

## Treball final de grau

**Estudi:** Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

**Títol:** Estudi, dimensionament i comparació entre una bomba de calor geotèrmica i una aerotèrmica per a una instal·lació de climatització en un habitatge unifamiliar

**Document:** Memòria i annexos

**Alumne:** Marc Carreras López

**Tutor:** Alexandre Deltell Carbonell

**Departament:** Enginyeria Mecànica i de la Construcció Industrial

**Àrea:** Mecànica de fluids

**Convocatòria (mes/any):** Juny/2022

## ÍNDEX DE CONTINGUTS

1 INTRODUCCIÓ .....	6
1.1 Antecedents .....	6
1.1.1 Peticionari.....	6
1.1.2 Necessitat del peticionari.....	6
1.2 Objecte.....	6
1.3 Especificacions i abast.....	6
1.3.1 Especificacions de la petició .....	6
1.3.2 Abast del projecte.....	7
2 DESCRIPCIÓ DE L'HABITATGE.....	9
2.1 Situació geogràfica .....	9
2.2 Disseny de l'habitatge .....	10
3 NORMATIVA MUNICIPAL .....	13
4 REGLAMENTACIÓ.....	14
5 CÀRREGUES TÈRMiques .....	18
6 BOMBES DE CALOR AEROTÈRMICA I GEOTÈRMICA .....	19
6.1 Introducció.....	19
6.2 Fonts d'energia .....	20
6.3 Dimensionament.....	20
7 UNITATS TRANSMISSORES DE CALOR .....	22
7.1 Introducció.....	22
7.2 Terra radiant .....	22
7.2.1 Dimensionament.....	22
7.2.2 Cabal de circulació .....	24
7.2.3 Pèrdues de càrrega.....	24
7.3 Fancoils.....	25
8 ETIQUETA ENERGÈTICA .....	26

9 INSTAL·LACIÓ FOTOVOLTAICA.....	27
10 VIABILITAT ENTRE SISTEMES.....	28
10.1 Bombes de calor.....	28
10.2 Unitats transmissores de calor .....	29
11 RESUM DEL PRESSUPOST .....	31
11.1 Sistema de climatització amb bomba de calor aerotèrmica i terra radiant.....	31
11.2 Sistema de climatització amb bomba de calor aerotèrmica i fancoils .....	31
11.3 Sistema de climatització amb bomba de calor geotèrmica i terra radiant.....	31
11.4 Sistema de climatització amb bomba de calor geotèrmica i fancoils.....	31
11.5 instal·lació fotovoltaica.....	31
12 CONCLUSIONS .....	32
13 BIBLIOGRAFIA .....	33
ANNEXOS .....	36
A CÀLCUL DE CÀRREGUES TÈRMiques.....	37
A.1 Reglamentació.....	37
A.2 Càrregues tèrmiques de refrigeració i calefacció .....	38
A.3 Càlculs dels programes HULC i Clima.....	41
B DIMENSIONAMENT BOMBA DE CALOR AEROTÈRMICA.....	45
C DIMENSIONAMENT BOMBA DE CALOR GEOTÈRMICA .....	47
C.1 Bomba de calor geotèrmica.....	47
C.2 Sonda geotèrmica.....	47
C.2.1 Material de la canonada .....	49
C.2.2 Diàmetre de la canonada .....	49
C.2.3 Longitud del bescanviador .....	52
C.3 Pèrdues de càrrega del circuit en la sonda geotèrmica.....	55
D DIMENSIONAMENT TERRA RADIANT.....	58
D.1 Temperatura superficial .....	58
D.2 Capa d'aïllament .....	58

D.3 Capa de morter.....	59
D.4 Canonades i disposició dels circuits .....	60
D.4.1 Longitud dels circuits .....	61
D.4.3 Cabal dels circuit .....	62
D.5 Pèrdues de càrrega .....	63
E INSTAL·LACIÓ FANCOILS .....	66
F INSTAL·LACIÓ FOTOVOLTAICA .....	68
G Viabilitat entre sistemES .....	72
G.1 Bombes de calor .....	72
G.1.1 Instal·lació fotovoltaica .....	74
H ETIQUETA ENERGÈTICA .....	76
I JUSTIFICACIÓ DE PREUS .....	84
I.1 Elements climatització .....	84
I.2 Elements de la instal·lació fotovoltaica.....	85

## ÍNDIX DE FIGURES

Figura 1. Activitat en l'habitatge .....	12
Figura 2. Elements d'una bomba de calor.....	19
Figura 3. Bomba de calor reversible.....	19
Figura 4. Reglamentació HE1 Condicions pel control i la demanda energètica .....	37
Figura 5. Corba característica de la bomba de recirculació subministrada amb la bomba de calor Aerotherm v10 .....	46
Figura 6. Densitat d'una dissolució d'etilenglicol, en funció de la temperatura .....	48
Figura 7. Flux del fluid.....	49
Figura 8. Corba característica de la bomba de circulació Wilo-Varios-PICO-STG.....	57
Figura 9. Potència superficial emesa pel terra radiant.....	61
Figura 10. Histograma d'energia calorífica demandada per mes .....	68
Figura 11. Histograma de la demanda mensual elèctrica de la bomba de calor geotèrmica ....	69
Figura 12. Histograma de la demanda mensual elèctrica de la bomba de calor aerotèrmica ...	70
Figura 13. Dades producció fotovoltaica (PVGIS) .....	70

Figura 14. Producció mensual energia fotovoltaica (PVGIS) .....	71
Figura 15. Gràfic energia elèctrica .....	71

## ÍNDIX DE TAULES

Taula 1. Distribució de l'habitatge .....	10
Taula 2. Normativa cases aïllades a Castelló d'Empúries .....	13
Taula 3. Condicions pel control i la demanda energètica segons HE1 del CTE.....	14
Taula 4. Tancaments i particions de l'habitatge.....	16
Taula 5. Forats de l'habitatge .....	16
Taula 6. Cabals mínims pe ventilació de cabal constant en locals habitables .....	17
Taula 7. Condicions interiors de disseny .....	17
Taula 8. Longitud dels tubs del terra radiant .....	23
Taula 9. Cabal de circulació en els circuits de terra radiant en cada recinte de l'habitatge.....	24
Taula 10. Característiques del fancoil de sèrie FCCW- 2 tubs .....	25
Taula 11. Cost anual de les bombes de calor .....	29
Taula 12. Viabilitat d'instal·lació fotovoltaica en l'habitatge .....	29
Taula 13. Zones climàtiques segons emplaçament .....	38
Taula 14. Càrregues tèrmiques de refrigeració.....	39
Taula 15. Càrregues tèrmiques de calefacció .....	40
Taula 16. Característiques de les bombes de calor Serie Monobloc Aerothem v10.....	45
Taula 17. Bomba de calor geotèrmica .....	47
Taula 18. Viscositat cinemàtica d'una dissolució d'etilenglicol, en funció de la temperatura ..	48
Taula 19. Conductes HDPE PE 100 .....	50
Taula 20. Conducte SDR 11 PN 16.....	51
Taula 21. Conducte SDR 17 PN 10.....	51
Taula 22. $\Delta T_{ml}$ en condicions de calefacció.....	54
Taula 23. $\Delta T_{ml}$ en condicions de refrigeració .....	54
Taula 24. Característiques de la bomba de circulació Yonos PICO-STG 15/1-8.....	55
Taula 25. Temperatura màxima de consigna dels recintes de l'habitatge .....	58
Taula 26. Resistència tèrmica de la capa d'aïllament de PIR.....	59
Taula 27. Longitud del terra radiant del recinte.....	62
Taula 28. Cabal de circulació en els circuits de terra radiant de l'habitatge.....	63
Taula 29. Pèrdues de càrrega en canonades Uponor Aqua Pipe (PEX-a) .....	63

Taula 30. Pèrdues de càrrega en els circuits de terra radiant.....	64
Taula 31. Pèrdues de càrrega en les canonades d'impulsió.....	65
Taula 32. Pèrdues de càrrega en les canonades d'impulsió.....	66
Taula 33. Demanda mensual elèctrica de la bomba de calor geotèrmica.....	69
Taula 34. Demanda mensual elèctrica de la bomba de calor aerotèrmica.....	69
Taula 35. Cost anual de les bombes de calor.....	73
Taula 36. Viabilitat d'una instal·lació fotovoltaica en l'habitatge.....	75

# 1 INTRODUCCIÓ

## 1.1 Antecedents

### 1.1.1 Peticionari

El peticionari d'aquest projecte és una client que vol fer un estudi de climatització per a un futur habitatge unifamiliar aïllat al Carrer de la Vintena, 18 a Castelló d'Empúries.

### 1.1.2 Necessitat del peticionari

La Directiva 2010/31/UE, del 19 de maig demanava que es considerés la viabilitat tècnica, mediambiental i econòmica de instal·lacions alternatives en edificis nous que s'haguessin de construir, introduint la tipologia d'edificis de consum quasi zero. Aquesta tipologia és ara d'obligat compliment a partir del Document Bàsic d'Estalvi d'Energia de l'última actualització del Codi Tècnic de l'Edificació del 2019. D'acord amb la nova reglamentació, el client vol edificar un habitatge unifamiliar en un terreny urbà a Castelló d'Empúries del qual demana un estudi de climatització..

## 1.2 Objecte

L'objectiu del projecte és estudiar, dissenyar i dimensionar dues instal·lacions de climatització dins del marc legal per veure quina d'elles tindrà millor eficiència energètica, econòmica i mediambiental per climatitzar la casa i per proporcionar l'ACS necessària. Les dues instal·lacions a comparar seran la geotèrmica i la aerotèrmica, les quals són bombes de calor que s'alimenten d'energia elèctrica.

## 1.3 Especificacions i abast

### 1.3.1 Especificacions de la petició

Les especificacions per aquest projecte són les següents:

- Compliment del Codi Tècnic de l'Edificació.
- Compliment del Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques en els Edificis.

- Compliment de la normativa municipal.
- Comparació entre instal·lació de climatització aerotèrmica i geotèrmica.
- Estudi fotovoltaic.

### **1.3.2 Abast del projecte**

Donat els actuals costos elèctrics i les seves previsions a mig i llarg termini, es realitzarà un petit estudi de dimensionament d'una instal·lació fotovoltaica per tal de reduir la factura elèctrica de la instal·lació de climatització. El projecte contemplarà:

- Càlcul de càrregues tèrmiques de l'habitatge.
- Dimensionament de les instal·lacions de climatització.
- Càlcul de l'etiqueta energètica.
- Dimensionament elèctric de la instal·lació fotovoltaica i incidència en el cost de la factura elèctrica.
- Comparació a nivell tècnic i econòmic de les instal·lacions de climatització.



## 2 DESCRIPCIÓ DE L'HABITATGE

### 2.1 Situació geogràfica

L'altitud de Castelló d'Empúries és de 17 m sobre el nivell del mar. La parcel·la on s'edificarà l'habitatge del qual es vol fer l'estudi és rectangular, plana i es troba al mateix nivell del carrer. El carrer de la Vintena és poc transitat i amb baix impacte acústic. L'habitatge es troba a 5 metres de la vorera i a 3 metres dels veïns per normativa municipal.

L'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya ofereix una sèrie de dades del terreny i de les temperatures ambientals de les poblacions de Catalunya. Aleshores, s'obtenen un seguit de dades de Castelló d'Empúries que s'esmenten en els següents apartats.

La parcel·la es troba en un terreny que està format en els primers 50 metres de profunditat per argiles principalment grises entre les quals s'intercalen canals de sorres i graves. Els següents 50 metres de profunditat en el terreny consten de gresos ocres de granulometria variable. Finalment, a partir dels 100 metres de profunditat, el terreny està compost per argiles margoses i margues de color gris fosc formades durant el Pliocè inferior.

Les característiques del terreny de la població de Castelló d'Empúries que s'obtenen són les següents:

- Profunditat de sòl edàfic: Molt profund, >120 cm.
- Prognosi dificultat perforació: dificultat potencial alta.
- Conductivitat tèrmica: Mitjana (1,11-1,3 W/mK)
- Temperatura del subsol a 50 m de profunditat: 17,5-20 °C
- Temperatura del subsol a 100 m de profunditat: 17,5-20 °C
- Temperatura del subsol a 150 m de profunditat: 20-22,5 °C

Pel que fa a la temperatura ambient mitjana anual superficial a Castelló d'Empúries, es d'entre 15 i 18 °C. El mes més fred, la temperatura superficial es troba entre els 0 i 3 °C, mentre que en el mes més càlid, la temperatura superficial és d'entre 26 i 30 °C. La durada anual de calefacció en la població és aproximadament d'entre 150 i 175 dies, mentre que la durada anual de refrigeració és d'uns 70-80 dies.

## 2.2 Disseny de l'habitatge

La distribució de l'habitatge es mostra en el Plànol 03. L'habitatge consta de dues plantes. La planta baixa està formada per una cuina, un menjador, un rebedor, un bany, un despatx, un garatge i un bany exterior, i la primera planta consta de quatre dormitoris i dos banys, un d'ells situat a l'interior del dormitori principal. L'accés d'una planta a l'altre es fa mitjançant unes escales interiors. Les habitacions que no estaran condicionades perquè es consideren espais no habitables són el rebedor, el garatge, el bany 1, el bany exterior i el passadís superior. A la Taula 1, extreta del programa Clima, es defineixen la superfície i volums dels diferents espais de l'habitatge.

Nom	Etiqueta	Tipus	Superfície [m <sup>2</sup> ]	Volum [m <sup>3</sup> ]
Despatx	P1_E1	Condicionat	11.13	33.39
Cuina	P1_E2	Condicionat	14.65	43.95
Bany 1	P1_E3	No Condicionat	2.59	7.77
Rebedor	P1_E4	No Condicionat	18.30	54.90
Menjador	P1_E5	Condicionat	29.58	88.74
Garatge	P1_E6	No Condicionat	36.51	109.53
Bany Ext.	P1_E7	No Condicionat	2.24	6.72
Dormitori 2	P2_E1	Condicionat	23.26	69.78
Bany 2	P2_E2	Condicionat	7.35	22.05
Passadís superior	P2_E3	No Condicionat	20.95	62.85
Dormitori 3	P2_E4	Condicionat	18.06	54.18
Dormitori 4	P2_E5	Condicionat	13.64	40.92
Dormitori 1	P2_E6	Condicionat	22.61	67.83
Bany 3	P2_E7	Condicionat	9.14	27.42

Taula 1. Distribució de l'habitatge

En l'habitatge es diferencien tres tipus de finestres diferents que es representen en el Plànol 04. Totes les finestres tenen un gruix de 8 cm. La finestra de Tipus 1 és una porta balconera amb vidre laminat baix emissiu 4/12/6 i amb persiana enrol·lable. Les finestres de Tipus 2 són finestres d'alumini amb vidre laminat baix emissiu 4/12/6 i amb persiana

enrotllable que s'utilitzen en les diferents habitacions. Per últim, les finestres de Tipus 3 són finestres d'alumini amb vidre laminat baix emissiu 4/12/6 translúcides que s'utilitzen en els diferents banys.

En quant a les portes, també hi ha tres tipus de portes diferents que es representen en el Plànol 04. El primer tipus són les portes interiors de les diferents habitacions i del bany exterior que tenen un gruix de 4 cm. Pel que fa a la porta d'entrada principal a l'habitatge, té un gruix de 8 cm i es troba situada en el rebedor. Per últim, hi ha la porta del garatge que és una porta tipus sandvitx amb ànima de poliestirè expandit i amb gruix de 6 cm.

Les parets exterior estan compostes de fora de l'habitatge cap a dintre per: arrebossat amb morter monocapa, plaques d'aïllament tèrmic de poliestirè expandit (EPS), peça de termoargila i lliscat de guix. La coberta està composta per una capa de grava, una capa de morter autoanivellant, tela impermeabilitzant polimèrica, aïllament de llana mineral, formigó armat i un lliscat de guix. El terra de la planta baixa està compost per formigó armat, tela impermeabilitzant polimèrica, plaques EPS, capa de morter autoanivellant, paviment gres quarsos per interiors i sòcol de rajola ceràmica. No es mencionen les capes de pintura perquè per l'estudi de climatització tenen un efecte nul.

El sistema de climatització constarà d'una bomba de calor aerotèrmica o geotèrmica. La bomba de calor escollida es col·locarà a la cara exterior Nord-Est de l'habitatge tal i com es mostra en els Plànols 05 i 06, amb l'objectiu d'estar a una zona accessible i propera a altres elements de climatització com el dipòsit d'ACS o el dipòsit d'inèrcia. La unitat de bomba de calor incorporarà una pantalla acústica i una estructura per resistir el fort vent de la zona al que es veurà exposada.

Pel que fa a la il·luminació, l'habitatge està il·luminat mitjançant llums led amb una potència per superfície abastada de  $4 \text{ W/m}^2$ . Per altra banda els equips tenen una potència estimada per superfície abastada de  $5 \text{ W/m}^2$ . La distribució de l'activitat en l'habitatge de les persones, llums i equips es mostra en la Figura 1.

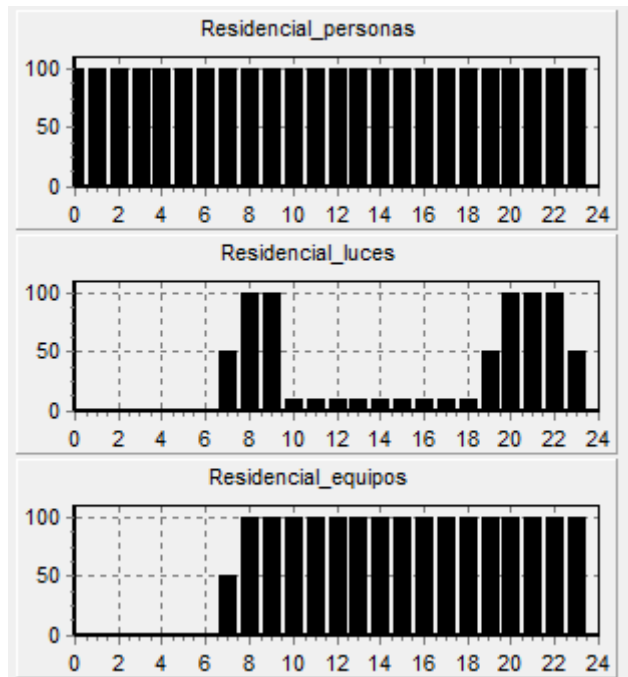


Figura 1. Activitat en l'habitatge

L'habitatge comptarà amb un sistema de ventilació que es troba separat del sistema de climatització perquè es vol fer un estudi d'un sistema aigua-aigua com és el terra radiant i d'un sistema aigua-aire com són els fancoils. Aleshores, no es pot fer un únic conjunt climatització-ventilació mitjançant un sistema tot aire. Finalment, el sistema de ventilació que es defineix en l'habitatge consta d'un bescanviador de calor amb un rendiment del 78,2%, per disminuir les càrregues tèrmiques de l'habitatge i generar la ventilació mínima necessària que alimenta els recintes de l'habitatge principals tal i com es mostra en el Plànol 07.

### 3 NORMATIVA MUNICIPAL

El disseny de l'edifici s'adapta a la normativa municipal urbanística especificada en el TR POUM de Castelló d'Empúries. A partir del Pla d'ordenació urbanístic municipal, situem la parcel·la en la zona 6a. Unifamiliar aïllada en parcel·la de fins a 400 m<sup>2</sup>. Intensiva. Específicament en la subzona 6a1 (antiga 14a. Edificació aïllada. Vila i Mas Nou). Aleshores, la normativa a complir per part de l'habitatge unifamiliar aïllat estudiat es mostra en la Taula 2.

TR POUM Castelló d'Empúries			
SECCIÓ 6. CASES ÌLLADES			
Clau 6a1 : antiga 14a Vila i Mas Nou. Parcel·la 400m <sup>2</sup>			
	Normativa	Màx. Segons parcel·la	Projecte
Parcel·la mínima	400 m <sup>2</sup>	441 m <sup>2</sup>	441 m <sup>2</sup>
Ocupació màxima	30%	132,3	130,68
Ocupació màxima edificació auxiliar	5%	22,05	-
Intensitat màxima	0,65	286,65	261,36
Alçada màxima edificació	7 m	7 m	6 m
Alçada màxima edificació auxiliar	3 m	3 m	-
Separació mínima edificació a vials	5 m	5 m	5 m
Separació mínima edificació a veïns	3 m	3 m	3 m
Façana mínima	15 m	15 m	16,68 m

Taula 2. Normativa cases aïllades a Castelló d'Empúries

## 4 REGLAMENTACIÓ

Per portar a terme l'estudi de climatització, es segueix i compleix la reglamentació citada en el Codi Tècnic de L'edificació d'Espanya (CTE), concretament en el Document Bàsic d'Estalvi d'Energia (DB-HE), referent a les condicions de control de demanda energètica (HE1) i a la contribució mínima d'energia renovable per contribuir en la demanda d'aigua calenta sanitària (HE4). Un altre document del Codi Tècnic de l'Edificació a complir és el document de Salubritat, concretament la secció 3 referent a la qualitat de l'aire interior. Per últim, també es té en compte el Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE).

Pel que fa a la secció HE1 Condicions pel control i la demanda energètica, els aspectes a complir es mostren en la Taula 3. Mitjançant el dimensionament de l'habitatge en els programes HULC i Clima, s'obtenen els paràmetres a complir del CTE-HE1.

		Limit CTE	Projecte
Murs i terres en contacte amb l'aire exterior	U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,49	0,36
Cobertes en contacte amb l'aire exterior	U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,4	0,34
Murs , terres i cobertes en contacte amb espais no habitables o amb el terreny. Psarticions interiors pertanyents a la envolvent tèrmica	U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,7	0,66
Forats (conjunt marc, vidre i caixa persiana)	U (W/m <sup>2</sup> ·K)	2,1	1,94
Valor límit coeficient global de transmissió de calor (Klim)	K (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,53	0,51
Paràmetre de control solar	qsol;jul;lim [kWh/m <sup>2</sup> ·mes]	2	1,94
Pearmibilitat de l'aire en forats en l'envolvent tèrmica	Q100, lim[m <sup>3</sup> /h·m <sup>2</sup> ]	9	1
Valor límit del canvi d'aire a una pressió de 50 Pa	n50 [h <sup>-1</sup> ]	6	5,98
Transmitància tèrmica límit de particions horitzontals interiors del mateix ús	U (W/m <sup>2</sup> ·K)	1,35	0,86
Transmitància tèrmica límit de particions verticals interiors del mateix ús	U (W/m <sup>2</sup> ·K)	1,2	0,87
Transmitància tèrmica límit de particions de diferent ús.	U (W/m <sup>2</sup> ·K)	0,95	0,66

Taula 3. Condicions pel control i la demanda energètica segons HE1 del CTE

Les capes i transmitàncies dels tancaments, particions i forats definits en l'habitatge es mostren en les Taules 4 i 5 respectivament, obtingudes del programa Clima.

Nom	Capas	Transmitància [W/m <sup>2</sup> K]	Pes [kg/m <sup>2</sup> ]	He [W/m <sup>2</sup> K]	Hi [W/m <sup>2</sup> K]
PARTICIONS GARATGE	Lliscat de guix 1000 < d < 1300 (1.0cm) Peça de de LH doble [60 mm < E < 90 mm] (7.0cm) MW Llana mineral [0.04 W/[mK]] (4.0cm) Peça de termoargila de LH doble [60 mm < E < 90 mm] (7.0cm) Lliscat de guix 1000 < d < 1300 (1.0cm)	0.63	154.800	7.69	7.69
PARETS EXTERIORS	Arrebossat amb morter monocapa 1000 < d < 1250 (2.0cm) EPS Polièstirè Expandit [ 0.037 W/[mK]] (8.0cm) 1 peu LP mètric 40 mm < G < 60 mm (24.0cm) Lliscat de guix aïllant 500 < d < 600 (1.0cm)	0.36	323.200	25.00	7.69
SOSTRE BANY EXTERIOR	Sòcol de rajola ceràmica (0.6cm) Gres calcari 2000 < d < 2700 (2.0cm) Capa de morter autonivellant 1000 < d < 1250 (5cm) EPS Polièstirè Expandit [ 0.037 W/[mK]] (4.3cm) Formigó armat 2300 < d < 2500 (20.0cm) Lliscat de guix d < 1000 (1.0cm)	0.66	566.165	10.00	10.00
TERRA PLANTA 1	Sòcol de rajola ceràmica (0.6cm) Gres calcari 2000 < d < 2700 (2.0cm) Capa de morter autonivellant 1000 < d < 1250 (5cm) EPS Polièstirè Expandit [ 0.037 W/[mK]] (3.0cm) Formigó armat 2300 < d < 2500 (20.0cm) Lliscat de guix d < 1000 (1.0cm) Lliscat de guix d < 1000 (1.0cm)	0.86	557.900	10.00	10.00
PARTICIONS	Lliscat de guix d < 1000 (1.0cm)	0.87	149.040	7.69	7.69

INTERIORS	Peça de termoargila de LH doble [60 mm < E < 90 mm] (7.0cm) MW Llana mineral [0.04 W/[mK]] (2.1cm) Peça de termoargila de LH doble [60 mm < E < 90 mm] (7.0cm) Lliscat de guix d < 1000 (1.0cm)				
COBERTA	Arena y grava [1700 < d < 2200] (2.0cm) Capa de morter autonivellant 1000 < d < 1250 (2.0cm) Tela impermeabilitzant polimèrica (0.1cm) Clorur de polivinil [PVC] (0.1cm) Tela impermeabilitzant polimèrica (0.1cm) MW Llana mineral [0.031 W/[mK]] (8.0cm) Formigó armat 2300 < d < 2500 (20.0cm) Lliscat de guix aïllant 600 < d < 900 (1.0cm)	0.34	545.790	25.00	10.00
TERRA PLANTA BAIXA	Sòcol de rajola ceràmica (2.0cm) Paviment gres quarosos 2600 < d < 2800 (2.0cm) Capa de morter autonivellant 1000 < d < 1250 (5cm) EPS Poliestirè Expandit [ 0.029 W/[mK]] (8.0cm) Tela impermeabilitzant polimèrica (0.1cm) Clorur de polivinil [PVC] (0.1cm) Tela impermeabilitzant polimèrica (0.1cm) Formigó armat 2300 < d < 2500 (20.0cm)	0.32	585.075	9999.00	5.88

Taula 4. Tancaments i particions de l'habitatge

Nom	Transmitància [W/m²K]	Factor solar	Vidre	Marc	Fracció marco
PORTA ENTRADA	1.80	-0.000	4-12-4	PVC TRES cambres	100.00
PORTAL GARATGE	1.80	-0.000	4-12-4	PVC TRES cambres	100.00
FINESTRE TIPUS1	1.91	0.427	4-12-6	PVC DOS cambres	39.00
FINESTRE TIPUS2	1.90	0.434	4-12-6	PVC DOS cambres	38.00
FFINESTRE TIPUS3	1.94	0.399	4-12-6	PVC DOS cambres	43.00

Taula 5. Forats de l'habitatge



L'apartat HE4 del CTE cita que en una residència unifamiliar, el consum d'ACS és de 41 l/dia-persona. Llavors, al ser un habitatge de 4 dormitoris es considera que hi resideixen 5 persones i per tant, el consum diari d'ACS és de 205 l/d. Al superar els 100 l/d de demanda d'ACS, hi ha d'haver-hi una contribució mínima d'energia procedent de fonts renovables que cobreixi almenys el 60% de la demanda energètica anual per ACS. En el cas estudiat, només amb l'ús d'una bomba de calor geotèrmica o aerotèrmica sense tenir en compte la instal·lació fotovoltaica ja es compleix la normativa.

En quan al document de Salubritat, s'estudia el cabal mínim de ventilació de l'habitatge a partir de la Taula 6. L'habitatge està compost per 3 dormitoris secundaris, un dormitori principal, menjador, cuina i despatx. En aquest cas, és necessari un cabal mínim de ventilació ( $q_v$ ) de 50 l/s que són 45 m<sup>3</sup>/h per persona.

Tipo de vivienda	Caudal mínimo $q_v$ en l/s				
	Locales secos <sup>(1) (2)</sup>			Locales húmedos <sup>(2)</sup>	
	Dormitorio principal	Resto de dormitorios	Salas de estar y comedores <sup>(3)</sup>	Mínimo en total	Mínimo por local
0 ó 1 dormitorios	8	-	6	12	6
2 dormitorios	8	4	8	24	7
3 o más dormitorios	8	4	10	33	8

Taula 6. Cabals mínims pe ventilació de cabal constant en locals habitables

La RITE cita per una banda, les condicions interiors de disseny de temperatura i humitat relativa, i per l'altre banda, l'exigència de qualitat de l'aire interior.

Les condicions interiors de disseny de temperatura i humitat relativa per persones amb activitat metabòlica sedentària. Aquestes condicions han de complir els rangs citats en la Taula 7.

Tabla 1.4.1.1 Condiciones interiores de diseño		
Estación	Temperatura operativa °C	Humedad relativa %
Verano	23...25	45...60
Invierno	21...23	40...50

Taula 7. Condicions interiors de disseny

Pel que fa a l'exigència de qualitat de l'aire interior, l'habitatge unifamiliar estudiat forma part de la categoria 2 (IDA2). Aleshores, el caudal d'aire exterior necessari mínim és de 12,5 dm<sup>3</sup>/s per persona que són 45 m<sup>3</sup>/h per persona.

Per tant, el caudal mínim de ventilació de l'habitatge serà de 45 m<sup>3</sup>/h per persona perquè és el mínim requerit tant pel CTE com per la RITE.

## 5 CÀRREGUES TÈRMIQUES

L'estudi i dimensionament de climatització ha de complir la secció HE1 Condicions pel control i la demanda energètica del CTE. La Herramienta Unificada LIDER-CALENDER (HULC) genera els càlculs i comprova si es compleix la secció HE1.

Per altre banda, el càlcul de càrregues tèrmiques es portarà a terme mitjançant el programa Clima\_V\_2, en el qual es té en compte el dimensionament de l'habitatge a estudiar, la il·luminació, els equips, l'activitat que s'hi produirà, la transmitància dels tancaments i particions, les càrregues tèrmiques per ventilació, el factor solar i les condicions climatològiques de l'emplaçament. El programa Clima té una base de dades relativament petita, per tant, tot hi tenir un habitatge situat a Castelló d'Empúries, les dades estan adaptades del Aeroport de Girona. Les dades s'adapten força bé perquè els dos emplaçaments pertanyen a la zona climàtica C2.

Tant la Herramienta Unificada LIDER-CALENDER (HULC) com el programa Clima utilitzen una diversitat d'equacions per poder calcular els diferents paràmetres a tenir en compte pel compliment del HE1 i pel càlcul de càrregues tèrmiques.

Les càrregues tèrmiques calculades per un percentil de 0.4% en refrigeració i un 99,6% en calefacció, són de 4,99 kW en condicions de refrigeració, i 4,38 kW en condicions de calefacció. Per altre banda, les càrregues tèrmiques calculades per un percentil de 1% en refrigeració i 99% en calefacció, són de 4,69 kW en condicions de refrigeració i de 4,15 kW en condicions de calefacció. Aleshores, tenint en compte que en el primer cas hi ha la probabilitat de que 35,04 h/any no s'aconsegueixi satisfer les necessitats de l'habitatge, i en el segon cas no es satisfarà 87,6 h/any, s'escull el criteri més conservador i per tant el dimensionament de climatització estarà basat en els resultats obtinguts per un percentil de refrigeració del 0,4%.

## 6 BOMBES DE CALOR AEROTÈRMICA I GEOTÈRMICA

### 6.1 Introducció

El funcionament d'una bomba de calor consisteix en captar energia calorífica en un focus mitjançant un fluid caloportador amb unes propietats de temperatura, pressió, entalpia i entropia, modificar-les mitjançant un compressor, transferir l'energia amb les noves propietats obtingudes, i finalment, retornar les propietats inicials al fluid caloportador mitjançant una vàlvula d'expansió. A la Figura 2 es pot observar el funcionament i les parts d'una bomba de calor.

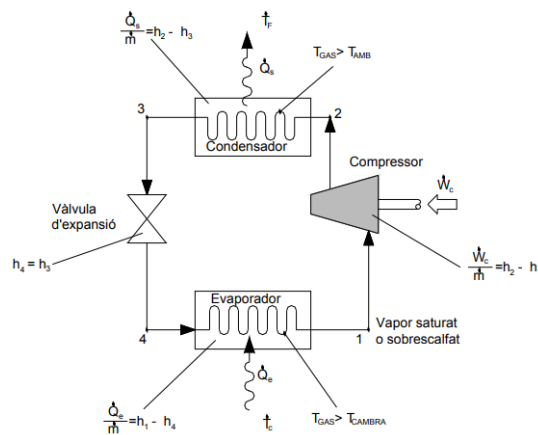


Figura 2. Elements d'una bomba de calor

Per l'habitatge estudiat, és necessari una única bomba de calor perquè les càrreges tèrmiques de refrigeració i calefacció obtingudes en el capítol anterior són similars. Per tant, no es requerirà de dos bombes de calor, una de les quals que treballi per condicions de refrigeració i l'altre per condicions de calefacció. Aleshores utilitzarem una bomba de calor reversible com la que es mostra en la Figura 3.

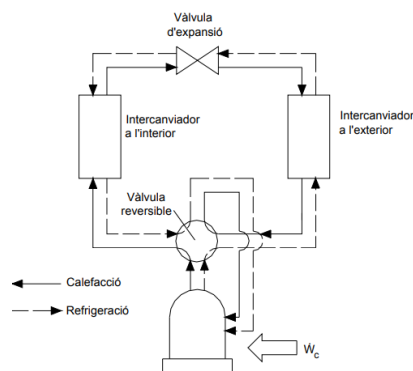


Figura 3. Bomba de calor reversible

## 6.2 Fonts d'energia

Un aspecte a estudiar és la viabilitat entre una bomba de calor aerotèrmica i una bomba de calor geotèrmica. La bomba aerotèrmica transfereix l'energia de l'aire mentre que la geotèrmica la transfereix l'energia de la terra. Les bombes de calor geotèrmiques són lleugerament més complexes que les aerotèrmiques perquè el seu captador de calor és una sonda que es troba enterrada en el terra.

El tipus de captació geotèrmic de calor, pot ser dels següents tipus:

- Tipus tancat: consisteix en captar la calor directament de la terra. La instal·lació pot ser mitjançant pous verticals, fet que assegura una temperatura constant a certa profunditat. O pot ser una instal·lació horitzontal en la qual la sonda es troba a pocs metres sota el terra i té un gran abast superficial.
- Tipus obert: consisteix en utilitzar les aigües subterrànies.

La proposta de bomba de calor geotèrmica en l'habitatge estarà definit per un sistema tancat vertical perquè es considera que hi haurà un millor rendiment a partir de les dades climatològiques esmentades en l'apartat 2.1 Situació geogràfica, i a més, no es sap si hi circulen aigües subterrànies per la parcel·la.

## 6.3 Dimensionament

Per escollir les bombes de calor es partirà de les càrregues de refrigeració i calefacció calculades mitjançant el programa Clima. Un altre aspecte a tenir en compte en l'elecció de la bomba de calor, serà el tipus de refrigerant ja que s'intentarà escollirà el que menys impacte tingui en l'efecte hivernacle.

Per obtenir un bon funcionament en la bomba de calor geotèrmica, la sonda geotèrmica i el fluid caloportador ha d'estar dissenyats tenint en consideració els següents aspectes:

- Baix impacte en el medi ambient
- No congelació del fluid caloportador
- Flux turbulent en el circuit
- Material i propietats de la sonda
- Longitud necessària de la sonda per poder adquirir la calor requerida

- Necessitat d'una bomba circulatòria

A partir de considerar els diferents aspectes esmentats anteriorment i mitjançant els càlculs realitzats en els Annexos B i C, s'obtenen els següents dimensionaments de les bombes de calor i de la sonda geotèrmica:

- Bomba de calor aerotèrmica:
  - Potència calefacció/refrigeració (kW): 6/7
  - COP/EER: 2,9/3
  - Refrigerant: R32
  - Bomba de circulació: si
- Bomba de calor geotèrmica:
  - Potència calefacció/refrigeració (kW): 5,8/7,1
  - COP/EER: 4,9/6,3
  - Refrigerant: R410A
  - Bomba de circulació: una pel circuit en l'habitatge i l'altre pel circuit de la sonda
- Sonda geotèrmica:
  - Fluid caloportador: solució aigua etilenglicol (concentració d'etilenglicol del 20%)
  - Tipus conducte: HDPE PE 100, SDR 11, P 16
  - Longitud: 60 m
  - Bomba de circulació: subministrada per la bomba de calor geotèrmica

## 7 UNITATS TRANSMISSORES DE CALOR

### 7.1 Introducció

En aquest capítol s'estudia el dimensionament de dos sistemes d'unitats transmissores de calor. Per una banda, es fa l'estudi del terra radiant que treballarà únicament en condicions de calefacció, i per altre banda, es fa l'estudi d'un sistema de fancoils que treballaran tant en condicions de refrigeració com de calefacció.

### 7.2 Terra radiant

#### 7.2.1 Dimensionament

El terra radiant és una unitat terminal emissora de calor que transfereix la calor generada per la bomba de calor. El sistema a instal·lar consisteix en un conjunt de canonades de PE-X de diàmetre nominal 16 mm. La temperatura de treball del terra radiant és d'entre 40-45°C, per tant, proporciona condicions de confort al mantenir unes temperatures relativament baixes.

Els sistemes superficials radiants han de complir amb la norma UNE EN 1264-2, a més haurien de complir amb la norma ISO 7730 de confort tèrmic, que indica que la temperatura superficial del terra radiant no pot superar els 29°C. S'estima una temperatura de consigna de 23 °C per poder satisfer totes les necessitats del client.

Els sistemes de terra radiant consten de tres capes a estudiar: capa d'aïllament, canonades i morter de protecció. En el cas d'escollir com a unitat emissora de calor el terra radiant, la capa de morter es mantindrà tal i com es defineix en el capítol 4 Reglamentació, però en el cas de la capa d'aïllament, l'EPS definit en els terres de planta baixa i planta primera es canviarà per una capa d'aïllament de poliisocianurat (PIR) de 2,75 cm de gruix i amb una conductivitat tèrmica de 0,002 (W/m·K).

Pel que fa als tubs de termoplàstic PE-X, tindran una disposició en forma d'espiral en els diferents recintes climatitzats de l'habitatge per tal d'evitar radis de curvatura desfavorables. La interdistància entre els tubs serà de 20 cm.

És important mantenir un bon equilibri hidràulic, i per tant, es busquen pèrdues de càrrega similars pels diferents circuits. Aleshores, l'objectiu és obtenir longituds similars entre els diferents circuits dels recintes tenint en compte que els cabals de circulació no varien gaire en els diferents circuits de terra radiant. Per aconseguir aquest equilibri, s'estudia un esquema bitubular amb retorn directe perquè tal i com es mostra en el Plànol 05, el circuit de terra radiant més desfavorable és el del dormitori 3 que es troba relativament proper a la bomba de calor respecte altres circuits de terra radiant de l'habitatge.

En el Plànol 05 es pot observar que el menjador, el dormitori 1 i el dormitori 2 consten de dos circuits per cada recinte. Aquest fet és degut a que no es recomana que un sol circuit superi els 100 metres de tub de longitud. Per altre banda, el rebedor i el passadís superior no són espais habitables, tot i així tindran una certa climatització degut a que hi passaran conductes que busquen alimentar els diferents recintes.

A partir de l'àrea estudiada de cada recinte, la interdistància entre canonades i les distàncies que recorren els tubs fins als respectius col·lectors "I", s'obtenen les longituds dels diferents circuits que es mostren en la Taula 8.

		Àrea (m <sup>2</sup> )	Interdistància entre tubs (cm)	Distància "I" (m)	Longitud tub (m)
Despatx	P1_E1	13,72	20	5,2	79
Cuina	P1_E2	14,65	20	3,74	80,73
Menjador	P1_E5				
MC1		14,79	20	6,4	86,75
MC2		14,79	20	7	87,95
Dormitori 2	P2_E1				
D2C1		11,6	20	8,4	74,8
D2C1		11,6	20	8,2	74,4
Bany 2	P2_E2	7,35	20	9,58	55,91
Dormitori 3	P2_E4	18,06	20	3	96,3
Dormitori 4	P2_E5	13,64	20	12,2	92,6
Dormitori 1	P2_E6				
D1C1		11,31	20	11,15	78,825
D1C2		11,31	20	10,56	77,645
Bany 3	P2_E7	9,14	20	10,4	66,5

Taula 8. Longitud dels tubs del terra radiant

### 7.2.2 Cabal de circulació

El cabal que circularà pels tubs dels diferents circuits es mostra en la Taula 9.

		Q(l/s)
Despatx	P1_E1	0,007907142
Cuina	P1_E2	0,008865584
Menjador	P1_E5	
MC1		0,009105194
MC2		0,009105194
Dormitori 2	P2_E1	
D2C1		0,005870454
D2C1		0,005870454
Bany 2	P2_E2	0,003833766
Dormitori 3	P2_E4	0,009584415
Dormitori 4	P2_E5	0,00646948
Dormitori 1	P2_E6	
D1C1		0,005870454
D1C2		0,005870454
Bany 3	P2_E7	0,005750649

Taula 9. Cabal de circulació en els circuits de terra radiant en cada recinte de l'habitatge

### 7.2.3 Pèrdues de càrrega

Una vegada conegut el cabal de circulació, es calculen les pèrdues de càrrega per poder decidir si seria necessària una bomba de circulació pel sistema de terra radiant. En l'Annex D es calculen les pèrdues de càrrega pels circuits radiants i per les canonades d'impulsió i retorn. La pèrdua de càrrega a tenir en compte és la que genera el circuit fins al dormitori 3 perquè és el circuit més desfavorable. Aleshores, tenint en compte les pèrdues del terra radiant del dormitori 3, i els circuits d'impulsió i retorn que connecten amb el dormitori 3, es calcula una pèrdua de càrrega total de 0,574 m.c.a. Per tant, tenint en compte les característiques de les bombes de recirculació que contenen les dos bombes de calor, aquestes ja poden abastir el sistema fluidomecànic.



### 7.3 Fancoils

S'estudia instal·lar 9 fancoils per a climatitzar l'habitatge. Els fancoils es situen en els recintes habitables. Per tant, es col·loquen en el menjador, la cuina, el despatx, els dormitoris i els banys 2 i 3, tal i com es mostra en el Plànol 06.

A partir de les càrregues tèrmiques dels tres recintes que s'estudien en l'Annex A, s'escull el fancoil adequat per a climatitzar les diferents habitacions. En el cas del menjador, s'estudia instal·lar un fancoil de paret amb carcassa de sèrie FCCW de tipus 3 amb una potència de refrigeració i calefacció mitjana de 1,86 kW i 1,94 kW respectivament. En quan als altres recintes climatitzats, s'instal·larà en cada habitació un fancoil de paret amb carcassa de sèrie FCCW de tipus 1 amb una potència de refrigeració i calefacció mitjana de 0,77 kW i 0,95 kW respectivament. Les característiques dels dos models de fancoil que s'instal·laran es mostren en la Taula 10. En l'Annex E es calculen les pèrdues de càrrega del sistema i s'arriba a la conclusió que no és necessari subministrar cap bomba de circulació ja que les pèrdues de càrrega generades s'abasteixen mitjançant les bombes de recirculació que es subministren juntament amb les bombes de calor corresponents.

MODELO			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
<b>REFRIGERACIÓN</b>			T entrada agua: 7°C • T salida agua: 12°C • T entrada aire: 27°C d.b. - 19°C w.b.											
Potencia frigorífica total (*)	kW	Máx.	0,83	1,25	2,13	2,34	3,05	3,45	4,02	4,95	5,91	7,89	9,69	11,65
	kW	Med.	0,77	1,14	1,86	1,9	2,74	3,07	3,45	4,12	5,27	7,01	8,69	9,56
	kW	Min.	0,65	1,06	1,42	1,42	2,17	2,46	3,03	3,02	3,21	6,38	7,07	7,57
Potencia frigorífica sensible (*)	kW	Máx.	0,71	0,99	1,62	1,89	2,12	2,74	3,07	3,45	4,05	5,98	7,39	8,84
	kW	Med.	0,63	0,87	1,44	1,51	1,88	2,33	2,61	2,83	3,57	5,22	6,74	7,22
	kW	Min.	0,50	0,79	1,10	1,14	1,47	1,90	2,25	2,06	2,14	4,71	5,39	5,62
Caudal de agua	l/h	Máx.	148	219	363	410	534	606	703	871	1.040	1.380	1.702	2.041
	l/h	Med.	135	202	326	332	479	538	602	727	925	1.226	1.529	1.676
	l/h	Min.	115	186	249	249	377	429	531	534	569	1.117	1.244	1.330
Pérdida de carga lado agua (*)	kPa	Máx.	0,9	2,0	6,3	8,8	16,2	25,9	37,6	23,0	15,0	27,0	21,2	33,0
	kPa	Med.	0,8	1,7	5,0	5,6	13,0	17,0	27,7	16,5	12,0	22,0	17,5	23,0
	kPa	Min.	0,6	1,4	2,7	3,2	8,1	12,9	21,4	8,9	5,0	19,0	12,1	15,0
<b>CALEFACCIÓN</b>			T entrada agua: 45/40°C • T aire: 20°C											
Potencia térmica (*)	kW	Máx.	1,09	1,61	2,15	2,77	3,05	3,76	4,30	5,04	5,88	8,36	10,69	12,91
	kW	Med.	0,95	1,41	1,94	2,19	2,72	3,31	3,64	4,18	5,21	7,51	9,51	9,75
	kW	Min.	0,72	1,25	1,58	1,80	2,13	2,61	3,17	3,08	3,18	6,81	7,59	7,70
Caudal de agua	l/h	Máx.	191	280	374	483	531	655	749	887	1.024	1.456	1.863	2.249
	l/h	Med.	166	246	339	383	474	576	635	728	908	1.308	1.657	1.697
	l/h	Min.	125	218	276	314	371	455	552	536	555	1.187	1.373	1.342
Pérdida de carga lado agua (*)	kPa	Máx.	1,1	2,4	6,1	9,2	13,7	21,8	38,0	20,0	14,5	26,0	20,8	33,5
	kPa	Med.	0,8	1,7	4,2	6,1	11,2	15,8	28,4	13,9	11,0	22,0	16,9	20,1
	kPa	Min.	0,5	1,4	3,0	4,3	7,3	11,3	21,0	7,7	4,0	18,0	12,1	13,0
Caudal de aire	m³/h	Máx.	227	289	390	451	576	685	708	925	1.037	1.373	1.912	2.449
	m³/h	Med.	190	244	343	346	495	579	578	726	885	1.106	1.688	1.690
	m³/h	Min.	136	210	271	263	360	429	489	495	485	1.025	1.266	1.229
Nivel de potencia sonora (*)	dB(A)	Máx.	46	45	44	47	47	52	52	64	68	59	66	69
	dB(A)	Med.	41	41	41	40	43	47	46	59	64	56	63	63
	dB(A)	Min.	33	39	34	33	37	38	42	52	52	54	58	58
Nivel de presión sonora	dB(A)	Máx.	37	36	35	38	38	43	43	55	59	50	57	60
	dB(A)	Med.	32	32	32	31	34	38	37	50	55	47	54	54
	dB(A)	Min.	24	30	25	24	28	29	33	43	43	45	49	49

Taula 10. Característiques del fancoil de sèrie FCCW - 2 tubs

## 8 ETIQUETA ENERGÈTICA

La certificació energètica dels edificis ve regulada pel Real Decret 390/2021. Aquesta certificació qualifica l'eficiència energètica dels edificis a partir de dades tècniques i administratives de l'edificació, normatives energètiques, descripció de les característiques energètiques de l'edifici, etc.

Actualment, és obligatori tenir la certificació de l'eficiència energètica dels edificis pels següents casos:

- Edificis de nova construcció.
- Edificis o parts d'edificis existents que es venen o alquilen.
- Edificis o parts d'edificis que pertanyen a l'Administració Pública amb una superfície total superior als 250 m<sup>2</sup>.
- Edificis o parts d'edificis on es modifiquen instal·lacions tèrmiques, s'intervé en més del 50% de l'evolvent tèrmica o s'amplia el volum o la superfície en més del 10%.
- Edificis o parts d'edificis amb superfície total superior als 500 m<sup>2</sup> destinats a usos administratius, sanitaris, comercials, docents, culturals, activitats recreatives, restauració, transport de persones, edificis esportius o llocs de culte.

Aleshores, l'habitatge estudiat requereix d'etiqueta energètica perquè és un edifici de nova construcció. La certificació energètica de l'habitatge es mostra en l'Annex H.

## 9 INSTAL·LACIÓ FOTOVOLTAICA

Es decideix fer un estudi d'una instal·lació fotovoltaica per disminuir les despeses elèctriques de l'habitatge. L'habitatge estudiat s'alimenta únicament d'energia elèctrica, llavors el consum elèctric estimat degut al consum habitual diari en les activitats dels residents i a les bombes de calor, és molt gran.

En l'Annex F, es fa un estudi de la demanda mensual de tot l'any i s'estima instal·lar una instal·lació fotovoltaica de 3,6 kW per poder disminuir els costos de consum i no generar excessius excedents.

La instal·lació fotovoltaica estarà composta pels següent elements:

- 8 panells fotovoltaics amb una potència pic de 455 Wp.
- Dos estructures per a subjectar 4 panells cadascuna i suportar grans esforços ocasionats pel vent de la zona, "tramuntana".
- Un inversor de 5 kW.
- Un quadre de proteccions i xarxa de terra.

Es decideix instal·lar un inversor de 5 kW per si els propietaris decideixen augmentar la producció fotovoltaica en un futur.

Per a una potència instal·lada de 3,6 kW no es recomana instal·lar acumuladors d'energia perquè part de l'habitatge és alimentat per la producció fotovoltaica i possiblement no es produiria un bon rendiment dels acumuladors d'energia. Per altre banda, si els clients decideixen augmentar el nombre de panells fins a 12 per obtenir una potència de 5 kW, llavors s'hauria de fer l'estudi per calcular si resultaria convenient o no la instal·lació de acumuladors d'energia.

## 10 VIABILITAT ENTRE SISTEMES

### 10.1 Bombes de calor

A partir de les característiques de les bombes de calor aerotèrmica i geotèrmica esmentades en els Annexos B i C, es pot apreciar que el rendiment tant en condicions de refrigeració com de calefacció de la bomba de calor geotèrmica és superior al de la bomba de calor aerotèrmica. Aquest fet és degut a que la temperatura de la terra és d'uns 17,5°C constant, i per tant, és més proper i més estable a les temperatures de refrigeració i calefacció demandades. Per altre banda, en condicions de calefacció l'aire ambient es troba a temperatures d'entre 0 i 3°C i en condicions de refrigeració es troba entre 26 i 30°C, fet que provoca un interval de temperatura més gran i conseqüentment un major treball. Aquests rendiments afectaran al consum elèctric i per tant al cost elèctric que produirà cada bomba.

Per a comparar econòmicament les dos bombes de calor s'han de tenir presents el cost d'inversió, l'energia consumida i la vida útil de cada bomba. A partir dels càlculs realitzats en l'Annex G s'obté la Taula 11 on s'observa que la bomba de calor aerotèrmica resulta econòmicament més rentable. Per tant, tenint en compte que les dos bombes tenen una vida útil aproximada de 30 anys i els costos d'inversió que suposarà comprar una nova bomba al superar la vida útil, resultarà més viable la bomba de calor aerotèrmica pel consum que genera l'habitatge estudiat.

Anys	Cost	
	BCA	BCG
0	3600	14448,2
2	4761,539829	15200,44713
4	5923,079658	15952,69425
6	7084,619486	16704,94138
8	8246,159315	17457,1885
10	9407,699144	18209,43563
12	10569,23897	18961,68276
14	11730,7788	19713,92988
16	12892,31863	20466,17701
18	14053,85846	21218,42413
20	15215,39829	21970,67126
22	16376,93812	22722,91839

24	17538,47795	23475,16551
26	18700,01777	24227,41264
28	19861,5576	24979,65976
30	21023,09743	25731,90689

Taula 11. Cost anual de les bombes de calor

Si es decideix instal·lar una instal·lació fotovoltaica de 3,6 kW, la instal·lació s'amortitzarà en 12 anys tant amb l'ús d'una bomba de calor aerotèrmica com geotèrmica tal i com mostra la Taula 12. A partir d'aquest any, es calcula la diferència entre els costos amb i sense instal·lació fotovoltaica i resulta que s'obtindrà un estalvi anual de 850, 45 € si es decideix instal·lar la instal·lació fotovoltaica respecte si es decideix no instal·lar.

Anys	Cost			
	Amb instal·lació fotovoltaica		Sense instal·lació fotovoltaica	
	BCA	BCG	BCA	BCG
0	8632,94	8632,94	0	0
2	10546,38	10137,08	3614,34	3205,05
4	12459,81	11641,22	7228,68	6410,09
6	14373,25	13145,37	10843,02	9615,14
8	16286,68	14649,51	14457,36	12820,19
10	18200,12	16153,65	18071,70	16025,24
12	20113,55	17657,79	21686,04	19230,28
14	22026,99	19161,94	25300,38	22435,33
16	23940,42	20666,08	28914,72	25640,38
18	25853,86	22170,22	32529,06	28845,42
20	27767,29	23674,36	36143,40	32050,47

Taula 12. Viabilitat d'instal·lació fotovoltaica en l'habitatge

## 10.2 Unitats transmissores de calor

En aquest apartat es compara la viabilitat entre els dos sistemes transmissors de calor estudiats en el capítol 7 Unitats transmissores de calor, que són el sistema de terra radiant i fancoil. Els dos aspectes principals a comparar dels dos sistemes són les despeses econòmiques que presenta cada sistema, i el confort que presenten els sistemes en l'activitat dels residents en l'habitatge.

Pel que fa als costos, en el Document 5 Pressupost s'estudia quin és el cost de cada instal·lació de climatització. Aleshores, en les respectives partides es pot obtenir per una banda el cost total de subministrament i instal·lació del terra radiant, i per l'altre banda, es pot obtenir el cost total de subministrament i instal·lació dels fancoils. Aleshores, els costos totals del sistema radiant i del

sistema per fancoils són de 5.045,54 € i 7.368,79 € respectivament. Per tant, instal·lar fancoils per climatitzar l'habitatge resulta 2.323,25 € més car que climatitzar l'habitatge mitjançant terra radiant.

En quan al confort que presenten els sistemes, el sistema radiant ofereix un major confort perquè reparteix homogèniament la temperatura per tota la superfície i no presenta impacte visual. Per l'altre banda, el sistema fancoil presenta un impacte visual i la transmissió de calor no és homogènia sinó que pot no transmetre correctament la calor, però en contrapartida, el sistema fancoil es capaç de satisfer les necessitats tèrmiques en condicions de refrigeració i calefacció mentre que el sistema radiant únicament pot satisfer les necessitats de calefacció.

## **11 RESUM DEL PRESSUPOST**

### **11.1 Sistema de climatització amb bomba de calor aerotèrmica i terra radiant**

Puja el Pressupost d'Execució Material a falta d'IVA la quantitat de CATORZE MIL SIS-CENTS SETANTA-TRES EUROS amb SIS CÈNTIMS

### **11.2 Sistema de climatització amb bomba de calor aerotèrmica i fancoils**

Puja el Pressupost d'Execució Material a falta d'IVA la quantitat de DISSET MIL CINCCENTS SETANTA-CINC EUROS amb NORANTA-CINC CÈNTIMS

### **11.3 Sistema de climatització amb bomba de calor geotèrmica i terra radiant**

Puja el Pressupost d'Execució Material a falta d'IVA la quantitat de VINT-I-VUIT MIL NORANTA-UN EUROS amb QUARANTA-QUATRE CÈNTIMS

### **11.4 Sistema de climatització amb bomba de calor geotèrmica i fancoils**

Puja el Pressupost d'Execució Material a falta d'IVA la quantitat de TRENTA MIL NOUCENTS NORANTA-QUATRE EUROS amb TRENTA-QUATRE CÈNTIMS

### **11.5 instal·lació fotovoltaica**

Puja el Pressupost d'Execució Material a falta d'IVA la quantitat de ONZE MIL SIS-CENTS QUARANTA-QUATRE EUROS amb NORANTA CÈNTIMS

## 12 CONCLUSIONS

Una vegada realitzats i comparats els estudis dels diferents sistemes, es pot concloure quina bomba de calor i quina unitat transmissora de calor són els més adequats per a la instal·lació de climatització de l'habitatge unifamiliar estudiat. Primer de tot, s'ha de tenir present que en l'habitatge hi ha un intercanviador de calor que redueix les càrregues tèrmiques i que conforme un sistema de ventilació mecànica en l'habitatge.

En quan a les bombes de calor, la bomba de calor més viable econòmicament és la bomba de calor aerotèrmica. El cost d'inversió de la bomba de calor aerotèrmica és de 10.848,2 € menor respecte el cost d'inversió de la bomba de calor geotèrmica. Aquesta diferència de capital permet que fins la vida útil de les bombes de calor, la bomba aerotèrmica sigui més viable econòmicament, tot i que la bomba geotèrmica presenta millors rendiments en condicions de calefacció i refrigeració. Per altre banda, la bomba de calor més eficient mediambientalment també és l'aerotèrmica perquè utilitza refrigerant R32 que presenta menys impacte en l'efecte hivernacle respecte el refrigerant R410A utilitzat en la bomba geotèrmica. A més a més, la sonda geotèrmica pot ocasionar filtracions de la solució d'etilenglicol a la terra en cas de fuga.

Pel que fa als sistemes de transmissió d'energia, el sistema radiant resulta econòmicament més viable perquè el seu cost és de 2.323,25 € menor respecte el sistema de fancoils. Per altre banda, el sistema de fancoils presenta major confort en l'habitatge perquè satisfà condicions de calefacció i refrigeració mentre que el sistema radiant únicament satisfà les necessitats de calefacció. Per tant, tenint en compte la diferència de costos i el confort que genera un sistema i l'altre, es considera més adient per les necessitats dels residents, el sistema de fancoils.

Instal·lar una instal·lació fotovoltaica de 3,6 kW reduiria el consum de la instal·lació de climatització tant amb l'ús de bomba de calor aerotèrmica com geotèrmica i reduiria considerablement les despeses energètiques de l'habitatge. La instal·lació comportaria un augment de capital de 8632,94 € que es veuria amortitzat en 12 anys i generaria un estalvi anual de 850,45 € a partir de l'amortització.

Llavors, s'estima adient instal·lar una instal·lació de climatització alimentada per la bomba de calor aerotèrmica que proporciona als fancoils corresponents l'energia necessària per transmetre-la als diferents recintes de l'habitatge. A més a més, es considera adient instal·lar la instal·lació fotovoltaica per a reduir els costos energètics.



## 13 BIBLIOGRAFIA

### Pàgines web:

Bedec. <https://itec.es/servicios/bedec/> 09.05.2022 [consulta: 29.04.2022]

COMPÀÑA, Sabrià, Carles. *Instal·lació d'un sistema de producció de calor centralitzat, per climatitzar les instal·lacions esportives de Palafrugell amb caldera de biomassa.* <https://dugi-doc.udg.edu/handle/10256/13065>. 07.11.2026 [consulta:15.02.2022]

*Comparación entre flujo laminar y turbulento.* HRS Heat Exchangers. <https://www.hrs-heatexchangers.com/es/recursos/comparacion-entre-flujo-laminar-y-turbulento/> 20.00.2020 [consulta:21.02.2022]

*Diseño de sistemas de intercambia geotèrmico de circuito cerrado.* Idea. [https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_14\\_Guia\\_tecnica\\_diseno\\_de\\_sistemas\\_de\\_intercambio\\_geotermico\\_de\\_circuito\\_cerrado\\_1d03dc08.pdf](https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_14_Guia_tecnica_diseno_de_sistemas_de_intercambio_geotermico_de_circuito_cerrado_1d03dc08.pdf) Juny del 2012 [consulta:14.03.2022]

*Documento Básico HE, Ahorro de energía.* <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/DBHE.pdf> 20.12.2019 [consulta:14.02.2022]

*Documento Básico HS, Salubridad.* <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HS/DBHS.pdf> 20.12.2019 [consulta:14.02.2022]

*Document C.1 Normes urbanístiques. POUM Castelló d'Empúries.* [http://poum.castello.cat/octubre\\_2013/Doc%20C-Normes%20i%20fitxes\\_TR\\_pdf/CdE\\_TR\\_C1-normes.pdf](http://poum.castello.cat/octubre_2013/Doc%20C-Normes%20i%20fitxes_TR_pdf/CdE_TR_C1-normes.pdf) [consulta:10.02.2022]

*Geoíndex - Geotermia superficial. Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya.* Geoíndex - Geotermia superficial. <https://www.icgc.cat/es/Administracion-y-empresa/Herramientas/Visualizadores-Geoindex/Geoindex-Geotermia->

superficial#: %7E:text=El%20visor%20Geo%C3%ADndex%20Geotèrmia%20superficial,a%20200%20m%20de%20profundidad. [consulta:29.02.2022]

*Llegenda*                      *visor*                      *Geoíndex-Geotèrmia*                      *superficial.*  
[https://app1.icgc.cat/bd/icgc\\_geoindex\\_v\\_geotermia\\_superficial.pdf](https://app1.icgc.cat/bd/icgc_geoindex_v_geotermia_superficial.pdf)                      Juliol,                      2020  
[consulta:29.02.2022]

*Mapa geològic de Catalunya. Castelló d'Empúries 258-2-1.*  
[file:///C:/Users/marcc/Downloads/TFG/RECERCA\\_C%C3%80LCULS/DISSENY%20HABITATGE/condicions%20terra/igc\\_GT1\\_258q21\\_78x21\\_v1g.pdf](file:///C:/Users/marcc/Downloads/TFG/RECERCA_C%C3%80LCULS/DISSENY%20HABITATGE/condicions%20terra/igc_GT1_258q21_78x21_v1g.pdf) [consulta:29.02.2022]

MESTRES, C. A. *Procés d'execució dels elements soterrats en instal·lacions geotèrmiques.*  
<https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/15002> 11.04.2012 [consulta: 15.02.2022]

Mundoclima. <http://www.mundoclima.com/gama/domestico/> [consulta: 27.04.2022]

OTEA, Andrei Florin. *Viabilitat tècnica i econòmica de l'ús d'una bomba de calor geotèrmica en un habitatge unifamiliar.* <https://dugi-doc.udg.edu/handle/10256/11561> 19.11.2015  
[consulta:10.02.2022]

*Pla d'ordenació urbanística municipal.* [http://poum.castello.cat/octubre\\_2013/Doc%20P-Planols\\_TR\\_pdf/Doc%20P-Ordenacio\\_pdf/Serie-O3a\\_pdf/O3a\\_B2.pdf](http://poum.castello.cat/octubre_2013/Doc%20P-Planols_TR_pdf/Doc%20P-Ordenacio_pdf/Serie-O3a_pdf/O3a_B2.pdf) Setembre del 2013  
[consulta:10.02.2022]

*PVGIS Photovoltaic Geographical Information System.* (s. f.). EU Science Hub. [https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-photovoltaic-geographical-information-system\\_es](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-photovoltaic-geographical-information-system_es)  
[consulta:11.05.2022]

*Reglamento de instalaciones tèrmica en los edificios.*  
<https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reglamento/RDecreto-1027-2007-Consolidado-9092013.pdf> Setembre del 2013 [consulta:14.02.2022]

Salvador Escoda. <https://www.salvadorescoda.com/> [consulta: 27.04.2022]

SERRANO, A. B. P. *Bomba de calor geotèrmica para calefacción y refrigeración ¿Cómo funciona?*  
caloryfrio.com. <https://www.caloryfrio.com/energias-renovables/geotermia/bomba-de-calor-geotermica-funcionamiento-instalacion.html> [consulta: 21.02.2022]

Vaillant. <https://www.vaillant.es/usuarios/productos/todos-los-productos/bombas-de-calor/> [consulta: 27.04.2022]

### **Programes:**

CLIMA\_V\_2

Herramienta Unificada Lider Calener (HULC)\_CTEHE2019

### **Documents d'assignatures de l'Escola Politècnica Superior - UdG:**

COMAMALA, Laguna Martí. *Enginyeria Tèrmica. SISTEMES DE REFRIGERACIÓ I BOMA DE CALOR.* Departament d'Enginyeria Mecànica i Construcció Industrial.

Dr Josep Ramon Gonzalez. *Sistemas Fluidomecànics. Capítulo 4: BOMBAS: CLASIFICACIONES Y ESTUDIO ORGÁNICO.* September 5, 2012.

Enginyeria de fluids. Formulari,  
[https://moodle2.udg.edu/pluginfile.php/1056010/mod\\_resource/content/5/Mecanics/FORMULARI\\_EF\\_GETI\\_2.pdf](https://moodle2.udg.edu/pluginfile.php/1056010/mod_resource/content/5/Mecanics/FORMULARI_EF_GETI_2.pdf) [consulta: 05.04.2022]

Instal·lacions de climatització. Tema6. CÀLCUL D'INSTAL·LACIONS DE CALEFACCIÓ. GRAU EN ENGINYERIA MECÀNICA\_ 20/10/2021.

Tecnologia de processos (3105G08027/2020). Capítol 4. BALANÇOS D'ENERGIA I BESCANVI DE CALOR.

# **ANNEXOS**

## A CÀLCUL DE CÀRREGUES TÈRMIQUES

### A.1 Reglamentació

Es dissenya l'habitatge en el programa Herramienta Unificada LIDER-CALENDER (HULC) per calcular els paràmetres a complir de la secció HE1 Condicions pel control i la demanda energètica del CTE. Una vegada introduïdes totes les dades necessàries, es calculen els paràmetres i s'obtenen els resultats de la Figura 4 on es pot apreciar que es compleixen tots els requisits.

		Valores límite	
Transmitancia térmica global, K [W/m <sup>2</sup> K]	0,51	0,56	CUMPLE
Control solar, q_sol;jul [kWh/m <sup>2</sup> .mes]	1,94	2,00	CUMPLE
Relación de cambio de aire a 50 Pa, n50 [1/h]	5,98	6,00	CUMPLE
Compacidad [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ]	1,43		
Superficie útil de cálculo, Aútil [m <sup>2</sup> ]	227,76		
Superficie de cerramientos opacos, Aopacos [m <sup>2</sup> ]	456,42		
Superficie de huecos, Ahuecos [m <sup>2</sup> ]	22,44		
Longitud de puentes térmicos, Lpt [m]	0,00		

Figura 4. Reglamentació HE1 Condicions pel control i la demanda energètica

Es necessari definir la zona climàtica de l'habitatge abans de procedir a calcular les seves càrregues tèrmiques. La zona climàtica ve marcada per la Taula 13.

Província	Altitud sobre el nivell del mar (h)																						
	≤ 50 m	51 - 100 m	101 - 150 m	151 - 200 m	201 - 250 m	251 - 300 m	301 - 350 m	351 - 400 m	401 - 450 m	451 - 500 m	501 - 550 m	551 - 600 m	601 - 650 m	651 - 700 m	701 - 750 m	751 - 800 m	801 - 850 m	851 - 900 m	901 - 950 m	951 - 1000 m	1001 - 1050 m	1051 - 1250 m	1251 - 300 m
Albacete		C3						D3					E1										
Alicante/Alacant	B4			C3					D3														
Almeria	A4	B4		B3			C3					D3											
Araba/Àlava	D1										E1												
Asturias	C1	D1					E1																
Àvila	D2					D1							E1										
Badajoz	C4				C3			D3															
Balears, Illes	B3			D2					D1					E1									
Barcelona	C2			D2					D1					E1									
Bizkaia	C1										D1												
Burgos	D1										E1												
Cáceres	C4					D3					E1												
Cádiz	A3			B3			C3			C2			D2										
Cantabria	C1			D1					E1														
Castellón/Castelló	B3		C3					D3			D2			E1									
Ceuta	B3																						
Ciudad Real	C4				C3			D3															
Córdoba	B4		C4					D3															
Coruña, A	C1			D1																			
Cuenca	D3					D2					E1												
Gipuzkoa	D1					E1																	
Girona	C2		D2					E1															
Granada	A4	B4			C4			C3			D3					E1							
Guadalajara	D3										D2		E1										
Huelva	A4	B4		B3			C3					D3											
Huesca	C3			D3			D2			E1													
Jaén	B4				C4					D3			E1										
León	E1																						
Lleida	C3		D3					E1															
Lugo	D1					E1																	
Madrid	C3					D3					D2		E1										
Málaga	A3	B3			C3					D3													
Melilla	A3																						
Murcia	B3		C3					D3															
Navarra	C2		D2			D1			E1														
Ourense	C3			C2		D2					E1												
Palencia	D1										E1												
Palmas, Las	α3					A2					B2		C2										
Pontevedra	C1			D1																			
Rioja, La	C2		D2					E1															
Salamanca	D2										E1												
Santa Cruz de Tenerife	α3					A2					B2		C2										
Segovia	D2										E1												
Sevilla	B4			C4																			
Soria	D2					D1			E1														
Tarragona	B3		C3					D3															
Teruel	C3					C2			D2			E1											
Toledo	C4					D3					E1												
Valencia/València	B3		C3					D2					E1										
Valladolid	D2										E1												
Zamora	D2										E1												
Zaragoza	C3			D3					E1														

Taula 13. Zones climàtiques segons emplaçament

## A.2 Càrregues tèrmiques de refrigeració i calefacció

Una vegada comprovat que el reglament es compleix mitjançant el programa HULC, es procedeix a dissenyar en el programa Clima\_V\_2 l'habitatge a climatitzar per poder calcular les càrregues de refrigeració i calefacció. Aleshores, s'avaluen les càrregues de l'habitatge en general i en cada espai tenint en compte els materials dels tancaments, els forats dissenyats i la orientació de l'habitatge. Les càrregues tèrmiques de refrigeració i de calefacció es mostren en les Taules 14 i 15 respectivament obtingudes mitjançant el programa Clima.

Càrregues tèrmiques de refrigeració								
Element	Data màx.	Potència total [kW]	Potència sensible [kW]	Ràtio total [W/m <sup>2</sup> ]	Ventilació [m <sup>3</sup> /hora]	Potència total climatitzador [kW]	Potència sensible climatitzador [kW]	Impulsió [m <sup>3</sup> /hora]
Edifici	Hora: 15; Mes: Juliol	4.99	4.50	26	344.27	0.24	0.22	344.27
Climatitzador: Zona ventilació	Hora: 13; Mes: Agost	-	-	-	344.27	0.24	0.22	344.27
Zona_dem_1	Hora: 15; Mes: Juliol	4.99	4.50	26	344.27	0.24	0.22	344.27
P1_E1	Hora: 16; Mes: Juliol	0.40	0.37	36	20.03	0.01	0.01	20.03
P1_E2	Hora: 16; Mes: Juliol	0.47	0.44	32	26.37	0.02	0.02	26.37
P1_E4	Hora: 21; Mes: Agost	0.48	0.43	26	32.94	0.02	0.02	32.94
P1_E5	Hora: 9; Mes: Agost	1.30	1.22	44	53.24	0.04	0.03	53.24
P2_E1	Hora: 16; Mes: Juliol	0.59	0.53	25	41.87	0.03	0.03	41.87
P2_E2	Hora: 15; Mes: Agost	0.21	0.19	29	13.23	0.01	0.01	13.23
P2_E3	Hora: 22; Mes: Juliol	0.37	0.32	18	37.71	0.03	0.02	37.71
P2_E4	Hora: 16; Mes: Juliol	0.51	0.46	28	32.51	0.02	0.02	32.51
P2_E5	Hora: 8; Mes: Juliol	0.41	0.37	30	24.55	0.02	0.02	24.55
P2_E6	Hora: 9; Mes: Agost	0.60	0.54	26	40.70	0.03	0.03	40.70
P2_E7	Hora: 8; Mes: Juliol	0.24	0.22	27	16.45	0.01	0.01	16.45

Taula 14. Càrregues tèrmiques de refrigeració

Càrregues tèrmiques de calefacció								
Element	Data màx.	Potència total [kW]	Potència sensible [kW]	Ràtio total [W/m <sup>2</sup> ]	Ventilació [m <sup>3</sup> /hora]	Potència total climatitzador [kW]	Potència sensible climatitzador [kW]	Impulsió [m <sup>3</sup> /hora]
Edifici	Hora: 6; Mes: Febrer	-4.38	-4.38	-23	344.27	-0.92	-0.67	344.27
Climatitzador: Zona ventilació	Hora: 5; Mes: Febrer	-	-	-	344.27	-0.92	-0.67	344.27
Zona_dem_1	Hora: 6; Mes: Febrer	-4.38	-4.38	-23	344.27	-0.92	-0.67	344.27
P1_E1	Hora: 6; Mes: Febrer	-0.33	-0.33	-29	20.03	-0.05	-0.04	20.03
P1_E2	Hora: 6; Mes: Febrer	-0.37	-0.37	-25	26.37	-0.07	-0.05	26.37
P1_E4	Hora: 6; Mes: Febrer	-0.61	-0.61	-33	32.94	-0.09	-0.06	32.94
P1_E5	Hora: 5; Mes: Febrer	-0.76	-0.76	-26	53.24	-0.14	-0.10	53.24
P2_E1	Hora: 6; Mes: Febrer	-0.49	-0.49	-21	41.87	-0.11	-0.08	41.87
P2_E2	Hora: 6; Mes: Febrer	-0.16	-0.16	-21	13.23	-0.04	-0.03	13.23
P2_E3	Hora: 12; Mes: Febrer	-0.16	-0.16	-8	37.71	-0.10	-0.07	37.71
P2_E4	Hora: 6; Mes: Febrer	-0.40	-0.40	-22	32.51	-0.09	-0.06	32.51
P2_E5	Hora: 6; Mes: Febrer	-0.27	-0.27	-20	24.55	-0.07	-0.05	24.55
P2_E6	Hora: 6; Mes: Febrer	-0.49	-0.49	-22	40.70	-0.11	-0.08	40.70
P2_E7	Hora: 6; Mes: Febrer	-0.24	-0.24	-26	16.45	-0.04	-0.03	16.45

Taula 15. Càrregues tèrmiques de calefacció



### A.3 Càlculs dels programes HULC i Clima

Els programes HULC i Clima utilitzen diferents equacions per obtenir els resultats mostrats en la Figura 4 i en les Taules 14 i 15. A continuació es mostren equacions iguals i similars que utilitzen els programes esmentats per calcular els diferents paràmetres.

Per calcular la transmitància dels tancaments i particions, s'utilitza l'Equació 1.

$$\frac{1}{U_o A_o} = \frac{1}{U_i A_i} = \frac{1}{h_o A_o} + \frac{1}{h_{fo} A_o} + \frac{x}{k A_{ml}} + \frac{1}{h_{fi} A_i} + \frac{1}{h_i A_i} \quad (\text{Eq.1})$$

$U_o$ : coeficient global de transferència de calor ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ).

$h_o$  i  $h_i$ : coeficients de convecció externa i interna ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ).

$h_{fo}$  i  $h_{fi}$ : coeficients d'incrustació ("fouling") externa i interna ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ).

$A_i$ : àrea de bescanvi de la paret interna del tub interior ( $\text{m}^2$ ).

$A_o$ : àrea de bescanvi de la paret externa del tub interior ( $\text{m}^2$ ).

$A_{ml}$ : àrea de bescanvi mitjana logarítmica =  $(A_o - A_i) / \ln (A_o/A_i)$ , ( $\text{m}^2$ ).

$k$ : conductivitat tèrmica de les parets del tub (m)

$x$ : gruix del tub interior =  $(D_o - D_i)/2$ , (m).

Pel que fa a l'Equació 1, les àrees interna i externa de les parets són iguals i els coeficients d'incrustació es consideren infinits perquè les parets són de nova construcció. Aleshores, l'Equació 1 es simplifica a l'Equació 2.

$$\frac{1}{U_o} = \frac{1}{h_o} + \frac{x}{k} + \frac{1}{h_i} \quad (\text{Eq.2})$$

A partir des coeficients globals de transferència de calor obtinguts, es procedeix a calcular la càrrega tèrmica degut als tancament de l'evolvent tèrmica mitjançant l'Equació 3.

$$\dot{Q}_t = U_o A_o \Delta T \cdot C_o \quad (\text{Eq.3})$$

$\dot{Q}_t$ : potència calorífica (kW)

$U_o$ : coeficient global de transferència de calor ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ).

$A_o$ : àrea de bescanvi de la paret externa del tub interior ( $\text{m}^2$ ).

$\Delta T$ : diferència de temperatura (K)

$C_o$ : coeficient d'orientació.

Per calcular les càrregues tèrmiques degut a la ventilació, s'utilitza l'Equació 4.

$$Q_v = V_r \cdot p \cdot C_p \cdot \Delta t \quad (\text{Eq.4})$$

$V_r$ : volum a renovar ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

$p$ : densitat de l'aire ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$C_p$ : calor específic de l'aire ( $\text{kcal}/\text{kg} \cdot \text{K}$ )

$\Delta t$ : diferència de temperatura entre l'interior i l'exterior (K)

El factor solar és un altre paràmetre a tenir en compte en el compliment del CTE, i es calcula a partir de la l'Equació 5.

$$q_{sol;jul} = \frac{Q_{sol;jul}}{A_{util}} = \frac{\sum_k F_{sh;obst} \cdot g_{gl;sh;wi} \cdot (1-F_F) \cdot A_{w;p} \cdot H_{sol;jul}}{A_{util}} \quad (\text{Eq.5})$$

$q_{sol;jul}$ : control solar (kWh/m<sup>2</sup>·mes)

$Q_{sol;jul}$ : guanys solars pel mes de juliol dels forats de l'evolvent tèrmica (kWh/mes)

$A_{util}$ : superfície útil dels espais inclosos dins la envolvent tèrmica (m<sup>2</sup>)

$F_{sh,obst}$ : factor reductor per ombrejat per obstacles

$g_{gl;sh;wi}$ : transmitància total d'energia solar del vidre amb el dispositiu de ombra mòbil activat

$F_F$ : fracció del marc del forat

$A_{w,p}$ : superfície del forat (m<sup>2</sup>)

$H_{sol;jul}$ : irradiació solar mitjana acumulada del mes de juliol per el clima considerat i la inclinació i orientació del forat (kWh/m<sup>2</sup>·mes)

Per saber quina és la permeabilitat límit en la nostre zona és necessari saber la compacitat de l'edifici. La compacitat és la relació entre volum tancat i superfícies d'intercanvi tèrmica amb l'exterior o terreny de l'evolvent tèrmic de l'edifici.

Un últim aspecte a tenir en compte és la relació del canvi d'aire a 50 Pa, que es calcula a partir de l'Equació 6.

$$n_{50} = 0,629 \cdot \frac{(C_o \cdot A_o + C_h \cdot A_h)}{V} \quad (\text{Eq.6})$$

$n_{50}$ : valor de la relació de canvi d'aire a 50 Pa (h<sup>-1</sup>)

$C_o$ : coeficient de caudal d'aire de la part opaca de l'evolvent tèrmica (m<sup>3</sup>/h·m<sup>3</sup>)

$A_o$ : superfície de la part opaca de l'evolvent tèrmica (m<sup>2</sup>)

$C_h$ : coeficient de caudal d'aire dels forats de l'evolvent tèrmica (m<sup>3</sup>/h·m<sup>3</sup>)

$A_h$ : superfície dels forats de l'evolvent tèrmica ( $m^2$ )

V: volum intern de l'evolvent tèrmica ( $m^3$ )

Els coeficients de caudal d'aire de la part opaca de l'evolvent tèrmica venen definits en l'Annex H del DB-HE. Per edificis nous, el coeficient és de  $16 m^3/h \cdot m^3$ .

## B DIMENSIONAMENT BOMBA DE CALOR AEROTÈRMICA

La bomba de calor aerotèrmica s'escull a partir de les càrregues tèrmiques calculades en l'Annex A. Aleshores, tenint en compte que les càrregues tèrmiques totals de l'edifici són de 4,99 kW en condicions de refrigeració i de 4.38 kW en condicions de calefacció, es considera adient la bomba de calor Serie Monobloc Aerothem v10 de 6 kW del fabricant Mundoclimate. Les característiques de la bomba de calor es mostren en la Taula 16. Per altre banda, en la Figura 5 es mostra la corba característica de la bomba de recirculació subministrada juntament amb la bomba de calor.

Modelo		4 kW	6 kW	8 kW	10 kW	12 kW	14 kW	16 kW	12 kW	14 kW	16 kW	
Código		SO 30 200	SO 30 201	SO 30 202	SO 30 203	SO 30 204	SO 30 205	SO 30 206	SO 30 207	SO 30 208	SO 30 209	
Suministro eléctrico	V/Ph/Hz	220-240V/1/50Hz						380-415/3/50Hz				
Calefacción <sup>(1)</sup>	Potencia total	kW	4,20	6,35	8,40	10,0	12,1	14,5	15,9	12,1	14,5	15,9
	Potencia absorb.	kW	0,82	1,28	1,63	2,02	2,44	3,15	3,53	2,44	3,15	3,53
	COP		5,10	4,95	5,15	4,95	4,95	4,60	4,50	4,95	4,60	4,50
Calefacción <sup>(2)</sup>	Potencia total	kW	4,30	6,30	8,10	10,0	12,3	14,1	16,0	12,3	14,1	16,0
	Potencia absorb.	kW	1,13	1,70	2,10	2,67	3,32	3,92	4,57	3,32	3,92	4,57
	COP		3,80	3,70	3,85	3,75	3,70	3,60	3,50	3,70	3,60	3,50
Calefacción <sup>(3)</sup>	Potencia total	kW	4,40	6,00	7,50	9,50	11,90	13,80	16,00	11,90	13,80	16,00
	Potencia absorb.	kW	1,49	2,03	2,36	3,06	3,90	4,68	5,61	3,90	4,68	5,61
	COP		2,95	2,95	3,18	3,10	3,05	2,95	2,85	3,05	2,95	2,85
Refrigeración <sup>(4)</sup>	Potencia total	kW	4,50	6,50	8,30	9,90	12,00	13,50	14,90	12,00	13,50	14,90
	Potencia absorb.	kW	0,82	1,35	1,64	2,18	2,18	3,04	3,75	4,38	3,04	3,75
	EER		5,50	4,80	5,05	4,55	3,95	3,60	3,40	3,95	3,60	3,40
Refrigeración <sup>(5)</sup>	Potencia total	kW	4,70	7,00	7,45	8,20	11,50	12,40	14,00	11,50	12,40	14,00
	Potencia absorb.	kW	1,36	2,33	2,22	2,52	4,18	4,96	5,60	4,18	4,96	5,60
	EER		3,45	3,00	3,35	3,25	2,75	2,50	2,50	2,75	2,50	2,50
Etiquetado energético <sup>(6)</sup>	Salida agua 35°C	Clase	A+++									
	Salida agua 55°C	Clase	A++									
SCOP clima medio	Salida agua 35°C	%	191	195	205,6	204,8	189,4	185,7	181,7	189,3	185,6	181,6
	Salida agua 55°C	%	129,5	137,9	131,6	135,7	135,1	135,6	133,3	135,1	135,6	133,2
SEER	Salida agua 7°C											
	Salida agua 18°C											
Caudal de aire	m³/h	2770			4030		4060		4650		4650	
Nivel sonoro <sup>(7)</sup>	dB(A)	55	58	59	60	65	65	69	65	65	69	
Nivel de presión sonora <sup>(8)</sup>	dB(A)	45	47,5	48,5	50,5	53	53,5	57,5	53,5	54	58	
Dimensiones (An x Al x Pr)	mm	1295x792x429					1385x945x526					
Embalaje (An x Al x Pr)	mm	1375x945x475					1465x1120x560					
Peso neto/bruto	kg	95/110			127/155			133/161		160/188		
Conexiones de las tuberías de agua	pulg.	1" macho BSP					1-1/4" macho BSP					
Ajuste de presión de la válvula de seguridad	MPa	0,3										
Vaso de agua	L	8										
Rango temperaturas de trabajo	Refrigeración	°C	-5~43									
	Calefacción	°C	-25~35									
	ACS	°C	-25~43									
Rango temperaturas salida agua	Refrigeración	°C	5~30									
	Calefacción	°C	12~65									
	ACS	°C	10~60									
Refrigerante	Tipo / PCA		R32 / 675					R32 / 675				
	Carga	kg/TCO <sub>eq</sub>	1,4 / 0,95					1,75/1,18				
Tipo válvula reguladora		Válvula electrónica de expansión										
Resistencia eléctrica auxiliar	Montaje estándar	kW	3			3 / 9						
	Opcional	kW	3/6/9									
	Etapas		3									

1. Temperatura aire exterior 7°C H.R. 85%. Temperatura ent./sal. agua 30/35°C.
2. Temperatura aire exterior 7°C H.R. 85%. Temperatura ent./sal. agua 40/45°C.
3. Temperatura aire exterior 7°C H.R. 85%. Temperatura ent./sal. agua 47/55°C.
4. Temperatura aire exterior 35°C. Temperatura ent./sal. agua 23/18°C.
5. Temperatura aire exterior a 35°C. Temperatura ent./sal. agua 12/7°C.
6. Etiqueta energética estacional calefacción.
7. Nivel sonoro es el valor máximo testeado bajo tres condiciones: Nota 1, Nota 3 y Nota 5.

8. Presión sonora es el valor máximo testeado bajo tres condiciones: Nota 1, Nota 3 y Nota 5. Presión sonora se mide a 1 metro enfrente de la unidad y (1+H)/2m (donde H es la altura de la unidad) sobre el suelo en una cámara semi-anechoica.
9. Las temperaturas de test anteriores, vienen de las normas: EN14511:2013; EN14825:2013; EN50564:2011; EN12102:2011; (EU) No:811-2013; (EU)No:813-2013; OJ 2014/C 207/02-2014.

Taula 16. Característiques de les bombes de calor Serie Monobloc Aerothem v10

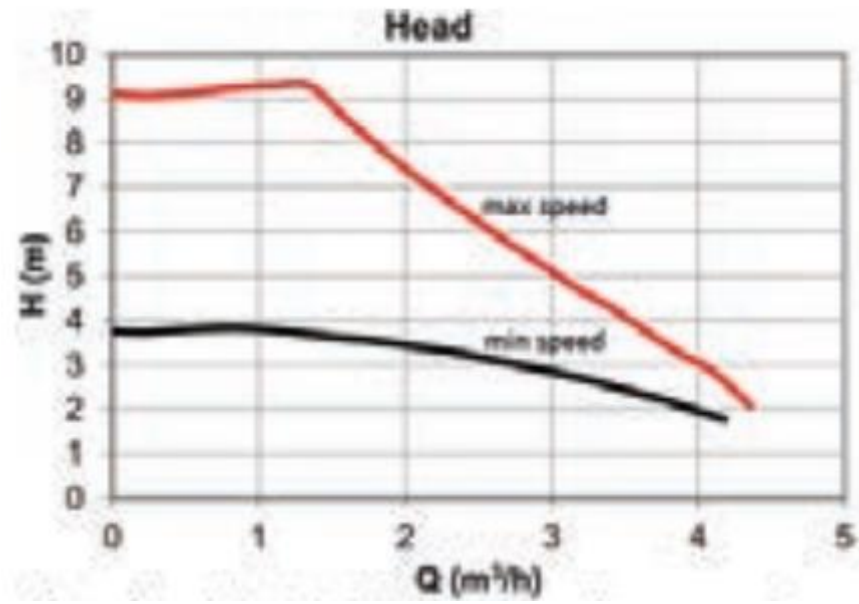


Figura 5. Corba característica de la bomba de recirculació subministrada amb la bomba de calor Aerotherm v10

## C DIMENSIONAMENT BOMBA DE CALOR GEOTÈRMICA

### C.1 Bomba de calor geotèrmica

A partir de les càrregues tèrmiques calculades en l'Annex A, s'escull la bomba de calor geotèrmica en condicions de pous tancats VWF57 del fabricant Vaillant que es mostra en la Taula 17 amb les seves característiques corresponents.

Modelo	Unidad	VWF 57	VWF 87	VWF 117	VWF 157	VWF 197
Peso en vacío	kg	145	160	168	176	187
Eficiencia energética 35°C/55°C		A+++	A+++	A+++	A+++	A+++
Tipo de refrigerante y contenido	kg	R410A (1,50)	R410A (2,40)	R410A (2,50)	R410A (3,05)	R410A (3,95)
<b>Pozo cerrado</b>						
Eficiencia energética sistema 55°C		A++	A++	A++		
Ref. 230 V + multIMATIC inal.		0020275156	0020275157	0020275158		
Precio 230 V + multIMATIC inal.	EUR	8.480	9.555	10.175		
Ref. 230 V + multIMATIC cabl.		0020231528	0020231529	0020231530		
Precio 230 V + multIMATIC cabl.	EUR	8.405	9.480	10.100		
Potencia calorífica <sup>1</sup> /frigorífica <sup>2</sup>	kW	5,8/7,1	9,3/10,2	12,7/15,2		
Coef. de rendimiento COP 1 /EER <sup>2</sup>		4,9/6,3	4,9/5,3	5,2/6,0		
Caudal nominal circuito calefacción	l/h	930	1.450	1.930		
Caudal nominal circuito captadores	l/h	1.300	2.110	2.870		
Nivel de presión sonora <sup>3</sup>	dB(A)	36	38	41		

(1) B5W35 DT5K conforme a EN 14511 (2) B25W18 conforme a EN 14511 (3) A 1 m de la unidad en modo calefacción y calculado a partir del ensayo de ruido según EN 12102 y EN ISO 9614-1

Taula 17. Bomba de calor geotèrmica

### C.2 Sonda geotèrmica

El fluid caloportador que circularà per les sondes geotèrmiques és una barreja d'aigua amb un 20% etilenglicol. S'inclina a utilitzar refrigerant perquè hi ha perill d'arribar a temperatures inferiors a 0°C en zones properes a la superfície. A més, s'ha de tenir en compte que en condicions de calefacció, es produirà un bescanvi d'energia calorífica del focus fred que és el sensor geotèrmic a l'evaporador de la bomba de calor.

Mitjançant la Figura 6 és calcula la densitat, i a partir de la Taula 18 es troba la viscositat cinemàtica de la barreja. Els valors obtinguts són de 1023.5 kg/m<sup>3</sup> i 1.83 mm<sup>2</sup>/s respectivament.

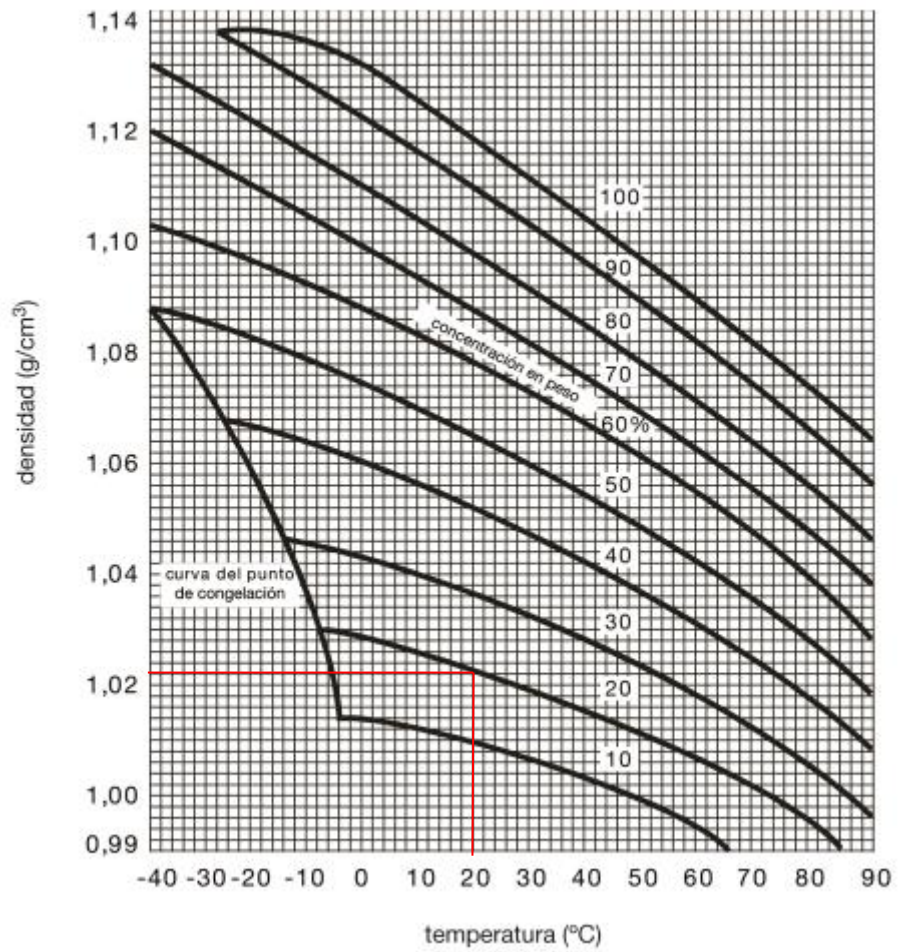


Figura 6. Densitat d'una dissolució d'etilenglicol, en funció de la temperatura

T [°C]	20 % vol.	25 % vol.	30 % vol.	35 % vol.	40 % vol.	45 % vol.	50 % vol.	55 % vol.	58 % vol.
120	0,42	0,45	0,49	0,52	0,57	0,61	0,62	0,67	0,71
110	0,45	0,49	0,53	0,57	0,63	0,67	0,68	0,73	0,77
100	0,48	0,52	0,57	0,61	0,67	0,73	0,76	0,81	0,84
90	0,52	0,57	0,62	0,66	0,72	0,80	0,87	0,91	0,93
80	0,58	0,63	0,68	0,73	0,79	0,91	1,01	1,05	1,06
70	0,65	0,71	0,78	0,84	0,91	1,05	1,20	1,25	1,26
60	0,76	0,83	0,91	0,99	1,08	1,26	1,45	1,53	1,55
50	0,91	1,00	1,11	1,21	1,34	1,56	1,81	1,94	2,00
40	1,12	1,24	1,38	1,54	1,73	2,00	2,30	2,55	2,70
30	1,41	1,58	1,77	2,01	2,31	2,64	3,02	3,49	3,79
20	1,83	2,07	2,34	2,72	3,19	3,62	4,11	4,96	5,57
10	2,45	2,79	3,18	3,80	4,58	5,16	5,85	7,37	8,54
0	3,35	3,87	4,46	5,49	6,85	7,75	8,84	11,6	13,7
-10	-	5,52	6,44	8,19	10,6	12,3	14,4	19,3	23,1
-20	-	-	-	12,5	17,1	21,1	26,2	34,7	41,0
-30	-	-	-	-	-	39,0	54,2	68,3	77,0
-40	-	-	-	-	-	-	-	150,0	153,0
-50	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Taula 18. Viscositat cinemàtica d'una dissolució d'etilenglicol, en funció de la temperatura



### C.2.1 Material de la canonada

Per aquest tipus d'instal·lacions, el millor material per les sondes geotèrmiques és el PE100 perquè té altes propietats mecàniques de flexibilitat i resistència, pot treballar a altes pressions, té un rang de temperatures de -40 a 80°C i una conductivitat tèrmica de 0,34. A més, és recomanable per distribucions d'aigua envers altres polietilens com el PE80 i el PE63.

### C.2.2 Diàmetre de la canonada

S'ha de treballar en flux turbulent per obtenir un millor rendiment en el bescanvi de calor. Per tant, treballarem amb un n° de Reynolds superior a 10.000 per trobar-nos totalment en la zona de flux turbulent i haver superat la zona de transició tal com s'observa en la Figura 7.

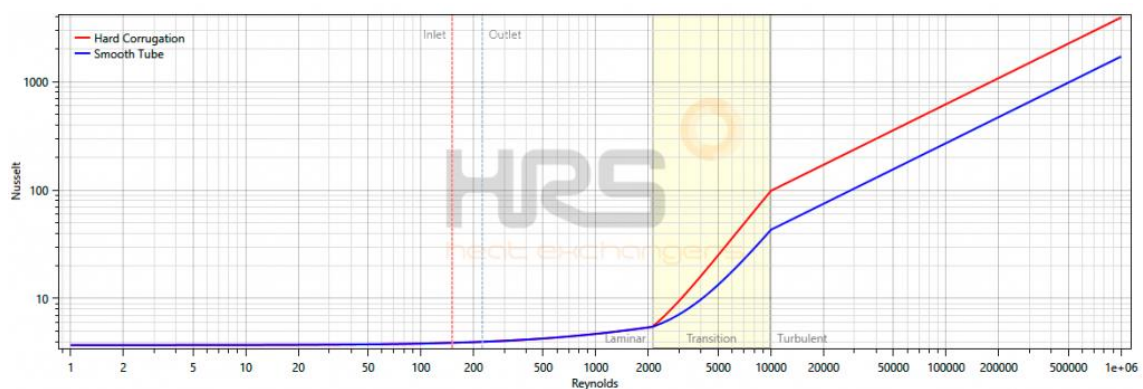


Figura 7. Flux del fluid

El diàmetre dels sensors geotèrmics ha de ser prou gran per produir pèrdues de càrrega petites, però prou petit per treballar a altes velocitats i per tant, assegurar un flux turbulent.

Dels elements mencionats en la Taula 19, s'estudia utilitzar conductes PE 100 SDR 17 PN 10 i conductes PE100 SDRE 11 PN 16 per veure quin dels dos materials s'adapta millor a les nostres necessitats a partir de les seves dimensions disponibles en el mercat.

Tubería HDPE PE 100							
Diámetro Nominal D (mm)	Diámetro Nominal Equivalente (pulgadas)	Relación dimensional estándar SDR					
		SDR 27,6	SDR 21	SDR 17	SDR 13,6	SDR 11	SDR 9
		PRESIÓN NOMINAL PN					
		PN 6	PN 8	PN10	PN 12,5	PN 16	PN 20
Espesor mínimo (mm)							
16	3/8	-	-	-	-	-	2,3
20	1/2	-	-	-	-	-	2,3
25	3/4	-	-	-	-	2,3	2,8
32	1	-	-	2,3	2,4	3	3,6
40	1 1/4	-	2,3	2,4	3	3,7	4,5
50	1 1/2	2,3	2,4	3	3,7	4,6	5,6
63	2	2,3	3	3,8	4,7	5,8	7,1
75	2 1/2	2,8	3,6	4,5	5,6	6,8	8,4
90	3	3,6	4,3	5,4	6,7	8,2	10,1
110	4	4	5,3	6,6	8,1	10	12,3
125	5	4,6	6	7,4	9,2	11,4	14
140	5 1/2	5,1	6,7	8,3	10,3	12,7	15,7

Taula 19. Conductes HDPE PE 100

Aleshores, tenint en compte les dimensions, fem un estudi de quin tipus de material és el més adient i quines dimensions de diàmetre ha de tenir el tub a partir de l'Equació 7 i l'Equació 8.

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu} = \frac{Q \cdot D}{A \cdot \nu} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D \cdot \nu} > 10.000 \tag{Eq.7}$$

$v$ : velocitat (m/s)

$\nu$ : viscositat cinemàtica (m<sup>2</sup>/s)

$Q$ : caudal (m<sup>3</sup>/s)

$D$ : diàmetre interior canonada (m)

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \tag{Eq.8}$$

$\mu$ : viscositat dinàmica (Pa·s)

$\rho$ : densitat específica (kg/m<sup>3</sup>)

S'aplica l'equació anterior amb els paràmetres de viscositat cinemàtica de la barreja i cabal que prenen valors de  $1.83 \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s i 1300l/h respectivament. A les Taules 20 i 21 es calcula el nombre de Reynolds en els conductes SDR 11 i SDR 17, a partir de diferents valors de diàmetres exteriors i interiors obtinguts de la Taula 19.

SDR 11	PN 16			
D <sub>ext</sub> (mm)	Gruix (mm)	D <sub>int</sub> (mm)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Re
20	2	16	0,000361	16339,78
25	2,3	20,4	0,000361	12815,52
32	3	26	0,000361	10055,25
40	3,7	32,6	0,000361	8019,526
50	4,6	40,8	0,000361	6407,759
63	5,8	51,4	0,000361	5086,314
75	6,8	61,4	0,000361	4257,924
90	8,2	73,6	0,000361	3552,127
110	10	90	0,000361	2904,851

Taula 20. Conducte SDR 11 PN 16

SDR17	PN10			
D <sub>ext</sub> (mm)	Gruix (mm)	D <sub>int</sub> (mm)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Re
20	1,8	16,4	0,000361	15941,25
25	2	21	0,000361	12449,36
32	2,3	27,4	0,000361	9541,48
40	2,4	35,2	0,000361	7427,175
50	3	44	0,000361	5941,74
63	3,8	55,4	0,000361	4719,071
75	4,5	66	0,000361	3961,16
90	5,4	79,2	0,000361	3300,967
110	6,6	96,8	0,000361	2700,791

Taula 21. Conducte SDR 17 PN 10

Aleshores, s'escull el tub caloportador de PE 100 SDR 11 PN 16 amb un diàmetre nominal de 32 mm perquè s'obté un nombre de Reynolds desitjat.

### C.2.3 Longitud del bescanviador

La longitud del sensor geotèrmic dependrà de la següents les Equacions 9, 10, 11, 12, 13 i 14.

$$\dot{Q}_{cal} = U_o A_o \Delta T_{ml} \quad (\text{Eq. 9})$$

$\dot{Q}_{cal}$ : potència calorífica de la bomba en condició de calefacció (kW)

$U_o$ : coeficient global de transferència de calor ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ )

$A_o$ : àrea de bescanvi de la paret externa del tub interior ( $\text{m}^2$ )

$\Delta T_{ml}$ : diferència de temperatura mitjana logarítmica ( $^{\circ}\text{C}$ )

$$COP = \frac{\dot{Q}_{cal}}{\dot{W}_e} \quad (\text{Eq. 10})$$

COP: índex de rendiment de la bomba de calor en condició de calefacció

$\dot{Q}_{cal}$ : potència calorífica de la bomba en condició de calefacció (kW)

$\dot{W}_e$ : potència elèctrica de la bomba (kW)

$$EER = \frac{\dot{Q}_{ref}}{\dot{W}_e} \quad (\text{Eq. 11})$$

EER: índex de rendiment de la bomba de calor en condició de refrigeració

$\dot{Q}_{ref}$ : potència calorífica de la bomba en condició de refrigeració (kW)

$\dot{W}_e$ : potència elèctrica de la bomba (kW)

$$\frac{1}{U_o A_o} = \frac{1}{U_i A_i} = \frac{1}{h_o A_o} + \frac{1}{h_{fo} A_o} + \frac{x}{k A_{ml}} + \frac{1}{h_{fi} A_i} + \frac{1}{h_i A_i} \quad (\text{Eq. 12})$$

$$A_{ml} = (A_o - A_i) / \ln\left(\frac{A_o}{A_i}\right) \quad (\text{Eq. 13})$$

$$\Delta T_{ml} = (\Delta T_2 - \Delta T_1) / \ln(\Delta T_2 / \Delta T_1) \quad (\text{Eq. 14})$$

$U_o$ : coeficient global de transferència de calor ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ )

$h_o$  i  $h_i$ : coeficients de convecció externa i interna ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ )

$h_{fo}$  i  $h_{fi}$ : coeficients d'incrustació ("fouling") externa i interna ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ )

$A_i$ : àrea de bescanvi de la paret interna del tub interior ( $\text{m}^2$ )

$A_o$ : àrea de bescanvi de la paret externa del tub interior ( $\text{m}^2$ )

$A_{ml}$ : àrea de bescanvi mitjana logarítmica ( $\text{m}^2$ )

$k$ : conductivitat tèrmica de les parets del tub ( $\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$ )

$x$ : gruix del tub interior =  $(D_o - D_i)/2$  (m)

$\Delta T_{ml}$ : diferència de temperatura mitjana logarítmica ( $^{\circ}\text{C}$ )

Les Equacions 9, 10, 11, 12, 13 i 14, es simplifiquen a l'Equació 15 per calcular la longitud necessària del sensor en condicions de calefacció, i a l'Equació 16 per calcular la longitud en condicions de refrigeració.

$$L_{cal} = \dot{Q}_c \cdot \left(1 - \frac{1}{COP}\right) \cdot \frac{1}{\pi \cdot D_o \cdot \Delta T_{ml}} \cdot \frac{2kh_i D_i + h_o D_o h_i D_i \ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right) + 2kh_o D_o}{2h_o h_i D_i k} \quad (\text{Eq. 15})$$

$$L_{ref} = \dot{Q}_{ev} \cdot \left(1 + \frac{1}{EER}\right) \cdot \frac{1}{\pi \cdot D_o \cdot \Delta T_{ml}} \cdot \frac{2kh_i D_i + h_o D_o h_i D_i \ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right) + 2kh_o D_o}{2h_o h_i D_i k} \quad (\text{Eq. 16})$$

Es calcula la diferència de temperatura mitjana logarítmica pels casos de calefacció i de refrigeració tenint en compte que el rang de temperatura del fluid caloportador es troba entre 7 i 12°C en condicions de calefacció, i entre 25 i 35 °C en condicions de refrigeració. Aplicant l'Equació 14 s'obté la diferència de temperatura mitjana logarítmica en condicions de calefacció mostrada en la Taula 22, i es mostra per condicions de refrigeració en la Taula 223.

Condicions de calefacció					
$T_{entr}$	$T_{sort}$	$T_{terreny}$	$\Delta T_1$	$\Delta T_2$	$\Delta T_{ml}$
7	3,6	18	14,4	11	12,6
8	4,6	18	13,4	10	11,6
9	5,6	18	12,4	9	10,6
10	6,6	18	11,4	8	9,6
11	7,6	18	10,4	7	8,6
12	8,6	18	9,4	6	7,6

Taula 22.  $\Delta T_{ml}$  en condicions de calefacció

Condicions de refrigeració					
$T_{entr}$	$T_{sort}$	$T_{terreny}$	$\Delta T_1$	$\Delta T_2$	$\Delta T_{ml}$
25	31,0	18	13,0	7	9,7
27	33,0	18	15,0	9	11,8
29	35,0	18	17,0	11	13,8
31	37,0	18	19,0	13	15,8
33	39,0	18	21,0	15	17,8
35	41,0	18	23,0	17	19,9

Taula 23.  $\Delta T_{ml}$  en condicions de refrigeració

Per trobar la longitud del sensor geotèrmic en condicions de calefacció i refrigeració, es té en compte que les diferències de temperatura mitjana logarítmica són les subratllades en les taules anteriors. S'utilitzen aquestes perquè són els casos més desfavorables en cada cas.

Aleshores, obtenim una longitud de 46,6 metres de l'Equació 15, i una longitud 53 metres de l'Equació 16. Per tant, s'utilitzarà un sensor de longitud 60 metres per poder satisfer totes les necessitats.

### C.3 Pèrdues de càrrega del circuit en la sonda geotèrmica

És necessari calcular les pèrdues de càrrega generades en la sonda geotèrmica per saber si la bomba de circulació pel circuit de la font de calor subministrada juntament amb la bomba de calor geotèrmica VWF 57 és suficient. La bomba de circulació subministrada és EL MODEL Yonos PICO-STG 15/1-8 de la sèrie Wilo-Varios PICO-STG. Les característiques de la bomba es mostren en la Taula 24.

Codigo	Modelo	Ref.	Conexión tubería	CLASE IEE	Longitud	Presión nominal	Alimentación eléc.	Peso bruto
			RP		LO mm	PN bar		m kg
AC 51 960	Yonos PICO-STG 15/1-8	4232742	1/2"	≤0,23	130	10	1 ~230V 50/60 Hz	2

Taula 24. Característiques de la bomba de circulació Yonos PICO-STG 15/1-8

Les pèrdues de càrrega totals són la suma de les pèrdues de càrrega primàries i les pèrdues de càrrega secundàries tal com mostra l'Equació 17. Les pèrdues de càrrega primàries són degudes al fregament del fluid amb les parets i es calculen a partir de l'Equació 18. Per altre banda, a partir de l'Equació 19 es calculen les càrregues secundàries que són degudes a elements del circuit com colzes, vàlvules, etc.

$$H_r = H_{rp} + H_{rs} \quad (\text{Eq. 17})$$

$$H_{rp} = \lambda \cdot \frac{L}{D^5} \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot g} \quad (\text{Eq. 18})$$

$$H_{rs} = \lambda \cdot \frac{L_{eq} \cdot 8 \cdot Q^2}{D^4 \cdot \pi^2 \cdot g} \quad (\text{Eq. 19})$$

$H_r$ : pèrdues de càrrega (mca)

$H_{rp}$ : pèrdues de càrrega primàries (mca)

$H_{rs}$ : pèrdues de càrrega secundàries (mca)

$\lambda$ : coeficient de fricció

D: diàmetre interior del circuit (m)

Q: cabal de circulació (m<sup>3</sup>/s)

L: longitud del circuit (m)

g: gravetat (m/s<sup>2</sup>)

$L_{eq}$ : longitud equivalent (m)

La rugositat relativa es calcula a partir de l'Equació 20, la qual depèn de la rugositat absoluta del material. Aquest paràmetre serà necessari pel càlcul del coeficient de fricció juntament amb el nombre de Reynolds que es calcula mitjançant l'Equació 7.

$$\varepsilon = \frac{k}{D} \quad (\text{Eq. 20})$$

$\varepsilon$ : rugositat relativa

k: rugositat absoluta (m)

Per calcular el coeficient de fricció, s'utilitza la Fórmula de Haaland expressada en l'Equació 21.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -1,8 \log_{10} \left[ \left( \frac{\varepsilon}{3,7} \right)^{1,11} + \frac{6,9}{Re} \right] \quad (\text{Eq. 21})$$

Com s'ha vist en el capítol anterior, el fluid caloportador té una viscositat cinemàtica de  $1,83 \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s i circula amb un cabal de 1300l/h. La sonda té un diàmetre interior de 26 mm i una longitud de 80 metres. Es considera una rugositat absoluta de 0,0015 m. En el circuit hi haurà 8, colzes amb corba brusca, per tant, la longitud equivalent calculada és de 86,4 m.

A partir de les dades anteriors es calcula un coeficient de fricció de 0,03 i unes pèrdues de càrrega totals de 3,56 m.c.a.



Una vegada calculades les pèrdues de càrrega totals del circuit, es calcula l'alçada manomètrica de la bomba mitjançant l'Equació 22.

$$\frac{P_1}{\rho \cdot g} + h_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} + H_B - H_r = \frac{P_2}{\rho \cdot g} + h_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} \quad (\text{Eq. 22})$$

Tenint en compte que les pressions, les densitats, les velocitats i les alçades en els dos punts són iguals, es considera que l'alçada d'impulsió de la bomba ha de compensar les pèrdues de càrrega del circuit. Aleshores, l'alçada manomètrica mínima de la bomba ha de ser de 3,56 m.c.a.

A la Figura 8 es pot observar que treballant a un cabal de 1300 l/h, la bomba té una alçada manomètrica de 5 m.c.a. Aleshores, aquesta bomba serà suficient per a impulsar el fluid caloportador per la sonda. El cabal amb el que es treballa, 1300 l/h, es troba molt proper al cabal òptim de funcionament que seria de 1440 l/h amb unes pèrdues de càrrega de 4,5 m.c.a.

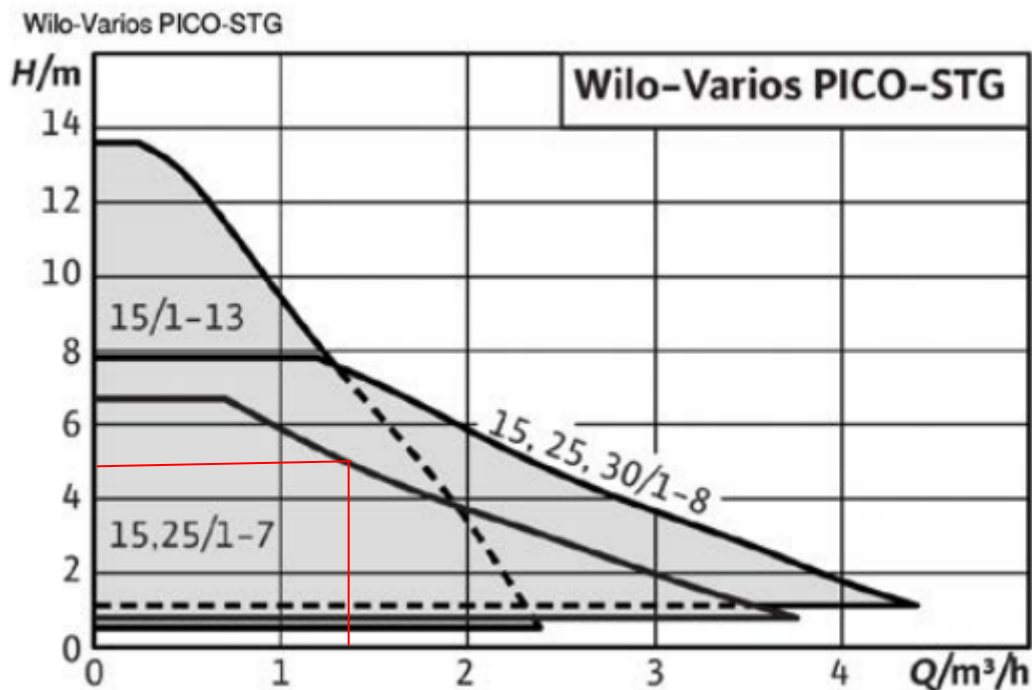


Figura 8. Corba característica de la bomba de circulació Wilo-Varios-PICO-STG

## D DIMENSIONAMENT TERRA RADIANT

### D.1 Temperatura superficial

Segons la UNE EN 1264-2, s'ha de complir que la temperatura superficial del terra radiant no superi els 29°C. Segons les necessitats del client i de manera conservadora, es fixa una temperatura de consigna a l'hivern és de 23°C.

L'espai de la casa amb càrrega tèrmica sensible per metre quadrat més elevada, és la del bany 1, que té una ratio de 46 W/m<sup>2</sup>. Per tant, assolir els 23 °C com a consigna, serà possible en tots els recintes climatitzats de la casa tal i com es mostra en l'Equació 23. En la Taula 25, es mostra la temperatura de consigna màxima que es podria arribar a assolir en cada recinte a partir de la seva càrrega tèrmica per metre quadrat i d'una temperatura superficial de 29°C.

$$q \left( \frac{W}{m^2} \right) = 8,92 \cdot (T_{m,s} - T_a)^{1,1} = 8,92 \cdot (29 - 23)^{1,1} = 64,02 \frac{W}{m^2} \quad (\text{Eq. 23})$$

		Àrea (m2)	Carregues calefacció sensible (kW)	Ratio calefacció (W/m2)	Ta (° C)
Despatx	P1_E1	11,13	0,33	29	26,08
Cuina	P1_E2	14,65	0,37	25	26,45
Menjador	P1_E5	29,58	0,76	26	26,3553
Dormitori 2	P2_E1	23,2	0,49	21	26,822
Bany 2	P2_E2	7,35	0,16	21	26,822
Dormitori 3	P2_E4	18,06	0,4	22	26,728
Dormitori 4	P2_E5	13,64	0,27	20	26,9165
Dormitori 1	P2_E6	22,61	0,49	22	26,728
Bany 3	P2_E7	9,14	0,24	26	26,3553

Taula 25. Temperatura màxima de consigna dels recintes de l'habitatge

### D.2 Capa d'aïllament

Aquesta capa d'aïllament substituirà a la capa d'EPS definida en l'habitatge en l'apartat

“Distribució de l'habitatge”. L'aïllament utilitzat serà de poliisocianurat (PIR) amb una conductivitat tèrmica de 0,022 (W/m·K). La resistència tèrmica que ha de tenir la capa d'aïllament, ve definida per la Taula 26, per tant, ha de ser de 1,25 m<sup>2</sup>K/W perquè per sota del formigó armat definit hi haurà una temperatura de disseny (Td) superior a 0° C.

	Habitación calentada inferiormente	Habitación no calentada o calentada intermitentemente por debajo o directamente en el terreno*	Temperatura del aire exterior debajo		
			Temperatura exterior de diseño o nominal Td ≥ 0° C	Temperatura exterior de diseño o nominal 0° C > Td ≥ -5° C	Temperatura exterior de diseño o nominal -5° C > Td ≥ -15° C
Resistencia Térmica (m <sup>2</sup> K/W)	0,75	1,25	1,25	1,5	2,0

\* con un nivel freático de agua ≤ 5m el valor debería aumentarse

Taula 26. Resistència tèrmica de la capa d'aïllament de PIR

Una vegada obtinguda la resistència tèrmica de la capa, es calcula el seu gruix mínim necessari a partir de l'Equació 24. El gruix de la capa aïllant mínim que s'obté al fer el càlcul és de 2,75 cm.

$$RT = \frac{g}{c} \quad (\text{Eq. 24})$$

RT: resistència tèrmica (m<sup>2</sup>K/W)

g: gruix (m)

c: conductivitat tèrmica (W/m·K)

### D.3 Capa de morter

La capa de morter és de 5 cm en els terres de planta baixa i planta primera tal i com es defineix en el capítol 4 Reglamentació. Coneixent aquesta dada i que la conductivitat del morter és de 0,5 W/m·K, es calcula la resistència tèrmica de la capa de morter a partir de l'Equació 24. Aleshores, s'obté una resistència tèrmica de 0,1 m<sup>2</sup>K/W.

## D.4 Canonades i disposició dels circuits

Les canonades del sistema radiant seran de polietilè reticulat (PE-X) i seguiran la norma UNE WN ISO 15-875. La disposició del sistema serà en forma d'espiral per tenir radis de curvatura més grans. El diàmetre exterior de la canonada serà de 16 x 1,5 mm i la interdistància entre tubs serà de 20 cm.

El següent pas consisteix en calcular la desviació mitjana logarítmica de temperatura aire-aigua a partir de l'Equació 25. El salt tèrmic que ocasionen els terres radiant és aproximadament de 10 °C, per tant, si es considera una impulsió de l'aigua de 45° C, la temperatura de retorn de l'aigua serà de 35° C.

$$\Delta\theta_{ml} = \frac{(\Delta T_2 - \Delta T_1)}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)} = \frac{(T_i - T_r)}{\ln\left(\frac{T_i - T_a}{T_r - T_a}\right)} \quad (\text{Eq. 25})$$

Ta: temperatura de consigna (°C)

Ti: temperatura d'impulsió (°C)

Tr: temperatura de retorn (°C)

La desviació mitjana logarítmica de temperatura aire-aigua calculada és de 16,5° C.

A continuació calculem una estimació de la potència superficial que aportarà el terra radiant per canonades de 16x1,8 mm mitjançant la Figura 9 que és per canonades de 17x2 mm . Coneixent la desviació mitjana logarítmica de temperatura aire-aigua i la resistència tèrmica de la capa de morter, es troba una potència superficial donada pel sistema radiant de 50 W/m<sup>2</sup>. El sistema radiant és viable perquè la potència superficial donada pel sistema és superior a la càrrega superficial de cada un dels recintes climatitzats de la casa.

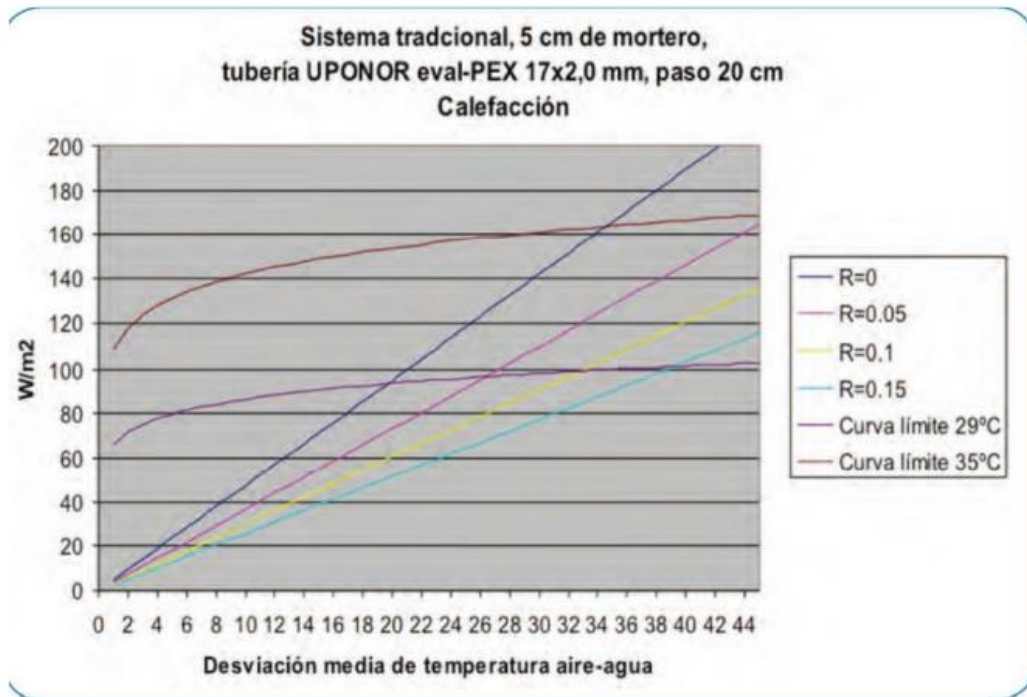


Figura 9. Potència superficial emesa pel terra radiant

#### D.4.1 Longitud dels circuits

La longitud de la canonada necessària en cada recinte es calcula a partir de l'Equació 26. En la Taula 27, es mostra les longituds calculades dels diferents recintes de l'habitatge.

$$L = \frac{A}{i} + 2l \tag{Eq. 26}$$

L: longitud de la canonada

A: superfície del recinte

i: interdistància entre tubs

l: distància del col·lector a l'entrada del recinte

		Àrea (m <sup>2</sup> )	Interdistància entre tubs (cm)	Distància "l" (m)	Longitud tub (m)
Despatx	P1_E1	11,13	20	0	55,65
Cuina	P1_E2	14,65	20	1,4	76,05
Menjador	P1_E5				
MC1		14,79	20	0,8	75,55
MC2		14,79	20	1,6	77,15
Dormitori 2	P2_E1				
D2C1		11,6	20	2,4	62,8
D2C1		11,6	20	2,9	63,8
Bany 2	P2_E2	7,35	20	1,3	39,35
Dormitori 3	P2_E4	18,06	20	0	90,3
Dormitori 4	P2_E5	13,64	20	0,85	69,9
Dormitori 1	P2_E6				
D1C1		11,31	20	1,55	59,625
D1C2		11,31	20	0,9	58,325
Bany 3	P2_E7	9,14	20	0	45,7

Taula 27. Longitud del terra radiant del recinte

#### D.4.3 Cabal dels circuit

El cabal que circularà pels tubs del terra radiant es calcula mitjançant l'Equació 27 de la qual es coneix dels apartats anteriors la potència tèrmica sensible de cada recinte estudiat i el salt tèrmic que genera el terra radiant. Els paràmetres de calor específica i densitat de l'aigua prenen uns valors de 4,186 kJ/kg°C i 997 kg/m<sup>3</sup> respectivament. Els cabals dels diferents circuits es mostren en la Taula 28.

$$\dot{q} = \dot{m} \cdot \hat{C}_p \cdot \Delta T \quad (\text{Eq.27})$$

$\dot{q}$ : potència (kW)

$\dot{m}$ : cabal màssic (kg/s)

$\hat{C}_p$ : calor específica (kJ/kg°C)

		Q(l/s)
Despatx	P1_E1	0,007907142
Cuina	P1_E2	0,008865584
Menjador	P1_E5	
MC1		0,009105194
MC2		0,009105194
Dormitori 2	P2_E1	
D2C1		0,005870454
D2C1		0,005870454
Bany 2	P2_E2	0,003833766
Dormitori 3	P2_E4	0,009584415
Dormitori 4	P2_E5	0,00646948
Dormitori 1	P2_E6	
D1C1		0,005870454
D1C2		0,005870454
Bany 3	P2_E7	0,005750649

Taula 28. Cabal de circulació en els circuits de terra radiant de l'habitatge

### D.5 Pèrdues de càrrega

Es calculen les pèrdues de càrrega del circuit per estudiar quina bomba de circulació és necessària instal·lar.

Es calculen les pèrdues de càrrega del terra radiant en la Taula 30 mitjançant la Taula 29 subministrada pel proveïdor de terra radiant. Es coneix que el diàmetre nominal i el gruix de les canonades del terra radiant és de 16 mm i 1,8 mm respectivament.

D <sub>s</sub> (mm) Esp (mm) D <sub>i</sub> (mm)	16 1,8 12,4		20 1,9 16,2		25 2,3 20,4	
	R (mbar/m)	Vel (m/s)	R (mbar/m)	Vel (m/s)	R (mbar/m)	Vel (m/s)
0,01	0,125	0,083	0,032	0,049	0,011	0,031
0,02	0,434	0,166	0,113	0,097	0,038	0,061
0,03	0,900	0,248	0,236	0,146	0,078	0,092
0,04	1,511	0,331	0,396	0,194	0,130	0,122
0,05	2,258	0,414	0,593	0,243	0,194	0,153
0,06	3,136	0,497	0,824	0,291	0,266	0,184
0,07	4,138	0,580	1,086	0,340	0,352	0,214
0,08	5,263	0,662	1,384	0,388	0,447	0,245
0,09	6,506	0,745	1,712	0,437	0,515	0,275
0,10	7,865	0,828	2,070	0,485	0,664	0,306
0,15	16,319	1,242	4,303	0,728	1,366	0,459
0,20	27,392	1,656	7,230	0,970	2,278	0,612
0,25	40,934	2,070	10,815	1,213	3,387	0,765
0,30	56,837	2,484	15,027	1,455	4,684	0,918
0,35	75,016	2,898	19,845	1,698	6,162	1,071
0,40	95,401	3,312	25,252	1,941	7,813	1,224
0,45	117,934	3,726	31,231	2,183	9,633	1,377
0,50	142,565	4,140	37,769	2,426	11,618	1,530

Taula 29. Pèrdues de càrrega en canonades Uponor Aqua Pipe (PEX-a)

		Q(l/s)	R(mbar/m)	L (m)	Hr (mca)
Despatx	P1_E1	0,007907142	0,08	55,65	0,045398825
Cuina	P1_E2	0,008865584	0,105	76,05	0,081428788
Menjador	P1_E5				
MC1		0,009105194	0,11	75,55	0,084745493
MC2		0,009105194	0,11	77,15	0,086540235
Dormitori 2	P2_E1				
D2C1		0,005870454	0,006	62,80	0,00384238
D2C1		0,005870454	0,006	63,80	0,003903565
Bany 2	P2_E2	0,003833766	0,045	39,35	0,018057046
Dormitori 3	P2_E4	0,009584415	0,12	90,30	0,110499026
Dormitori 4	P2_E5	0,00646948	0,065	69,90	0,046331887
Dormitori 1	P2_E6				
D1C1		0,005870454	0,06	59,63	0,036481199
D1C2		0,005870454	0,06	58,33	0,035685801
Bany 3	P2_E7	0,005750649	0,07	45,70	0,032621483

Taula 30. Pèrdues de càrrega en els circuits de terra radiant

Per altra banda, s'utilitzen les Equacions 17, 18, 19, 20 i 21, presents en l'Annex C, per calcular les pèrdues de càrrega de les canonades d'impulsió i retorn del sistema. Les canonades d'impulsió i retorn tenen un diàmetre nominal de 32 mm i un gruix de 3 mm. Aleshores, mitjançant l'Equació 20 i considerant una rugositat absoluta de 0,0015 m, s'obté una rugositat relativa en les canonades d'impulsió i retorn de  $57,69 \times 10^{-6}$ . En la Taula 31 es mostren les pèrdues de càrrega de les canonades d'impulsió, que seran les mateixes que de retorn perquè és un sistema de retorn directe.

	Q (m3/s)	L(m)	Leq(m)	Re	$\lambda$	Hrp	Hrs	Hrt
TRAM 1	0,00008410	17,00	22,40	4102,190	0,040	0,034	0,044	0,078
TRAM 2	0,00003498	5,00	5,90	1706,324	0,054	0,002	0,003	0,005
TRAM 3	0,00000887	0,20	2,00	432,425	0,096	0,000	0,000	0,000
TRAM 4	0,00002612	1,50	1,50	1273,900	0,060	0,000	0,000	0,001
TRAM 5	0,00001821	2,50	4,30	888,224	0,069	0,000	0,001	0,001
TRAM 6	7,90714E-06	1,70	5,30	385,676	0,101	0,000	0,000	0,000



TRAM 7	4,91201E-05	1,50	3,30	2395,866	0,048	0,001	0,003	0,004
TRAM 8	0,00000958	0,50	3,20	467,486	0,092	0,000	0,000	0,000
TRAM 9	0,00003954	2,80	2,80	1928,380	0,052	0,002	0,002	0,003
TRAM 10	0,00001174	0,60	3,30	572,670	0,084	0,000	0,000	0,000
TRAM 11	0,00002779	4,00	4,00	1355,710	0,059	0,001	0,001	0,003
TRAM 12	0,00000383	0,80	2,60	186,994	0,150	0,000	0,000	0,000
TRAM 13	0,00002133	2,60	3,50	1040,156	0,065	0,001	0,001	0,001
TRAM 14	0,00001174	0,80	2,60	572,670	0,084	0,000	0,000	0,000
TRAM 15	0,00000958	0,80	2,60	467,486	0,092	0,000	0,000	0,000
TRAM 16	5,75065E-06	5,00	10,40	280,492	0,119	0,000	0,000	0,000

Taula 31. Pèrdues de càrrega en les canonades d'impulsió

Les pèrdues de càrrega totals pertanyen al circuit en paral·lel més desfavorable que és en aquest cas el circuit que alimenta el dormitori 3. Per calcular la pèrdua total es té en compte les pèrdues de càrrega del terra radiant del recinte, les pèrdues de càrrega de les canonades d'impulsió i retorn treballant en un sistema bitubular amb retorn directe, i la diferència d'alçada de 0,3 metres entre els circuit d'impulsió i retorn. Aleshores, la pèrdua de càrrega total a abastir és de 0,574 m.c.a. Per tant, no es necessita subministrar cap bomba de circulació ja que les dos bombes de calor porten incorporades unes bombes de circulació que poden abastir sense cap problema les pèrdues de càrrega generades pel sistema.

## E INSTAL·LACIÓ FANCOILS

S'estudien les pèrdues de càrrega de les canonades d'impuls i retorn que connecten els fancoils mitjançant un sistema de bitubular de retorn directe. En condicions de refrigeració, els 8 fancoils FCCW de tipus 1 s'alimenten d'un cabal de 135 l/h, mentre que el fancoil FCCW de tipus 3 s'alimenta d'un cabal de 326 l/h. Per altre banda, en condicions de calefacció, els 8 fancoils FCCW de tipus 1 s'alimenten d'un cabal de 166 l/h, mentre que el fancoil FCCW de tipus 3 s'alimenta d'un cabal de 339 l/h. Per tant, calculem les pèrdues de càrrega per les condicions de calefacció perquè el cabal de circulació pels fancoil és més elevat que en condicions de refrigeració, i per tant generarà més pèrdues de càrrega. Les pèrdues de càrrega de les canonades d'impulsió es mostren en la Taula 32.

	Q (m <sup>3</sup> /s)	L(m)	Leq(m)	Re	$\lambda$	Hrp	Hrs	Hrt
TRAM 0	0,00046306	2,5	3,40	22585,84	0,025	0,09347	0,127	0,221
TRAM 1	0,00018639	9,20	12,80	9091,24	0,032	0,07060	0,098	0,169
TRAM 2	0,00009417	3,00	3,90	4593,04	0,039	0,00717	0,009	0,016
TRAM 3	0,00009222	14,70	15,60	4498,20	0,039	0,03392	0,036	0,070
TRAM 4	0,00004611	0,50	1,40	2249,10	0,049	0,00036	0,001	0,001
TRAM 5	0,00004611	0,50	1,40	2249,10	0,049	0,00036	0,001	0,001
TRAM 6	0,000276667	1,00	1,90	13494,60	0,029	0,01520	0,029	0,044
TRAM 7	0,000138333	3,00	3,90	6747,30	0,035	0,01380	0,018	0,032
TRAM 8	0,00009222	8,50	9,40	4498,20	0,039	0,01961	0,022	0,041
TRAM 9	0,00004611	0,50	1,40	2249,10	0,049	0,00036	0,001	0,001
TRAM 10	0,00004611	0,50	1,40	2249,10	0,049	0,00036	0,001	0,001
TRAM 11	0,00004611	0,50	1,40	2249,10	0,049	0,00036	0,001	0,001
TRAM 12	0,00013833	1,00	2,80	6747,30	0,035	0,00460	0,013	0,017
TRAM 13	0,00004611	0,50	1,40	2249,10	0,049	0,00036	0,001	0,001
TRAM 14	0,00009222	14,50	15,40	4498,20	0,039	0,03345	0,036	0,069
TRAM 15	0,00004611	0,50	1,40	2249,10	0,049	0,00036	0,001	0,001
TRAM 16	0,00004611	0,50	1,40	2249,10	0,049	0,00036	0,001	0,001

Taula 32. Pèrdues de càrrega en les canonades d'impulsió

Les pèrdues de càrrega totals pertanyen al circuit en paral·lel més desfavorable que és en aquest cas el circuit que alimenta el despatx amb una pèrdua de càrrega de 0,461 m.c.a. Per calcular la pèrdua total es té en compte les pèrdues de càrrega de les canonades d'impulsió i retorn treballant en un sistema bitubular amb retorn directe, i que hi ha una diferència d'alçada de 0,3 metres entre els

circuit d'impulsió i retorn. Aleshores, la pèrdua de càrrega total a abastir és de 0,776 m.c.a. Per tant, no es necessita subministrar cap bomba de recirculació ja que les dos bombes de calor porten incorporades unes bombes de recirculació que poden abastir les pèrdues de càrrega generades pel sistema.

## F INSTAL·LACIÓ FOTOVOLTAICA

Per fer l'estudi l'energia fotovoltaic és necessari saber la demanda d'energia elèctrica en l'habitatge. Mitjançant el programa Clima, s'obté que la demanda total d'energia calorífica de l'habitatge en refrigeració és de 5830.72 kWh, i en calefacció és de 2888, 37 kWh. La Figura 10 mostra l'energia calorífica demandada per mes de l'habitatge.

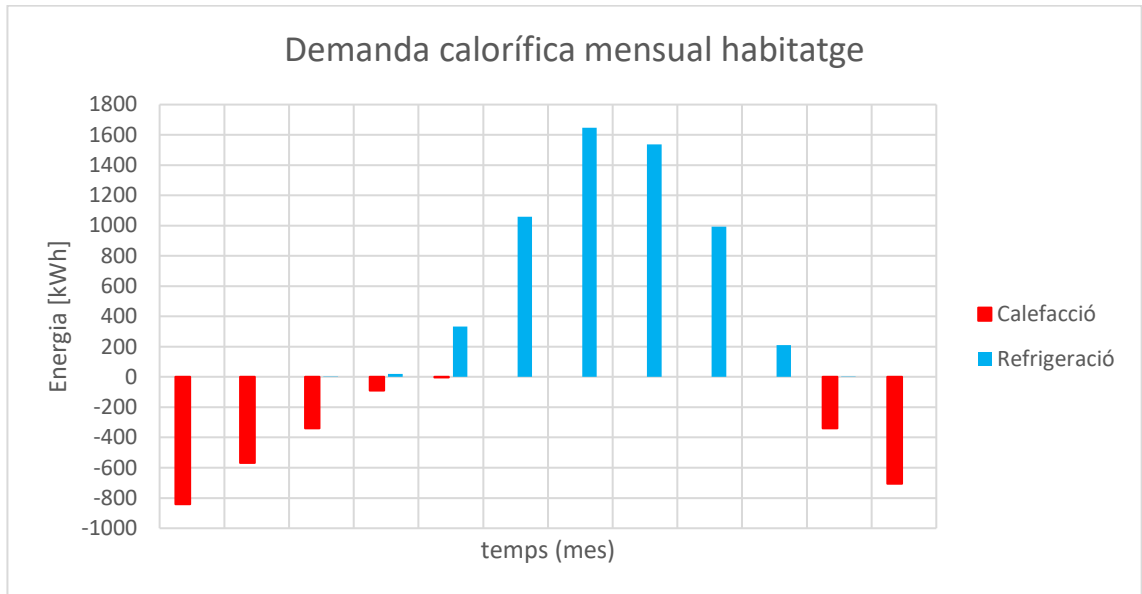


Figura 10. Histograma d'energia calorífica demandada per mes

A partir de la demanda energètica provocada per les càrregues tèrmiques de l'edifici, es calcula la demanda elèctrica consumida per les bombes de calor. En el càlcul de la demanda elèctrica que es fa mitjançant l'Equació 38, s'haurà de tenir en compte el COP i el EER de cada bomba de calor. La demanda elèctrica de la bomba de calor geotèrmica es mostra en la Taula 33 i en la Figura 11. Per altre banda, la demanda elèctrica de la bomba de calor aerotèrmica, es mostra en la Taula 34 i en la Figura 12.

$$D_{ele} = \frac{D_{cal}}{COP} + \frac{D_{ref}}{EER} \quad (\text{Eq.28})$$

$D_{ele}$ : demanda elèctrica (kWh)

$D_{cal}$ : demanda anual total de calefacció (kWh)

$D_{ref}$ : demanda anual total de refrigeració (kWh)

COP: índex de rendiment de la bomba de calor en condició de calefacció

EER: índex de rendiment de la bomba de calor en condició de refrigeració

Demanda mensual elèctrica BCG (kWh)												
	<b>G</b>	<b>F</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>A</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>D</b>
Cal.	171,84	115,92	69,18	18,16	0,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	69,18	144,08
Ref.	0,00	0,00	0,12	2,29	40,24	127,59	198,43	185,18	119,76	25,42	0,24	0,00
Tot.	171,84	115,92	69,30	20,45	40,85	127,59	198,43	185,18	119,76	25,42	69,42	144,08

Taula 33. Demanda mensual elèctrica de la bomba de calor geotèrmica

Demanda mensual elèctrica BCA (kWh)												
	<b>G</b>	<b>F</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>A</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>D</b>
Cal.	227,57	153,51	91,62	24,05	0,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	91,62	190,81
Ref.	0,00	0,00	0,21	3,96	69,58	220,63	343,13	320,21	207,08	43,96	0,42	0,00
Tot.	227,57	153,51	91,83	28,01	70,39	220,63	343,13	320,21	207,08	43,96	92,04	190,81

Taula 34. Demanda mensual elèctrica de la bomba de calor aerotèrmica

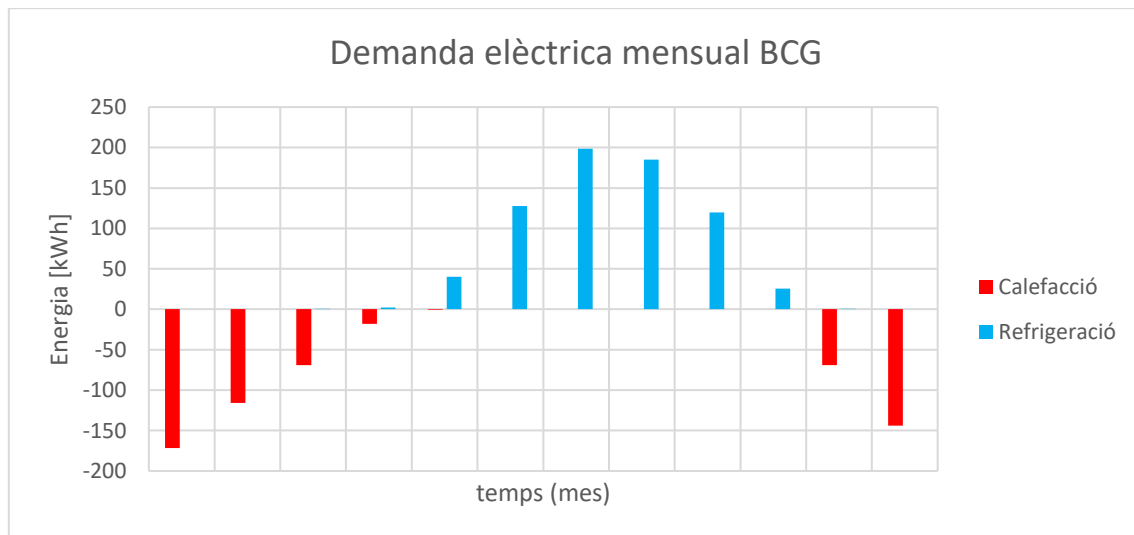


Figura 11. Histograma de la demanda mensual elèctrica de la bomba de calor geotèrmica

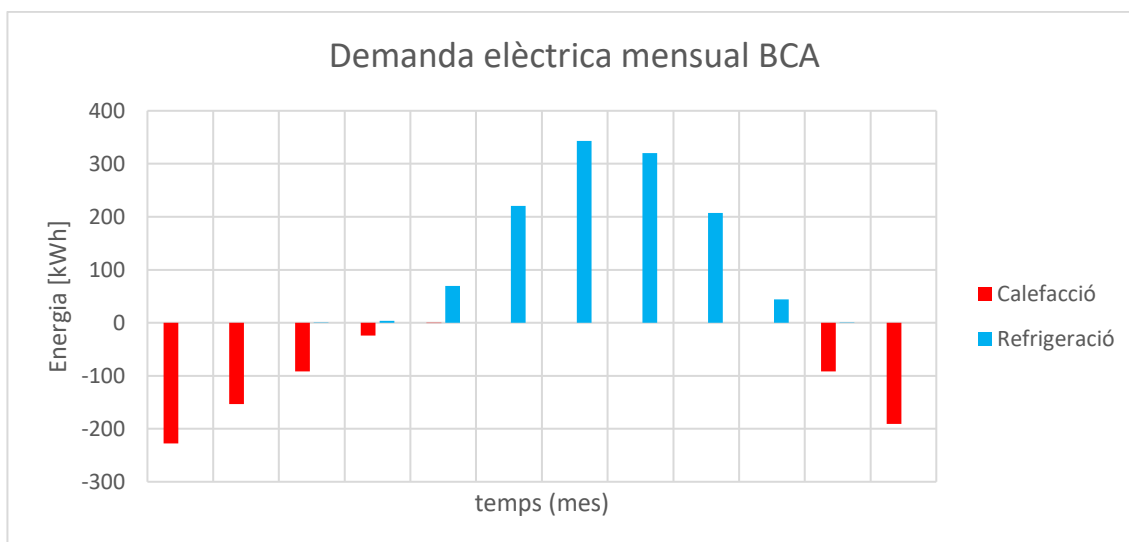


Figura 12. Histograma de la demanda mensual elèctrica de la bomba de calor aerotèrmica

Les demandes elèctriques anuals de calefacció i refrigeració són respectivament de 588,98 i 699,28 kWh per la bomba calor geotèrmica, i 780 i 1209,17 kWh per la bomba de calor aerotèrmica.

La demanda elèctrica anual de la BCG i de la BCA són de 1288,26 i 1989,17 kWh respectivament. Amb el consum de la bomba de calor i amb una estimació de consum elèctric de l'habitatge en quan a la resta de serveis, es considera adient un subministrament d'energia elèctrica de 3,6 kW mitjançant una instal·lació fotovoltaica.

Mitjançant el programa PVGIS s'estima una producció anual fotovoltaica de 4854,18 kWh tal i com es mostra en la Figura 13. Aquesta producció servirà per alimentar la bomba de calor escollida i part de la resta de la demanda de l'habitatge.

**PVGIS-5 estimates of solar electricity generation:**

Provided inputs:		Simulation outputs	
Latitude/Longitude:	42.258,3.078	Slope angle:	15 °
Horizon:	Calculated	Azimuth angle:	39 °
Database used:	PVGIS-SARAH2	Yearly PV energy production:	4854.18 kWh
PV technology:	Crystalline silicon	Yearly in-plane irradiation:	1769.89 kWh/m²
PV installed:	3.64 kWp	Year-to-year variability:	147.02 kWh
System loss:	14 %	Changes in output due to:	
		Angle of incidence:	-3.14 %
		Spectral effects:	0.89 %
		Temperature and low irradiance:	-10.34 %
		Total loss:	-24.65 %

Figura 13. Dades producció fotovoltaica (PVGIS)

Es pot observar comparant les Figures 11, 12 i 14 que per qualsevol de les dos bombes de calor, la demanda elèctrica mensual és inferior a la producció fotovoltaica. Per tant, es podrà abastir la totalitat de la demanda elèctrica de la bomba de calor amb variàncies degudes a les necessitats del dia.

Monthly energy output from fix-angle PV system:

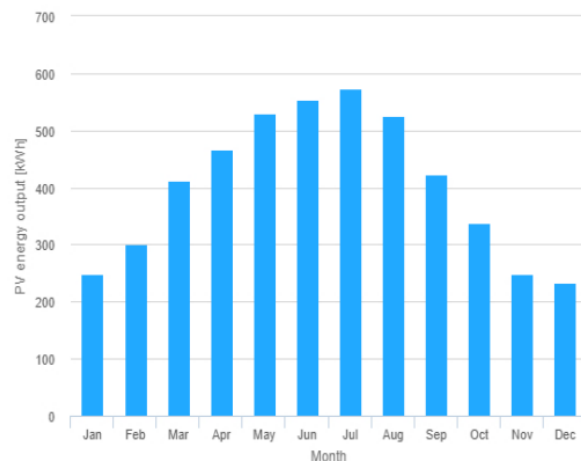


Figura 14. Producció mensual energia fotovoltaica (PVGIS)

A continuació s'estima que tot l'habitatge tindrà un consum elèctric de 4200 kWh l'any, sense tenir en compte el consum elèctric requerit per la bomba de calor.

En la Figura 15 es pot observar com la instal·lació fotovoltaica de 3,6 kW no podrà abastir la demanda elèctrica de tot l'habitatge tots els mesos de l'any, tot i que ho farà en bona part d'ells i assegurarà una reducció del consum elèctric tot l'any. No es considera recomanable un acumulador d'energia perquè es compensa part del consum de l'habitatge amb la producció fotovoltaica i possiblement no s'obtidria un bon rendiment dels acumuladors.

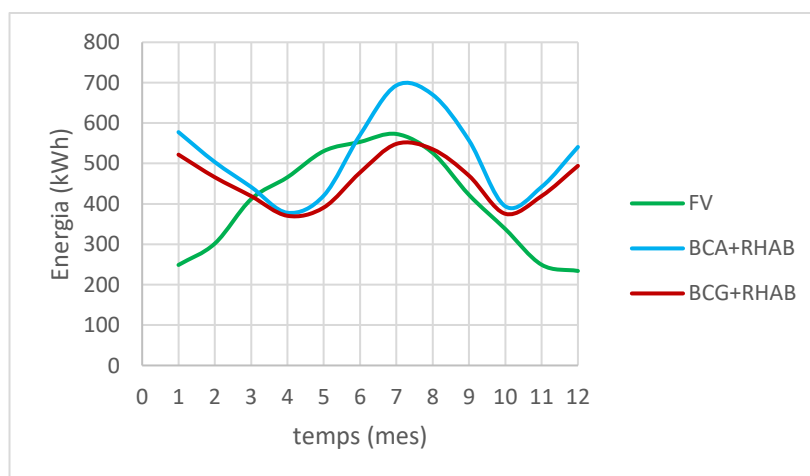


Figura 15. Gràfic energia elèctrica

## G VIABILITAT ENTRE SISTEMES

### G.1 Bombes de calor

Per fer l'estudi de viabilitat entre els diferents sistemes s'haurà de tenir en compte els següents paràmetres:

- Cost d'inversió
- Energia consumida anualment
- Vida útil

Tal i com es mostra en el Document 5 Pressupost, els costos d'inversió de les bombes de calor geotèrmica i aerotèrmica escollides són de 8.480 € i 3.600€ respectivament. En el cas de la bomba de calor geotèrmica també s'ha de tenir en compte el sistema de captació d'energia mitjançant la sonda, aleshores, el cost total d'inversió del sistema geotèrmic és de 14.448,2 €.

Anteriorment a l'Annex A s'ha calculat que la demanda anual de calefacció i refrigeració de l'habitatge és de 2885,37 kWh i 5803.72 kWh respectivament. Mitjançant la potència calorífica requerida, s'ha escollit la bomba de calor geotèrmica amb un COP de 4,9 i un EER de 8,3, i una bomba de calor aerotèrmica amb COP de 3,7 i EER de 4,8. En la Figura 15 de l'Annex F es pot apreciar que el consum elèctric de l'habitatge és inferior amb l'ús de la bomba de calor geotèrmica com a conseqüència del seu COP i EER.

Els sistemes geotèrmic i aerotèrmic tenen una vida útil aproximada de 30 anys, i la sonda del sistema geotèrmic té una vida útil d'uns 50 anys.

L'estimació del cost de l'energia elèctrica a Catalunya és de 0,292 €/kWh.

Tenint en compte les dades anteriors, es fa un estudi de rendibilitat econòmica dels dos sistemes mitjançant l'Equació 29. Els resultats obtinguts de l'estudi es mostren en la Taula 35.

$$C_A + \left( \frac{D_{cal}}{COP} + \frac{D_{ref}}{EER} \right) \cdot p_{ee} \cdot t \quad (\text{Eq.29})$$

$C_A$ : cost d'adquisició (€)



$D_{cal}$ : demanda anual total de calefacció (kWh)

$D_{ref}$ : demanda anual total de refrigeració (kWh)

COP: índex de rendiment de la bomba de calor en condició de calefacció

EER: índex de rendiment de la bomba de calor en condició de refrigeració

$p_{ee}$ : preu energia elèctrica (€/kWh)

$t$ : temps (any)

Anys	Cost	
	BCA	BCG
0	3600	14448,2
2	4761,539829	15200,44713
4	5923,079658	15952,69425
6	7084,619486	16704,94138
8	8246,159315	17457,1885
10	9407,699144	18209,43563
12	10569,23897	18961,68276
14	11730,7788	19713,92988
16	12892,31863	20466,17701
18	14053,85846	21218,42413
20	15215,39829	21970,67126
22	16376,93812	22722,91839
24	17538,47795	23475,16551
26	18700,01777	24227,41264
28	19861,5576	24979,65976
30	21023,09743	25731,90689

Taula 35. Cost anual de les bombes de calor

En la Taula 35 es pot observar que fins la vida útil de les bombes de calor, la bomba de calor aerotèrmica resulta més rentable econòmicament. A partir dels 30 anys s'haurien de comprar noves

bombes de calor, i al ser la bomba de calor geotèrmica més cara que l'aerotèrmica, la bomba de calor aerotèrmica seguiria resultant més eficient econòmicament. Per tant, per l'habitatge estudiat, resultarà més eficient instal·lar una bomba de calor aerotèrmica. Per altre banda, la bomba de calor geotèrmica hagués resultat més rentable per pèrdues tèrmiques força més grans que les de l'habitatge estudiat.

### G.1.1 Instal·lació fotovoltaica

A continuació s'estudia la viabilitat d'una instal·lació fotovoltaica ja que es considera una possible solució per disminuir la elevada demanda elèctrica de l'habitatge.

En aquest cas el consum energètic és superior a la producció energètica. Aleshores per calcular els costos resultants de la inversió d'instal·lar una instal·lació fotovoltaica i del consum energètic s'utilitzarà l'Equació 30 que és una adaptació de l'Equació 29, en la qual la demanda consumida anual total es veurà afectada per la producció anual d'energia elèctrica i el consum anual de la resta de l'habitatge. La producció anual d'energia elèctrica no es veurà consumida en la seva totalitat degut a l'activitat dels residents. Aleshores, s'estima un autoconsum anual d'un 60%.

$$C_A + \left( \frac{D_{cal}}{COP} + \frac{D_{ref}}{EER} + D_h - P_e \cdot A_e \right) \cdot p_{ee} \cdot t \quad (\text{Eq. 30})$$

$P_e$ : producció anual total d'energia elèctrica (kWh)

$D_h$ : Consum anual resta de l'habitatge (kWh)

$A_e$ : Percentatge d'autoconsum elèctric

A partir de les dades de l'apartat G.1 Bombes de calor i de l'Annex F, es compara els costos d'energia elèctrica de l'habitatge segons el tipus de bomba de calor en els casos de l'habitatge amb i sense instal·lació fotovoltaica i s'obté la Taula 36.

Anys	Cost			
	Amb instal·lació fotovoltaica		Sense instal·lació fotovoltaica	
	BCA	BCG	BCA	BCG
0	8632,94	8632,94	0	0
2	10546,38	10137,08	3614,34	3205,05
4	12459,81	11641,22	7228,68	6410,09

6	14373,25	13145,37	10843,02	9615,14
8	16286,68	14649,51	14457,36	12820,19
10	18200,12	16153,65	18071,70	16025,24
12	20113,55	17657,79	21686,04	19230,28
14	22026,99	19161,94	25300,38	22435,33
16	23940,42	20666,08	28914,72	25640,38
18	25853,86	22170,22	32529,06	28845,42
20	27767,29	23674,36	36143,40	32050,47

Taula 36. Viabilitat d'una instal·lació fotovoltaica en l'habitatge

S'obté que el 12è any la instal·lació fotovoltaica ja s'haurà amortitzat i el cost energètic de l'habitatge amb la instal·lació fotovoltaica tindrà un estalvi anual de 850,45 € envers el cost energètic de l'habitatge sense instal·lació fotovoltaica.

## **H ETIQUETA ENERGÈTICA**

La certificació energètica dels edificis ve regulada pel Real Decret 390/2021. Aquesta certificació qualifica l'eficiència energètica dels edificis a partir de dades tècniques i administratives de l'edificació, normatives energètiques, descripció de les característiques energètiques de l'edifici, etc.

D'acord amb la reglamentació vigent, l'habitatge estudiat requereix d'etiqueta energètica perquè és un edifici de nova construcció. La certificació energètica de l'habitatge es mostra a continuació.

## CERTIFICADO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE EDIFICIOS

### IDENTIFICACIÓN DEL EDIFICIO O DE LA PARTE QUE SE CERTIFICA:

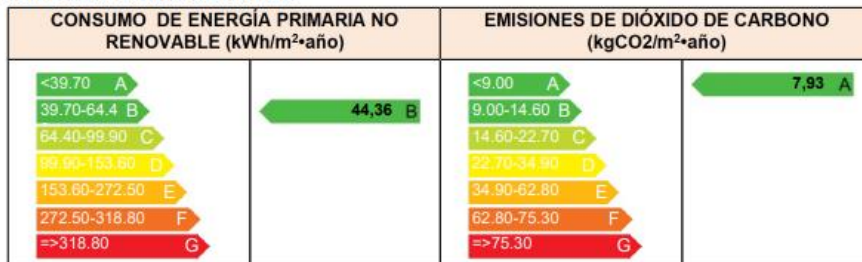
Nombre del edificio	Estudi climatització habitatge unifamiliar aïllat		
Dirección	C/ de la Vintena 18 - - - - -		
Municipio	Castelló d'Empúries	Código Postal	17486
Provincia	Girona	Comunidad Autónoma	Cataluña
Zona climática	C2	Año construcción	Posterior a 2013
Normativa vigente (construcción / rehabilitación)	CTE HE 2019		
Referencia/s catastral/es	6585403EG0768N		

Tipo de edificio o parte del edificio que se certifica:	
<input checked="" type="checkbox"/> Edificio de nueva construcción	<input type="checkbox"/> Edificio Existente
<input checked="" type="checkbox"/> Vivienda <input checked="" type="checkbox"/> Unifamiliar <input type="checkbox"/> Bloque <input type="checkbox"/> Bloque completo <input type="checkbox"/> Vivienda individual	<input type="checkbox"/> Terciario <input type="checkbox"/> Edificio completo <input type="checkbox"/> Local

### DATOS DEL TÉCNICO CERTIFICADOR:

Nombre y Apellidos	Nombres Apellido1 Apellido2	NIF/NIE	CIF
Razón social	Razón Social	NIF	-
Domicilio	Nombre calle - - - - -		
Municipio	Localidad	Código Postal	Codigo postal
Provincia	- Seleccione de la lista -	Comunidad Autónoma	- Seleccione de la lista -
e-mail:	-	Teléfono	-
Titulación habilitante según normativa vigente	-		
Procedimiento reconocido de calificación energética utilizado y versión:	HU CTE-HE y CEE Versión 2.0.2300.1172, de fecha 9-may-2022		

### CALIFICACIÓN ENERGÉTICA OBTENIDA:



El técnico abajo firmante declara responsablemente que ha realizado la certificación energética del edificio o de la parte que se certifica de acuerdo con el procedimiento establecido por la normativa vigente y que son ciertos los datos que figuran en el presente documento, y sus anexos:

Fecha 8/6/2022

Firma del técnico certificador:

- Anexo I.** Descripción de las características energéticas del edificio.
- Anexo II.** Calificación energética del edificio.
- Anexo III.** Recomendaciones para la mejora de la eficiencia energética.
- Anexo IV.** Pruebas, comprobaciones e inspecciones realizadas por el técnico certificador.

Registro del Organismo Territorial Competente:

## ANEXO I DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DEL EDIFICIO

En este apartado se describen las características energéticas del edificio, envolvente térmica, instalaciones, condiciones de funcionamiento y ocupación y demás datos utilizados para obtener la calificación energética del edificio.

### 1. SUPERFICIE, IMAGEN Y SITUACIÓN

<b>Superficie habitable (m<sup>2</sup>)</b>	227,76
<b>Imagen del edificio</b>	<b>Plano de situación</b>

### 2. ENVOLVENTE TÉRMICA

Cerramientos opacos

Nombre	Tipo	Superficie (m <sup>2</sup> )	Transmitancia (W/m <sup>2</sup> K)	Modo de obtención
P01_E01_PE001	Fachada	9,75	0,36	Usuario
P01_E01_PE002	Fachada	7,47	0,36	Usuario
P01_E01_FTER001	Suelo	11,13	0,43	Usuario
P01_E02_PE001	Fachada	1,92	0,36	Usuario
P01_E02_PE002	Fachada	6,15	0,36	Usuario
P01_E02_FTER002	Suelo	14,65	0,43	Usuario
P01_E03_PE001	Fachada	3,50	0,36	Usuario
P01_E03_FTER005	Suelo	2,59	0,43	Usuario
P01_E04_PE001	Fachada	2,30	0,36	Usuario
P01_E04_PE002	Fachada	4,80	0,36	Usuario
P01_E04_FTER004	Suelo	18,30	0,43	Usuario
P01_E05_PE001	Fachada	4,20	0,36	Usuario
P01_E05_PE002	Fachada	10,35	0,36	Usuario
P01_E05_PE003	Fachada	12,72	0,36	Usuario
P01_E05_FTER006	Suelo	29,58	0,43	Usuario
P01_E06_PE001	Fachada	1,35	0,36	Usuario
P01_E06_PE002	Fachada	4,50	0,36	Usuario
P01_E06_PE003	Fachada	4,50	0,36	Usuario
P01_E06_PE004	Fachada	13,20	0,36	Usuario
P01_E06_PE005	Fachada	13,95	0,36	Usuario
P01_E06_PE006	Fachada	5,42	0,36	Usuario
P01_E06_FTER003	Suelo	36,51	0,43	Usuario
P02_E08_PE001	Fachada	9,75	0,36	Usuario
P02_E08_PE002	Fachada	4,20	0,36	Usuario
P02_E08_PE003	Fachada	4,20	0,36	Usuario
P02_E08_PE004	Fachada	4,77	0,36	Usuario

P02_E08_PE005	Fachada	8,85	0,36	Usuario
P02_E08_CUB001	Cubierta	23,26	0,34	Usuario
P02_E09_PE001	Fachada	4,10	0,36	Usuario
P02_E09_PE002	Fachada	4,20	0,36	Usuario
P02_E09_CUB001	Cubierta	7,35	0,34	Usuario
P02_E10_CUB001	Cubierta	20,95	0,34	Usuario
P02_E11_PE001	Fachada	13,95	0,36	Usuario
P02_E11_PE002	Fachada	7,92	0,36	Usuario
P02_E11_PE003	Fachada	3,30	0,36	Usuario
P02_E11_CUB001	Cubierta	18,06	0,34	Usuario
P02_E12_PE001	Fachada	11,82	0,36	Usuario
P02_E12_CUB001	Cubierta	13,64	0,34	Usuario
P02_E13_PE001	Fachada	9,65	0,36	Usuario
P02_E13_PE002	Fachada	16,92	0,36	Usuario
P02_E13_PE003	Fachada	1,35	0,36	Usuario
P02_E13_CUB001	Cubierta	22,60	0,34	Usuario
P02_E14_PE001	Fachada	4,50	0,36	Usuario
P02_E14_PE002	Fachada	3,45	0,36	Usuario
P02_E14_PE003	Fachada	5,15	0,36	Usuario
P02_E14_PE004	Fachada	4,50	0,36	Usuario
P02_E14_CUB001	Cubierta	9,14	0,34	Usuario

**Huecos y lucernarios**

Nombre	Tipo	Superficie (m²)	Transmitancia (W/m²K)	Factor Solar	Modo de obtención transmitancia	Modo de obtención factor solar
Entrada	Hueco	1,52	1,80	0,05	Usuario	Usuario
Entrada	Hueco	1,90	1,80	0,05	Usuario	Usuario
Garatge	Hueco	3,88	1,80	0,05	Usuario	Usuario
Tipus1	Hueco	4,20	2,02	0,45	Usuario	Usuario
Tipus2	Hueco	1,38	2,01	0,46	Usuario	Usuario
Tipus2	Hueco	2,76	2,01	0,46	Usuario	Usuario
Tipus2	Hueco	5,52	2,01	0,46	Usuario	Usuario
Tipus3	Hueco	0,70	2,04	0,43	Usuario	Usuario
Tipus3	Hueco	2,10	2,04	0,43	Usuario	Usuario

**3. INSTALACIONES TÉRMICAS****Generadores de calefacción**

Nombre	Tipo	Potencia nominal (kW)	Rendimiento Estacional (%)	Tipo de Energía	Modo de obtención
SIS_EQ1_EQ_ED_AireAgua_BDC-ACS-Defecto	Expansión directa bomba de calor aire-agua	5,70	243,00	ElectricidadPeninsular	Usuario
SISTEMA_SUSTITUCION-Ficticio	Sistema de rendimiento estacional constante	-	95,00	GasNatural	PorDefecto
<b>TOTALES</b>		<b>5,70</b>			

**Generadores de refrigeración**

Nombre	Tipo	Potencia nominal (kW)	Rendimiento Estacional (%)	Tipo de Energía	Modo de obtención
--------	------	-----------------------	----------------------------	-----------------	-------------------

**Generadores de refrigeración**

SISTEMA_SUSTITUCION-Fictio	Sistema de rendimiento estacional constante	-	252,00	ElectricidadPeninsular	PorDefecto
<b>TOTALES</b>		<b>0,00</b>			

**Instalaciones de Agua Caliente Sanitaria**

<b>Demanda diaria de ACS a 60° C (litros/día)</b>	117,38
---	--------

Nombre	Tipo	Potencia nominal (kW)	Rendimiento Estacional (%)	Tipo de Energía	Modo de obtención
SIS_EQ1_EQ_ED_AireAgua_BDC-ACS-Defecto	Expansión directa bomba de calor aire-agua	5,70	243,00	ElectricidadPeninsular	Usuario

**4. INSTALACIÓN DE ILUMINACION**

(No aplicable)

**5. CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO Y OCUPACIÓN**

(No aplicable)

**6. ENERGÍAS RENOVABLES**

**Térmica**

Nombre	Consumo de Energía Final,cubierto en función del servicio asociado (%)			Demanda de ACS cubierta (%)
	Calefacción	Refrigeración	ACS	
Sistema solar térmico	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>TOTALES</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>

**Eléctrica**

Nombre	Energía eléctrica generada y autoconsumida (kWh/año)
Fotovoltaica insitu	0,0
<b>TOTALES</b>	<b>0</b>



## ANEXO II CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO

<b>Zona climática</b>	C2	<b>Uso</b>	CertificacionVerificacionNuevo
-----------------------	----	------------	--------------------------------

### 1. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN EMISIONES

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES			
	<b>CALEFACCIÓN</b>		<b>ACS</b>	
	<i>Emisiones calefacción (kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> año)</i>	A	<i>Emisiones ACS (kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> año)</i>	A
	5,01		1,36	
<i>Emisiones globales (kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> año)<sup>1</sup></i>	<b>REFRIGERACIÓN</b>		<b>ILUMINACIÓN</b>	
	<i>Emisiones refrigeración (kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> año)</i>	A	<i>Emisiones iluminación (kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> año)</i>	-
	0,54		-	

La calificación global del edificio se expresa en términos de dióxido de carbono liberado a la atmósfera como consecuencia del consumo energético del mismo.

	kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año	kgCO <sub>2</sub> /año
<i>Emisiones CO2 por consumo eléctrico</i>	5,85	1333,42
<i>Emisiones CO2 por combustibles fósiles</i>	2,08	471,46

### 2. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE

Por energía primaria no renovable se entiende la energía consumida por el edificio procedente de fuentes no renovables que no ha sufrido ningún proceso de conversión o transformación.

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES			
	<b>CALEFACCIÓN</b>		<b>ACS</b>	
	<i>Energía primaria no renovable calefacción (kWh/m<sup>2</sup>año)</i>	A	<i>Energía primaria no renovable ACS (kWh/m<sup>2</sup>año)</i>	A
	27,14		8,02	
<i>Consumo global de energía primaria no renovable (kWh/m<sup>2</sup>año)<sup>1</sup></i>	<b>REFRIGERACIÓN</b>		<b>ILUMINACIÓN</b>	
	<i>Energía primaria no renovable refrigeración (kWh/m<sup>2</sup>año)</i>	A	<i>Energía primaria no renovable iluminación (kWh/m<sup>2</sup>año)</i>	-
	3,19		-	

### 3. CALIFICACIÓN PARCIAL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

La demanda energética de calefacción y refrigeración es la energía necesaria para mantener las condiciones internas de confort del edificio.

DEMANDA DE CALEFACCIÓN	DEMANDA DE REFRIGERACIÓN
<i>Demanda de calefacción (kWh/m<sup>2</sup>año)</i>	<i>Demanda de refrigeración (kWh/m<sup>2</sup>año)</i>

<sup>1</sup>El indicador global es resultado de la suma de los indicadores parciales más el valor del indicador para consumos auxiliares, si los hubiera (sólo ed. terciarios, ventilación, bombeo, etc...). La energía eléctrica autoconsumida se descuenta únicamente del indicador global, no así de los valores parciales.

### ANEXO III

#### RECOMENDACIONES PARA LA MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

##### CALIFICACIÓN ENERGÉTICA GLOBAL

CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE (kWh/m <sup>2</sup> ·año)	EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año)
<div style="background-color: #90EE90; border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">&lt;39.70 A</div> <div style="background-color: #90EE90; border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">39.70-64.4 B</div> <div style="background-color: #90EE90; border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">64.40-99.90 C</div> <div style="background-color: #90EE90; border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">99.90-153.60 D</div> <div style="background-color: #90EE90; border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">153.60-272.50 E</div> <div style="background-color: #90EE90; border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">272.50-318.80 F</div> <div style="background-color: #90EE90; border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">=&gt;318.80 G</div>	<div style="background-color: #90EE90; border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">&lt;9.00 A</div> <div style="background-color: #90EE90; border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">9.00-14.60 B</div> <div style="background-color: #90EE90; border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">14.60-22.70 C</div> <div style="background-color: #90EE90; border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">22.70-34.90 D</div> <div style="background-color: #90EE90; border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">34.90-62.80 E</div> <div style="background-color: #90EE90; border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">62.80-75.30 F</div> <div style="background-color: #90EE90; border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">=&gt;75.30 G</div>

##### CALIFICACIONES ENERGÉTICAS

DEMANDA DE CALEFACCIÓN (kWh/m <sup>2</sup> ·año)	DEMANDA DE REFRIGERACIÓN (kWh/m <sup>2</sup> ·año)
<div style="background-color: #90EE90; border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">&lt;19.70 A</div> <div style="background-color: #90EE90; border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">19.70-32.0 B</div> <div style="background-color: #90EE90; border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">32.00-49.50 C</div> <div style="background-color: #90EE90; border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">49.50-76.20 D</div> <div style="background-color: #90EE90; border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">76.20-125.70 E</div> <div style="background-color: #90EE90; border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">125.70-147.00 F</div> <div style="background-color: #90EE90; border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">=&gt;147.00 G</div>	<div style="background-color: #90EE90; border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">&lt;3.90 A</div> <div style="background-color: #90EE90; border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">3.90-6.40 B</div> <div style="background-color: #90EE90; border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">6.40-9.90 C</div> <div style="background-color: #90EE90; border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">9.90-15.20 D</div> <div style="background-color: #90EE90; border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">15.20-18.30 E</div> <div style="background-color: #90EE90; border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">18.30-22.50 F</div> <div style="background-color: #90EE90; border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">=&gt;22.50 G</div>

##### ANÁLISIS TÉCNICO

Indicador	Calefacción		Refrigeración		ACS		Iluminación		Total	
	Valor	% respecto al anterior	Valor	% respecto al anterior	Valor	% respecto al anterior	Valor	% respecto al anterior	Valor	% respecto al anterior
Consumo Energía primaria (kWh/m <sup>2</sup> ·año)										
Consumo Energía final (kWh/m <sup>2</sup> ·año)										
Emisiones de CO <sub>2</sub> (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año)										
Demanda (kWh/m <sup>2</sup> ·año)										

Nota: Los indicadores energéticos anteriores están calculados en base a coeficientes estándar de operación y funcionamiento del edificio, por lo que solo son válidos a efectos de su calificación energética. Para el análisis económico de las medidas de ahorro y eficiencia energética, el técnico certificador deberá utilizar las condiciones reales y datos históricos de consumo del edificio.

DESCRIPCIÓN DE MEDIDA DE MEJORA
Características técnicas de la medida (modelo de equipos, materiales, parámetros característicos )
Coste estimado de la medida
Otros datos de interés

**ANEXO IV**  
**PRUEBAS, COMPROBACIONES E INSPECCIONES REALIZADAS POR EL**  
**TÉCNICO CERTIFICADOR**

Se describen a continuación las pruebas, comprobaciones e inspecciones llevadas a cabo por el técnico certificador durante el proceso de toma de datos y de calificación de la eficiencia energética del edificio, con la finalidad de establecer la conformidad de la información de partida contenida en el certificado de eficiencia energética.

Fecha de realización de la visita del técnico certificador	11/04/22
--	----------

## I JUSTIFICACIÓ DE PREUS

A continuació es mostren els elements que componen les diferents partides del Document 5 Pressupost. La justificació de preus es divideix en dos apartats que són els elements de climatització i els elements de la instal·lació fotovoltaica.

### I.1 Elements climatització

CODI	QUANTITAT	UT	RESUM	PREU	SUBTOTAL	IMPORT
<b>BCA</b>						
<b>Subministrament i instal·lació de bomba de calor monobloc Aerotherm R32 v10 de 6kW.</b>						
SO 30 201	1,000	Ut	Bomba de calor monobloc Aerotherm R32 v10 de 6kW	3.600,00	3.600,00	
U01FY310	4,000	Hr	Oficial primera climatització	14,50	58,00	
U01FY313	4,000	Hr	Ajudant de climatització	12,80	51,20	
<b>COST UNITARI TOTAL.....</b>						<b>3.709,20</b>
<b>BCG</b>						
<b>Subministrament i instal·lació de bomba de calor geotèrmica i sonda geotèrmica</b>						
0020275156	1,000	Ut	Bomba de calor geotèrmica, model VWF 57. Potència de calefacció i refrigeració de 5,8 i 7,1 kW. COP i EER de 4,9 i 6,3	8.480,00	8.480,00	
MATS	1,000	Ut	Sonda de PE SDR 11 PN 16. Longitud de 60 metres, diàmetre nominal de 32 mm i gruix de 3,2 mm	131,00	131,00	
MATL	25,500	L	Liquid caloportador. Solució amb concentració del 20% d'etilenglicol	98,00	2.499,00	
PP	60,000	ml	Perforació pou. Dimensionament dels pous de 40 metres de profunditat i 102 mm de diàmetre	49,33	2.959,80	
U01FY310	8,000	Hr	Oficial primera climatització	14,50	116,00	
U01FY313	8,000	Hr	Ajudant de climatització	12,80	102,40	
PPP	8,000	Hr	Personal perforació pous	20,00	160,00	
<b>COST UNITARI TOTAL.....</b>						<b>14.448,20</b>
<b>FCP</b>						
<b>Subministrament i instal·lació de fan coil 2 tubs tipus paret sèrie FCCW.</b>						
FCP1	8,000	Ut	Fan coil FCCW model 10 versió 4. Potència de calefacció i refrigeració màxima de 1,09 i 0,83 kW respectivament	316,00	2.528,00	
FCP2	1,000	Ut	Fan coil FCCW model 30 versió 4. Potència de calefacció i refrigeració màxima de 2,13 i 1,62 kW respectivament	395,00	395,00	
235000032	15,000	Ut	Tub multicapa barra de 4 m de diàmetre nominal 32 mm i espessor de 3mm	10,65	159,75	
235090032	25,000	Ut	Colze multicapa amb diàmetre nominal de 32 mm	5,34	133,50	
1085944	9,000	Ut	Col·lector 2 circuits Uponor Vario M amb cabalímetre. FM 2X G3/4 Euro	449,26	4.043,34	
U01FY310	4,000	Hr	Oficial primera climatització	14,50	58,00	
U01FY313	4,000	Hr	Ajudant de climatització	12,80	51,20	
<b>COST UNITARI TOTAL.....</b>						<b>7.368,79</b>
<b>REIC</b>						
<b>Subministrament i instal·lació d'elements secundaris de la instal·lació de climatització.</b>						
RC 11 056	1,000	Ut	Recuperador de calor model MURECO-CLASSIC H 500. Rendiment del 78,2% caudal nominal de 432 m3/h	2.345,00	2.345,00	
CC 20 050	1,000	Ut	Dipòsit COMBILAP 265 per bomba de calor amb sistema combinat d'ACS, calefacció i refrigeració	425,00	425,00	
U01FY310	8,000	Hr	Oficial primera climatització	14,50	116,00	
U01FY313	8,000	Hr	Ajudant de climatització	12,80	102,40	
<b>COST UNITARI TOTAL.....</b>						<b>2.988,40</b>
<b>TR</b>						
<b>Subministrament i instal·lació de terra radiant</b>						
TTR	10,000	Ut	Tub ISOLTUBEX PE-RT Tipus 2 de diàmetre 16 mm i espessor de 1,8 mm	49,70	497,00	
1085944	9,000	Ut	Col·lector 2 circuits Uponor Vario M amb cabalímetre. FM 2X G3/4 Euro	449,26	4.043,34	
235000032	12,000	Ut	Tub multicapa barra de 4 m de diàmetre nominal 32 mm i espessor de 3mm	10,65	127,80	
235090032	40,000	Ut	Colze multicapa amb diàmetre nominal de 32 mm	5,34	213,60	
U01FY310	6,000	Hr	Oficial primera climatització	14,50	87,00	
U01FY313	6,000	Hr	Ajudant de climatització	12,80	76,80	
<b>COST UNITARI TOTAL.....</b>						<b>5.045,54</b>

## I.2 Elements de la instal·lació fotovoltaica

CODI	QUANTITAT	UT	RESUM	PREU	SUBTOTAL	IMPORT
<b>EST</b>			<b>Subministrament i instal·lació d'estructura per a panells fotovoltaics.</b>			
ES	2,000	Ut	Estructura	1.597,36	3.194,72	
U44AB100	8,000	Hr	Oficial de primera fotovoltaic	24,64	197,12	
U44AB200	8,000	Hr	Ajudant d'instal·lador fotovoltaic	21,14	169,12	
			<b>COST UNITARI TOTAL .....</b>			<b>3.560,96</b>
<b>INV</b>			<b>Subministrament i instal·lació d'inversor de 5kW GW5000-EH i Smart Meter en QGD.</b>			
IN	1,000	Ut	Inversor de 5 kW GW5000-EH	1.010,12	1.010,12	
U44AB100	1,000	Hr	Oficial de primera fotovoltaic	24,64	24,64	
U44AB200	1,000	Hr	Ajudant d'instal·lador fotovoltaic	21,14	21,14	
			<b>COST UNITARI TOTAL .....</b>			<b>1.055,90</b>
<b>PAN</b>			<b>Subministrament i instal·lació de panells fotovoltaics del fabricant Longi, model LR4-72HBD-455M de 455 Wp.</b>			
LR4	8,000	Ut	Panells fotovoltaics LR4-72HBD-455M	287,04	2.296,32	
U44AB100	5,000	Hr	Oficial de primera fotovoltaic	24,64	123,20	
U44AB200	5,000	Hr	Ajudant d'instal·lador fotovoltaic	21,14	105,70	
			<b>COST UNITARI TOTAL .....</b>			<b>2.525,22</b>
<b>QUA</b>			<b>Subministrament i instal·lació dels elements del quadre de proteccions i posta a terra</b>			
QU	1,000	Ut	Quadre de proteccions	2.131,79	2.131,79	
U44AB100	1,000	Hr	Oficial de primera fotovoltaic	24,64	24,64	
U44AB200	1,000	Hr	Ajudant d'instal·lador fotovoltaic	21,14	21,14	
			<b>COST UNITARI TOTAL .....</b>			<b>2.177,57</b>