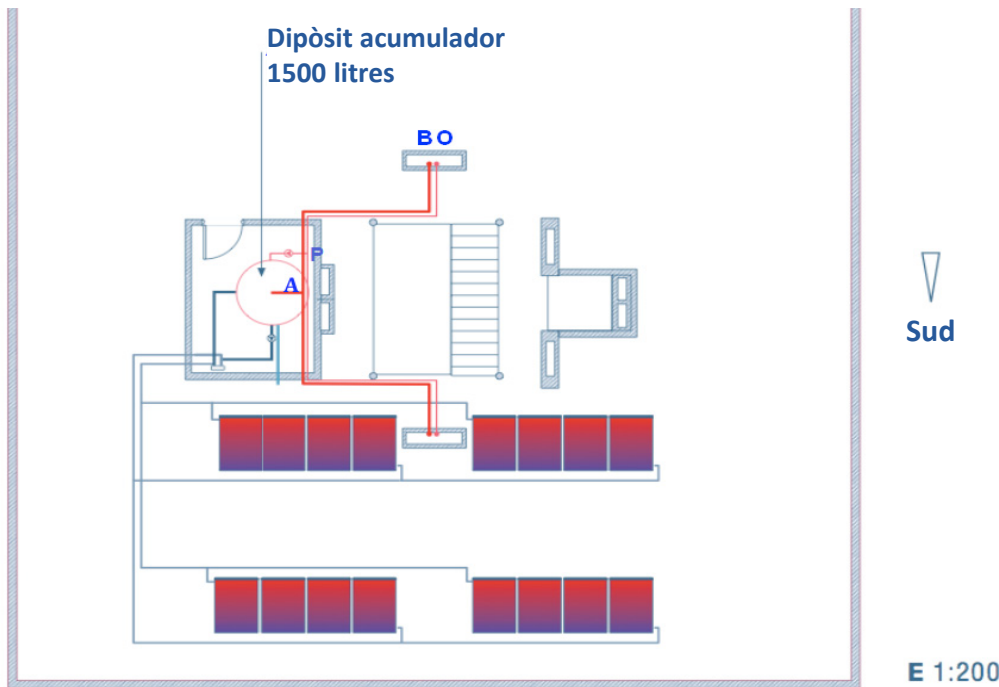
Cabal $Q = 1.600 \text{ litres/h}$.

Corba característica de la bomba del circuit secundari

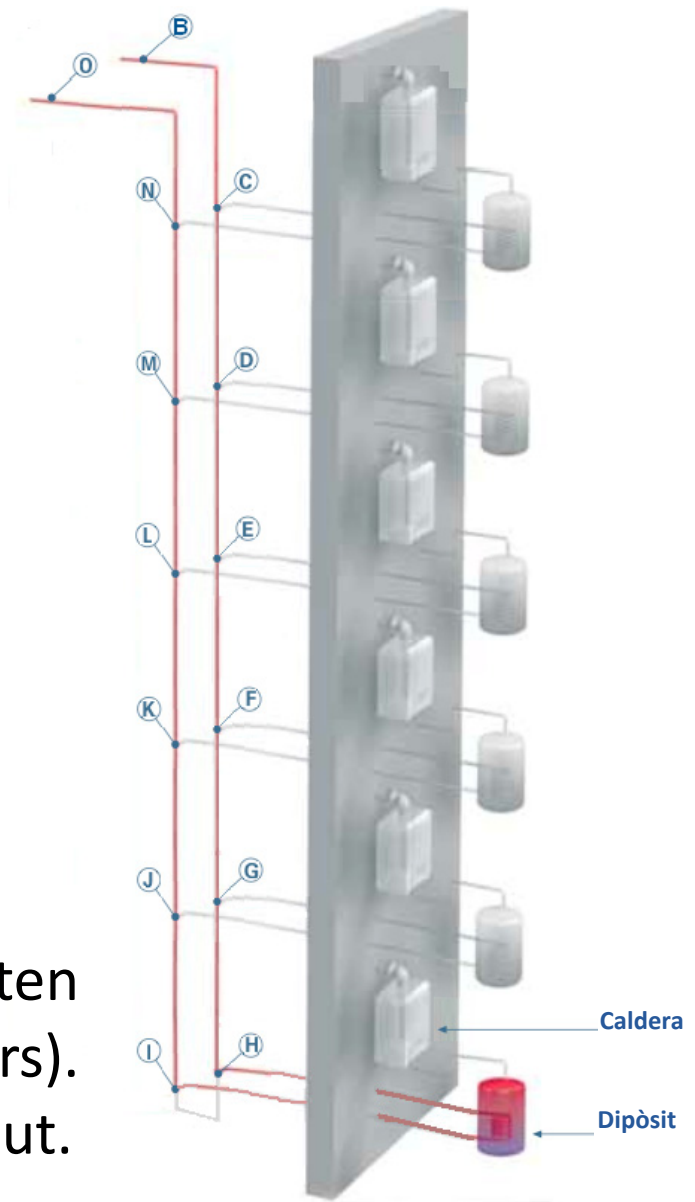


Circuit de distribució

Es faran dos baixants verticals. Cadascun es connectarà a 12 habitatges (2 per planta).

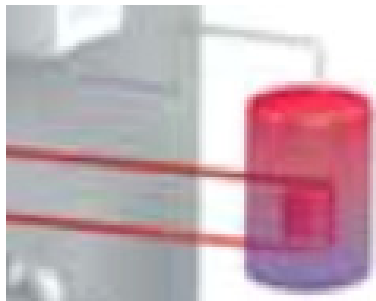


Detall d'un baixant vertical (es representen solament 6 dels 12 interacumuladors). Ressaltada la trajectòria de major recorregut.



Circuit de distribució. Acumulació individual

S'han triat 24 dipòsits interacumuladors individuals (un per habitatge).



- Capacitat 50 litres
- Instal·lació mural vertical
- Dimensions aproximades $H = 0,83 \text{ m}$; $\Phi = 0,38 \text{ m}$
- Bescanviador intern, de serpentí
- Superfície d'intercanvi $0,32 \text{ m}^2$
- Volum de fluid en el serpentí 1,55 litres

Volum total d'acumulació individual de $24 \cdot 50 \text{ litres} = 1200 \text{ litres}$

La recomanació del CTE d'un mínim de $0,15 \text{ m}^2_{\text{intercanvi}} / \text{m}^2_{\text{captació solar}}$ es compleix:

$$0,32 \text{ m}^2 \cdot 24 \text{ interacumuladors} = 7,68 \text{ m}^2_{\text{intercanvi total en l'edifici}}$$
$$(7,68 \text{ m}^2_{\text{intercanvi}}) / (32 \text{ m}^2_{\text{captadors}}) = 0,24 \text{ m}^2_{\text{intercanvi}} / \text{m}^2_{\text{captació solar}}$$

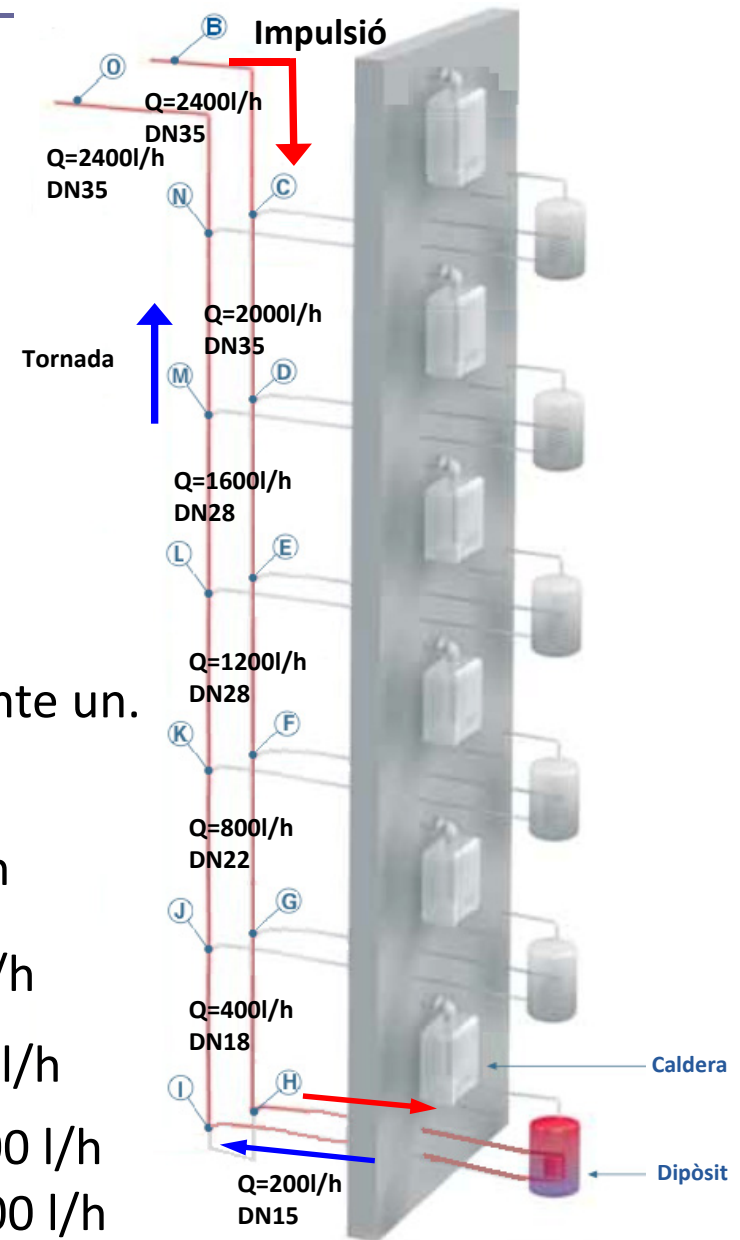
Canonades del circuit de distribució: trajectòria de major recorregut

Baixant fins a interacumuladors individuals:

Diàmetre nominal (mm)	Gruix de paret (mm)	Diàmetre interior (mm)	Cabal (litres/h)
15	1,0	13,0	fins a 290
18	1,0	16,0	fins a 500
22	1,0	20,0	fins a 950
28	1,0	26,0	fins a 1900
35	1,0	33,0	fins a 3600
42	1,0	40,0	fins a 6200
54	1,2	51,6	fins a 12000

Cabals:

- Tram HI: Cabal recomanat per a un interacumulador = 200 l/h
- Hi ha 2 trams HI encara que solament es represente un.
- Trams GH i IJ: 2 interacumuladors • 200 l/h = 400 l/h
- Trams FG i JK: 4 interacumuladors • 200 l/h = 800 l/h
- Trams EF i KL: 6 interacumuladors • 200 l/h = 1200 l/h
- Trams DE i LM: 8 interacumuladors • 200 l/h = 1600 l/h
- Trams CD i MN: 10 interacumuladors • 200 l/h = 2000 l/h
- Trams BC i NO: 12 interacumuladors • 200 l/h = 2400 l/h



Canonades del circuit de distribució: trajectòria de major recorregut

Tram	Q (l/h)	DN (mm)	Diàmetre (mm)	V (m/s)	Pdc _{unit} (mmca/m)	L (m)	Singularitats	L _{sing} (m)	L _{total} (m)	Pdc (mca)
AB	2400	35	33	0,78	22,9	8,5	4 corbes 90° - 1T	7,46	15,96	0,365
BC	2400	35	33	0,78	22,9	0,5	1 corba 90°	0,84	1,34	0,031
CD	2000	35	33	0,65	16,6	2,8	1T	0,40	3,20	0,053
DE	1600	28	26	0,84	34,9	2,8	1T	0,30	3,10	0,108
EF	1200	28	26	0,63	21,1	2,8	1T	0,30	3,10	0,065
FG	800	22	20	0,71	36,1	2,8	1T	0,20	3,00	0,108
GH	400	18	16	0,55	31,0	2,8	1T	0,15	2,95	0,091
HI	200	15	13	0,42	24,7	4,0	6 corbes 90° - 1T	3,65	7,65	0,189
IJ	400	18	16	0,55	31,0	2,8	1T	0,15	2,95	0,091
JK	800	22	20	0,71	36,1	2,8	1T	0,20	3,00	0,108
KL	1200	28	26	0,63	21,1	2,8	1T	0,30	3,10	0,065
LM	1600	28	26	0,84	34,9	2,8	1T	0,30	3,10	0,108
MN	2000	35	33	0,65	16,6	2,8	1T	0,40	3,20	0,053
NO	2400	35	33	0,78	22,9	0,5	1 corba 90°	0,84	1,34	0,031
OP	2400	35	33	0,78	22,9	8,5	4 corbes 90° - 1T- 1 vàlvula A/R	5,37	13,87	0,317

Pdc TOTAL (mca) = 1,78

Q Cabal de fluid que circula per cada tram, en litres/h

DN Diàmetre nominal de la canonada, en mm

D Diàmetre interior de la canonada, en mm

v velocitat de circulació del fluid per cada tram

$$v(m/s)=0,354 \cdot Q/D^2$$

Pdc_{unit} Pèrdua de càrrega per metre lineal de canonada

$$Pdc_{unit}(mm.c.a./m)=378 \cdot Q^{1,75}/D^{4,75}$$

L Longitud del tram de canonada, en m

L_{sing} Longitud equivalent de les singularitats del tram, en m

L_{total} Longitud total a considerar, en m

$$L_{total} = L + L_{sing}$$

Pdc Pèrdua de càrrega del tram, en m

$$Pdc(m.c.a.)=Pdc_{unit} \times L_{total} \times 10^{-3}$$

Canonades del circuit de distribució: singularitats

		Diàmetre nominal de la canonada						
		18	22	28	35	42	54	
Longitud equivalent de canonada (en m) per a pèrdues de càrrega singulars.		Corba de 45°	0,34	0,43	0,47	0,56	0,7	0,85
Font: Gas Natural		Colze de 90°	0,5	0,63	0,76	1,01	1,32	1,71
		Corba de 90°	0,33	0,45	0,6	0,84	0,96	1,27
		Reducció	0,3	0,5	0,65	0,85	1	1,3
		T →↔	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
		T ↕↔	2,5	3	3,6	4,1	4,6	5
		T ↕↔	1,68	1,8	1,92	2,4	3	3,6
		Vàlvula antiretorn de claveta	0,5	0,77	1,05	1,61	2,1	2,66

Tram	Q (l/h)	DN (mm)	Diàmetre (mm)	V (m/s)	Pdc _{unit} (mmca/m)	L (m)	Singularitats	L _{sing} (m)	L _{total} (m)	Pdc (mca)
AB	2400	35	33	0,78	22,9	8,5	4 corbes 90° - 1T ↗↖	7,46	15,96	0,365
BC	2400	35	33	0,78	22,9	0,5	1 corba 90°	0,84	1,34	0,031
CD	2000	35	33	0,65	16,6	2,8	1T	0,40	3,20	0,053
DE	1600	28	26	0,84	34,9	2,8	1T	0,30	3,10	0,108
EF	1200	28	26	0,63	21,1	2,8	1T	0,30	3,10	0,065
FG	800	22	20	0,71	36,1	2,8	1T	0,20	3,00	0,108
GH	400	18	16	0,55	31,0	2,8	1T	0,15	2,95	0,091
HI	200	15	13	0,42	24,7	4,0	6 corbes 90° - 1T ↗↖	3,65	7,65	0,189
IJ	400	18	16	0,55	31,0	2,8	1T	0,15	2,95	0,091
JK	800	22	20	0,71	36,1	2,8	1T	0,20	3,00	0,108
KL	1200	28	26	0,63	21,1	2,8	1T	0,30	3,10	0,065
LM	1600	28	26	0,84	34,9	2,8	1T	0,30	3,10	0,108
MN	2000	35	33	0,65	16,6	2,8	1T	0,40	3,20	0,053
NO	2400	35	33	0,78	22,9	0,5	1 corba 90°	0,84	1,34	0,031
OP	2400	35	33	0,78	22,9	8,5	4 corbes 90° - 1T - 1 vàlvula A/R	5,37	13,87	0,317

Les canonades del circuit de distribució s'aïllaran amb escuma elastomèrica de cèl·lula tancada en conquilles de 25 mm. **Pdc TOTAL (mca) = 1,78**

Bomba del circuit de distribució

- Se selecciona en funció de la pèrdua de càrrega total (Pdc_{Total}) i el cabal del circuit de distribució.

$$Pdc_{Total} = Pdc_{canonades} + Pdc_{bescanviador_individual}$$

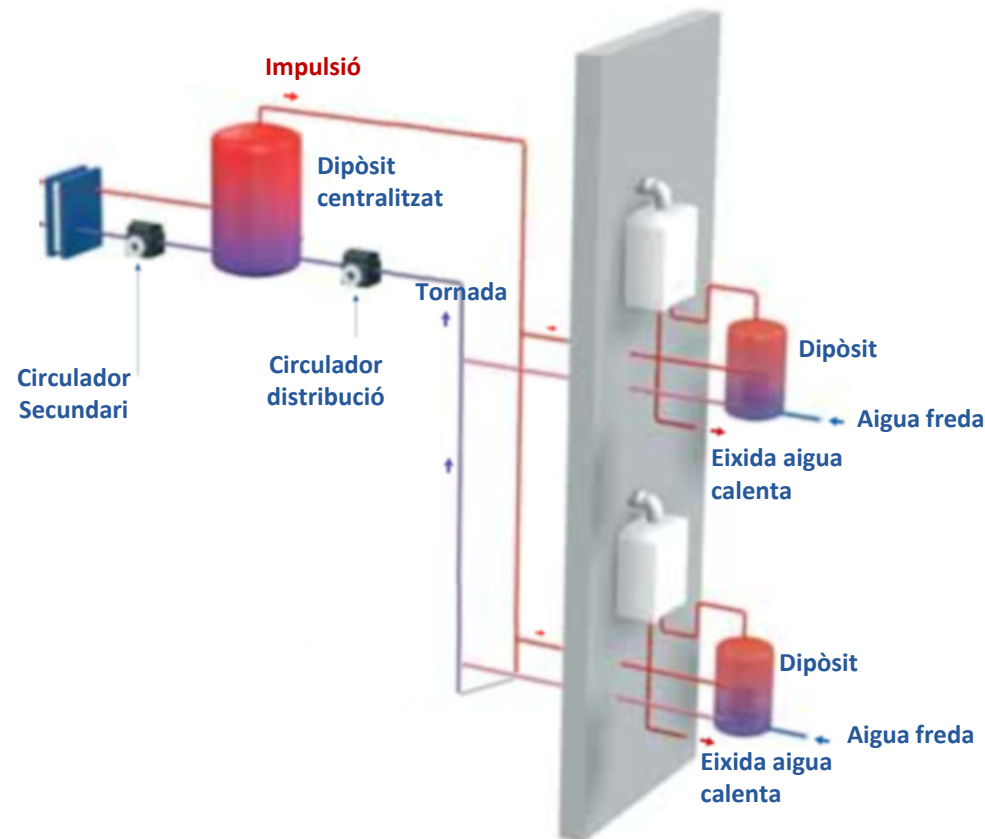
- $Pdc_{canonades} = 1,78$ m.c.a.
 - $Pdc_{bescanviador-individual} = 0,5$ m.c.a. (proporcionada pel fabricant)
 - $Pdc_{Total} = 2,28$ m.c.a.
- El cabal del circuit de distribució és de $2 \text{ baixants} \cdot 2.400 \text{ litres/h} = 4.800$ litres/h.
 - La selecció de la bomba del circuit de distribució es farà de manera que la seua corba característica continga aproximadament el punt de treball definit per una altura manomètrica igual a la pèrdua de càrrega del circuit $H = 2,28$ m.c.a. i un cabal Q igual a 4.800 litres/h.

És recomanable que, una vegada fet el càlcul de la pèrdua de càrrega, es trie la bomba de manera que **la seua corba estiga de l'ordre d'un 20% per sobre del punt de treball**, per a poder compensar possibles pèrdues de potència de la bomba després de l'engegada.

Vas d'expansió dels circuits secundari i de distribució

Volum total de fluid en el circuit hidràulic (V):

Es pot calcular sumant els continguts de fluid en els serpentins dels interacumuladors individuals, en les canonades de distribució, en l'acumulador central i en les canonades de secundari.



Vas d'expansió dels circuits secundari i de distribució

Volum total de fluid en el circuit hidràulic (V):

Es pot calcular sumant els continguts de fluid en canonades de distribució.

Volum del fluid en canonades del circuit de distribució.

DN (mm)	Diàmetre (mm)	L (m)	Capacitat (l/m)	Contingut total (l)
15	13	96,0	0,133	12,7
18	16	11,2	0,201	2,3
22	20	11,2	0,314	3,5
28	26	22,4	0,531	11,9
35	33	47,2	0,855	40,4

TOTAL 70,8

+ les canonades de secundari (12 m de canonades DN28) = 6,4 l.

+ el volum de l'acumulador central: 1500 l.

+ El serpentí de cada interacumulador individual té una capacitat d'1,55 litres. Per tant:

24 interacumuladors x (1,55 l/interacumulador) = 37,2 litres

El contingut total de líquid del circuit hidràulic serà:

$$V = 70,8 \text{ litres} + 6,4 + 1500 + 37,2 \text{ litres} = 1614,4 \text{ litres}$$

Vas d'expansió dels circuits secundari i de distribució

Volum mínim o de reserva (V_{\min}):

S'agafa un 3% del volum total de la instal·lació amb un mínim de 3 litres:

$$V_{\min} = 3\% \times 1614,4 \text{ litres} = 48,43 \text{ litres}$$

Volum de vaporització (V_{vap}):

No es considera perquè no es tracta del circuit primari solar.

Vas d'expansió dels circuits secundari i de distribució

Coeficient d'expansió:

El fluid caloportador és aigua sense additius. Si es fa ús de les expressions indicades en la norma UNE 100-155 per al seu càlcul, el valor de C_e de l'aigua resulta ser de 0,04.

$$C_e = 0,04$$

Volum de dilatació (V_{dil}):

$$V_{dil} = V \times C_e = 64,6 \text{ litres}$$

Vas d'expansió dels circuits secundari i de distribució

Coefficient de pressió:

$$C_p = \frac{V_t}{V_u} = \frac{P_{\max}}{P_{\max} - P_{\min}} = \frac{3,7}{3,7 - 1,5} = 1,68$$

$$P_{\text{man_min}} = 0,5 \text{ bar} + h(\text{m}) \cdot 0,1 \frac{\text{bar}}{\text{m}} = 0,5 \text{ bar}$$

$$P_{\text{min}} = P_{\text{man_min}} + 1 \text{ atm} = 1,5 \text{ bar}$$

La pressió d'ompliment és de 0,5 bar i la diferència de cotes és $h=0$.

$$P_{\text{man_max}} = P_{\text{vs}} - 0,3 \text{ bar} = 2,7 \text{ bar}$$

$$P_{\text{max}} = P_{\text{man_max}} + 1 \text{ atm} = 3,7 \text{ bar}$$

La pressió de taratge de la vàlvula de seguretat és de 3bar.

Vas d'expansió dels circuits secundari i de distribució

$$V_t = (V_{\min} + V \cdot C_e + V_{\text{vap}}) \cdot \frac{P_{\max}}{P_{\max} - P_{\min}} = (48,43 + 64,6 + 0) \cdot \frac{3,7}{3,7 - 1,5} = 190,1 \text{ litres}$$

En la pràctica, s'instal·larà un vas d'expansió d'una grandària comercial de 200 litres.

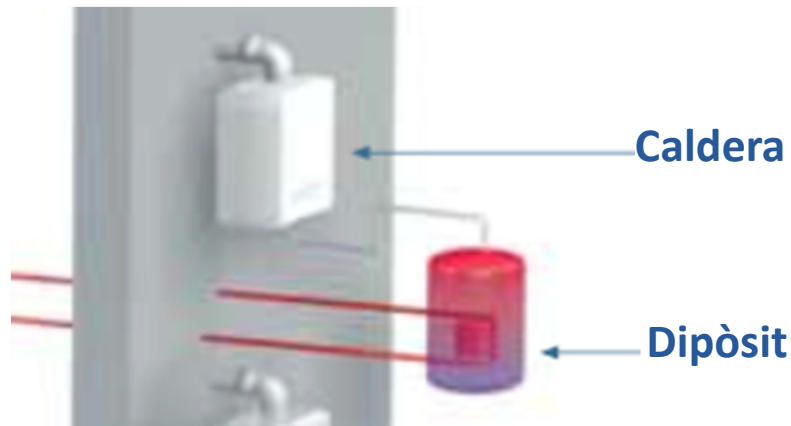
En funció del fabricant podem trobar els següents valors comercials: 5, 8, 12, 18, 24, 25, 35, 50, 60, 80, 100, 150, 200, 220, 300, 350, 500, 700 i 750 litres.

El vas d'expansió s'instal·larà sense vàlvula de tall, de manera que no existisca la possibilitat d'aïllar-lo accidentalment del circuit al qual protegeix.

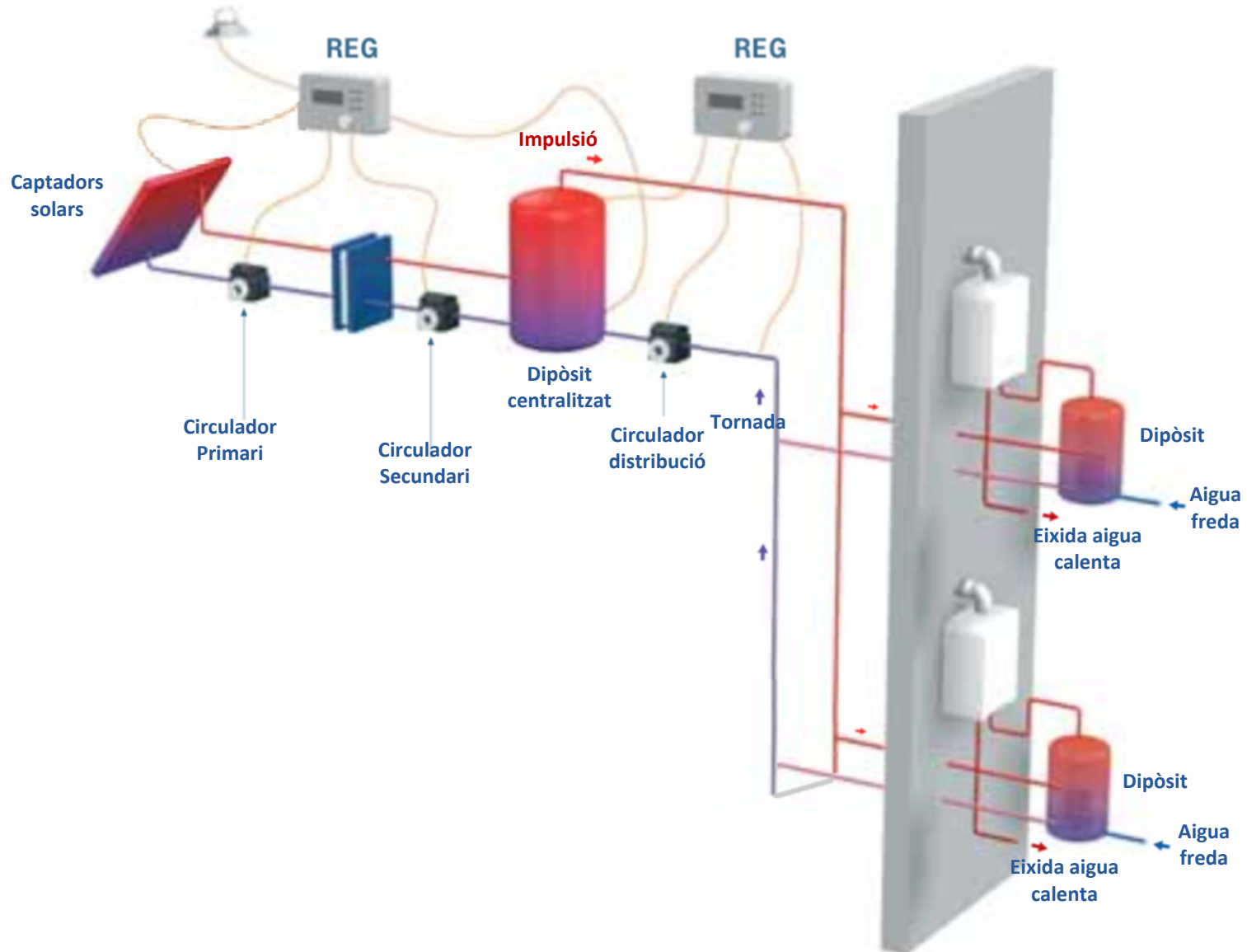
Subsistema de suport

L'eixida de l'aigua calenta de cada interacumulador es conduirà a una caldera mural de suport individual.

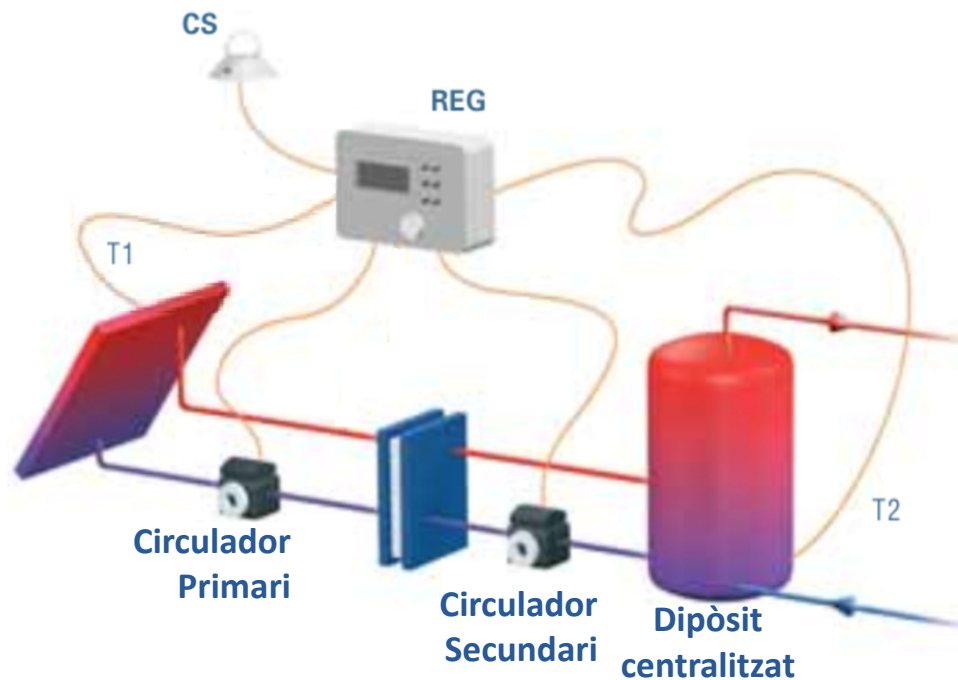
Per a la selecció de la caldera se seguirà el que s'indica en l'exercici 1 de Barcelona.



Regulació



Regulació de les bombes del circuit primari i secundari

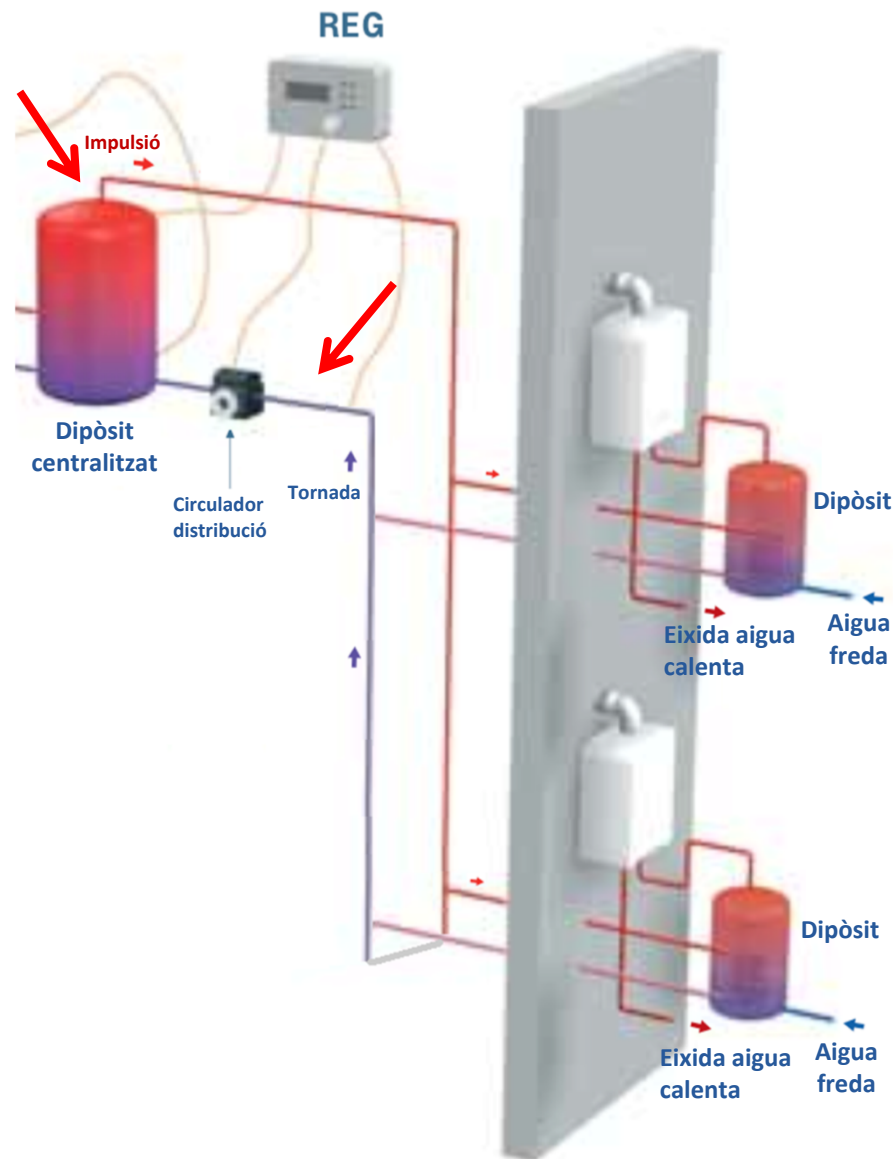


1. El circulator primari es posa en funcionament quan la insolació mesurada per la sonda CS, és suficient per a permetre una captació efectiva d'energia ($>100 \text{ W/m}^2$).

2. Amb el circulator primari en funcionament, augmenta la temperatura del circuit de captadors. Quan T_1 supera en $4-6 \text{ }^\circ\text{C}$ a T_2 , s'engega el circulator secundari, i s'inicia l'aportació d'energia solar al dipòsit acumulador solar.

3. El circulator secundari es deté quan la diferència entre T_1 i T_2 és inferior a uns 2°C .

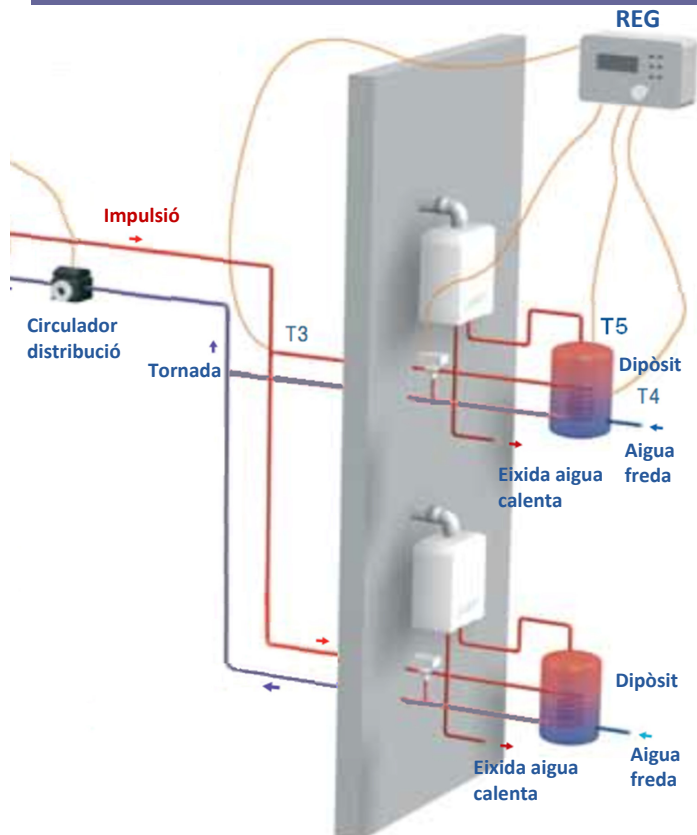
Regulació de la bomba de distribució



Es regularà mitjançant altre termòstat diferencial, amb la sonda calenta en la part superior de l'acumulador centralitzat i la sonda freda en la canalització de retorn dels interacumuladors.

Els salts tèrmics per a la posada en marxa i la detenció del circulator seran els mateixos indicats anteriorment (6°C i 2°C).

Regulació



A l'entrada del bescanviador dels interacumuladors podria instal·lar-se una **vàlvula de tres vies regulada amb un termòstat diferencial**. Les sondes de temperatura estaran situades en la canalització d'arribada al bescanviador T_3 i en la part inferior de l'acumulador T_4 .

La vàlvula de cada habitatge obrirà el pas cap al bescanviador de l'interacumulador quan la temperatura T_3 siga superior en uns 5°C a T_4 i interromprà el pas quan aquesta diferència de temperatures siga inferior a 2°C .

La temperatura T_5 en la part superior de l'interacumulador ha de limitar-se a 60°C per a protegir davant cremades i dipòsits de calç.