

## Projecte/ Treball Fi de Carrera

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

**Títol:** Viabilitat tècnica i econòmica de l'ús d'una bomba de calor geotèrmica en un habitatge unifamiliar.

**Document:** Resum de la memòria

**Alumne:** Andrei Florin Otelea

**Director/Tutor:** Alexandre Deltell Carbonell

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

**Àrea:** MMT

**Convocatòria:** 06/2015

## Memòria

El present treball tracta d'un estudi que justifica la viabilitat d'un sistema de calefacció amb bomba de calor geotèrmica aplicat a un habitatge.

L'edifici de l'estudi és una casa unifamiliar aïllada situada en la població de Seva (Barcelona). La superfície a calefactar és de 190 m<sup>2</sup> repartits en una sola planta.

Per tal de calefactar l'immoble, primer de tot, s'ha d'obtenir les necessitats tèrmiques de cada recinte a tractar. Aquestes s'obtenen calculant les càrregues tèrmiques dels recintes. La necessitat tèrmica ve limitada en el CTE-DB-HE-1 segons la zona climàtica en la que es situa l'edifici i la càrrega interna dels seus espais.

En l'estudi inclourem que la mateixa bomba de calor geotèrmica sigui l'encarregada de proporcionar l'aigua sanitària d'una forma més eficient que altres sistemes convencionals. El document DB-HE 4 l'apartat HE4 indica la contribució mínima d'aigua calenta sanitària (ACS).

A fi de complir amb la demanda tèrmica de l'edifici hem optat per una bomba de calor geotèrmica de 16.1 kW. Tot i que la potència de la bomba és lleugerament superior a la necessària trobem convenient la seva instal·lació per la possibilitat de calefactar altres recintes posteriors a l'estudi (piscina, habitacions addicionals...).

En general, una bomba de calor és una màquina que transfereix calor d'un focus fred a un focus calent utilitzant una quantitat de treball relativament petita. Per tant, l'avantatge d'aquest sistema és la capacitat d'aprofitar una energia existent en l'ambient. En el nostre cas agafa l'energia del subsòl a través del sistema de captació geotèrmic i s'utilitza per calefactar els recintes i donar el servei d'aigua calenta sanitària.

Tot i que hi ha varies tècniques per poder aprofitar l'energia geotèrmica, en aquest treball s'ha estudiat la instal·lació d'energia geotèrmica superficial de baixa entalpia. Aquesta es caracteritza per aprofitar l'estabilitat tèrmica del subsòl al llarg de l'any.

S'ha dimensionat una longitud de l'intercanviador de calor geotèrmic de 154 metres, repartits en dos pous de 80 metres cadascun. La metodologia de càlcul s'ha realitzat segons el Document Guia tècnica de l'IDAE (Diseño de sistemas de calor geotérmicos) i comprovats amb el programa CypeCad (versió After Hours)

El sistema per terra radiant consisteix en controlar la temperatura d'un recinte mitjançant un fluid que circula per una sèrie de xarxes col·locades en el paviment del recinte.

En aquest cas la calefacció radiant utilitza l'aigua calenta com a mitjà de transport. Aquesta es fa passar per una sèrie de serpentins col·locats en el morter del paviment de l'habitació. Aquest sistema té varis avantatges com podrien ser: sensació de confort, ja que els ocupants tindran els peus calents i el cap lleugerament més fred; la radiació es fa de manera uniforme ocupant la totalitat del recinte, evitant zones de concentració de aire fred o calent i avantatges estètics i higiènics.

S'ha realitzat un estudi comparatiu entre la bomba de calor geotèrmica i una caldera convencional de gasoil. Per comparar aquests dos sistemes s'ha tingut en compte la inversió inicial, la vida útil de les instal·lacions, el consum anual d'energia i el preu del kilowatt entregat pels anomenats sistemes.

Per finalitzar l'estudi podem concloure que la instal·lació per BCG és tècnicament i econòmicament viable. L'inconvenient principal és l'alta inversió inicial de la instal·lació geotèrmica. No obstant, ofereix una sèrie d'avantatges, com l'estalvi anual de gairebé 1200€, l'absència de fums i olors, no dependre dels combustibles fòssils i l'amortització en poc més de 10 anys.

## Projecte/ Treball Fi de Carrera

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

**Títol:** Viabilitat tècnica i econòmica de l'ús d'una bomba de calor geotèrmica en un habitatge unifamiliar.

**Document:** N°1 : Memòria i annexos

**Alumne:** Andrei Florin Otelea

**Director/Tutor:** Alexandre Deltell Carbonell

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

**Àrea:** MMT

**Convocatòria:** 06/2015

## Memòria

1. Introducció.....	9
1.1 Antecedents .....	9
1.1.1 Peticionari.....	9
1.1.2 Necessitat del peticionari.....	9
1.2 Objecte .....	9
1.3 Especificacions i abast .....	10
2. Descripció de l'habitatge .....	10
2.1 Propietat.....	10
2.1.1 Emplaçament .....	10
2.1.2 Característica constructiva .....	11
2.1.3 Distribució.....	12
2.2 Condicions climatològiques .....	13
3. Càlcul de la càrrega tèrmica.....	13
3.1 Normativa i reglamentació.....	13
3.2 Classificació dels espais.....	14
3.3 Condicions per el càlcul de la càrrega tèrmica de calefacció .....	14
3.4 Càlcul de les carregues tèrmiques de calefacció .....	14
4. Càlcul del sistema geotèrmic.....	15
4.1 Definició.....	15
4.2 Avantatges i inconvenients.....	15
4.3 Principi de funcionament .....	16
4.4 Configuració de les sondes .....	17
4.5 Selecció de la bomba geotèrmica de calor.....	17
4.6 Característiques del terreny .....	18
4.7 Selecció del líquid caloportador.....	18
4.8 Càlcul del diàmetre dels tubs .....	19
4.9 Temperatura de la terra.....	20
4.10 Temperatura màxima i mínima d'entrada del fluid a la BCG .....	22
4.11 Resistència tèrmica dels tubs.....	23
4.12 Factor d'utilització.....	24
4.13 Resistència tèrmica del terreny .....	24
4.14 Longitud de l'intercanviador.....	25
4.15 Esquema del sistema geotèrmic .....	26
5. Descripció del terra radiant.....	26
5.1 Definició.....	26
5.2 Avantatge i inconvenients.....	27
5.3 Càlcul del sistema radiant .....	27
5.3.1 Condicions de càlcul.....	27
5.3.2 Longitud dels circuits .....	28
5.3.3 Càlcul de la temperatura superficial del terra i impulsió aigua.....	30
5.3.4 Cabal dels circuits de calefacció .....	31
5.3.5 Diàmetre dels tubs pel terra radiant .....	31
5.3.6 Pèrdua de càrrega.....	31
5.3.7 Esquema del sistema .....	32
6. Necessitat d'aigua sanitària.....	32
7. Estudi de la viabilitat tècnica i econòmica de la instal·lació de BCG .....	33

7.1 Comparació amb un altre sistema de calefacció .....	33
8 . Conclusió.....	36
9 Bibliografia.....	37

## **ANNEX A. CÀLCUL DE LES CÀRREGUES TÈRMiques DE L'HABITATGE**

A.1 Normativa i reglamentació .....	39
A.2 Caracterització i quantificació de les exigències .....	40
A.2.1 Demanda energètica.....	40
A.2.1.1 Zona climàtica.....	40
A.2.1.2 Classificació dels tancaments .....	40
A.2.1.3 Classificació dels espais .....	42
A.2.2 Justificació dels paràmetres límits .....	42
A.3 Càlcul de la càrrega tèrmica de calefacció.....	49
A.3.1 Condicions climàtiques externes.....	49
A.3.2 Càlcul de la càrrega tèrmica dels elements constructius .....	50
A.3.3 Càlculs de la càrrega tèrmica degut a la ventilació .....	56
A.3.4 Càrregues tèrmiques totals .....	57

## **ANNEX B. DISSENY DE L'INTERCANVIADOR DE CALOR GEOTÈRMIC**

B.1 Selecció de la bomba de calor geotèrmica .....	59
B.10. Factor d'utilització .....	68
B.11 Longitud del intercanviador .....	70
B.12. Pèrdua de carrega en el circuit geotèrmic.....	70
B.2 Característiques tèrmiques del terreny .....	59
B.3 Selecció del líquid anticongelant.....	60
B.4 Elecció del sistema de captació .....	61
B.5 Càlcul del diàmetre .....	62
B.6 Temperatura de la terra .....	64
B.7 Temperatura màxima i mínima d'entrada del fluid a la bomba de calor .....	65
B.8 Resistència tèrmica dels tubs caloportadors.....	66
B.9 Càlcul de la resistència tèrmica del terreny.....	67

## **ANNEX C. DISSENY DEL TERRA RADIANT**

C.1 Càlcul de la longitud dels circuits terra radiant.....	73
C.2 Temperatura mitjana superficial.....	74
C.3. Temperatura màxima de l'aigua del circuit de calefacció.....	75
C.4. Cabal en els circuits.....	77
C.5 Càlcul de pèrdua de càrrega en els circuits de calefacció .....	78
C.5.1 Pèrdues primàries.....	78

## **ANNEX D. NECESSITAT D'AIGUA CALENTA SANITÀRIA**

D.1 Normativa ACS .....	82
D.2 Càlcul demanda ACS .....	83

## **ANNEX E. VIABILITAT RESPECTE ALTRES SISTEMES**

E.1 Paràmetres de contorn.....	86
E.2 La necessitat tèrmica anual serà la següent.....	86
E.3 Comparació amb altres sistemes.....	87
E.3.1 Sistema per caldera de gasoil C .....	89
E.4 Conclusió .....	90

## **ANNEX F . PPRESSUPOST ORIENTATIU**

F.1 Pressupost orientatiu de la instal·lació de BCG .....	92
F.2 Pressupost orientatiu de la instal·lació de caldera gasoil C .....	97

## **ANNEX G.ESQUEMES**

## **ANNEX H. VALIDACIÓ DELS CÀLCULS AMB PROGRAMA CYPECAD**

## SUMARI D'IMATGES I TAULES

### Memòria

Figura 1 Localització de la població.....	10
Figura 2 Augment de T°C amb la profunditat .....	15
Figura 3 Variació de la temperatura al llarg de l'any .....	16
Figura 4 Disposició vertical de les sondes .....	18
Figura 5 Pou geotèrmic .....	26
Figura 6 Temperatures límit del terra .....	27
Figura 7 Gràfic de costos dels dos sistemes.....	35
Taula 1 Distribució de l'habitatge.....	12
Taula 2 Característiques de la BCG.....	17
Taula 3 Diàmetre de la canonada.....	20
Taula 4 Paràmetres característics del terreny.....	21
Taula 5 Valors de la temperatura del subsòl.....	21
Taula 6 Dades físiques dels tubs.....	23
Taula 7 Resistència tèrmica del terreny .....	25
Taula 8 Dades del disseny per l'intercanviador soterrat.....	25
Taula 9 Longituds dels circuits de calefacció.....	29
Taula 10 Taula justificació de la temperatura d'impulsió .....	30
Taula 11 Costos de la instal·lació de BCG.....	33
Taula 12 Costos de la caldera gasoil C.....	33
Taula 13 Despeses anuals de calefacció i ACS.....	33
Taula 14 Taula de característiques instal·lacions .....	34
Taula 15 Amortització de la BCG .....	34
Equació 1 .....	19
Equació 2 .....	20
Equació 3 .....	20
Equació 4 .....	20
Equació 5 .....	21
Equació 6 .....	22
Equació 7 .....	23
Equació 8 .....	24
Equació 9 .....	25
Equació 10.....	25
Equació 11.....	25
Equació 12.....	30
Equació 13.....	30
Equació 14.....	31



## **ANNEX A. CÀLCUL DE LES CÀRREGUES TÈRMiques DE L'HABITATGE**

Figura A. 1 Zones climàtiques.....	40
Figura A. 2 Orientació de façanes .....	41
Figura A. 3 Valors límit de transmissió .....	41
Figura A. 4 Transmissió particions interiors .....	42
Figura A. 5. Resistència tèrmica superficial en contacte amb l'aire.....	43
Figura A. 6 Temperatures exteriors.....	50
Figura A. 7 Índex càrrega ventilació .....	56
Taula A. 1 Justificació buits en façanes .....	39
Taula A. 2 Taula comprovació límits dels tancaments .....	49
Taula A. 3 Pèrdua tèrmica degut als tancaments.....	55
Taula A. 4 Pèrdua tèrmica degut a la ventilació.....	57
Taula A. 5 Càrrega tèrmica immoble.....	57
equació A. 1.....	42
equació A. 2.....	43
equació A. 3.....	50
equació A. 4.....	51
equació A. 5.....	51
equació A. 6.....	56

## **ANNEX B. DISSENY DE L'INTERCANVIADOR DE CALOR GEOTÈRMIC**

Figura B. 1 Característiques de la bomba de calor.....	59
Figura B. 2 Propietats del líquid caloportador .....	61
Figura B. 3 Característiques dels tubs de polietilè .....	62
Figura B. 4 Gràfic de potencia/temperatura .....	68
Taula B. 1 Taula de propietats de la BCG .....	22
Taula B. 2 Entrada/sortida BCG circuit geotèrmica.....	23
Taula B. 3 Característiques del terreny .....	59
Taula B. 4 Diàmetres de les sondes.....	63
Taula B. 5 Paràmetres del terra.....	65
Taula B. 6 Valors de la temperatura del sol .....	65
Taula B. 7 Taula de propietats de la BCG .....	66
Taula B. 8 Entrada/sortida BCG circuit geotèrmica.....	66
Taula B. 9 Dades físiques dels tubs .....	66
Taula B. 10 Resistència tèrmica del terreny.....	67
Taula B. 11 Taula horària de temperatures gener .....	69
Taula B. 12 Hores de funcionament de la BCG.....	69

Taula B. 13 Factor de funcionament .....	69
Taula B. 14 Paràmetres per el càlcul de la longitud de les sondes geotèrmiques .....	70
Taula B. 15 Taula valors característics circuit geotèrmic .....	70
Taula B. 16 Taula de pèrdua de carrega en el circuit de geotèrmia.....	71

### **ANNEX C. DISSENY DEL TERRA RADIANT**

Figura C. 1 Temperatura límit solera.....	74
---	----

Taula C. 1 Longituds dels circuits de calefacció.....	73
Taula C. 2 Taula de temperatures superficials .....	75
Taula C. 3 Taula valors dels materials .....	76
Taula C. 4 Taula de temperatures del fluid .....	76
Taula C. 5 Taula de velocitats del fluid.....	77
Taula C. 6 Pèrdua de càrrega en els circuits de calefacció .....	79
Taula C. 7 Taula de pèrdues canonades de distribució .....	80

equació C. 1 .....	73
equació C. 2 .....	74
equació C. 3 .....	75
equació C. 4 .....	75
equació C. 5 .....	77
equació C. 6 .....	78
equació C. 7 .....	78
equació C. 8 .....	79
equació C. 9 .....	79
equació C. 10 .....	80

### **ANNEX D. NECESSITAT D'AIGUA CALENTA SANITÀRIA**

Figura D. 1 Demanda ACS.....	82
------------------------------	----

Taula D. 1 Energia destinada a ACS proporcionat per BCG.....	83
Taula D. 2 Energia addicional ACS proporcionat per resistència elèctrica.....	84

equació D. 1.....	83
-------------------	----

### **ANNEX E. VIABILITAT RESPECTE ALTRES SISTEMES**

Figura E. 1 Gràfic de costos dels dos sistemes.....	88
Taula E. 1 Necessitat energètica de calefacció .....	86
Taula E. 2 Despeses anuals de calefacció i ACS.....	87
Taula E. 3 Taula de característiques instal·lacions .....	87
Taula E. 4 Amortització de la BCG .....	88
Taula E. 5 Característiques de la caldera de gasoil .....	89
Taula E. 6 Preu unitari kWh BCG i escalfador elèctric.....	89
equació E. 1 .....	86
equació E. 2 .....	89
equació E. 3 .....	89

# **1 . Introducció**

## **1.1 Antecedents**

La política energètica actual prima de forma especial l'eficiència energètica, no només en els àmbits industrials o d'infraestructures de transport, sinó també en l'àmbit de l'edificació, segons la directiva europea 2010/31/UE sobre l'eficiència energètica en edificis.

Aquesta directiva recomana l'ús de certes tecnologies d'alta eficiència, com podrien ser les bombes de calor, siguin o no geotèrmiques. De manera que intenta incrementar la seguretat de subministrament energètic, minimitzant la dependència de l'exterior i reduint els costos de facturació energètica, d'acord amb el medi ambient.

### **1.1.1 Peticionari**

L'estudi es realitza degut a una petició del la família V.C. tenint un habitatge unifamiliar situat al carrer Ronda del Pintor Mombrú en la localitat de Seva comarca d'Osona i província de Barcelona.

### **1.1.2 Necessitat del peticionari**

La necessitat del peticionari és d'una instal·lació de calefacció, utilitzant una energia renovable per un habitatge d'una sola planta de 190 metres quadrats.

La motivació del peticionari és degut a la voluntat de la implantació d'una tecnologia que permeti respondre a les noves normatives, com a la necessitat actual de fer ús de les energies renovables per una reducció de les emissions de contaminants en el medi ambient.

## **1.2 Objecte**

L'objectiu d'aquest treball és analitzar la viabilitat d'emprar una bomba de calor geotèrmica per a la climatització integral d'una habitatge unifamiliar.

Aquest anàlisi inclourà la possibilitat, o no, que la bomba de calor treballi amb un sistema geotèrmic de superfície.

Per tal de complir amb els requeriments del Codi Tècnic de l'Edificació (CTE d'ara endavant) en matèria d'eficiència energètica, la font que s'estudiarà serà una captació d'energia geotèrmica de baixa temperatura.

En el disseny de la calefacció s'utilitzarà una instal·lació per terra radiant. La decisió es pren degut a que és un sistema que ens proporcionarà un confort òptim, així com un gran rendiment de la bomba de calor.

### 1.3 Especificacions i abast

L'abast de l'estudi inclourà el càlcul de càrregues tèrmiques de l'habitatge, el dimensionament de la bomba de calor, el dimensionament de l'intercanviador geotèrmic de superfície, l'anàlisi del COP de la bomba de calor i l'anàlisi econòmic aproximat del cost de la instal·lació geotèrmica i la seva rendibilitat.

El projecte inclourà:

- L'estudi de les necessitats energètiques segons la situació geològica, l'orientació i les característiques constructives de l'habitatge.
- La definició tècnica del sistema geotèrmic emprat
- La definició tècnica del sistema de bomba de calor
- La definició i el compliment dels sistemes de climatització especificats
- L'estudi i el rendiment econòmic
- El pressupost aproximat de la instal·lació

## 2 Descripció de l'habitatge

### 2.1 Propietat

La propietat és de M.V.C, amb el domicili al carrer Ronda del Pintor Mombrú en la localitat de Seva número 13.

#### 2.1.1 Emplaçament

L'edifici està situat en el carrer Ronda del Pintor Mombrú número 13 en la localitat de Seva província Barcelona.



Figura 1 Localització de la població

### **2.1.2 Característica constructiva**

L'edificació és resol amb cimentació de formigó convencional armat sota blocs de formigó prefabricat fins als diferents nivells de forjat sanitari. El forjat sanitari esta format per llosa de formigó amb barrera antivapor i espuma aïllant.

La coberta de tots els espais es realitza mitjançant cobertes planes mitjançant el sistema de cobertes invertides aïllades impermeabilitzades i acabades amb grava.

Les façanes estan compostes per paret de bloc de formigó de 15cm de gruix, amb 5 cm d'aïllament tèrmic i full exterior de obra vista de 15cm.

La fusteria exterior és d'alumini amb vidre Climalit.

### 2.1.3 Distribució

La distribució de la superfície útil de l'habitatge serà la següent:

Local	Àrea (m <sup>2</sup> )	Alçada (m)
Hab 1	15,31	2,50
Hab 2	10,54	2,50
Hab 3	10,54	2,50
Bany 1	4,37	2,30
Vestidor 1	9,55	2,30
Bany 2	6,40	2,30
Safareig	5,94	2,30
Bany3	3,30	2,50
Hab 4	10,54	2,50
Pas 1	17,24	2,50
Pas 2	2,22	2,50
Sala	33,32	3,16
Rebedor	5,07	3,16
Menjador	25,08	2,66
Cuina	30,77	3,37
	<b>190,19</b>	

Taula 1 Distribució de l'habitatge

## 2.2 Condicions climatològiques

En el càlcul de la càrrega tèrmica necessària per assegurar el benestar dins de l'habitatge necessitem les dades climatològiques exteriors (Imatge A.6 Taula de temperatures , Annex A). Aquestes són extretes del document "*Guia Tècnica, Condiciones climaticas exteriores de proyectos*" publicat per l'IDAE.

Com que no disposem de les dades específiques de l'emplaçament, es decideix prendre les dades de l'estació meteorològica de Fabra Barcelona, que és la més semblant en alçada i rang de temperatures a la població de l'estudi.

## 3 Càlcul de la càrrega tèrmica

Per poder dimensionar la instal·lació de calefacció necessitem calcular la quantitat d'energia que hem d'aportar a l'immoble per mantenir unes condicions òptimes per als ocupants.

En aquest capítol es troben resumits els procediments de càlcul i els criteris a seguir per a l'obtenció de la quantitat de calor que necessitem.

### 3.1 Normativa i reglamentació

La demanda energètica en els edificis es limita en funció del clima de la localitat en la que s'ubica, en funció dels tancaments, la taxa de ventilació i la consigna de temperatura desitjada en el local.

Per realitzar el càlcul de les necessitats tèrmiques de l'habitatge ens valem del Codi Tècnic de l'Edificació (CTE), principalment el Document Bàsic d'Estalvi d'Energia (DB-HE). Aquest document és divideix en cinc exigències bàsiques. El primer d'aquets apartats, (HE-1 limitació de la demanda energètica) serà del nostre interès. Per tant l'aplicarem per calcular les càrregues tèrmiques de l'habitatge.

En aquest document seguirem les pautes de la versió simplificada que el document ens proporciona.



### **3.2 Classificació dels espais**

Segons el document HE1 els espais es classifiquen en habitables i no habitables. A efectes de càlculs de la demanda energètica, els espais habitables es classifiquen en funció de la quantitat de calor dissipada en el seu interior, degut a la activitat realitzada i el temps d'utilització de cada espai.

En l'estudi classificarem com a espai no habitable el pàrquing.

Els espais habitables seran la resta de recinte. Al ser un habitatge familiar dedicat a residir-hi de manera permanent els espais els considerem de càrrega interna baixa.

### **3.3 Condicions per el càlcul de la càrrega tèrmica de calefacció**

Les condicions climàtiques exteriors s'obtenen del document Guia tècnica de condicions climatològiques exteriors, publicada per IDAE.

- Temperatura màxima de 38.4°C
- Temperatura mínima -4.7°C
- Temperatura mínima percentil 99.6 de 0.7°C. aquesta temperatura assegura el 99.6 de les hores d'hivern.

### **3.4 Càlcul de les carregues tèrmiques de calefacció**

Per al càlcul es fixa la temperatura interior de 21°C a tots els recintes. Es té en compte la càrrega tèrmica a través dels tancaments (càrrega sensible), i la càrrega tèrmica degut a la ventilació (càrrega latent).

No es comptabilitzen les càrregues latents per ocupació, ni la aportada per els aparells com poden ser: il·luminació, nevera, fogons, etc. Entenem això com a càrregues no constants i per tenir un caràcter més conservatiu a l'hora de realitzar els càlculs.

## 4 Càlcul del sistema geotèrmic

### 4.1 Definició

Se sap que l'interior de la Terra està calent i que a mesura que aprofundim trobem temperatures cada vegada més altes. El gradient geotèrmic observat al llarg del planeta, és de uns 2.5-3°C per cada 100 metres. Però en alguns casos molt particulars aquest comportament canvia i trobem altes temperatures a molt baixes profunditats. Aquests casos es solen situar sobre àrees geològicament actives. Els sistemes de captació geotèrmics utilitzen aquest avantatge per a crear un flux de calor.

Quan es parla de l'aprofitament geotèrmic, és necessari diferenciar els rangs de temperatura (o el potencial d'entalpia) dels diferents jaciments. De molt alta entalpia (més de 150°C), de mitjana entalpia (entre 100 i 150°C) i finalment la de baixa entalpia (50-100°C ús directe i 25-50°C bomba de calor geotèrmica).

Com que en el cas d'estudi no tenim jaciment d'alta ni de mitjana entalpia, treballarem amb un jaciment de baixa entalpia, que necessita una bomba de calor geotèrmica (BCG) per poder aprofitar aquesta energia.

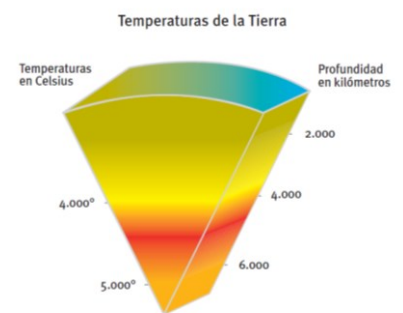


Figura 2 Augment de T°C amb la profunditat

### 4.2 Avantatges i inconvenients

Els avantatges de l'energia geotèrmica són varis:

- És una energia que el seu índex de contaminació és molt baix respecte a altres sistemes de calefacció que poden ser de carburants o energia elèctrica.
- Té un alt rendiment potència entregada respecte al consum, en general es produeix entre un 200 i 400% més energia calorífica/frigorífica que la consumida.
- L'energia geotèrmica no depèn del clima i tampoc d'altres factors exteriors incontrolables, com poden ser proveïdors, guerres o encariments de la matèria primera de calefacció.

Entre els convenients trobarem:

- La instal·lació per BCG necessita d'una gran inversió inicial respecte a altres sistemes de calefacció (com serien caldera de carburants, radiadors elèctrics, bomba de calor...).
- No tots els immobles disposen del terreny necessari per poder fer una instal·lació d'aquest tipus (tot i que si es vol fer, es poden incloure en la cimentació o fer els pous abans de construir l'edifici).

### 4.3 Principi de funcionament

Existeixen dos tipus de sistema de captació per bomba de calor: els de circuit obert que aprofiten una massa d'aigua (aquífers, llacs, rius), o els sistemes tancats que utilitzen sondes per les quals s'hi fa circular un fluid caloportador que és l'encarregat de transferir l'energia del sol a la BCG.

El sistema de baixa entalpia amb bomba de calor es basa en la capacitat del subsòl en mantenir la seva temperatura constant a partir de certa profunditat. En la Figura 3 Variació de la temperatura al llarg de l'any (IDAE, *Diseño de sistemas de bomba de calor geotermica*), veiem que a partir dels 10 m la variació de temperatura és insignificant al llarg de l'any (on la corba dels 10m la que segueix la trajectòria més rectilínia)

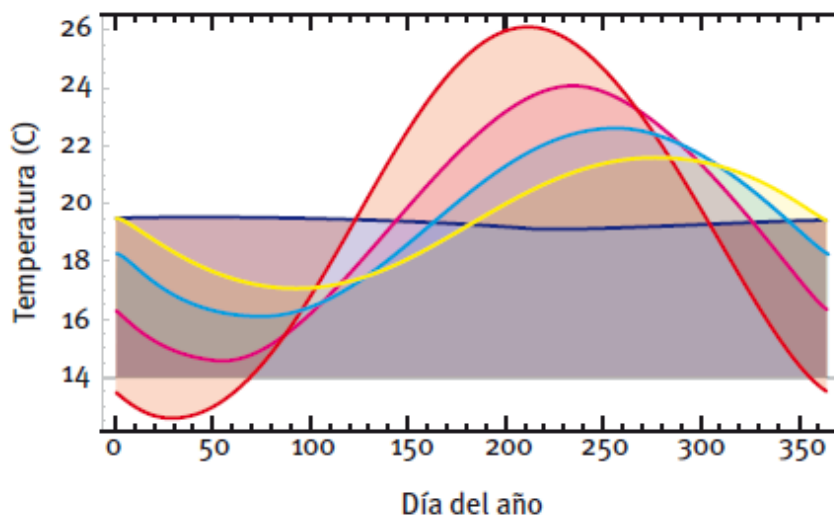


Figura 3 Variació de la temperatura al llarg de l'any

Aquesta invariabilitat de la temperatura es deu a la calor proporcionada per el constant flux des de l'interior de la Terra que es dissipa cap a les capes més superficials.

## 4.4 Configuració de les sondes

Hi ha dos tipus de col·locació de les sondes geotèrmiques:

- Intercanviadors horitzontals que consisteixen en una sèrie de tubs disposats de manera horitzontal a poca profunditat (entre 1 i 2 metres).
- Intercanviadors verticals, consisteixen en una sèrie de perforacions (entre 10 i 250m, tot hi que el més habitual és entre 50 i 100 m), en les quals s'introdueixen els tubs pel qual farem circular un fluid de transport.

En el nostre estudi per falta d'espai utilitzarem el sistema vertical amb sondes simples (un tub per cada perforació, anada i tornada)

## 4.5 Selecció de la bomba geotèrmica de calor

En general, una bomba de calor és una màquina que transfereix calor d'un focus fred a un focus calent utilitzant una quantitat de treball relativament petita. Per tant l'avantatge d'aquest sistema és la capacitat d'aprofitar una energia existent en l'ambient.

Per complir amb la demanda de la càrrega geotèrmica de l'immoble (12.5 KW) necessitem una bomba que ens doni com a mínim aquesta potència. Per qüestions de dimensionament i per possibles ampliacions de la demanda potència (com per exemple climatització de recintes posteriors, la piscina...) optem per una bomba de calor Geotherm VWS 141/2 de potència nominal 16.1 kW i un coeficient de rendiment (COP) de 4.7 (o equivalent), molt superior a altres sistemes de calefacció.

A continuació exposarem les principals característiques:

P calorífica (kW)	Consum elèctric (kW)	COP
16.1	3.4	4.7

Taula 2 Característiques de la BCG

Per tenir una descripció més detallada es pot consultar la taula de característiques completa en la secció B.1 de l'Annex B.

## 4.6 Característiques del terreny

Per al disseny de l'intercanviador de calor soterrat necessitem conèixer les característiques del terreny, ja que la seva conductivitat ens condicionarà la dimensió de la instal·lació.

La conductivitat tèrmica és la capacitat d'un material per conduir la calor. S'expressa segons la llei de Fourier com la calor que travessa un metre de material a conseqüència del gradient equivalent a un grau entre els seus extrems. L'expressarem en  $W/m^{\circ}C$ .

Per a conèixer la conductivitat del terreny el més adequat és fer un estudi d'aquest, realitzant un test de resposta tèrmica (Thermal Response Test TRT). En el cas de l'estudi ens guiarem per la composició del material i el seu contingut en aigua.

El tipus de terreny en la finca és roca sedimentària calcària, de la qual s'exposarà les característiques a continuació:

$\lambda$ (W/m·K)	$\alpha$ (m <sup>2</sup> /s)	C (J/kg·K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )
2.8	$6.06 \cdot 10^{-7}$	2100	2200

## 4.7 Selecció del líquid caloportador

Com a sistema de transport de l'energia tèrmica els sistemes per bomba de calor geotèrmics amb circuit tancat, necessita un líquid caloportador, que com el seu nom indica transporta l'energia de subsòl a la bomba de calor.

En la majoria dels casos s'utilitza aigua o si les temperatures són extremes aigua amb anticongelant.

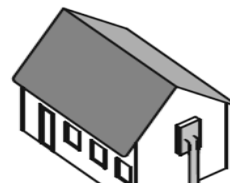
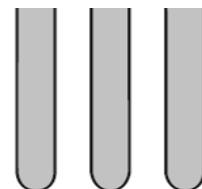


Figura 4 Disposició vertical de les sondes



En l'elecció d'aquesta part del sistema hem de tenir en compte diferents paràmetres:

- Característiques de transferència de calor (calor específic), com més alt, major quantitat de calor per unitat de volum podrà transportar.
- Punt de congelació: si es preveu en el disseny que l'intercanviador es pot congelar (elevat funcionament de calefacció i baixes temperatures del terreny), caiguda de pressió, toxicitat, inflamabilitat i cost.

El fluid seleccionat en l'intercanviador de l'estudi és aigua destil·lada amb un 20% de metanol, amb un punt de congelació a  $-15^{\circ}\text{C}$ . Tot i que el metanol baixa la capacitat calorífica de l'aigua així assegurem un bon funcionament a baixes temperatures (les característiques del fluid es poden consultar en la secció B.3 de l'Annex B)

## 4.8 Càlcul del diàmetre dels tubs

En el dimensionament de la secció a l'intercanviador s'ha d'arribar a un compromís entre la caiguda de pressió i el funcionament tèrmic. Ha de ser suficientment gran per tenir una caiguda de pressió baixa, però ens ha d'assegurar un règim turbulent per una bona transferència de calor entre el fluid i el tub.

Per el càlcul del règim turbulent utilitzarem l'Equació 1:

$$Re = \frac{4 \cdot q}{\pi \cdot \vartheta \cdot D} > 2300$$

Equació 1

On:

Re : número de Reynolds

Q : caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$\vartheta$  : viscositat cinemàtica ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

D : diàmetre de la canonada (m)

La condició del règim turbulent ve donada pel número de Reynolds que ha de ser superior a 2.300.

Per calcular la viscositat cinemàtica ens valem de l'Equació 2.

$$\vartheta = \frac{\mu}{\rho}$$

Equació 2

On:

$\mu$  : viscositat dinàmica (Pa/s)

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

Emprant l'Equació 2 i les característiques del fluid, de viscositat dinàmica de  $9.52 \cdot 10^{-4}$  (Pa/s) i densitat específica de 949 (kg/m<sup>3</sup>), s'obté el valor de  $1 \cdot 10^{-6}$  (m<sup>2</sup>/s)

Aplicant l'Equació 1 a diferents diàmetres, es decideix utilitzar una canonada de polietilè d'alta densitat amb un diàmetre interior de 44mm.

Re	D (m)	D mm	V (m/s)
12069,287	0,060	60,000	0,328
16458,119	0,044	44,000	0,609
18103,931	0,040	40,000	0,737

Taula 3 Diàmetre de la canonada

Complim la condició de turbulència ja que el número el Reynolds és molt superior al mínim.

Triarem el polietilè d'alta densitat per el seu ideal comportament a altes temperatures.

## 4.9 Temperatura de la terra

Per el càlcul de la diferència de temperatura al llarg del període d'estudi ens valem de l'Equació 3 i l'Equació 4, extreta del document "Diseño de bombas de calor geotèrmica", publicat per l'IDAE.

$$Th = Tm + As * e^{-Xs * \sqrt{\frac{\pi}{\alpha}}}$$

Equació 3

$$Tl = Tm - As * e^{-Xs * \sqrt{\frac{\pi}{\alpha}}}$$

Equació 4

On:

$T(h)$  : temperatura màxima ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T(l)$  : temperatura mínima ( $^{\circ}\text{C}$ )

$X_s$  : profunditat de l'estudi (cm)

$T_m$  : temperatura mitjana anual del subsòl ( $^{\circ}\text{C}$ )

$A_s$  : oscil·lació de temperatura

$\alpha$  : difusivitat tèrmica del terreny. ( $\text{cm}^2/\text{any}$ )

La temperatura mitjana anual del subsòl la calculem amb les dades de la Imatge A.6 de l'Annex A. (on mitjançant l'Equació 5, calcula la temperatura a 20 cm).

$$T_{\text{terra}} = 0.00684 * TA^2 + 0.963 * TA + 0.6865$$

Equació 5

$T_m$  és de  $15.45^{\circ}\text{C}$ ; la  $A_s$  és la mitjana entre  $38.4$  màxima i  $-4.7$  mínima; el coeficient de difusió tèrmica del terreny.

Les dades es resumeixen en Taula 4 Paràmetres característics del terreny

$A_s$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_m$	$\alpha$ ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	$X_s$ (m)
16.85	15.45	$0.606 \cdot 10^{-6}$	5000

Taula 4 Paràmetres característics del terreny

Utilitzant l'Equació 3 i l'Equació 4 identifiquem la temperatura màxima i mínima a una profunditat de 10, 50 i 100 metres. Taula amb els resultats de invariància de la temperatura amb la profunditat:

Profunditat	$T_h$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_l$ ( $^{\circ}\text{C}$ )
1000	20,125	10,775
2000	16,747	14,153
3000	15,810	15,090
5000	15,478	15,422
10000	15,450	15,450
0	32,300	-1,400

Taula 5 Valors de la temperatura del subsòl

S'observa que la temperatura del terreny es manté constant a partir de 30 m, i agafem com a temperatura de disseny  $15.42^{\circ}\text{C}$ .



#### 4.10 Temperatura màxima i mínima d'entrada del fluid a la BCG

És un paràmetre clau per el disseny del sistema del fluid que circula per l'intercanviador enterrat. Com més baixa sigui la temperatura a l'hivern, més gran serà el gradient de temperatura entre el sol i el fluid i per tant, la dimensió de l'intercanviador serà menor. Com més alta sigui la temperatura a l'hivern el COP del sistema serà major, per tant major serà l'estalvi energètic.

Per el càlcul ens valem de la Temperatura de sortida del fluid, Equació 6 ( mode de calefacció):

$$T_{sortida} = T_{entrada} - \frac{1000 * P_c * \frac{COP - 1}{COP}}{C_p * \left(\frac{Q}{3600}\right)}$$

Equació 6

On:

P<sub>c</sub> : potència de la bomba de calor geotèrmica (KW)

COP : índex de rendiment

Q : caudal (l/h)

C<sub>p</sub> : calor específic del fluid ( J/kg·K)

Taula B.1 Taula de propietats la BCG:

P <sub>c</sub> (Kw)	COP	Q (l/h)	Rang Temp (°C)	C <sub>p</sub> ( KJ/Kg·k)
16,100	4,700	3334,000	-10 20	3858,000

Taula B. 1 Taula de propietats de la BCG

Taula de temperatures a l'entrada i sortida de la bomba de calor:

T entrada	T sortida	Tmin
-10,000	-13,547	-11,774
-5,000	-8,547	-6,774
0,000	-3,547	-1,774
5,000	1,453	3,226
10,000	6,453	8,226
12,000	8,453	10,226
14,000	10,453	12,226
16,000	12,453	14,226

Taula B. 2 Entrada/sortida BCG circuit geotèrmica

La temperatura d'entrada a la bomba de calor geotèrmica serà de -5°C. Com que el circuit només serveix per el mode de calefacció podem escollir la temperatura mínima que ens permet la bomba. Això es traduirà en un dimensionament reduït de l'intercanviador.

#### 4.11 Resistència tèrmica dels tubs

Càlcul de la resistència tèrmica dels tubs caloportadors

$$R_p = \frac{1}{2 * \pi * k_p} * \ln\left(\frac{D_0}{D_1}\right)$$

Equació 7

On:

R<sub>p</sub> : resistència tèrmica (mK/W)

K<sub>p</sub> : conductivitat tèrmica material tub ( W/mK)

De/Di : diàmetre exterior / interior del tub ( m)

K <sub>p</sub> (W/mK)	De (m)	Di (m)
0.48	0.05	0.044

Taula 6 Dades físiques dels tubs

Per tant aplicant Equació 7, trobarem una resistència tèrmica dels tubs de 0.04238 mK/W

## 4.12 Factor d'utilització

El factor d'utilització representa la fracció de temps de treball de la bomba de calor i per tant el temps estacional de la instal·lació. És un factor molt important en el disseny del sistema ja que determina la quantitat de calor que aquest ha d'extreure del terreny durant l'any.

Una manera de calcular aquest paràmetre és assumir que la funció de la temperatura és una funció lineal de l'aire exterior. De tal manera que tan sols es necessita la càrrega calorífica per dos valors de temperatura. També podem assumir que a partir dels 16°C no es necessita càrrega de calefacció.

Aquest factor es calcula tenint en compte la temperatura exterior i el temps d'aquesta al llarg del període estudiat. Amb aquestes dades i la potencia en cada cas, obtindrem les hores de funcionament. Finalment es fa la relació d'hores de treball de la bomba respecte les hores totals del període a estudiar i es treu el factor de funcionament.

En aquest cas agafarem el mes de gener per fer l'estudi. Segons les temperatures exteriors la BCG haurà de treballar durant 348.9 hores. Això es tradueix en un factor de funcionament de 0.46.

## 4.13 Resistència tèrmica del terreny

El càlcul de la resistència tèrmica dels intercanviadors és una de les parts més delicades del procés de disseny d'una instal·lació amb bomba geotèrmica ja que ens condicionarà la longitud de les sondes en l'intercanviador.

La resistència tèrmica d'aquest depèn de: tipus de tub, tipus del terreny, la configuració del intercanviador de calor i el temps de funcionament d'aquest.

L'expressió per el seu càlcul és la següent:

$$R_s = \frac{E(x)}{4 * \pi * \lambda}$$

Equació 8

On:

$R_s$  : resistència tèrmica del terreny (

$\lambda$  : conductivitat tèrmica del terreny ( W/m·K)

$r$  : radi exterior de la canonada (m)

$\alpha$  : difusivitat tèrmica del terreny (m<sup>2</sup>/s)

$t$  : temps de utilització del l'intercanviador (s)

$E_i$  : funció integral exponencial B.9.2

$$E(x) = -\gamma - \ln x$$

Equació 9

On:

$\gamma$  : 0.577215664 ( constant d'Euler)

$$x = \frac{r^2}{4 * \alpha * t}$$

Equació 10

Aplicant les equacions anteriors. obtenim la resistència del terreny (Taula 7 Resistència tèrmica del terreny), on el temps és el temps de funcionament de la instal·lació (la taula B.11 Factor d'utilització).

x	$E_i$	$\lambda$ (W/m·K)	A (m <sup>2</sup> /s)	r (m)	t (s)	$R_s$ (m·K/W)
1,95E-04	7,96E+00	2,8	6,06E-07	0,025	1321200	<b>0,22635</b>

Taula 7 Resistència tèrmica del terreny

#### 4.14 Longitud de l'intercanviador

Amb els valors anteriors es calcula la longitud de les sondes geotèrmiques segons la Equació 11

$$L_{cal} = \frac{Q_{cal} * \frac{COP - 1}{COP} * (R_p + R_s * F_{cal})}{T_l - T_{min}}$$

Equació 11

$R_p$	$R_s$	Cop	$Q_{cal}$	$T_l$	$T_{min}$	$F_{cal}$
0,04238	0,226	4,700	16100	15,422	3.226	0,469

Taula 8 Dades del disseny per l'intercanviador soterrat

Finalment s'hauran d'instal·lar un circuit de 154 metres.

## 4.15 Esquema del sistema geotèrmic

Finalment podem fer un petit resum del que consistirà el sistema geotèrmic i com s'haurà d'instal·lar.

El de calefacció amb sistema geotèrmic consistirà d'una bomba de calor geotèrmica (Geotherm VWS 141/2 de potència nominal 16.1 kW i un coeficient de rendiment (COP) de 4.7 o equivalent) que serà l'encarregada de transferir l'energia que proporciona el focus fred (subsòl) cap al focus calent (habitatge).

Aquesta energia serà captada per el fluid caloportador (aigua destil·lada amb un 20% de metanol) que circula per les sondes de polietilè d'alta densitat (necessitarem 2 sondes). Aquestes sondes seran introduïdes fins a una profunditat de 80 metres i es segellarà amb una capa de morter preparat de bentonita i ciment. Això servirà per garantir una bona transferència de calor i com a aïllament contra els fluxos d'aigua.

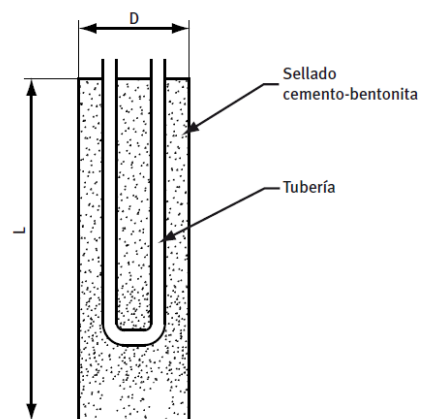


Figura 5 Pou geotèrmic

## 5 Descripció del terra radiant

### 5.1 Definició

El sistema per terra radiant consisteix en controlar la temperatura d'un recinte mitjançant un fluid que circula per una sèrie de xarxes col·locades en el paviment del recinte.

En aquest cas la calefacció radiant utilitza l'aigua calenta com a mitjà de transport. Aquesta es fa passar per una sèrie de serpentins col·locats en el morter del paviment de l'habitació. Amb això aconseguim que la calor passi dels tubs al paviment que s'escalfa de manera uniforme.

### 5.2 Avantatge i inconvenients

Els principal avantatges:

- Es disposa d'una gran àrea de superfície emissora de calor, cosa que permet baixes temperatures.

- Sensació tèrmica de benestar. Amb els peus tebis i el cap fred s'aconsegueix una sensació tèrmica ideal.
- Baixa temperatura de treball.
- Avantatges estètics i higiènics: al tenir tot el sistema soterrat no tenim elements a la vista i s'evita l'acumulació de pols (excepte armaris de col·lectors, que es poden situar en punts estratègics).

Inconvenients:

- El principal inconvenient és el seu elevat preu inicial respecte altres sistemes.
- Fuites incontrolables: si hi ha una fuga en el circuit es difícil de detectar si és petita, ja que s'haurà d'aixecar tot el terra per focalitzar-la i reparar-la.

## 5.3 Càlcul del sistema radiant

### 5.3.1 Condicions de càlcul

La temperatura mitjana superficial del terra vindrà determinada per diferents paràmetres. No es recomana que sobrepassi els límits marcats per la norma UNE-EN 1264 ja que podria ser perjudicial per el sistema circulatori dels ocupants que passen moltes hores damunt la instal·lació.

1. Zona alejada	35°C	2. Zona de estar	29°C
3. Cocina	29°C	4. Sala de juegos	27°C
5. Baño	33°C	6. Sala de estudio	29°C
7. Piscina	30°C		

Figura 6 Temperatures límit del terra

Per el càlcul del terra radiant les temperatures interiors dels banys/lavabos les fixem a 19°C (degut a la curta ocupació de l'espai) i la resta dels recintes a 21°C per una millor sensació tèrmica.

### 5.3.2 Longitud dels circuits

Per a un bon equilibri hidràulic intentarem que els circuits tinguin la mateixa longitud.

Per aconseguir-ho farem de la manera següent:

- Bany 1 i Vestidor 1, els unirem en un sol circuit.

- La sala d'estar i la cuina al tenir una gran superfície de calefacció els repartirem en 3 circuits independents.
- En el menjador crearem 2 circuits.
- El safareig tot hi havent calculat la càrrega tèrmica i sent molt baixa, no hi instal·larem cap circuit de terra radiant, ja que considerem que amb les infiltracions de calor d'altres recintes es mantindrà a una temperatura confortable.

La distància entre els tubs del terra radiant la fixarem en 20 cm, excepte en el cas del bany 2, que es fixarà en 10cm.

Amb les premisses anteriors i tenint en compte la superfície de cada recinte, tenim les següents longituds de circuits i sumant 2 vegades la longitud addicional del col·lector fins al circuit tenim la taula següent:

	<b>Àrea (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Distància entre tubs</b>	<b>L addicional (m)</b>	<b>L total dels tubs (m)</b>
Hab 1	15,31	0,20	0,00	<b>76,55</b>
Hab 2	10,54	0,20	2,00	<b>56,70</b>
Hab 3	10,54	0,20	3,00	<b>58,70</b>
Bany 1	13,92	0,20	0,00	<b>69,58</b>
Vestidor 1				
Bany 2	6,40	0,10	0,00	<b>64,00</b>
Bany3	3,30	0,20	1,70	<b>19,90</b>
Hab 4	10,54	0,20	1,20	<b>55,10</b>
Pas 1	10,00	0,20	0,00	<b>50,00</b>
Pas 2	0,00			
Sala	33,32	0,20	0,00	<b>166,60</b>
S1	11,11	0,20	0,00	<b>55,53</b>
S2	11,11	0,20	0,00	<b>55,53</b>
S3	11,11	0,20	0,00	<b>55,53</b>
Rebedor	5,07	0,20	0,50	<b>26,35</b>
Menjador	25,08	0,20	0,00	<b>125,40</b>
M1	12,54	0,20	0,00	<b>62,70</b>
M2	12,54	0,20	0,00	<b>62,70</b>
Cuina	30,77	0,20	0,00	<b>153,85</b>
C1	10,26	0,20	0,00	<b>51,28</b>
C2	10,26	0,20	0,00	<b>51,28</b>
C3	10,26	0,20	0,00	<b>51,28</b>

Taula 9 Longituds dels circuits de calefacció

Per la distribució dels tubs principalment triarem un disseny d'espiral per evitar grans salts de temperatura superficial del paviment. Excepte en una part del saló, per crear una zona perifèrica d'alta càrrega tèrmica.



### 5.3.3 Càlcul de la temperatura superficial del terra i impulsió aigua

Aplicant l'Equació 12 obtenim la temperatura mitjana del paviment, on el coeficient de transmissió de calor és de 12 (W/m<sup>2</sup>·°C), que ens ve donat pel tipus de recobriment dels tubs.

$$q = \alpha * (Tms - Ti)$$

Equació 12

On:

q : càrrega tèrmica del local (W/m<sup>2</sup>)

α : coeficient de transmissió de calor ( W/m<sup>2</sup>·°C)

Tms : temperatura mitjana superficial del paviment (°C)

Ti : temperatura del fluid caloportador (°C)

Al calcular la temperatura superficial del paviment veiem que tots els recintes compleixen amb la normativa UNE EN 1264.

La major temperatura es dona en el Bany 3 (31.29°C) que serà la que ens indicarà la temperatura d'impulsió de la bomba de calor.

La temperatura d'impulsió de l'aigua de calefacció ens ve en funció de la temperatura mitjana del paviment(Tms), la càrrega de calefacció expressada en (W/m<sup>2</sup>) i el coeficient de transmissió tèrmica de la capa dels tubs.

$$q = ka * (Tmi - Tms)$$

Equació 13

Per tant, aplicant l'Equació 13 amb la temperatura superficial del terra del Bany3, un coeficient de transmissió de calor de 10.1 (W/ m<sup>2</sup>·°C) i la potència de 147.44W/m<sup>2</sup>, obtenim la temperatura d'impulsió pel terra radiant (Tmi de 46°C).

	S (m <sup>2</sup> )	q (W/m <sup>2</sup> )	Ti (°C)	Tms (°C)	Tmi (°C)
<b>Bany3</b>	3,30	147,44	19,00	31,29	45,89

Taula 10 Taula justificació de la temperatura d'impulsió

### 5.3.4 Cabal dels circuits de calefacció

La quantitat de calor per cobrir la necessitat de cada recinte vindrà cedida per l'aigua de calefacció, per tant s'ha de calcular el flux necessari per aportar aquesta energia calorífica.

El cabal necessari es calcula a partir del gradient de temperatura entre l'entrada i sortida de la bomba. Cada circuit tindrà el seu propi cabal que es regula amb vàlvules de control de pèrdua de càrrega situades al retorn. Per la obtenció del cabal ens valem de la Equació 14.

$$q = m * C_p * (\Delta t)$$

Equació 14

On:

$m$  : cabal màssic (kg/h)

$C_p$  : calor específic de l'aigua (W/kg)

$\Delta t$  : gradient de temperatura entre entrada i sortida (10°C)

$n$  : cabal volumètric (m/s)

Per satisfer les necessitats tèrmiques s'haurà d'impulsar un cabal de 0.289 l/s

### 5.3.5 Diàmetre dels tubs pel terra radiant

Haurem d'escollir el diàmetre dels tubs que formaran el circuits del terra radiant. Hem d'arribar a un equilibri entre la pèrdua de pressió i garantir un mínim de turbulències per una bona transmissió de calor.

Després de calcular diferents diàmetres es tria un tub de polietilè d'alta densitat (PE 100) de diàmetre nominal 20mm (diàmetre interior de 16 mm).

### 5.3.6 Pèrdua de càrrega

Al tenir una distribució en paral·lel, la bomba de circulació és calcularà agafant el circuit més desfavorable i el sumatori de cabals.

S'observa que la pèrdua total és de 1.21 i el cabal de 0.234 l/s, cosa que la bomba de circulació de la BCG és capaç de impulsar.

### **5.3.7 Esquema del sistema**

El circuit que acumula i distribueix l'energia tèrmica l'anomenem circuit de calefacció, que estarà format per un dipòsit d'inèrcia, canonades de distribució i col·lectors. Els col·lectors distribuiran l'aigua per els diferents circuits del terra radiant. El traçat dels circuits principalment es dissenya en forma d'espiral. El cabal dels diferents circuits vindran controlats per els capçals electromagnètics escanyant la sortida del circuit, d'aquesta manera podem controlar els diferents recintes de forma independent. El dipòsit d'expansió s'ha dissenyat per un volum mínim de dilatació, igual al 4,3 % del volum total del circuit primari de la instal·lació, segons regula el RITE i s'instal·larà preferentment en l' aspiració de la bomba circulatòria.

## **6 .Necessitat d'aigua sanitària**

Amb l'estudi inclourem que la mateixa bomba de calor geotèrmica sigui l'encarregada de proporcionar l'aigua sanitària d'una forma més eficient que altres sistemes convencionals.

El document DB-HE 4 l'apartat HE4 indica la contribució mínima d'aigua calenta sanitària (ACS) en la rehabilitació d'edificis. En l'apartat 1.1 Àmbit d'aplicació, el document determina les condicions d'aplicabilitat de l'energia solar mínima. Indiquen que la contribució solar mínima es pot reduir sí es cobreix l'aportació mitjançant altres energies renovables.

En les instal·lacions d'ACS s'ha de tenir compte els criteris higiènic-sanitaris per la prevenció i control de la legionel·losis. Aquesta bactèria prospera entre els 25 i 45 °C. Per tant haurem d'evitar que l'aigua sanitària no superi els 20°C i que el subministrament d'aigua calenta sanitària adquireixi una temperatura mínima de 60 °C per a la destrucció de la bactèria esmentada.

La demanda d'aigua sanitària es calcularà segons el document esmentat amb un cabal de 30 litres per persona i dia. S'instal·larà un escalfador acumulador ja que es necessitarà un ús addicional d'energia elèctrica per assolir la temperatura de 70°C com a prevenció contra la legionel·losis.

## 7 . Estudi de la viabilitat tècnica i econòmica de la instal·lació de BCG

El “Fondo Nacional de Eficiencia Energética y de los Presupuestos Generales del Estado” ofereix una subvenció per millores energètiques del 30% en l'àmbit de la energia geotèrmica. Per tant se li podrà aplicar al preu de la instal·lació per bomba de calor geotèrmica.

Cost instal·lació BCG	
Component	Cost
Preparació del terreny	9.113,17
Valvuleria	195,86
Sondes geotèrmiques	3.440,88
Col·lectors i canonades	1.303,58
Solució anticongelant	0,17
BCG	8.953,90
Dipòsit d'inèrcia	1.151,85
Escalfador acumulador ACS	299,74
	<b>24.459,15</b>

Taula 11 Costos de la instal·lació de BCG

Cost de la caldera de gasoil	
Component	Cost
Caldera	2.768,04
Dipòsit gasoil	1.885,79
	<b>4.653,83</b>

Taula 12 Costos de la caldera gasoil C

### 7.1 Comparació amb un altre sistema de calefacció

Comparació del sistema de BCG amb un sistema de calefacció per caldera de Gasoil C. En la següent taula expressarem les despeses generades per la bomba de calor (energia elèctrica) i la caldera de gasoil (gasoil calefacció). El mètode de càlcul el trobem en les seccions E.3.1 i E.3.2. de l'Annex E.

	Inversió (€)	Energia necessària (kW·h)	Consum (kw·h)	Preu any (€)	Consum addicional ACS	Factura Anual (€)
BCG	17132	20316	4322	561,92	283,56	<b>845,48</b>
Caldera Gasoil C	5793	20316	23086	2040,30	0,00	<b>2040,30</b>

Taula 13 Despeses anuals de calefacció i ACS

Per fer la comparació dels dos sistemes necessitem la inversió inicial, els anys de vida útil i les despeses anuals de cada sistema. Amb això podrem calcular l'amortització i la viabilitat del sistema de BCG respecte al de caldera de gasoil.

	<b>BCG</b>	<b>Caldera Gasoil C</b>
<b>Vida útil (anys)</b>	50	15
<b>Inversió</b>	17132,14	4653,18

Taula 14 Taula de característiques instal·lacions

Amb les dades de Taula 14 Taula de característiques instal·lacions Taula 13 Despeses anuals de calefacció i ACS podem calcular la viabilitat de BCG:

	<b>BCG</b>	<b>Caldera Gasoil C</b>
<b>Vida util (anys)</b>	50,00	15,00
<b>Inversió</b>	17132,14	4653,18
0,00	17132,14	4653,18
3,00	19668,59	10774,07
6,00	22205,04	16894,95
9,00	24741,49	23015,84
12,00	27277,94	29136,72
15,00	29814,38	39910,79
18,00	32350,83	46031,67
21,00	34887,28	52152,56
24,00	37423,73	58273,45
27,00	39960,18	64394,33
30,00	42496,63	75168,40
33,00	45033,07	81289,28
36,00	47569,52	87410,17
39,00	50105,97	93531,05
42,00	52642,42	99651,94
45,00	55178,87	110426,01
48,00	57715,31	116546,89
50,00	59406,28	120627,48

Taula 15 Amortització de la BCG

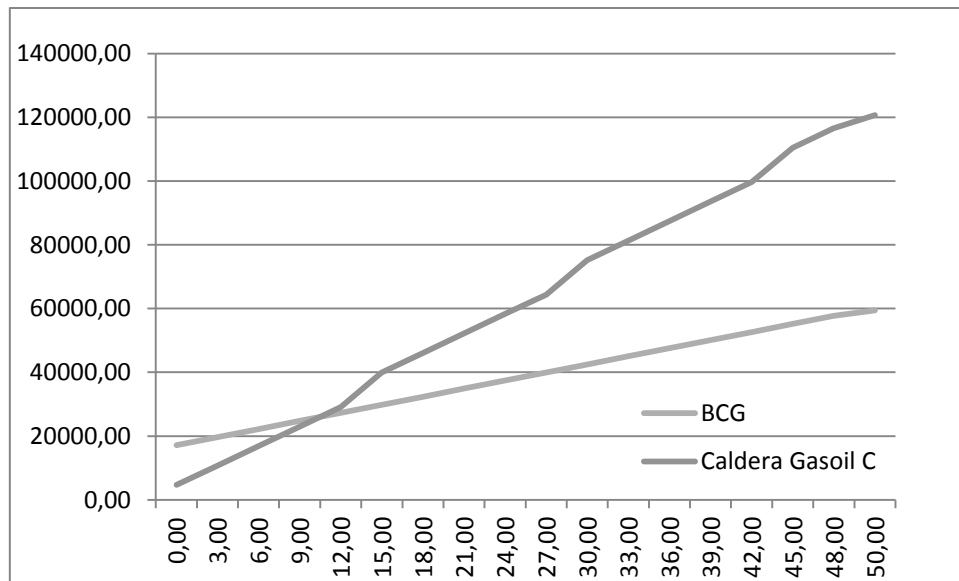


Figura 7 Gràfic de costos dels dos sistemes.

Veiem que la bomba de calor geotèrmica es pot amortitzar aproximadament en 11 anys, i al cap de 50 anys tenim un estalvi de més del 50% en calefacció.

## **8 . Conclusió**

Per finalitzar l'estudi podem concloure que la instal·lació per BCG és tècnicament i econòmicament viable.

L'inconvenient principal és l'alta inversió inicial de la instal·lació geotèrmica. No obstant, ofereix una sèrie d'avantatges, com l'estalvi anual de gairebé 1200€, l'absència de fums i olors, no dependre dels combustibles fòssils, l'amortització en poc més de 10 anys i evitar la instal·lació d'un dipòsit de combustibles inflamables ja que és una energia renovable i respectuosa amb el medi ambient.

## 10 Bibliografia

### Documents:

Diseño de sistemas de bomba de calor geotérmica (IDAE: Ahorro y eficiencia energética en climatización 14)

Manual de geotermia (IDAE)

Documento Basico HE (Ahorro de energía)

Documento Básico HS (Salubridad)

### Pàgines web:

[http://icaen.gencat.cat/es/pice\\_serveis/pice\\_subvencions\\_i\\_ajuts/pice\\_ajudes\\_vigents/idae-ajuts-a-leficiencia-i-estalvi-energetic/](http://icaen.gencat.cat/es/pice_serveis/pice_subvencions_i_ajuts/pice_ajudes_vigents/idae-ajuts-a-leficiencia-i-estalvi-energetic/)

<http://preciogas.com/comparador/precios-energias>

[http://www.celsius-process.com/\\_es/herramientas.php](http://www.celsius-process.com/_es/herramientas.php)

<http://idae.electura.es/>

<http://cte-web.iccl.es/materiales.php>

<http://itec.cat/nouBedec.c/bedec.aspx>

### Programes informàtics utilitzats

CypeCAD ( versió After Hours)

Microsoft Excel



## Annex A

# **CÀLCUL DE LES CÀRREGUES TÈRMIQUES DE L'HABITATGE**

## A.1 Normativa i reglamentació

Per realitzar el càlcul de les necessitats tèrmiques de l'habitatge ens valem del Codi Tècnic de l'Edificació (CTE), principalment el Document Bàsic d'Estalvi d'Energia (DB-HE). Aquest document es divideix en cinc exigències bàsiques. El primer d'aquets apartats (HE-1 limitació de la demanda energètica) serà del nostre interès. Per tant l'aplicarem per calcular les càrregues tèrmiques de l'habitatge.

Per al compliment de les exigències esmentades, les verificacions es poden realitzar de dues maneres: l'opció simplificada i l'opció general.

Per l'opció simplificada els requisits a complir estan situats en l'apartat 3.2.1.2 aplicabilitat

- a) Que la superfície dels buits en cada façana sigui inferior al 60% de la superfície.
- b) Que la superfície de lluernes sigui el 5% de la superfície total de la coberta.

Justifiquem el compliment de la condició a) amb la taula següent. El contingut resumeix el percentatge de buits a cada façana.

Orientació	Àrea Façana	Àrea Buits	% obertura
Nord	42.00	20.60	<b>51.5</b>
Sud	40.28	22.57	<b>56.03</b>
Oest	61.79	26.32	<b>42.59</b>
Est	29.38	4.36	<b>14.84</b>
Sud-Est	27.22	0.85	<b>3.12</b>
Sud-Oest	18.05	9.84	<b>54.52</b>
Total	218.72	84.54	<b>38.65</b>

Taula A. 1 Justificació buits en façanes

La condició b es compleix al no haver-hi lluernes.

El compliment de la condició a i b és suficient per poder triar l'opció simplificada del BD-HE1. Aquesta, està basada en el control indirecte de la demanda energètica dels edificis mitjançant la limitació dels paràmetres característics dels tancaments i particions interns que comproven la seva envoltant tèrmica.

## A.2 Caracterització i quantificació de les exigències

### A.2.1 Demanda energètica

La demanda energètica en els edificis es limita en funció del clima de la localitat en la que s'ubica. Segons la zona climàtica establerta en l'apartat 3.1.1, i la càrrega interna dels seus espais segons l'apartat 3.1.2.

#### A.2.1.1 Zona climàtica

La zona climàtica en la que està situat l'edifici de l'estudi és a la localitat de Seva, comarca d'Osona i província de Barcelona amb una alçada geològica de 663 msnm, catalogada com a zona D1 segons l'apèndix D Zones climàtiques del DB-HE.1

Capital de provincia	Capital	Altura de referencia (m)	Desnivel entre la localidad y la capital de su provincia (m)				
			≥200 <400	≥400 <600	≥600 <800	≥800 <1000	≥1000
Albacete	D3	677	D2	E1	E1	E1	E1
Alicante	B4	7	C3	C1	D1	D1	E1
Almeria	A4	0	B3	B3	C1	C1	D1
Ávila	E1	1054	E1	E1	E1	E1	E1
Badajoz	C4	168	C3	D1	D1	E1	E1
Barcelona	C2	1	C1	D1	D1	E1	E1
Bilbao	C1	214	D1	D1	E1	E1	E1
Burgos	E1	861	E1	E1	E1	E1	E1
Cáceres	C4	385	D3	D1	E1	E1	E1
Cádiz	A3	0	B3	B3	C1	C1	D1
Castellón de la Plana	B3	18	C2	C1	D1	D1	E1
Ceuta	B3	0	B3	C1	C1	D1	D1
Ciudad real	D3	630	D2	E1	E1	E1	E1

Figura A. 1 Zones climàtiques

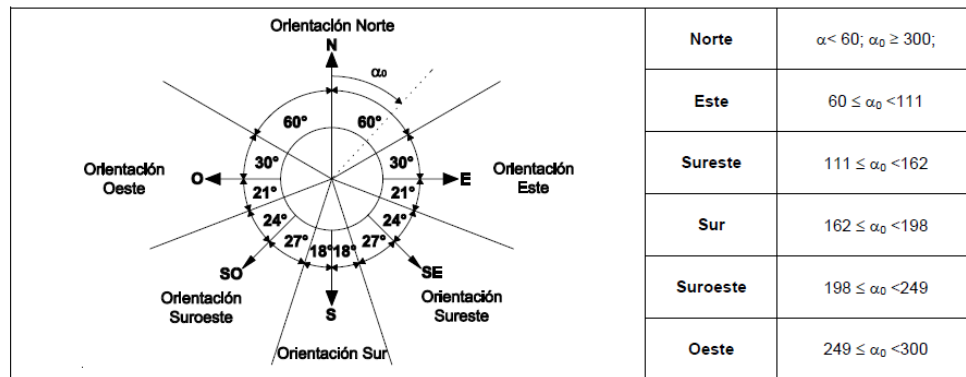
#### A.2.1.2 Classificació dels tancaments

Els tancaments els classificarem segons la seva situació:

- Coberta, comprèn aquells tancaments que estan en contacte amb l'aire i no té una inclinació superior a 60° respecte a l'horitzontal.
- Terra, comprèn aquelles superfícies inferiors horitzontals que estan en contacte amb el terra, aire o un espai no habitable.
- Façana, comprèn aquells tancaments exteriors en contacte amb l'aire que la seva inclinació supera els 60° respecte al pla horitzontal.

S'agrupa en 6 orientacions segons la Figura A. 2 Orientació de façanes (figura 3.1 DB-HE1).

Figura A. 2 Orientació de façanes



- d) Particions interiors, són aquelles particions horitzontals o verticals que limiten els espais habitables amb els que no són habitables.

Segons la zona climàtica de l'objecte d'estudi, la demanda energètica serà inferior a la que correspon a un edifici en el que els paràmetres característics dels tancaments i particions interiors siguin valors límit de la Taula A. 1 Justificació buits en façanes taula 2.2 de DB-HE1.

#### ZONA CLIMÀTICA D1

Transmitància límit de murs de fachada y cerramientos en contacto con el terreno	$U_{Mlim}: 0,66 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitància límit de suelos	$U_{Slim}: 0,49 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitància límit de cubiertas	$U_{Clim}: 0,38 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Factor solar modificado límit de lucernarios	$F_{Lim}: 0,36$

% de superficie de huecos	Transmitància límit de huecos <sup>(1)</sup> $U_{Hlim} \text{ W/m}^2 \text{ K}$				Factor solar modificado límit de huecos $F_{Hlim}$					
	N	E/O	S	SE/SO	Carga interna baja			Carga interna alta		
					E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	3,5	3,5	3,5	3,5	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,0 (3,5)	3,5	3,5	3,5	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	2,5 (2,9)	2,9 (3,3)	3,5	3,5	-	-	-	-	-	-
de 31 a 40	2,2 (2,5)	2,6 (2,9)	3,4 (3,5)	3,4 (3,5)	-	-	-	0,54	-	0,58
de 41 a 50	2,1 (2,2)	2,5 (2,6)	3,2 (3,4)	3,2 (3,4)	-	-	-	0,45	-	0,49
de 51 a 60	1,9 (2,1)	2,3 (2,4)	3,0 (3,1)	3,0 (3,1)	-	-	-	0,40	0,57	0,44

Figura A. 3 Valors límit de transmitància

Comprovem que les característiques de l'habitable no superen en cap cas les estipulades en el DB-HE1 taula (Figura A. 3 Valors límit de transmitància.)

Per descompensacions en el benestar dels diferents espais habitables de l'edifici, la transmitància tèrmica de les particions interiors no pot superar els de la Figura A. 4 Transmissió particions interiors.( taula 2.1. DB-HE1).

**Tabla 2.1 Transmissió tèrmica màxima de cerramientos y particiones interiores de la envolvente tèrmica U en W/m<sup>2</sup>K**

<i>Cerramientos y particiones interiores</i>	ZONAS A	ZONAS B	ZONAS C	ZONAS D	ZONAS E
Muros de fachada, <i>particiones interiores</i> en contacto con espacios no habitables, primer metro del perímetro de suelos apoyados sobre el terreno <sup>(1)</sup> y primer metro de muros en contacto con el terreno	1,22	1,07	0,95	0,86	0,74
Suelos <sup>(2)</sup>	0,69	0,68	0,65	0,64	0,62
Cubiertas <sup>(3)</sup>	0,65	0,59	0,53	0,49	0,46
Vidrios y marcos	5,70	5,70	4,40	3,50	3,10
Medianerías	1,22	1,07	1,00	1,00	1,00

<sup>(1)</sup> Se incluyen las losas o soleras enterradas a una profundidad no mayor de 0,5 m

<sup>(2)</sup> Las particiones interiores en contacto con espacios no habitables, como en el caso de cámaras sanitarias, se consideran como suelos

<sup>(3)</sup> Las particiones interiores en contacto con espacios no habitables, como en el caso de desvanes no habitables, se consideran como cubiertas

**Figura A. 4 Transmissió particions interiors**

### A.2.1.3 Classificació dels espais

Els espais es poden classificar en habitables o no habitables. On els espais habitables seran tots els de l'habitatge menys el pàrquing que el classificarem com a espai no habitable.

A efectes del càlcul de la demanda energètica el podem classificar com a espai de càrrega interna baixa ja que és un edifici destinat a residir-hi.

### A.2.2 Justificació dels paràmetres límits

Farem els càlculs dels paràmetres característics de la demanda (segons l'apartat E de l DB-HE1).

Per calcular la transmissió dels tancaments en contacte amb l'aire i el sol utilitzarem la següent fórmula:

$$U = \frac{1}{\sum Rt} = \frac{1}{Re + R1 + R2 + \dots + Rn + Ri}$$

equació A. 1

On:

$U$  = transmitància tèrmica ( $W/m^2 \cdot K$ )

$R_t$  = resistència total del component

$R_e$  = resistència tèrmica de l'aire exterior

$R_i$  = resistència tèrmica de l'aire interior

La resistència tèrmica es calcula en funció del gruix i la conductivitat tèrmica del material.

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

equació A. 2

On:

$e$  = gruix del material (m)

$\lambda$  = conductivitat tèrmica ( $W/m \cdot K$ )

Els coeficients de la conductivitat tèrmica estan extrets del Catàleg dels elements constructius del CTE.

Per els coeficients  $R_e$  i  $R_i$  utilitzarem la imatge A.5. Resistència tèrmica superficial en contacte amb l'aire.




Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor		$R_{se}$	$R_{si}$
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^\circ$ y flujo horizontal		0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente		0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente		0,04	0,17

Figura A. 5. Resistència tèrmica superficial en contacte amb l'aire

Passarem a verificar la condició imposada per la Taula A. 2 Taula comprovació límits dels tancaments.

Les façanes les hem dividit en quatre tipus segons la seva composició essent les següents:

<b>Façana tipus A</b>			
<b>Material</b>	<b>Gruix (m)</b>	<b><math>\lambda</math> (W/m*K)</b>	<b>R (m<sup>2</sup>*K/W)</b>
Re			0,0400
Maó ceràmic morter convencional	0,1400	-	0,4400
Espuma poliuretà	0,0500	0,0280	1,7857
Bloc formigó, morter convencional	0,1500	-	0,1900
Liscat de guix	0,0100	0,3000	0,0333
Ri			0,1300
<b>U (W/m<sup>2</sup>*K)</b>			<b>0,3818</b>

Taula A.1. 1 Transmissió tèrmica Façana A

<b>Façana tipus B</b>			
<b>Material</b>	<b>Gruix (m)</b>	<b><math>\lambda</math> (W/m*K)</b>	<b>R (m<sup>2</sup>*K/W)</b>
Re			0,0400
Morter monocapa	0,0100	1,0000	0,0100
Bloc formigó, morter convencional	0,1500	-	0,1900
Espuma poliuretà	0,0500	0,0280	1,7857
Bloc formigó, morter convencional	0,1000	-	0,1900
Liscat de guix	0,0100	0,3000	0,0333
Ri			0,1300
<b>U (W/m<sup>2</sup>*K)</b>			<b>0,4203</b>

Taula A.1. 2 Transmissió tèrmica Façana B

Façana tipus C			
Material	Gruix (m)	$\lambda$ (W/m*K)	R (m <sup>2</sup> *K/W)
Re			0,0400
Maó ceràmic morter convencional	0,1400	-	0,4400
Bloc formigó, morter convencional	0,1500	-	0,1900
Espuma poliuretà	0,0500	0,0280	1,7857
Bloc formigó, morter convencional	0,1000	-	0,1900
Liscat de guix	0,0100	0,3000	0,0333
Ri			0,1300
<b>U (W/m<sup>2</sup>*K)</b>			<b>0,3560</b>

Taula A.1. 3 Transmissió tèrmica Façana C

Façana tipus E			
Material	Gruix (m)	$\lambda$ (W/m*K)	R (m <sup>2</sup> *K/W)
Re			0,0400
Maó ceràmic morter convencional	0,1400	-	0,4400
Espuma poliuretà	0,0500	0,0280	1,7857
Maó ceràmic morter convencional	0,1400	-	0,4400
Liscat de guix	0,0100	0,3000	0,0333
Ri			0,1300
<b>U (W/m<sup>2</sup>*K)</b>			<b>0,3485</b>

Taula A.1. 4 Transmissió tèrmica Façana E



Forjat terra			
Material	Gruix (m)	$\lambda$ (W/m*K)	R (m <sup>2</sup> *K/W)
Capa de morter	0,1000	0,4100	0,2439
Poliestirè	0,0400	0,0300	1,3333
Film de poliestirè	0,0020	0,0300	0,0667
Formigó armat	0,6000	1,1500	0,5217
Morter	0,0150	0,4100	0,0366
Gres ceràmic	0,0150	1,9000	0,0079
Ri	-	-	0,0400
<b>U (W/m<sup>2</sup>*K)</b>			<b>0,4444</b>

Taula A.1. 5 Transmissió tèrmica Forjat terra

Coberta			
Material	Gruix (m)	$\lambda$ (W/m*K)	R (m <sup>2</sup> *K/W)
Re	-	-	0,0400
Grava blanca	0,1000	1,1000	0,0909
capa morter	0,0200	0,4100	0,0488
capa geotèxtil	0,0015	-	-
Espuma poliuretà	0,0700	0,0280	2,5000
Formigó	0,1500	1,1500	0,1304
Forjat sanitari unidireccional amb bòvila ceràmica i capa de compressió	0,3000	1,0870	0,1930
Liscat de guix	0,0100	0,3000	0,0333
Ri	-	-	0,1400
<b>U (W/m<sup>2</sup>*K)</b>			<b>0,3148</b>

Taula A.1. 6 Transmissió tèrmica forjat coberta

Particions interiors			
Material	Gruix (m)	$\lambda$ (W/m*K)	R (m <sup>2</sup> *K/W)
Re	-	-	0,1300
Bloc formigó, morter convencional	0,1500	-	0,1900
Espuma poliuretà	0,0500	0,0280	1,7857
Bloc formigó, morter convencional	0,1500	-	0,1900
Liscat de guix	0,0100	0,3000	0,0333
Ri	-	-	0,1300
<b>Ub (W/m<sup>2</sup>*K)</b>			<b>0,4026</b>

Taula A.1. 7 Transmissió tèrmica particions interiors

Particions interiors Envà			
Material	Gruix (m)	$\lambda$ (W/m*K)	R (m <sup>2</sup> *K/W)
Re	-	-	0,0400
Liscat de guix	0,0150	0,3000	0,0500
Mao	0,0700		0,1600
Liscat de guix	0,0150	0,3000	0,0500
Ri	-	-	0,0400
<b>U (W/m<sup>2</sup>*K)</b>			<b>2,9412</b>

Taula A.1. 8 Transmissió tèrmica Particions interiors

	Finestra climalit			
	Material	Gruix (m)	$\lambda$ (W/m*K)	R (m <sup>2</sup> *K/W)
VIDRE	Vidre	0,0060	-	0,1470
	Aire	0,0080	0,0260	0,3077
	Vidre	0,0060	-	0,1470
	<b>U<sub>H,v</sub> (W/m<sup>2</sup>*K)</b>	-	-	<b>1,6620</b>
MARC	Alumini	-	-	-
	<b>U<sub>H,m</sub> (W/m<sup>2</sup>*K)</b>	-	-	<b>3,2000</b>
	<b>coeficients</b>			<b>R (m<sup>2</sup>*K/W)</b>
	g	0,8300		
	Re			0,0400
	Vidre			0,6017
	Marc			0,3125
	FM	0,1600		
	Ri			0,1300
	<b>U<sub>H,m</sub> (W/m<sup>2</sup>*K)</b>			<b>1,9081</b>

Taula A.1. 9 Transmissió tèrmica finestres

Comparem els resultats anteriors amb els límits permesos per una localitat de zona climàtica D.1, sempre comparant amb el cas més desfavorable.

Element	U límit (W/m <sup>2</sup> K)	U calculat (W/m <sup>2</sup> K)
Façana B	0.66	0.444
Terra	0.49	0.44
Cobert	0.38	0.315
Finestres	2.2	1.908

Taula A. 2 Taula comprovació límits dels tancaments

En la Taula A. 2 Taula comprovació límits dels tancaments que complim amb els requisits demanats.

## A.3 Càlcul de la càrrega tèrmica de calefacció

### A.3.1 Condicions climàtiques externes

Per calcular la càrrega tèrmica necessària i assegurar el benestar dins de l'habitatge, necessitem les dades climatològiques exteriors (Figura A. 6 Temperatures exteriors). Aquestes són extretes del document "*Guia Técnica, Condiciones climaticas exteriores de proyectos*" publicat per l'IDAE.

Província	Estación					Indicativo	
Barcelona	Barcelona (Fabra)					0200E	
UBICACIÓN: ENTORNO CIUDAD			Nº DE OBSERVACIONES Y PERIODO				
a.s.n.m. (m)	Lat.	Long.	T seca	Hum. relativa	T terreno	Rad	
412	41°25'10"	02°07'31"E	69.952	14.605	2.550		
CONDICIONES PROYECTO CALEFACCIÓN (TEMPERATURA SECA EXTERIOR MÍNIMA)							
TSMIN (°C)	TS_99,6 (°C)	TS_99 (°C)	OMDC (°C)	HUMcoin (%)	OMA (°C)		
-4,7	0,7	2,1	7,1	64,0	31,2		
CONDICIONES PROYECTO REFRIGERACIÓN (TEMPERATURA SECA EXTERIOR MÁXIMA)							
TSMAX (°C)	TS_0,4 (°C)	THC_0,4 (°C)	TS_1 (°C)	THC_1 (°C)	TS_2 (°C)	THC_2 (°C)	OMDR (°C)
38,4	31,9	23,0	30,3	22,7	28,9	22,3	10,2
CONDICIONES PROYECTO REFRIGERACIÓN (TEMPERATURA HÚMEDA EXTERIOR MÁXIMA)							
TH_0,4 (°C)	TSC_0,4 (°C)	TH_1 (°C)	TSC_1 (°C)	TH_2 (°C)	TSC_2 (°C)		
24,0	24,0	23,2	23,2	22,4	22,4		
VALORES MEDIOS MENSUALES							
Mes	TA (°C)	TASOL (°C)	GD_15 (°C)	GD_20	GDR_20	RADH (kWh/m² dfa)	TTERR (°C)
Enero	8,4	9,2	174	302	0		
Febrero	8,9	10,0	147	264	0		
Marzo	11,4	12,8	105	224	1		
Abril	13,2	14,7	64	170	2		
Mayo	17,1	18,3	20	93	17		
Junio	21,6	23,3	1	23	67		
Julio	23,4	24,9	0	7	89		
Agosto	23,7	25,0	0	6	89		
Septiembre	20,2	21,5	1	26	27		
Octubre	17,0	18,4	12	76	7		
Noviembre	11,6	13,1	77	185	0		
Diciembre	8,9	9,6	161	290	0		

Figura A. 6 Temperatures exteriors

Al no existir dades fiables de la localitat de Seva, s'utilitzen les dades obtingudes de la estació meteorològica de Barcelona (Fabra). L'elecció és degut a que aquesta, té l'alçada més pròxima a la localitat del l'estudi.

### A.3.2 Càlcul de la càrrega tèrmica dels elements constructius

Per efectuar els càlculs de la transmissió de calor s'ha fixat:

- Temperatura interior de 21°C
- Temperatura exterior de 0.7°C del percentil 99.6.

Per a conèixer la temperatura dels locals sense calefacció (en l'estudi essent l'aparcament) es sumen 12°C a la temperatura mínima de l'estació d'hivern.

$$T_{lnc} = 12 + T_{min}$$

equació A. 3

Aplicant trobarem una temperatura del local no calefactable de 11.3°C.

Com a temperatura del sol a 20 centímetres al no disposar de dades directes farem servir la interpolació lineal proposada per el document "Guia Tècnica, Condiciones climaticas exteriores de proyectos":

$$T_{terra} = 0.00684 * TA^2 + 0.963 * TA + 0.6865$$

equació A. 4

$$T_{terra} = 0.00684 * 8.4^2 + 0.963 * 8.4 + 0.6865 = 9.032^{\circ}C$$

- Tterra serà de 9.032°C a 20 centímetres de la superfície.

Per tant es calcula el flux de calor a través dels tancaments segons l'equació següent:

$$Q_{tr} = A * Co * U * \Delta t$$

equació A. 5

On:

Qtr : transmissió de calor (kcal/h)

A : àrea de la superfície (m<sup>2</sup>)

Co : coeficient d'orientació

U : coeficient de transmissió de calor (W/m<sup>2</sup>·K)

Δt = diferencia de temperatura (K)

Taules càrregues tèrmiques per habitació:

Hab 1						
	Orientació	A(m <sup>2</sup> )	Co	U (W/m <sup>2</sup> K)	Δt (°K)	Qtr(kal/h)
Façana B	O	1,225	1,050	0,420	20,300	10,975
Finestra	O	4,400	1,050	1,908	20,300	178,950
Façana A	S	9,875	1,000	0,382	20,300	76,540
Terra		15,310		0,444	11,968	81,431
Teulat		15,310		0,315	20,300	6,391
						<b>354,287</b>

Hab 2						
	Orientació	A(m <sup>2</sup> )	Co	U (W/m <sup>2</sup> K)	Δt (°K)	Qtr(kal/h)
Façana B	O	5,955	1,050	0,420	20,300	53,354
Finestra	O	2,420	1,050	1,908	20,300	98,422
Terra		10,540		0,444	11,968	56,060
Teulat		10,540		0,315	20,300	67,359
						<b>275,195</b>

Hab 3						
	Orientació	A(m <sup>2</sup> )	Co	U (W/m <sup>2</sup> K)	Δt (°K)	Qtr(kal/h)
Façana C	O	5,955	1,050	0,356	20,300	45,186
Façana A	N	0,875	1,150	0,382	20,300	7,799
Finestra	O	2,420	1,050	1,908	20,300	98,422
Terra		10,540		0,444	11,968	56,060
Teulat		10,540		0,315	20,300	67,359
						<b>274,827</b>

Bany 1						
	Orientació	A(m <sup>2</sup> )	Co	U (W/m <sup>2</sup> K)	Δt (°K)	Qtr(kal/h)
Façana A	O	5,290	1,050	0,382	20,300	43,052
Façana A	N	3,280	1,150	0,382	20,300	29,236
Finestra	O	1,090	1,050	1,908	20,300	44,331
Terra		4,370		0,444	11,968	23,243
Teulat		4,370		0,315	20,300	27,928
						<b>167,790</b>

Vestidor 1						
	Orientació	A(m <sup>2</sup> )	Co	U (W/m <sup>2</sup> K)	Δt (°K)	Qtr(kal/h)
Façana A	E	7,705	1,100	0,382	20,300	65,693
Finestra	E	1,084	1,100	1,908	20,300	46,186
Terra		9,545		0,444	11,968	50,768
Teulat		9,545		0,315	20,300	61,000
						<b>223,647</b>

Bany 2						
	Orientació	A(m <sup>2</sup> )	Co	U (W/m <sup>2</sup> K)	Δt (°K)	Qtr(kal/h)
Façana A	E	5,647	1,100	0,349	20,300	43,951
Finestra	E	1,840	1,100	1,908	20,300	78,397
Terra		6,400		0,444	11,968	34,040
Teulat		6,400		0,315	20,300	40,901
						<b>197,289</b>

Safareig						
	Orientació	A(m <sup>2</sup> )	Co	U (W/m <sup>2</sup> K)	Δt (°K)	Qtr(kal/h)
Façana A	E	5,060	1,100	0,382	20,300	43,142
Façana A	N	3,162	1,150	0,382	20,300	28,185
Finestra	N	1,667	1,150	1,908	20,300	74,254
Terra		5,942		0,444	11,968	31,604
Teulat		5,942		0,315	20,300	37,974
						<b>215,159</b>

<b>Bany 3</b>						
	<b>Orientació</b>	<b>A(m<sup>2</sup>)</b>	<b>Co</b>	<b>U (W/m<sup>2</sup> K)</b>	<b>Δt (°K)</b>	<b>Qtr(kal/h)</b>
<b>Façana A</b>	SE	2,525	1,100	0,382	20,300	21,528
<b>Finestra</b>	SE	0,850	1,100	1,908	20,300	36,216
<b>Terra</b>		3,300		0,444	11,968	17,552
<b>Teulat</b>		3,300		0,315	20,300	21,090
						<b>96,386</b>

<b>Hab 4</b>						
	<b>Orientació</b>	<b>A(m<sup>2</sup>)</b>	<b>Co</b>	<b>U (W/m<sup>2</sup> K)</b>	<b>Δt (°K)</b>	<b>Qtr(kal/h)</b>
<b>Façana A</b>	SE	6,350	1,100	0,382	20,300	54,140
<b>Façana A</b>	N	5,575	1,150	0,382	12,700	31,089
<b>Façana B</b>	O	4,190	1,050	0,420	20,300	37,540
<b>Finestra</b>	O	2,160	1,050	1,908	20,300	87,848
<b>Terra</b>		10,540		0,444	11,968	56,060
<b>Teulat</b>		10,540		0,315	20,300	67,359
						<b>334,036</b>

<b>Pas 2</b>						
	<b>Orientació</b>	<b>A(m<sup>2</sup>)</b>	<b>Co</b>	<b>U (W/m<sup>2</sup> K)</b>	<b>Δt (°K)</b>	<b>Qtr(kal/h)</b>
<b>Façana A</b>	SE	3,250	1,100	0,382	20,300	27,710
<b>Terra</b>		2,220		0,444	11,968	11,808
<b>Sostre</b>		2,220		0,315	20,300	14,188
						<b>53,705</b>



Pas 1						
	Orientació	A(m <sup>2</sup> )	Co	U (W/m <sup>2</sup> K)	Δt (°K)	Qtr(kal/h)
Façana A	E	3,625	1,100	0,382	20,300	30,907
Façana A	O	1,700	1,050	0,382	20,300	13,835
Finestra	SO	3,625	1,050	1,908	20,300	147,430
Pilar	O	0,250	1,050	3,329	20,300	17,737
Terra		17,240		0,444	11,968	91,697
Teulat		17,240		0,315	20,300	110,177
						<b>411,782</b>

Sala						
	Orientació	A(m <sup>2</sup> )	Co	U (W/m <sup>2</sup> K)	Δt (°K)	Qtr(kal/h)
Façana E	SE	14,560	1,100	0,349	20,300	113,322
Façana E	SO	6,500	1,050	0,349	20,300	48,290
Finestra	SO	9,842	1,050	1,908	20,300	400,278
Finestra	N	14,560	1,150	1,908	20,300	648,557
Terra		33,320		0,444	11,968	177,223
Teulat		33,320		0,315	20,300	212,940
						<b>1600,610</b>

Rebedor						
	Orientació	A(m <sup>2</sup> )	Co	U (W/m <sup>2</sup> K)	Δt (°K)	Qtr(kal/h)
Façana E	O	10,744	1,100	0,349	20,300	83,621
Fusteria	N	7,584	1,150	1,003	20,300	177,639
Terra		5,070		0,444	11,968	26,966
Teulat		5,070		0,315	20,300	32,401
						<b>320,628</b>

Menjador						
	Orientació	A(m <sup>2</sup> )	Co	U (W/m <sup>2</sup> K)	Δt (°K)	Qtr(kal/h)
Façana B	S	1,090	1,000	0,420	20,300	9,301
Finestra	S	12,370	1,000	1,908	20,300	479,135
Façana A	N	9,396	1,150	0,382	20,300	83,752
Finestra	N	2,175	1,150	1,908	20,300	96,883
Terra		25,080		0,444	11,968	133,396
Teulat		25,080		0,315	20,300	160,280
						<b>962,747</b>

Cuina						
	Orientació	A(m <sup>2</sup> )	Co	U (W/m <sup>2</sup> K)	Δt (°K)	Qtr(kal/h)
Façana B	S	5,000	1,000	0,420	20,300	42,664
Finestra	S	10,200	1,000	1,908	20,300	395,083
Façana A	S	1,760	1,000	0,382	20,300	13,642
Façana B	O	1,280	1,050	0,420	20,300	11,468
Finestra	O	11,020	1,050	1,908	20,300	448,187
Façana A	O	4,185	1,050	0,382	20,300	34,059
Finestra	O	0,300	1,050	1,908	20,300	12,201
Façana A	N	14,669	1,150	0,382	20,300	130,753
Finestra	N	2,250	1,150	1,908	20,300	100,223
Façana A	E	2,794	1,100	0,382	20,300	23,822
Porta	E	2,070	1,100	1,125	20,300	52,001
Terra		30,770		0,444	11,968	163,660
Teulat		30,770		0,315	20,300	196,644
						<b>1624,408</b>

A continuació s'exposa la taula resum de la demanda tèrmica degut a la pèrdua pels tancaments.

Local	Q calefacció (kcal/h)
Hab 1	354,287
Hab 2	275,195
Hab 3	274,827
Bany 1	167,790
Vestidor 1	223,647
Bany 2	197,289
Safareig	215,159
Bany3	96,386
Hab 4	334,036
Pas 1	411,782
Pas 2	53,705
Sala	1600,610
Rebedor	320,628
Menjador	962,747
Cuina	1624,408
<b>Total</b>	<b>7112,496</b>

Taula A. 3 Pèrdua tèrmica degut als tancaments

### A.3.3 Càlculs de la càrrega tèrmica degut a la ventilació

Per el benestar dels ocupants hi ha d'haver un mínim de ventilació. Entenent per ventilació la renovació de l'aire per tal de mantenir unes condicions adequades dins de l'habitatge. Per tal de calcular el volum d'aire renovat ens valem del *DB-HS Salubridad*, en concret el tercer dels seus subapartats anomenat *HS.3 Calidad del aire interior*.

		Caudal de ventilación mínimo exigido $q_v$ en l/s		
		Por ocupante	Por m <sup>2</sup> útil	En función de otros parámetros
Locales	Dormitorios	5		
	Salas de estar y comedores	3		
	Aseos y cuartos de baño			15 por local
	Cocinas		2	50 por local <sup>(1)</sup>
	Trasteros y sus zonas comunes		0,7	
	Aparcamientos y garajes			120 por plaza
	Almacenes de residuos		10	

<sup>(1)</sup> Este es el caudal correspondiente a la ventilación adicional específica de la cocina (véase el párrafo 3 del apartado 3.1.1).

Figura A. 7 Índex càrrega ventilació

El càlcul de la càrrega tèrmica degut a ventilació s'efectua de la manera següent

$$Qv = Vr * p * Cp * \Delta t$$

equació A. 6

On:

Vr: volum a renovar (m<sup>3</sup>/h)

p: densitat de l'aire (kg/m<sup>3</sup>)

Cp: calor específic de l'aire (kcal/Kg·K)

$\Delta t$ : diferencia de temperatura entre l'interior i l'exterior

	Vr (m <sup>3</sup> )	p (kg/m <sup>3</sup> )	Cp (kcal/Kg·K)	Δt (°K)	Q (kcal/h)
Hab 1	36,00	1,23	0,239	20,30	<b>214,65</b>
Hab 2	18,00	1,23	0,239	20,30	<b>107,33</b>
Hab 3	18,00	1,23	0,239	20,30	<b>107,33</b>
Bany 1	54,00	1,23	0,239	20,30	<b>321,98</b>
Vestidor 1	21,95	1,23	0,239	20,30	<b>130,90</b>
Bany 2	54,00	1,23	0,239	20,30	<b>321,98</b>
Safreig	13,67	1,23	0,239	20,30	<b>81,49</b>
Bany3	54,00	1,23	0,239	20,30	<b>321,98</b>
Hab 4	36,00	1,23	0,239	20,30	<b>214,65</b>
Pas 1	43,10	1,23	0,239	20,30	<b>256,99</b>
Pas 2	5,55	1,23	0,239	20,30	<b>33,09</b>
Sala	64,80	1,23	0,239	20,30	<b>386,38</b>
Rebador	16,02	1,23	0,239	20,30	<b>95,53</b>
Menjador	64,80	1,23	0,239	20,30	<b>386,38</b>
Cuina	108,00	1,23	0,239	20,30	<b>643,96</b>
<b>Total</b>	<b>607,89</b>				<b>3624,61</b>

Taula A. 4 Pèrdua tèrmica degut a la ventilació

Observem que la càrrega tèrmica necessària per mantenir l'estar de benestar en l'habitatge és de 12.5KW representat en la taula següent:

### A.3.4 Càrregues tèrmiques totals

En la Taula A. 5 Càrrega tèrmica immoble s'exposa la càrrega tèrmica total per a l'immoble:

	Q cale (kcal/h)	Q vent (kcal/h)	Q total (W)
Hab 1	354,287	214,653	<b>661,678</b>
Hab 2	275,195	107,327	<b>444,873</b>
Hab 3	274,827	107,327	<b>444,445</b>
Bany 1	167,790	321,980	<b>569,603</b>
Vestidor 1	223,647	130,900	<b>412,338</b>
Bany 2	197,289	321,980	<b>603,910</b>
Safareig	215,159	81,488	<b>345,001</b>
Bany3	96,386	321,980	<b>486,560</b>
Hab 4	334,036	214,653	<b>638,126</b>
Pas 1	411,782	256,988	<b>777,780</b>
Pas 2	53,705	33,092	<b>100,945</b>
Sala	1600,610	386,376	<b>2310,865</b>
Rebador	320,628	95,528	<b>483,989</b>
Menjador	962,747	386,376	<b>1569,030</b>
Cuina	1624,408	643,960	<b>2638,112</b>
<b>Total</b>	<b>7112,496</b>	<b>3624,611</b>	<b>12487,255</b>

Taula A. 5 Càrrega tèrmica immoble

## **Annex B**

# **DISSENY DE L'INTERCANVIADOR DE CALOR GEOTÈRMIC**

## B.1 Selecció de la bomba de calor geotèrmica

Per complir amb la demanda tèrmica de l'habitatge la bomba de calor seleccionada serà la VWS 141/2 amb les característiques mostrades en la Figura B. 1 Característiques de la bomba de calor.

Datos técnicos	Unidad	VWS 61/2	VWS 81/2	VWS 101/2	VWS 141/2	VWS 171/2
Potencia calorífica (B5W35 ΔT=5K conforme a EN 14511)	kW	6,9	9,3	11,8	16,1	20,1
Consumo eléctrico	kW	1,4	2,0	2,5	3,4	4,3
Coefficiente de rendimiento COP	-	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
Potencia frigorífica (B25W18)	kW	8,8	12,7	14,8	20,8	25,5
Consumo eléctrico	kW	1,5	1,8	2,4	3,4	4,1
Coefficiente de rendimiento EER	-	5,7	6,9	6,1	6,1	6,2
Tensión nominal	-	230 V/50 Hz, 1/N/PE~			400 V/50 Hz, 3/N/PE~	
Consumo de potencia eléctrica máx. de B20W60	kW	2,8	4,0	4,9	6,8	7,7
Consumo de potencia eléctrica de la calefacción adicional	kW	4/6	4/6	4/6	6	6
Fusibles de acción lenta (D)	A	16	20	25	3 x 16	3 x 16
Corriente de arranque sin limitador	A	58	76	97	64	74
Corriente de arranque con limitador	A	<45	<45	<45	<25	<25
Consumo eléctrico de la bomba de calefacción	W	93	93	93	132	205
Consumo eléctrico de la bomba del circuito de captadores	W	132	132	132	205	210
Caudal nominal del circuito de calefacción	l/h	1.061	1.375	1.803	2.371	2.973
Presión disponible en el circuito de calefacción (ΔT=5K)	mbar	382	339	254	345	313
Caudal nominal del circuito de captadores	l/h	1.453	1.936	2.530	3.334	3.939
Presión disponible en el circuito de captadores (ΔT=3K)	mbar	381	332	263	252	277
Temperatura del circuito de calefacción (mín./máx.)	°C	25/62	25/62	25/62	25/62	25/62
Temperatura del circuito de captadores (mín./máx.) (1)	°C	-10/20	-10/20	-10/20	-10/20	-10/20
Presión de funcionamiento del circuito de calefacción (máx.)	bar	3	3	3	3	3
Presión de funcionamiento del circuito de captadores (máx.)	bar	3	3	3	3	3
Conexión de ida/retorno de calefacción	DN	G 1 1/4" / Ø 28 mm				
Conexión de ida/retorno de captadores	DN	G 1 1/4" / Ø 28 mm				
Nivel de potencia acústica	dB (A)	49	51	53	52	53
Carga de refrigerante R407 C	kg	1,90	2,20	2,05	2,90	3,05
Cantidad de aceite éster en compresor scroll	l	1,30	1,45	1,45	1,89	1,89

Figura B. 1 Característiques de la bomba de calor

## B.2 Característiques tèrmiques del terreny

Per el disseny de l'intercanviador de calor soterrat necessitem conèixer les característiques del terreny, ja que la seva conductivitat ens condicionarà la dimensió de la instal·lació.

La conductivitat tèrmica és la capacitat d'un material per a conduir la calor. S'expressa segons la llei de Fourier com la calor que travessa un metre de material a conseqüència del gradient equivalent a un grau entre els seus extrems. La expressarem en W/m°C.

Per a conèixer la conductivitat del terreny el més adequat és fer un estudi d'aquest, realitzant un test de resposta tèrmica (Thermal Response Test TRT). En el cas de l'estudi ens guiarem per la composició del material i el seu contingut en aigua.

El tipus de terreny en la finca és roca sedimentària calcària, de la qual s'exposarà les característiques a continuació:

$\lambda$ (W/m·K)	$\alpha$ (m <sup>2</sup> /s)	C (J/kg·K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )
2.8	6.06*10 <sup>-7</sup>	2100	2200

Taula B. 3 Característiques del terreny

### **B.3 Selecció del líquid anticongelant**

Com a sistema de transport de l'energia tèrmica els sistemes per bomba de calor geotèrmics amb circuit tancat, necessita un líquid caloportador, que com el seu nom indica transporta l'energia de subsòl a la bomba de calor.

En la majoria dels casos s'utilitza aigua o si les temperatures són extremes, aigua amb anticongelant.

En l'elecció d'aquesta part del sistema hem de tenir en compte diferents paràmetres:

Característiques de transferència de calor (calor específic), com més alt, major quantitat de calor per unitat de volum podrà transportar. Punt de congelació: si es preveu en el disseny que l'intercanviador es pot congelar (elevat funcionament de calefacció i baixes temperatures del terreny) caiguda de pressió, toxicitat, inflamabilitat i cost.

El fluid circulant per l'intercanviador soterrat pot arribar a temperatures baixes degut a la temperatura del terreny. Per això utilitzarem una barreja de 80 % d'aigua destil·lada amb un 20% de metanol. Les característiques del fluid resultant les trobarem a la Imatge B.3 Característiques del líquid caloportador.

A efecte dels càlculs s'utilitza les característiques del fluid a 20°C.

température $\theta$ temperature	masse volum. $\rho$ density	chaleur spécifique $C_p$ specific heat	viscosité dynamique $\mu$ dynamic viscosity	conductivité thermique $\lambda$ thermal conductivity	pression de vapeur $P_s$ vapor pressure				
°C	kg/m <sup>3</sup>	J/kg.K	kcal/kg.°C	Pa.s	kg/m.h	W/m.K	kcal/h.m.°C	Pa (abs)	bar(rel.) barg
-15	969	3950	0,944	0,002382	8,577	0,372	0,320	359	
-10	966	3931	0,939	0,002047	7,369	0,373	0,321	535	
-5	963	3913	0,935	0,001772	6,380	0,373	0,321	784	
0	960	3897	0,931	0,001545	5,563	0,374	0,322	1131	
5	958	3882	0,928	0,001357	4,884	0,374	0,322	1607	
10	955	3870	0,925	0,001198	4,314	0,374	0,322	2251	
15	952	3858	0,922	0,001065	3,834	0,374	0,322	3111	-0,98
20	949	3849	0,920	0,000952	3,426	0,374	0,321	4245	-0,97
25	946	3841	0,918	0,000855	3,078	0,373	0,321	5723	-0,96
30	942	3834	0,916	0,000772	2,779	0,373	0,321	7628	-0,94
35	939	3829	0,915	0,000700	2,521	0,372	0,320	10058	-0,91
40	936	3826	0,914	0,000638	2,298	0,371	0,319	13127	-0,88

Figura B. 2 Propietats del líquid caloportador

#### B.4 Elecció del sistema de captació

S'han tingut en compte dos sistemes de captació.

- Els horitzontals: necessiten una inversió menor ja que tant l'estudi geològic com la pròpia excavació per la col·locació de les sondes, és més fàcil. L'inconvenient i per tant el principal motiu de la desestimació d'aquesta opció és la gran superfície de terreny que es necessita.
- Els verticals: la inversió és més gran però no demana grans extensions de terreny per a poder-les dur a la pràctica ja que tal com el seu nom indica els pous es fan de manera vertical. Degut a la inexistència d'aigua subterrània, per poder fer una captació directa, haurem d'utilitzar un sistema de captació vertical tancat.



## B.5 Càlcul del diàmetre

El polietilè i el polibutilè són els materials més utilitzats en aquest tipus de sondes. Els dos essent materials resistents i alhora flexibles. A continuació s'exposa les principals característiques del polietilè d'alta densitat.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Unidad	PE 40	PE 80	PE 100
Densidad	gr/cm <sup>3</sup>	> 0,93	0,93 a 0,95	> 0,95
Coefficiente de dilatación térmica lineal	mm/m °C	0,17	0,22	0,22
Conductividad térmica	Kcal/hm °C	0,35	0,36	0,37
Contenido en negro de carbono	%	2 - 2,5	2 - 2,5	2 - 2,5
Contenido en materias volátiles	mg/kg	< 350	< 350	< 350
Contenido en agua	mg/kg	< 300	< 300	< 300
Módulo de elasticidad a corto plazo	MPa	400-500	500-800	1000-1200
Módulo de elasticidad a largo plazo	MPa	130	150	160
Coefficiente de Poisson, $\nu$		0,4	0,4	0,4
Constante dieléctrica		2,3	2,4	2,5
Rugosidad hidráulica	K(mm)	0,007	0,007	0,007
	n (Manning)	0,008	0,008	0,008
	C (H. Will.)	150	150	150

Figura B. 3 Característiques dels tubs de polietilè

En la selecció del diàmetre a utilitzar en les sondes soterrades hem d'arribar a un compromís entre la caiguda de pressió i la velocitat del fluid. Al incrementar el diàmetre, la caiguda de pressió disminueix. Per tenir un òptim intercanvi de calor entre el fluid i la sonda, s'ha d'assegurar un règim turbulent, això es tradueix en una velocitat alta. Finalment s'ha d'arribar al compromís de tenir la mínima caiguda de pressió amb unes màximes turbulències.

$$Re = \frac{4 * Q}{\pi * \vartheta * D} > 2.300$$

equació B. 1

On:

Re : numero de Reynolds

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

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

D : diàmetre de la canonada (m)

La condició del règim turbulent ve donada pel número de Reynolds que tal com indica la equació B. 1 ha de ser superior a 2.300.

Per a calcular la viscositat cinemàtica ens valem de la equació B. 1

$$\vartheta = \frac{\mu}{\rho}$$

equació B. 2

On:

$\mu$  : viscositat dinàmica (Pa/s)

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

Emprant l'equació B. 2 a una temperatura de 20°C amb una viscositat dinàmica de  $9.52 \cdot 10^{-4}$  (Pa/s) i densitat específica de 949 (kg/m<sup>3</sup>) extretes de la Imatge B.2 Característiques del líquid caloportador, s'obté el valor de  $1 \cdot 10^{-6}$  (m<sup>2</sup>/s)

Aplicant l'equació B. 1 trobem el numero de Reynolds per a diferents diàmetres.

Re	D (m)	D mm	V (m/s)
1419,916	0,510	510,000	0,005
6034,644	0,120	120,000	0,082
7241,572	0,100	100,000	0,118
9051,965	0,080	80,000	0,184
12069,287	0,060	60,000	0,328
16458,119	0,044	44,000	0,609
18103,931	0,040	40,000	0,737
20690,206	0,035	35,000	0,963
24138,574	0,030	30,000	1,310
28966,289	0,025	25,000	1,887
36207,861	0,020	20,000	2,948

Taula B. 4 Diàmetres de les sondes

Per a assegurar el règim turbulent s'agafa un diàmetre interior de la sonda equivalent a 44mm. En la Taula B. 4 Diàmetres de les sondes.

## B.6 Temperatura de la terra

En general una bomba de calor és una màquina capaç de traslladar calor d'un focus fred a un focus calent utilitzant una quantitat d'energia molt petita. En el cas de l'estudi, el focus calent serà la terra. Això és degut al petit gradient de temperatura amb el temps i la gran quantitat d'energia que pot emmagatzemar

Des del punt de vista del disseny i dimensionament de l'intercanviador geotèrmic, des de molt baixa temperatura fins a una profunditat de 150 metres la temperatura del terreny ve determinada per l'intercanvi de calor amb l'atmosfera i el sol, així com la presència d'aigües subterrànies. Aquesta es manté considerablement constant.

Per el càlcul de la diferència de temperatura al llarg del període d'estudi ens valem de l'equació B. 3 i l'equació B. 4, Temps del subsòl, extreta del document "*Diseño de bombas de calor geotérmica*", publicat per l'IDAE.

$$Th = Tm + As * e^{-Xs * \sqrt{\frac{\pi}{\alpha}}}$$

equació B. 3

$$Tl = Tm - As * e^{-Xs * \sqrt{\frac{\pi}{\alpha}}}$$

equació B. 4

On:

T(h) : temperatura màxima (°C)

T(l) : temperatura mínima (°C)

Xs : profunditat de l'estudi (cm)

Tm : temperatura mitjana anual del sol (°C)

As : oscil·lació de temperatura

$\alpha$  : difusivitat tèrmica del terreny.(cm<sup>2</sup>/any)

La temperatura mitjana anual la calculem amb les dades de la Figura A. 6 Temperatures exteriors. Taula de Temperatures, i mitjançant l'equació A. 4 temperatura de la terra a 20 cm. Es a dir, mitjana entre les temperatures al llarg de l'any, que és de 15.45 °C.

La As és la mitjana entre 38.4 màxima i -4.7 mínima.

El coeficient de difusió tèrmica del terreny.

Les dades es resumeixen en la taula B.4 Taula valors de la temperatura del sol:

As (°C)	Tm	$\alpha$ ( m <sup>2</sup> /s)	Xs (m)
16.85	15.45	0.606·10 <sup>-6</sup>	5000

Taula B. 5 Paràmetres del terra

Utilitzant l'equació B. 3 i l'equació B. 4, identifiquem la temperatura màxima i mínima a una profunditat de 10, 50 i 100 metres.

Taula amb els resultats d'invariància de la temperatura amb la profunditat:

Profunditat	Th (°C)	Tl (°C)
1000	20,125	10,775
5000	15,478	15,422
10000	15,450	15,450
0	32,300	-1,400

Taula B. 6 Valors de la temperatura del sol

S'observa que la temperatura del terreny es manté constant al llarg de l'any.

### B.7 Temperatura màxima i mínima d'entrada del fluid a la bomba de calor

És un paràmetre clau per el disseny del sistema del fluid que circula per l'intercanviador enterrat. Com més baixa sigui la temperatura a l'hivern, més gran serà el gradient de temperatura entre el sol i el fluid, i per tant, la dimensió de l'intercanviador serà menor. Com més alta sigui la temperatura a l'hivern el COP del sistema serà major, per tant major serà l'estalvi energètic.

Per el càlcul ens valem de la equació B. 5 Temperatura sortida fluid ( mode de calefacció).

$$T_{sortida} = T_{entrada} - \frac{1000 * P_c * \frac{COP - 1}{COP}}{C_p * \left(\frac{Q}{3600}\right)}$$

equació B. 5

On:

Pc : potència de la bomba de calor geotèrmica (KW)

COP : índex de rendiment

Q : caudal (l/h)

Cp : calor específic del fluid ( J/kg·K)

Exposarem la taula de propietats la BCG:

Pc (Kw)	COP	Q (l/h)	Rang Temp (°C)	Cp ( Kj/Kg·k)
16,100	4,700	3334,000	-10 20	3858,000

Taula B. 7 Taula de propietats de la BCG

Taula de temperatures a l'entrada i sortida de la bomba de calor:

T entrada	T sortida	Tmin
-10,000	-13,547	-11,774
-5,000	-8,547	-6,774
0,000	-3,547	-1,774
5,000	1,453	3,226
10,000	6,453	8,226
12,000	8,453	10,226
14,000	10,453	12,226
16,000	12,453	14,226

Taula B. 8 Entrada/sortida BCG circuit geotèrmica

La temperatura d'entrada a la bomba de calor geotèrmica serà de 5 °C. Això es traduirà en un dimensionament reduït de l'intercanviador.

## B.8 Resistència tèrmica dels tubs caloportadors

Equació 8.1. Càlcul de la resistència tèrmica dels tubs caloportadors.

$$Rp = \frac{1}{2 * \pi * kp} * \ln \left( \frac{D0}{D1} \right)$$

equació B. 6

On:

Rp : resistència tèrmica (mK/W)

Kp : conductivitat tèrmica material tub ( W/mK)

De/Di : diàmetre exterior / interior del tub ( m)

Kp (W/mK)	De (m)	Di (m9)
0.48	0.05	0.044

Taula B. 9 Dades físiques dels tubs

Per tant aplicant a la Taula B. 9 Dades físiques dels tubs i l'equació B. 6, trobarem una resistència tèrmica dels tubs de 0.04238 mK/W

## B.9 Càlcul de la resistència tèrmica del terreny

El càlcul de la resistència tèrmica dels intercanviadors és una de les parts més delicades del procés de disseny d'una instal·lació amb bomba geotèrmica. La resistència tèrmica d'aquest

depèn de: tipus de tub, tipus del terreny, la configuració del intercanviador de calor i el temps de funcionament d'aquest.

L'expressió per el seu càlcul és la següent:

$$Rs = \frac{E(x)}{4 * \pi * \lambda}$$

equació B. 7

On:

Rs : resistència tèrmica del terreny (m·K/W)

$\lambda$  : conductivitat tèrmica del terreny ( W/m·K)

r : radi exterior de la canonada (m)

$\alpha$  : difusivitat tèrmica del terreny (m<sup>2</sup>/s)

t : temps de utilització del l'intercanviador (s)

Ei : funció equació B. 8

$$E(x) = -\gamma - \ln x$$

equació B. 8

On:

$\gamma$  : 0.577215664 ( constant d'Euler)

$$x = \frac{r^2}{4 * \alpha * t}$$

equació B. 9

Aplicant les tres equacions anteriors, obtenim la resistència del terreny (Taula B. 10 Resistència tèrmica del terreny), on el temps és el temps de funcionament de la instal·lació (Taula B. 12 Hores de funcionament de la BCG).

x	Ei	$\lambda$ (W/m·K)	A (m <sup>2</sup> /s)	r (m)	t (s)	Rs (m·K/W)
1,95E-04	7,96E+00	2,8	6,06E-07	0,025	1321200	<b>0,22635</b>

Taula B. 10 Resistència tèrmica del terreny

## B.10. Factor d'utilització

El factor d'utilització representa la fracció de temps de treball de la bomba de calor i per tant el temps estacional de la instal·lació. És un factor molt important en el disseny del sistema ja que determina la quantitat de calor que el aquest ha d'extreure del terreny durant l'any.

Una manera de calcular aquest paràmetre és assumir que la funció de la temperatura és una funció lineal de l'aire exterior. De tal manera que tan sols es necessita la càrrega calorífica per dos valors de temperatura. També es considera que l'edifici necessitarà calor per sota dels 16°C exteriors.

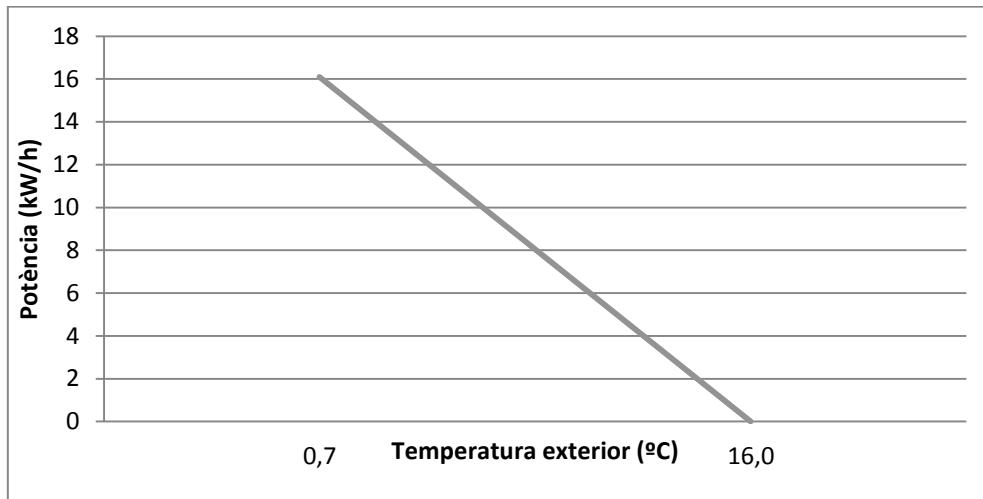


Figura B. 4 Gràfic de potència/temperatura

Per tant tenim la següent funció:

$$Pt = 16.1 - 1.0523 * T$$

equació B. 10

On:

T : temperatura exterior en °C

Pt : equació lineal de la potència en funció de la temperatura exterior

El factor de temperatura es calcula en funció de la temperatura exterior horària (Taula B. 11 Taula horària de temperatures gener) i aplicant la equació B. 10 es troba la potència que ha de generar la bomba de calor.

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Text (°C)	5,0	4,8	5,2	6,3	6,9	7,4	8,3	9,0	9,6	9,8	10,0	10,2
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Text (°C)	10,4	11,8	11,3	11,0	10,8	10,1	9,0	8,7	8,3	7,0	6,6	5,9

Taula B. 11 Taula horària de temperatures gener

Text (°C)	Rang Text (°C)	Hores dia	Hores mes	Càrrega recinte (kW)	Potència BCG (kW)	Factor d'utilització	Hores de funcionament
4	4-4,9	1	31	11,89	16,10	73,9%	22,90
5	5-5,9	3	93	10,84	16,10	67,3%	62,61
6	6-6,9	2	62	9,79	16,10	60,8%	37,69
7	7-7,9	2	62	8,73	16,10	54,2%	33,63
8	8-8,9	4	124	7,68	16,10	47,7%	59,16
9	9-9,9	5	155	6,63	16,10	41,2%	63,82
10	10-10,9	4	124	5,58	16,10	34,6%	42,95
11	11-11,9	3	93	4,52	16,10	28,1%	26,14
12	12-12,9	0	0	3,47	16,10	21,6%	0,00
13	13-13,9	0	0	2,42	16,10	15,0%	0,00
14	14-14,9	0	0	1,37	16,10	8,5%	0,00
15	15-15,9	0	0	0,32	16,10	2,0%	0,00
			<b>744</b>				<b>348.9</b>

Taula B. 12 Hores de funcionament de la BCG

Per trobar el factor s'ha de considerar la quantitat d'hores de funcionament en funció de les hores mensuals de la manera següent: equació B. 11.

$$F = \frac{\text{Hores mensuals}}{\text{Hores funcionals}}$$

equació B. 11

Hores Funcionals	Hores mes	F.cal
348.9	744	<b>0,46895</b>

Taula B. 13 Factor de funcionament



### B.11 Longitud del intercanviador

A partir dels paràmetres anteriors es calcula la longitud de l'intercanviador de calor mitjançant la següent expressió.

$$L_{cal} = \frac{Q_{cal} * \frac{COP - 1}{COP} * (Rp + Rs * F_{cal})}{Tl - T_{min}}$$

equació B. 12

On:

Lcal : longitud de l'intercanviador de calor per a calefacció (m)

Qcal : potència calorífica necessària (W)

COP : índex de rendiment

Rp : resistència del tubs caloportadors intercanviador soterrat (m·K/W)

Rs : resistència del terreny (m·K/W)

Fcal : factor d'utilització

Tmin : temperatura de sortida de la bomba de calor (°C)

Tl : temperatura del terreny (°C)

Rp	Rs	Cop	Qcal	Tl	Tmin	Fcal
0,04238	0,226	4,700	16100,000	15,422	3.226	0,469

Taula B. 14 Paràmetres per el càlcul de la longitud de les sondes geotèrmiques

Aplicant l'equació B. 12 a la taula anterior obtindrem una longitud de l'intercanviador soterrat de 154m.

### B.12. Pèrdua de carrega en el circuit geotèrmic

Comprovem la pèrdues de càrrega en el sistema de captació d'energia geotèrmica. Per això seguirem el mateix procediment que en l'apartat C.5.1 de l'Annex C.

Els resultats obtinguts aplicant els coeficients de la Taula B. 15 Taula valors característics circuit geotèrmic, s'exposen a la Taula B. 16 Taula de pèrdua de carrega en el circuit de geotèrmia.

K (m)	Θ (m <sup>2</sup> /s)	g (m/s <sup>2</sup> )	Ls (m)
7·10 <sup>-6</sup>	1·10 <sup>-6</sup>	9.81	300

Taula B. 15 Taula valors característics circuit geotèrmic

Re	D (m)	V (m/s)	ε	f	Hp (mca/m)	Hp mca
----	-------	---------	---	---	------------	--------

12069,287	0,060	0,328	1,17E-07	0,006	5,84E-04	0,058
16458,119	0,044	0,609	1,59E-07	0,007	2,98E-03	0,298
18103,931	0,040	0,737	1,75E-07	0,007	4,94E-03	0,494

**Taula B. 16 Taula de pèrdua de carrega en el circuit de geotèrnia**

Calculant les pèrdues de càrrega en els circuits geotèrmics, ens dona una alçada de columna d'aigua de 0.36 mca (tenint en compte un 20% de pèrdues secundàries), per tant no és necessària cap bomba d'impulsió, ja que la BCG és capaç d'assolir aquesta pèrdua de pressió.

## Annex C

# DISSENY DEL TERRA RADIANT

### C.1 Càlcul de la longitud dels circuits terra radiant

Per a realitzar una estimació de la longitud dels circuits del terra radiant s'utilitzarà l'equació C. 1, agafant una distància entre tubs de 20 cm.

$$L = \frac{A}{e} + 2 * l$$

equació C. 1

On:

L= longitud dels tubs (m)

A : àrea del l'espai a calefactar (m<sup>2</sup>)

e : distància entre tubs (m)

l : longitud addicional des del col·lector (m)

La dimensió dels circuits queda reflectida en la Taula C. 1 Longituds dels circuits de calefacció:

	<b>Àrea (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Distància entre tubs</b>	<b>l addicional (m)</b>	<b>L total dels tubs (m)</b>
Hab 1	15,31	0,20	0,00	<b>76,55</b>
Hab 2	10,54	0,20	2,00	<b>56,70</b>
Hab 3	10,54	0,20	3,00	<b>58,70</b>
Bany 1	13,92	0,20	0,00	<b>69,58</b>
Vestidor 1				
Bany 2	6,40	0,10	0,00	<b>64,00</b>
Bany3	3,30	0,20	1,70	<b>19,90</b>
Hab 4	10,54	0,20	1,20	<b>55,10</b>
Pas 1	10,00	0,20	0,00	<b>50,00</b>
Pas 2	0,00			
Sala	33,32	0,20	0,00	<b>166,60</b>
S1	11,11	0,20	0,00	<b>55,53</b>
S2	11,11	0,20	0,00	<b>55,53</b>
S3	11,11	0,20	0,00	<b>55,53</b>
Rebedor	5,07	0,20	0,50	<b>26,35</b>
Menjador	25,08	0,20	0,00	<b>125,40</b>
M1	12,54	0,20	0,00	<b>62,70</b>
M2	12,54	0,20	0,00	<b>62,70</b>
Cuina	30,77	0,20	0,00	<b>153,85</b>
C1	10,26	0,20	0,00	<b>51,28</b>
C2	10,26	0,20	0,00	<b>51,28</b>
C3	10,26	0,20	0,00	<b>51,28</b>

Taula C. 1 Longituds dels circuits de calefacció

Per a una correcta distribució de la temperatura hem optat per dividir les estàncies més grans en diferents circuits (cuina, menjador i saló) Amb això també evitem una gran caiguda de pressió degut a la longitud del circuit i la velocitat que hauria de mantenir el fluid caloportador per a garantir una transferència de calor uniforme.

També en estàncies amb una superfície molt petita es creen circuits comuns per tal d'obtenir unes longituds de circuits el més semblant possible.

## C.2 Temperatura mitjana superficial

La temperatura mitjana superficial del terra vindrà determinada per diferents paràmetres. No es recomana que sobrepassi els límits marcats per la norma UNE-EN 1264 ja que podria ser perjudicial per el sistema circulatori dels ocupants que passen moltes hores damunt la instal·lació.

1. Zona alejada	35°C	2. Zona de estar	29°C
3. Cocina	29°C	4. Sala de juegos	27°C
5. Baño	33°C	6. Sala de estudio	29°C
7. Piscina	30°C		

Figura C. 1 Temperatura límit solera

Aplicant l'equació C. 2 obtenim la temperatura mitjana del paviment, on el coeficient de transmissió de calor és de 12 (W/m<sup>2</sup>\*°C):

$$q = \alpha * (T_{ms} - T_i)$$

equació C. 2

On:

q : càrrega tèrmica del local (W/m<sup>2</sup>)

α : coeficient de transmissió de calor ( W/m<sup>2</sup>·°C)

T<sub>ms</sub> : temperatura mitjana superficial del paviment (°C)

T<sub>i</sub> : temperatura del recinte (°C)

Taula de temperatures superficials en funció de la demanda energètica de cada recinte:

	Qtotal (W)	S (m <sup>2</sup> )	q (W/m <sup>2</sup> )	Ti (°C)	Tms (°C)
<b>Hab 1</b>	661,68	15,31	43,22	21,00	24,60
<b>Hab 2</b>	444,87	10,54	42,21	21,00	24,52
<b>Hab 3</b>	444,44	10,54	42,17	21,00	24,51
<b>Bany 1</b>	981,94	13,92	70,57	21,00	26,88
<b>Vestidor 1</b>					26,88
<b>Bany 2</b>	603,91	6,40	94,36	19,00	26,86
<b>Bany3</b>	486,56	3,30	147,44	19,00	31,29
<b>Hab 4</b>	638,13	10,54	60,54	21,00	26,05
<b>Pas 1</b>	831,48	19,46	42,73	21,00	24,56
<b>Pas 2</b>					
<b>Sala</b>	2310,86	33,32	69,35	21,00	26,78
	770,29	11,11	69,35	21,00	26,78
	770,29	11,11	69,35	21,00	26,78
	770,29	11,11	69,35	21,00	26,78
<b>Rebedor</b>	483,99	5,07	95,46	19,00	26,96
<b>Menjador</b>	1569,03	25,08	62,56	21,00	26,21
	784,52	12,54	62,56	21,00	26,21
	784,52	12,54	62,56	21,00	26,21
<b>Cuina</b>	2638,11	30,77	85,74	21,00	28,14
	879,37	10,26	85,74	21,00	28,14
	879,37	10,26	85,74	21,00	28,14
	879,37	10,26	85,74	21,00	28,14

Taula C. 2 Taula de temperatures superficials

Veiem que les temperatures superficials dels recintes no excedeixen els límits del benestar.

### C.3. Temperatura màxima de l'aigua del circuit de calefacció

El salt tèrmic entre la impulsió i el retorn es fixa en 10°C. La temperatura mitjana de la impulsió depèn de la demanda tèrmica del local, que es calcula segons la equació C. 3.

$$q = ka * (Tmi - Tms)$$

equació C. 3

On:

ka : el coeficient de transmissió tèrmica de la capa dels tubs (W/m<sup>2</sup>·°C)

Tmi : temperatura mitjana d'impulsió de l'aigua (°C)

I Ka, és el coeficient de transmissió tèrmica trobat amb l'equació C. 4

$$ka = \frac{1}{\sum \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{\alpha}}$$

equació C. 4

On:

	e (m)	$\lambda$ (W/m <sup>2</sup> ·°C)
<b>Tub</b>	0.002	0,35
<b>Pedra natural</b>	0.002	2,00

Taula C. 3 Taula valors dels materials

$\alpha$  es de 12 W/m<sup>2</sup>·°C

Per tant aplicant a la Taula C. 3 Taula valors dels materials, l'equació C. 4 es troba un valor de 10.1 W/ m<sup>2</sup>·°C.

Aplicant l'equació C. 3 obtenim els valors de la Taula C. 4 Taula de temperatures del fluid

	S (m <sup>2</sup> )	q (W/m <sup>2</sup> )	Ti (°C)	Tms (°C)	Tmt (°C)
<b>Hab 1</b>	15,31	43,22	21,00	24,60	28,88
<b>Hab 2</b>	10,54	42,21	21,00	24,52	28,70
<b>Hab 3</b>	10,54	42,17	21,00	24,51	28,69
<b>Bany 1</b>	13,92	70,57	21,00	26,88	33,87
<b>Vestidor 1</b>					
<b>Bany 2</b>	6,40	94,36	19,00	26,86	36,21
<b>Bany3</b>	3,30	147,44	19,00	31,29	45,89
<b>Hab 4</b>	10,54	60,54	21,00	26,05	32,04
<b>Pas 1</b>	19,46	42,73	21,00	24,56	28,79
<b>Pas 2</b>					
<b>Sala</b>	33,32	69,35	21,00	26,78	33,65
<b>Rebedor</b>	5,07	95,46	19,00	26,96	36,41
<b>Menjador</b>	25,08	62,56	21,00	26,21	32,41
<b>Cuina</b>	30,77	85,74	21,00	28,14	36,64

Taula C. 4 Taula de temperatures del fluid

Com veiem la temperatura correspon a la càrrega tèrmica màxima per metre quadrat és de 36.21°C (el bany3).

Comprovant el rang de temperatures de sortida de la Imatge B.1. Característiques del la bomba de calor geotèrmica (Annex B), s'observa que la BCG és capaç de donar la temperatura de 46°C exigida per el circuit de calefacció del Bany 3.

Fixarem la temperatura de retorn a 36 °C, que ens permetrà calcular el dimensionament de cabal del circuit.

### C.4. Cabal en els circuits

El cabal necessari es calcula a partir del gradient de temperatura entre la entrada i sortida de la bomba. Cada circuit tindrà el seu propi cabal que es regula amb vàlvules de control de pèrdua de càrrega situades al retorn. Per la obtenció del cabal ens valem de l'equació C. 5  
Càlcul del cabal:

$$q = m * Cp * (\Delta t)$$

equació C. 5

On:

$m$  : cabal màssic (kg/h)

$Cp$  : calor específic de l'aigua (W/kg)

$\Delta t$  : gradient de temperatura entre entrada i sortida (10°C)

$n$  : cabal volumètric (m/s)

Aplicant l'equació C. 5 obtenim els cabals de cada circuit.

	<b>Qtotal (W)</b>	<b>Qtotal (cal/h)</b>	<b><math>\Delta t</math></b>	<b>q(kg/h)</b>	<b>q(l/s)</b>
<b>Hab 1</b>	661,68	568,94	10	56,89	0,0158
<b>Hab 2</b>	444,87	382,52	10	38,25	0,0106
<b>Hab 3</b>	444,44	382,15	10	38,22	0,0106
<b>Bany 1</b>	981,94	844,32	10	84,43	0,0235
<b>Vestidor 1</b>					
<b>Bany 2</b>	603,91	519,27	10	51,93	0,0144
<b>Bany3</b>	486,56	418,37	10	41,84	0,0116
<b>Hab 4</b>	638,13	548,69	10	54,87	0,0152
<b>Pas 1</b>	831,48	714,95	10	71,49	0,0199
<b>Pas 2</b>			10		
<b>Sala</b>					
<b>S1</b>	770,29	662,33	10	66,23	0,0184
<b>S2</b>	770,29	662,33	10	66,23	0,0184
<b>S3</b>	770,29	662,33	10	66,23	0,0184
<b>Rebedor</b>	483,99	416,16	10	41,62	0,0116
<b>Menjador</b>					
<b>M1</b>	784,52	674,56	10	67,46	0,0187
<b>M2</b>	784,52	674,56	10	67,46	0,0187
<b>Cuina</b>					
<b>C1</b>	879,37	756,12	10	75,61	0,0210
<b>C2</b>	879,37	756,12	10	75,61	0,0210
<b>C3</b>	879,37	756,12	10	75,61	0,0210
					<b>0,289</b>

Taula C. 5 Taula de velocitats del fluid



## C.5 Càlcul de pèrdua de càrrega en els circuits de calefacció

Calculem la velocitat dels fluids en els diferents circuits de calefacció.

En la selecció del diàmetre a utilitzar en els circuits de distribució hem d'arribar a un compromís entre la caiguda de pressió i la velocitat del fluid. Al incrementar el diàmetre, la caiguda de pressió disminueix. Per tenir un òptim intercanvi de calor entre el fluid i el terra s'ha d'assegurar un règim turbulent, això es tradueix en una velocitat alta, mai per sobre dels 2m/s per evitar sorolls. Finalment s'ha d'arribar al compromís de tenir la mínima caiguda de pressió amb unes màximes turbulències.

### C.5.1 Pèrdues primàries

Per el càlcul de les pèrdues primàries degut a la rugositat superficial dels tubs de polietilè ens valem de la fórmula de Darcy-Weisbach (equació C. 6).

$$Hr = f * \frac{L}{d} * \frac{v^2}{2 * g}$$

equació C. 6

On:

Hr : pèrdua de càrrega (mca)

f : coeficient de fricció

L : longitud del circuit (m)

D : diàmetre interior del circuit (m)

v : velocitat del fluid (m/s)

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

El coeficient de fricció en règim turbulent el calculem segons l'equació C. 7 Càlcul de coeficient de fricció.

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{0.37 * \left( \frac{D}{\varepsilon} \right)} + \frac{5.74}{Re^2} \right) \right]^2}$$

equació C. 7

On:

ε : rugositat relativa

Re : número de Reynolds

La rugositat relativa es dona en funció de la rugositat absoluta K (m) i el diàmetre de la canonada (m) segons la equació C. 8:

$$\varepsilon = \frac{K}{D}$$

equació C. 8

El número de Reynolds l'obtindrem segons la equació C. 9:

$$Re = \frac{4 * Q}{\pi * \vartheta * D} > 2.300$$

equació C. 9

On :

$\theta$  : Viscositat cinemàtica de l'aigua ( $6.61 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ )

Aplicant les equacions C9, C8, C7 i finalment l'equació de pèrdua de càrrega equació C. 6. Obtindrem les pèrdues de càrregues primàries dels circuits, exposades en la Taula C. 6 Pèrdua de càrrega en els circuits de calefacció el diàmetre nominal dels tubs serà de 20mm i 2mm de gruix. Per tant el diàmetre interior utilitzat en els càlculs de les pèrdues és de 16mm.

	q(l/s)	L (m)	Di (m)	V (m/s)	$\varepsilon$	RE	f	Hr
<b>Hab 1</b>	0,0158	76,55	0,016	0,08	4,38E-04	1911,30	0,20	2,94E-01
<b>Hab 2</b>	0,0106	56,70	0,016	0,05	4,38E-04	1285,04	0,20	9,85E-02
<b>Hab 3</b>	0,0106	58,70	0,016	0,05	4,38E-04	1283,81	0,20	1,02E-01
<b>Bany 1</b>	0,0235	69,58	0,016	0,12	4,38E-04	2836,40	0,20	5,89E-01
<b>Vestidor 1</b>			0,016					
<b>Bany 2</b>	0,0144	64,00	0,016	0,07	4,38E-04	1744,43	0,20	2,05E-01
<b>Bany3</b>	0,0116	19,90	0,016	0,06	4,38E-04	1405,46	0,20	4,14E-02
<b>Hab 4</b>	0,0152	55,10	0,016	0,08	4,38E-04	1843,27	0,20	1,97E-01
<b>Pas 1</b>	0,0199	50,00	0,016	0,10	4,38E-04	2401,80	0,20	3,04E-01
<b>Pas 2</b>			0,016					
<b>Sala</b>			0,016					
<b>S1</b>	0,0184	55,53	0,016	0,09	4,38E-04	2225,03	0,20	2,89E-01
<b>S2</b>	0,0184	55,53	0,016	0,09	4,38E-04	2225,03	0,20	2,89E-01
<b>S3</b>	0,0184	55,53	0,016	0,09	4,38E-04	2225,03	0,20	2,89E-01
<b>Rebedor</b>	0,0116	26,35	0,016	0,06	4,38E-04	1398,03	0,20	5,42E-02
<b>Menjador</b>			0,016					
<b>M1</b>	0,0187	62,70	0,016	0,09	4,38E-04	2266,12	0,20	3,39E-01
<b>M2</b>	0,0187	62,70	0,016	0,09	4,38E-04	2266,12	0,20	3,39E-01
<b>Cuina</b>			0,016					
<b>C1</b>	0,0210	51,28	0,016	0,10	4,38E-04	2540,12	0,20	3,48E-01
<b>C2</b>	0,0210	51,28	0,016	0,10	4,38E-04	2540,12	0,20	3,48E-01
<b>C3</b>	0,0210	51,28	0,016	0,10	4,38E-04	2540,12	0,20	3,48E-01

Taula C. 6 Pèrdua de càrrega en els circuits de calefacció

Les longituds i diàmetres dels circuits de distribució són les esmentades en la taula següent:

	q(l/s)	L (m)	Di (m)	V (m/s)	ε	RE	f	Hr
<b>Tram BCG colector x</b>	0,29	15,00	0,04	0,28	1,94E-04	15533,87	0,07	1,27E-01
<b>Tram colector x colector xx</b>	0,04	13,00	0,03	0,05	0,00	2373,85	0,08	4,10E-03

Taula C. 7 Taula de pèrdues canonades de distribució

La pèrdua de càrrega de la calefacció radiant es calcularà agafant la major pèrdua de càrrega en els circuits més desfavorable (el Bany 1 ) aplicant un 20% de pèrdues secundàries. Amb això podrem dimensionar la bomba d'impulsió dels circuits del terra radiant.

$$H_{rt} = H_r * 1.2$$

equació C. 10

Ens dona una pèrdua de càrrega de 0.865mca, a això se li suma la diferència d'alçada entre els dos circuits (0.35 m) per tant la pressió total a entregar per la bomba és de 1.21mca amb un cabal de 1040m<sup>3</sup>/h. No necessitem cap bomba addicional ja que la BCG ens incorpora una bomba d'impulsió de 3.45mca.

## **Annex D**

# **Necessitat d'aigua calenta sanitària**

## D.1 Normativa ACS

Amb l'estudi inclourem que la mateixa bomba de calor geotèrmica sigui l'encarregada de proporcionar l'aigua sanitària d'una forma més eficient que altres sistemes convencionals.

El document DB-HE 4 l'apartat HE4 indica la contribució mínima d'aigua calenta sanitària (ACS) en la rehabilitació d'edificis. En l'apartat 1.1 Àmbit d'aplicació, determina les condicions d'aplicabilitat de l'energia solar mínima. Aquestes indiquen que la contribució solar mínima es pot reduir si es cobreix l'aportació mitjançant altres energies renovables.

Criterio de demanda	Litros ACS/día a 60° C	
Viviendas unifamiliares	30	por persona
Viviendas multifamiliares	22	por persona
Hospitales y clínicas	55	por cama
Hotel ****	70	por cama
Hotel ***	55	por cama
Hotel/Hostal **	40	por cama
Camping	40	por emplazamiento
Hostal/Pensión *	35	por cama
Residencia (ancianos, estudiantes, etc)	55	por cama
Vestuarios/Duchas colectivas	15	por servicio
Escuelas	3	por alumno
Cuarteles	20	por persona
Fábricas y talleres	15	por persona
Administrativos	3	por persona
Gimnasios	20 a 25	por usuario
Lavanderías	3 a 5	por kilo de ropa
Restaurantes	5 a 10	por comida
Cafeterías	1	por almuerzo

**Figura D. 1 Demanda ACS**

La demanda d'aigua calenta sanitària es recull en la Figura D. 1 Demanda ACS extreta de HE 4.

En les instal·lacions d'ACS, s'han de tenir compte els criteris higiènic-sanitaris per la prevenció i control de la legionel·losis. Aquesta bactèria prospera entre els 25 i 45 °C. Per tant haurem d'evitar que l'aigua sanitària no superi els 20°C i que el subministrament d'aigua calenta sanitària adquireixi una temperatura mínima de 60 °C per a la destrucció de la bactèria esmentada.

## D.2 Càlcul demanda ACS

Per el càlcul de la necessitat d'aigua calenta sanitària ens valem de l'equació D. 1

$$Di(T) = Di(70^{\circ}\text{C}) * \left( \frac{70 - Ti}{T - Ti} \right)$$

equació D. 1

On:

Di(T) : demanda d'aigua calenta pel mes i, a la temperatura T seleccionada.

Di (70) : demanda d'aigua calenta sanitària d 70°C

T : temperatura final de l'acumulador

Ti : temperatura mitjana d'aigua freda per mes i

Calcularem la demanda de 30 l/dia per 4 persones.

	Dies	D 70°C (l/d)	T sortida (°C)	T aigua xarxa	D a 46°C (l/d)	D dia (kW/d)	D mensual (kW/mes)
Gener	31	120	46	8	196	9	268
Febrer	28	120	46	9	198	8	238
Març	31	120	46	11	202	8	255
Abril	30	120	46	13	207	8	238
Maig	31	120	46	14	210	8	242
Juny	30	120	46	15	213	8	230
Juliol	31	120	46	16	216	8	233
Agost	31	120	46	15	213	8	238
Set	30	120	46	14	210	8	234
Octubre	31	120	46	13	207	8	246
Nov	30	120	46	11	202	8	247
Des	31	120	46	8	196	9	268
							2936

Taula D. 1 Energia destinada a ACS proporcionat per BCG

Dimensionarem un acumulador de ACS de 220 l amb una resistència elèctrica per assolir la temperatura de 70°C.

	Dies	Demanda a 70°C(l/d)	T inicial (°C)	T final (°C)	Demanda dia (kW/d)	Demanda d'energia mensual (kW/mes)
Gener	31	120	46	70	5	169
Febrer	28	120	46	70	6	154
Març	31	120	46	70	6	175
Abril	30	120	46	70	6	173
Maig	31	120	46	70	6	181
Juny	30	120	46	70	6	178
Juliol	31	120	46	70	6	187
Agost	31	120	46	70	6	184
Set	30	120	46	70	6	176
Octubre	31	120	46	70	6	179
Nov	30	120	46	70	6	169
Des	31	120	46	70	5	169
						<b>2094</b>

Taula D. 2 Energia addicional ACS proporcionat per resistència elèctrica

**Annex E**

**Viabilitat respecte**

**a altres sistemes**



## E.1 Paràmetres de contorn

Per fer l'anàlisi de viabilitat de la bomba de calor geotèrmica haurem de tenir en compte els següents paràmetres:

Inversió inicial de la instal·lació

Energia necessària al cap de l'any

Preu unitari del kilowatt de cada opció

Per tal de veure si la bomba de calor geotèrmica és rendible s'haurà de comparar amb altres sistemes de calefacció.

## E.2 La necessitat tèrmica anual serà la següent

Per el càlcul de la necessitat tèrmica de calefacció anual necessitarem la temperatura mitjana mensual i la potència màxima. Tenim en compte que la caldera a 0.7°C de temperatura treballarà a una potència de 12.5 kW. Per calcular la energia necessària per mantenir el confort a l'immoble utilitzarem la següent equació:

$$E = 12.5 - \left( \frac{12.5}{16 - 0.7} \right) * Tm$$

equació E. 1

On:

E : energia necessària (kW·h)

Tm : temperatura mitjana mensual (°C)

	Dies	Tm (°C)	E (kW·h)	E any (kW·h)
Gener	31,000	8,400	5,637	4194,077
Febrer	28,000	8,900	5,229	3513,686
Març	31,000	11,400	3,186	2370,533
Abril	30,000	13,200	1,716	1235,232
Maig	31,000	17,100	0,000	0,000
Juny	30,000	21,600	0,000	0,000
Juliol	31,000	23,400	0,000	0,000
Agost	31,000	23,700	0,000	0,000
Setembre	30,000	20,000	0,000	0,000
Octubre	31,000	17,000	0,000	0,000
Novembre	30,000	11,600	3,023	2176,416
Desembre	31,000	8,900	5,229	3890,153
				<b>17380,097</b>

Taula E. 1 Necessitat energètica de calefacció

Per satisfer les necessitats energètiques totals de l'immoble s'haurà de gastar un total de 20316 kW·h per calefacció i ACS.

### E.3 Comparació amb altres sistemes

Comparació del sistema de BCG amb un sistema de calefacció per caldera de Gasoil C. En la següent taula expressarem les despeses generades per la bomba de calor (energia elèctrica) i la caldera de gasoil (gasoil calefacció). El mètode de càlcul el trobem en les seccions E.3.1 i E.3.2.

	Inversió (€)	Energia necessària (kW·h)	Consum (kw·h)	Preu any (€)	Consum addicional ACS	Factura Anual (€)
BCG	17132	20316	4322	561,92	283,56	<b>845,48</b>
Caldera Gasoil C	5793	20316	23086	2040,30	0,00	<b>2040,30</b>

Taula E. 2 Despeses anuals de calefacció i ACS

Per fer la comparació dels dos sistemes necessitem la inversió inicial, els anys de vida útil i les despeses anuals de cada sistema. Amb això podem calcular l'amortització i la viabilitat del sistema de BCG respecte al de caldera de gasoil.

El "Fondo Nacional de Eficiencia Energética y de los Presupuestos Generales del Estado" ofereix una subvenció per millores energètiques que és del 30% en l'àmbit de la energia geotèrmica. Per tant se li podrà aplicar al preu de la instal·lació per bomba de calor geotèrmica.

	BCG	Caldera Gasoil C
<b>Vida útil (anys)</b>	50	15
<b>Inversió</b>	17132,14	4653,18

Taula E. 3 Taula de característiques instal·lacions

Amb les dades de les taules : Taula E. 3 Taula de característiques instal·lacions i Taula E. 2 Despeses anuals de calefacció i ACS podem calcular la viabilitat de BCG.

	<b>BCG</b>	<b>Caldera Gasoil C</b>
<b>Vida util (anys)</b>	50,00	15,00
<b>Inversió</b>	17132,14	4653,18
0,00	17132,14	4653,18
3,00	19668,59	10774,07
6,00	22205,04	16894,95
9,00	24741,49	23015,84
12,00	27277,94	29136,72
15,00	29814,38	39910,79
18,00	32350,83	46031,67
21,00	34887,28	52152,56
24,00	37423,73	58273,45
27,00	39960,18	64394,33
30,00	42496,63	75168,40
33,00	45033,07	81289,28
36,00	47569,52	87410,17
39,00	50105,97	93531,05
42,00	52642,42	99651,94
45,00	55178,87	110426,01
48,00	57715,31	116546,89
50,00	59406,28	120627,48

Taula E. 4 Amortització de la BCG

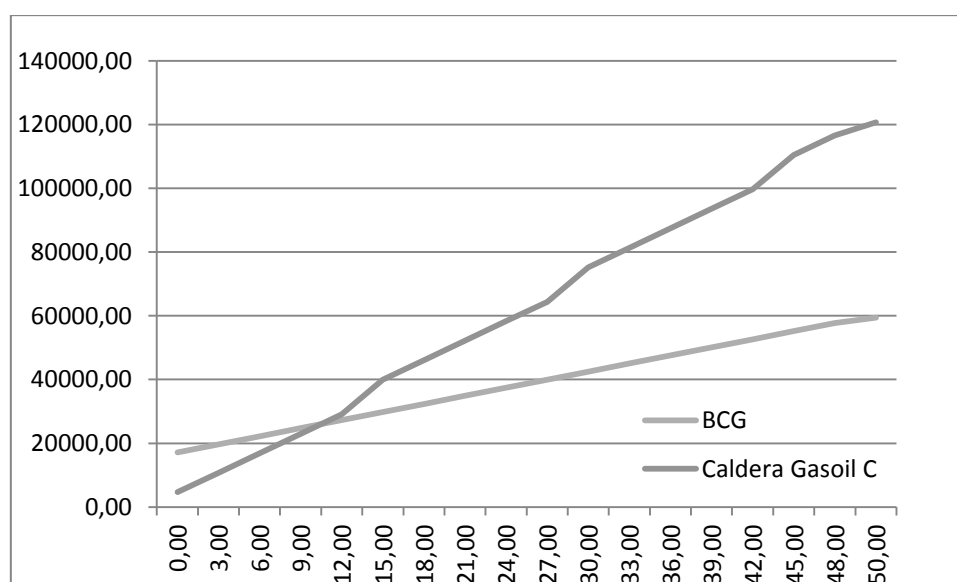


Figura E. 1 Gràfic de costos dels dos sistemes.

Veiem que la bomba de calor geotèrmica es pot amortitzar en uns 11 anys, i al cap de 50 anys tenim un estalvi de més del 50% en calefacció.

### E.3.1 Sistema per caldera de gasoil C

Per el sistema de caldera de gasoil calcularem el cost anual de la instal·lació. Aquest sistema serveix tant per el circuit de calefacció com per ACS. El cost es calcularà segons les següents característiques amb la següent equació:

$$Preu = \frac{Preu l}{\left(\frac{Pc}{Tr} * \eta\right)}$$

equació E. 2

On:

Preu : preu unitari per kW·h (€/kW·h)

Preu l : preu unitari del combustible (l)

Pc : poder calorífic del combustible (kcal/l)

Tr : coeficient de conversió en kW (Kw/Kcal)

Rendiment	Poder calorífic gasoil C (kJ/l)	Preu litre gasoil (€/l)	Tr (kW/kcal)	Preu (€/kWh)
0.88	8550	0.879	859.64	<b>0.10043</b>

Taula E. 5 Característiques de la caldera de gasoil

### E.3.2 Sistema per bomba de calor geotèrmica

Per el sistema de BCG calcularem el cost anual de la instal·lació segons les següents característiques amb la següent equació:

$$Preu = \frac{Preu l}{\left(\frac{Pc}{Tr} * \eta\right)}$$

equació E. 3

Com que la BCG no ens dona prou temperatura, per ACS ens ajudarem d'un escalfador acumulador de calor amb el que assolirem la temperatura de 70°C. Aquesta diferència de temperatura s'haurà de tenir en compte ja que serà proporcionada per energia elèctrica addicional.

Per el càlcul de la caldera de BCG s'ha de comptar amb un rendiment del 400% i per l'aigua calenta sanitària un 96%. Per tant tindrem els següents preus unitaris:

Preu electricitat (€/kW·h)	Preu BCG (€/kW·h)	Preu ACS (€/kW·h)
0.13	<b>0.025565</b>	<b>0.10652</b>

Taula E. 6 Preu unitari kWh BCG i escalfador elèctric

## **E.4 Conclusió**

Per finalitzar l'estudi podem concloure que la instal·lació per BCG és econòmicament viable.

L'inconvenient principal és l'alta inversió inicial de la instal·lació geotèrmica. No obstant, ofereix una sèrie d'avantatges, com l'estalvi anual de gairebé 1200€, l'absència de fums i olors, no dependre dels combustibles fòssils, l'amortització en poc més de 10 anys i evitar la instal·lació d'un dipòsit de combustibles inflamables ja que és una energia renovable i respectuosa amb el medi ambient.

## **Annex F**

### **Pressupost orientatiu**

## F.1 Pressupost orientatiu de la instal·lació de BCG.

### ACONDICIONAMENT DEL TERRENY

Nº	UD	DESCRIPCIÓ	QU	PREU	TOTAL
1.1	Ut	<p>A) Descripció: Desplaçament, muntatge, desmuntatge i retirada de l'obra d'equip complet per a la perforació, injecció i col·locació de sondes geotèrmiques format per: equip de perforació, compressor, bomba d'aigua (llots), equip d'injecció, equip per a moviment de material en obra, barnillatge, entubament recuperable, mànegues, eines de perforació i d'introducció de les sondes, i altres equips auxiliars. També p/p de desplaçament del personal especialitzat i transport de materials.</p> <p>B) Inclou: Transport a l'obra. Muntatge de l'equip. Desmuntatge de l'equip. Retirada de l'equip&gt;.</p> <p>C) Criteri d'amidament de projecte: Nombre d'unitats previstes, segons documentació gràfica de Projecte.</p> <p>D) Criteri de mesura d'obra: Es mesurarà el nombre d'unitats realment executades segons especificacions de Projecte.</p>	1,00	1.220,37	<b>1.220,37</b>
1.2	m	<p>A) Descripció: Perforació del terreny amb màquina dotada de doble capçal, per a la realització de 2 sondejors de 84 m de profunditat i diàmetre entre 130 i 180 mm, amb entubament recuperable en terrenys inestables, extracció del barnillatge i de l'eina de perforació, introducció de la sonda geotèrmica acompanyada del tub d'injecció i les peses necessàries per al llastrat de la sonda mitjançant utilització de guia mecànica per desenrotllar la sonda, injecció del morter i extracció de la canonada recuperable. Inclús p/p de conducció del detritus de perforació mitjançant sistema Preventer a través de mànegues fins a contenidors. Totalment muntada, connexionada i provada per l'empresa instal·ladora mitjançant les corresponents proves de servei, de pressió i circulació segons norma VDI 4640 (DIN V 4279-7). No estan inclosos en aquest preu ni el subministrament del morter geotèrmic ni el de la sonda geotèrmica.</p> <p>B) Inclou: Perforació del terreny. Extracció del barnillatge de perforació. Introducció de la sonda amb el tub d'injecció. Injecció del morter geotèrmic. Extracció de la canonada de revestiment. Realització de les proves de servei.</p> <p>C) Criteri d'amidament de projecte: Longitud mesurada segons documentació gràfica de Projecte.</p> <p>D) Criteri de mesura d'obra: Es mesurarà la longitud total de la sonda geotèrmica introduïda verticalment en el terreny.</p>	160.00	49,33	<b>7.892,80</b>

### ACONDICIONAMENT DEL TERRENY

Nº UD	DESCRIPCIÓ	QU	PREU	TOTAL
1.3 m <sup>3</sup>	<p>A) Descripció: Formació de reblert amb grava de 20 a 30 mm de diàmetre, en rases en les quals prèviament s'han allotjat les instal·lacions i s'ha realitzat el reblert envoltant de les mateixes (no inclòs en aquest preu); i compactació en tongades successives de 20 cm d'espessor màxim mitjançant equip manual format per taula vibrant, fins a assolir una densitat seca no inferior al 95% de la màxima obtinguda en l'assaig Proctor Modificat, realitzat segons UNE 103501 (assaig no inclòs en aquest preu). Fins i tot cinta o distintiu indicador de la instal·lació, càrrega, transport i descàrrega a peu de tall dels àrids a utilitzar en els treballs de reblert i humectació dels mateixos.</p> <p>B) Inclou: Estesa del material de reblert en tongades d'espessor uniforme. Humidificació o dessecació de cada tongada. Col·locació de cinta o distintiu indicador de la instal·lació. Compactació.</p> <p>C) Criteri d'amidament de projecte: Volum mesurat sobre les seccions teòriques de l'excavació, segons documentació gràfica de Projecte.</p> <p>D) Criteri de mesura d'obra: Es mesurarà, en perfil compactat, el volum realment executat segons especificacions de Projecte, entre cares interiors d'arquetes o altres elements d'unió.</p>	0,00	23,83	<b>0,00</b>
1.4 m <sup>3</sup>	<p>A) Descripció: Formació de reblert amb formigó no estructural HNE-15/B/20, fabricat en central i abocada des de camió, en rases en les quals prèviament s'han allotjat les instal·lacions i s'ha realitzat el reblert envoltant de les mateixes (no inclòs en aquest preu). Fins i tot càrrega, transport, abocament, regat i vibrat del formigó.</p> <p>B) Inclou: Posta en obra del formigó.</p> <p>C) Criteri d'amidament de projecte: Volum mesurat sobre les seccions teòriques de l'excavació, segons documentació gràfica de Projecte.</p> <p>D) Criteri de mesura d'obra: Es mesurarà el volum realment executat segons especificacions de Projecte, entre cares interiors d'arquetes o altres elements d'unió.</p>	0,00	67,15	<b>0,00</b>
<b>TOTAL PRESSUPOST PARCIAL Nº 1 ACONDICIONAMENT DEL TERRENY:</b>				<b>9.113,17</b>



**PRESSUPOST PARCIAL N° 2 INSTAL·LACIONS**

<b>N° UD</b>	<b>DESCRIPCIÓ</b>	<b>QUANTITAT</b>	<b>PREU</b>	<b>TOTAL</b>
2.14 Ut	<p>A) Descripció: Subministrament i instal·lació de vàlvula de 3 vies de 1/2", mescladora, amb actuator de 220 V; inclòs elements de muntatge i demés accessoris necessaris per el seu correcte funcionament. Totalment muntada, connexionada i provada.</p> <p>B) Inclou: Replanteig. Col·locació de la vàlvula. Connexió de la vàlvula als tubs.</p> <p>C) Criteri d'amidament de projecte: Nombre d'unitats previstes, segons documentació gràfica de Projecte.</p> <p>D) Criteri de mesura d'obra: Es mesurarà el nombre d'unitats realment executades segons especificacions de Projecte.</p>	1,00	195,86	<b>195,86</b>
2.15 Ut	<p>A) Descripció: Subministrament de sonda geotèrmica per a instal·lació vertical, de 90 m de longitud i 96 mm de diàmetre, formada per un tub de polietilè d'alta densitat (PE 100) de 32 mm de diàmetre i 2,9 mm de gruix, SDR11, i un peu amb forma de V, al que es solden els tubs, pes de la sonda 222,75 kg, temperatura de treball entre -20°C i 30°C, subministrada en rotllos, amb tub d'injecció, distanciadors per a tubs i morter preparat de bentonita i ciment.</p> <p>B) Criteri d'amidament de projecte: Nombre d'unitats previstes, segons documentació gràfica de Projecte.</p> <p>C) Criteri de mesura d'obra: Es mesurarà el nombre d'unitats realment executades segons especificacions de Projecte.</p>	2,00	1.935,77	<b>3.871,54</b>

**PRESSUPOST PARCIAL N° 2 INSTAL·LACIONS**

<b>N° UD</b>	<b>DESCRIPCIÓ</b>	<b>QUANTITAT</b>	<b>PREU</b>	<b>TOTAL</b>
2.16 m	<p>A) Descripció: Subministrament i instal·lació de col·lector modular de plàstic reforçat amb fibra de vidre, de 40 mm de diàmetre interior, amb connexions principals de 1 1/4" de diàmetre, per a 3 circuits, compost per mòdul d'impulsió, mòdul de retorn, purgador manual d'aire, clau de tall per a cada circuit secundari en el mòdul d'impulsió i cabalímetre per a cada circuit secundari en el mòdul de retorn, de 5,2 kg, pressió de treball 6 bar, pressió màxima 10 bar, per a col·locació en sala tècnica, amb conjunt de suports i abraçadores, claus de tall d'esfera, adaptadors 50 mm x 1 1/4", per a les connexions d'alimentació del col·lector, adaptadors 32 mm x 1" per a les connexions de distribució del col·lector i termòmetres amb manòmetre, instal·lats en el mòdul d'impulsió i en el mòdul de tornada del col·lector. Totalment muntat, connexionat i provat per l'empresa instal·ladora mitjançant les corresponents proves de servei (incloses en aquest preu).</p> <p>B) Inclou: Replanteig de l'emplaçament del col·lector. Col·locació del col·lector. Connexionat de tots els circuits. Realització de proves de servei.</p> <p>C) Criteri d'amidament de projecte: Nombre d'unitats previstes, segons documentació gràfica de Projecte.</p> <p>D) Criteri de mesura d'obra: Es mesurarà el nombre d'unitats realment executades segons especificacions de Projecte.</p>	1,00	470,94	<b>470,94</b>
2.17 m	<p>A) Descripció: Subministrament i instal·lació de canonada per a circuit de connexió de bomba de calor amb col·lector, soterrada, formada per tub de polietilè PE 100, de 50 mm de diàmetre exterior i 4,6 mm de gruix, SDR11, PN=16 atm. Inclús accessoris i peces especials. Totalment muntada, connexionada i provada per l'empresa instal·ladora.</p> <p>B) Inclou: Replanteig del recorregut de les canonades, accessoris i peces especials. Col·locació i fixació de la canonada, accessoris i peces especials. Connexionat de tots els circuits. Realització de proves de servei.</p> <p>C) Criteri d'amidament de projecte: Longitud mesurada segons documentació gràfica de Projecte.</p> <p>D) Criteri de mesura d'obra: Es mesurarà la longitud realment executada segons especificacions de Projecte.</p>	29,37	28,35	<b>832,64</b>

**PRESSUPOST PARCIAL Nº 2 INSTAL·LACIONS**

<b>Nº UD</b>	<b>DESCRIPCIÓ</b>	<b>QUANTITAT</b>	<b>PREU</b>	<b>TOTAL</b>
2.18 I	A) Descripció: Subministrament de solució anticongelant aigua-metanol, concentració d'anticongelant pur del 25%, per a reomplert de circuit d'instal·lació de geotèrmia. B) Criteri d'amidament de projecte: Volum estimat en funció de les característiques de la instal·lació. C) Criteri de mesura d'obra: Es mesurarà el volum realment subministrat segons especificacions de Projecte.	0,04	4,20	<b>0,17</b>
2.19 UD	A) Dipòsit d'inèrcia d'acer negre amb aïllament tèrmic d'escuma de poliuretà, de 500 l de capacitat de purga d'aire amb connexions de rosca 1 1/2", de pressió màxima de servei 3 bar, i 95°C de temperatura màxima, col·locat en posició vertical amb fixacions murals i connectat	1,00	1.151,32	<b>1.151,32</b>
2.20 UD	A) Escalfador acumulador elèctric de 230 l de capacitat, amb cubeta d'acer galvanitzat, de 750 a 1500 W de potència, col·locat en posició vertical amb fixacions murals i connectat	1,00	299,94	<b>299,94</b>
<b>TOTAL PRESSUPOST PARCIAL Nº 2 INSTAL·LACIONS:</b>				<b>15.345,98</b>

## F.2 Pressupost orientatiu de la instal·lació de caldera gasoil C.

### PRESSUPOST PARCIAL CALDERA DE GASOIL

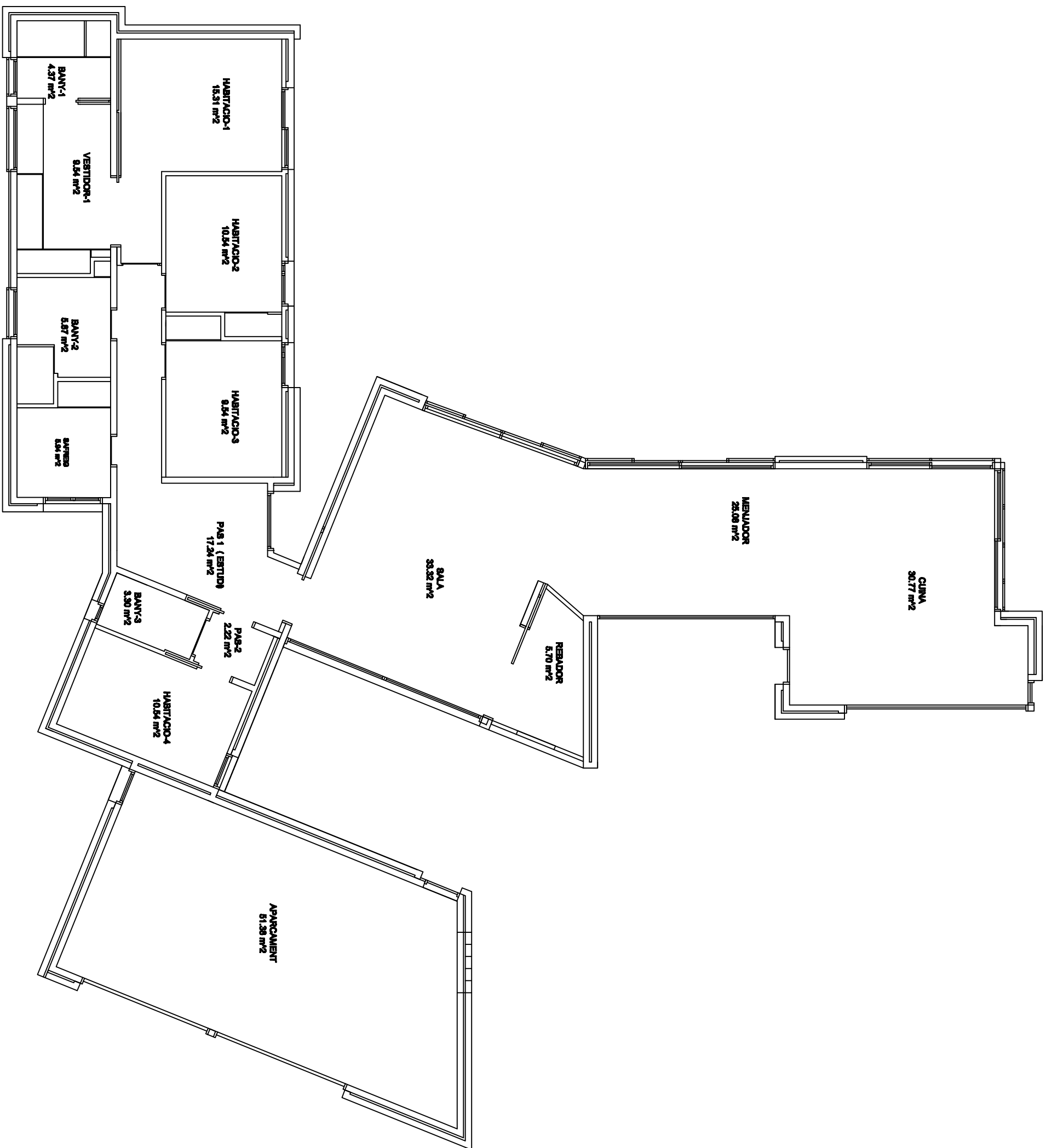
Nº UD	DESCRIPCIÓ	QUANTITAT	PREU	TOTAL
1.1 Ut	<p>A) Descripció: Subministrament i instal·lació de caldera de peu, de baixa temperatura, amb cos de foneria de ferro gris GL 180 i cremador pressuritzat de gasoil de flama blau, per a calefacció, potència útil 17 kW, dimensions 888x600x880 mm, amb quadre de regulació, i sonda exterior, amb unitat de regulació a distància per al control de la temperatura ambiental, amb regulació de la temperatura d'impulsió de la caldera per corba de calefacció per sonda exterior, kit d'unió de caldera a gasoil a circuit de calefacció, kit de seguretat per a caldera a gasoil, kit d'unió de caldera a gasoil a vas d'expansió, kit per a muntatge en paret de grup de bombament, grup de bombament per a un circuit de calefacció, amb bomba de circulació electrònica, sense incloure el conducte per a evacuació dels productes de la combustió que enllaça la caldera amb la xemeneia. Totalment muntada, connexionada i posada en marxa per l'empresa instal·ladora per a la comprovació del seu correcte funcionament.</p> <p>B) Inclou: Replanteig. Presentació dels elements. Muntatge de la caldera i els seus accessoris. Connexionat amb les xarxes de conducció d'aigua, de gasoil, de salubritat i elèctrica, i amb el conducte d'evacuació dels productes de la combustió. Posada en marxa.</p> <p>C) Criteri d'amidament de projecte: Nombre d'unitats previstes, segons documentació gràfica de Projecte.</p> <p>D) Criteri de mesura d'obra: Es mesurarà el nombre d'unitats realment executades segons especificacions de Projecte.</p>	1,00	2.768,04	<b>2.768,04</b>

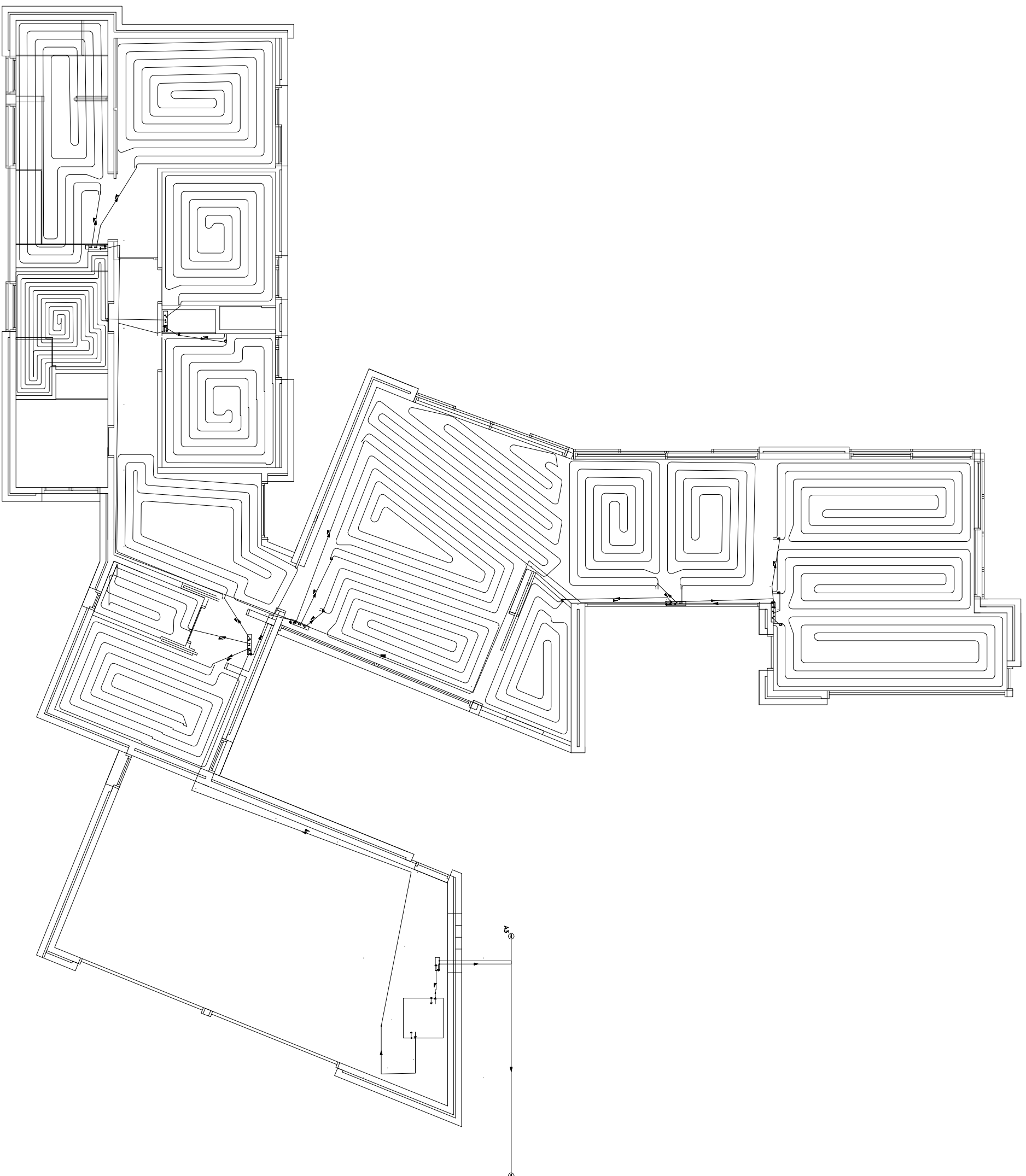
**PRESSUPOST PARCIAL CALDERA DE GASOIL**

<b>Nº UD</b>	<b>DESCRIPCIÓ</b>	<b>QUANTITAT</b>	<b>PREU</b>	<b>TOTAL</b>
1.2 Ut	<p>A) Descripció: Subministrament i instal·lació de dipòsit homologat de gasoil soterrat de xapa d'acer, de simple paret contingut en cubell, amb una capacitat de 1000 litres, per a petits consums individuals. Inclús mesurador de nivell, interruptor de nivell, equip de protecció catòdica, canalització fins a caldera amb canonada de coure de 18 mm de diàmetre protegida amb funda de tub de PVC, boca de càrrega, canonada de ventilació, tub bus, tapa de registre, vàlvules i accessoris de connexió, i elements de protecció segons normativa. Totalment muntat, connexionat i provat per la empresa instal·ladora mitjançant les corresponents proves de servei (incloses en aquest preu). Sense incloure l'obra civil.</p> <p>B) Inclou: Descàrrega del dipòsit sobre el llit de sorra. Muntatge de vàlvules i accessoris. Col·locació de la boca de càrrega i la tapa de registre. Col·locació de la canonada de ventilació i del tub bus. Col·locació i fixació de la canalització fins a la caldera. Col·locació de l'equip de protecció catòdica. Connexionat a la xarxa de terra. Realització de proves de servei.</p> <p>C) Criteri d'amidament de projecte: Nombre d'unitats previstes, segons documentació gràfica de Projecte.</p> <p>D) Criteri de mesura d'obra: Es mesurarà el nombre d'unitats realment executades segons especificacions de Projecte.</p>	1,00	1.885,79	<b>1.885,79</b>
<b>TOTAL PRESSUPOST PARCIAL Nº 1 INSTAL·LACIONS:</b>				<b>4.653,83</b>

## **Annex G**

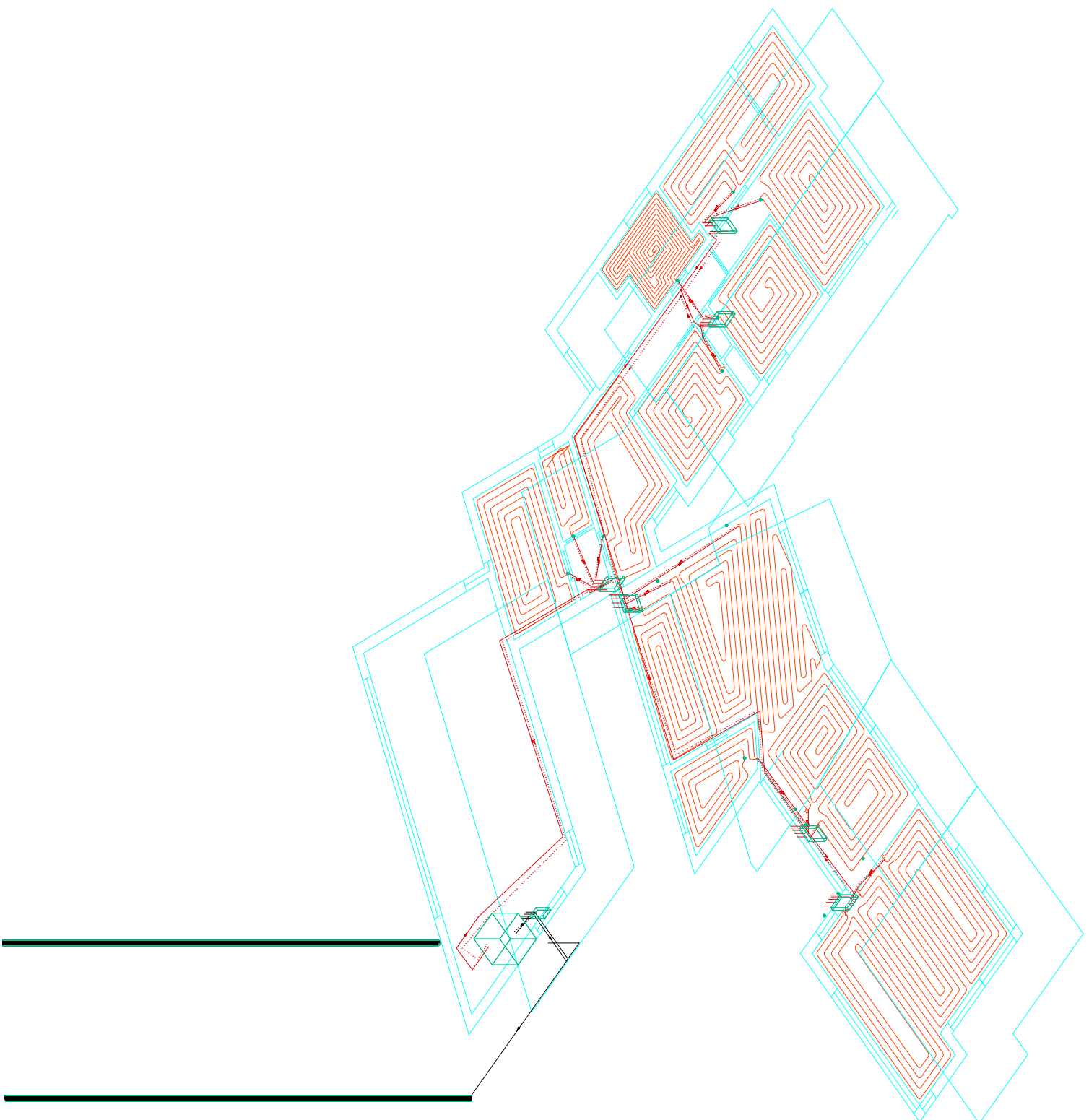
### **Esquemes**





Distribució terra radiant





Esquema 3d Instalacao

## **Annex H**

# **Validació dels càlculs amb programa CypeCad**

1.- JUSTIFICACIÓ DEL CUMPLIMENT DE L'EXIGÈNCIA DE QUALITAT DE L'AMBIENT DE L'APARTAT 1.4.1.....	2
2.- JUSTIFICACIÓ DEL CUMPLIMENT DE L'EXIGÈNCIA DE QUALITAT DE L'AIRE INTERIOR DE L'APARTAT 1.4.2.....	2
2.1.- Categories de qualitat de l'aire interior.....	2
2.2.- Cabal mínim d'aire exterior.....	2
3.- JUSTIFICACIÓ DEL CUMPLIMENT DE L'EXIGÈNCIA D'HIGIENE DE L'APARTAT 1.4.3....	3
4.- JUSTIFICACIÓ DEL CUMPLIMENT DE L'EXIGÈNCIA DE QUALITAT ACÚSTICA DE L'APARTAT 1.4.4.....	3



## 1.- JUSTIFICACIÓ DEL CUMPLIMENT DE L'EXIGÈNCIA DE QUALITAT DE L'AMBIENT DE L'APARTAT 1.4.1

L'exigència de qualitat tèrmica de l'ambient es considera satisfeta en el disseny i dimensionament de la instal·lació tèrmica. Per tant, tots els paràmetres que defineixen el benestar tèrmic es mantenen dins dels valors establerts.

A la següent taula apareixen els límits que compleixen en la zona ocupada.

Paràmetres	Límit
Temperatura operativa a l'estiu (°C)	$23 \leq T \leq 25$
Humitat relativa a l'estiu (%)	$45 \leq HR \leq 60$
Temperatura operativa a l'hivern (°C)	$21 \leq T \leq 23$
Humitat relativa a l'hivern (%)	$40 \leq HR \leq 50$
Velocitat mitja admissible amb difusió per mescla (m/s)	$V \leq 0.14$

A continuació es mostren els valors de condicions interiors de disseny utilitzades al projecte:

Referència	Condicions interiors de disseny		
	Temperatura d'estiu	Temperatura d'hivern	Humitat relativa interior
Bany / Lavabo	24	21	50
Dormitori	24	21	50
Passadís / Distribuïdor	24	21	50
Saló / Menjador	24	21	50

## 2.- JUSTIFICACIÓ DEL CUMPLIMENT DE L'EXIGÈNCIA DE QUALITAT DE L'AIRE INTERIOR DE L'APARTAT 1.4.2

### 2.1.- Categories de qualitat de l'aire interior

L'instal·lació projectada s'inclou en un edifici d'habitatges, per tant, s'han considerat els requisits de qualitat d'aire interior establerts en la secció HS 3 del Codi Tècnic de l'Edificació.

### 2.2.- Cabal mínim d'aire exterior

El cabal mínim d'aire exterior de ventilació necessari es calcula segons el mètode indirecte de cabal d'aire exterior per persona i el mètode de cabal d'aire per unitat de superfície, especificats en la instrucció tècnica I.T.1.1.4.2.3.

Es descriu a continuació la ventilació dissenyada per als recintes utilitzats al projecte.

Referència	Cabals de ventilació		
	Per persona (m <sup>3</sup> /h)	Per unitat de superfície (m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> ))	Per recinte (m <sup>3</sup> /h)
Bany / Lavabo		2.7	54.0
Dormitori	18.0	2.7	
Passadís / Distribuïdor		2.7	
Saló / Menjador	10.8	2.7	



### 3.- JUSTIFICACIÓ DEL CUMPLIMENT DE L'EXIGÈNCIA D'HIGIENE DE L'APARTAT 1.4.3

La temperatura de preparació de l'aigua calenta sanitària s'ha dissenyat per que sigui compatible amb el seu ús, considerant les pèrdues de temperatura en la xarxa de canoandes.

La instal·lació interior d'ACS sha dimensionat segon les especificacions establertes en el Document Bàsic HS-4 del Codi Tècnic de l'Edificació.

### 4.- JUSTIFICACIÓ DEL CUMPLIMENT DE L'EXIGÈNCIA DE QUALITAT ACÚSTICA DE L'APARTAT 1.4.4

La instal·lació tèrmica compleix amb l'exigència bàsica HR Protecció front al soroll del CTE d'acord al seu document bàsic.

1.- EXIGÈNCIA BÀSICA HE 2: RENDIMENT DE LES INSTAL·LACIONS TÈRMiques.....	2
2.- ÀMBIT D'APLICACIÓ.....	2
3.- JUSTIFICACIÓ DEL COMPLIMENT DE LES EXIGÈNCIES TÈCNiques DEL RI TE.....	2



## 1.- EXIGÈNCIA BÀSICA HE 2: RENDIMENT DE LES INSTAL·LACIONS TÈRMiques

Els edificis disposaran d'instal·lacions tèrmiques apropiades destinades a proporcionar el benestar tèrmic dels seus ocupants. Aquesta exigència es desenvolupa actualment en el vigent Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques dels Edificis, RITE.

## 2.- ÀMBIT D'APLICACIÓ

Per al present projecte d'execució és aplicable el RITE, ja que les instal·lacions tèrmiques de l'edifici són instal·lacions fixes de climatització (calefacció, refrigeració i ventilació) i de producció d'ACS (aigua calenta sanitària) que estan destinades a atendre la demanda de benestar tèrmic i higiene de les persones.

## 3.- JUSTIFICACIÓ DEL COMPLIMENT DE LES EXIGÈNCIES TÈCNiques DEL RITE

La justificació del compliment de les Instruccions Tècniques I.T.01 "Disseny i dimensionament", I.T.02 "Muntatge", I.T.03 "Manteniment i ús" i I.T.04 "Inspeccions" es realitza en l'apartat corresponent a la justificació del compliment del RITE.

1.- PARÀMETRES GENERALS.....	2
2.- RESUM DELS RESULTATS DE CàLCUL DELS RECINTES.....	2
3.- RESUM DELS RESULTATS PER A CONJUNTS DE RECINTES.....	2





## 1.- PARÀMETRES GENERALS

Emplaçament: SEVA / Barcelona  
 Altitud sobre el nivell del mar: 677 m  
 Percentil per a hivern: 97.5 %  
 Temperatura seca a l'hivern: 0.70 °C  
 Humitat relativa a l'hivern: 64 %  
 Velocitat del vent: 4 m/s  
 Temperatura del terreny: 7.80 °C  
 Percentatge de majoració per l'orientació N: 20 %  
 Percentatge de majoració per l'orientació S: 0 %  
 Percentatge de majoració per l'orientació E: 10 %  
 Percentatge de majoració per l'orientació O: 10 %  
 Suplement d'intermitència per a calefacció: 0 %  
 Percentatge de majoració de càrregues (Hivern): 0 %

## 2.- RESUM DELS RESULTATS DE CÀLCUL DELS RECINTES

Calefacció

Conjunt: Habitatge Projecte						
Recinte	Planta	Càrrega interna sensible (W)	Ventilació		Potència	
			Cabal (m³/h)	Càrrega total (W)	Per superfície (W/m²)	Total (W)
Hab1	Planta baixa	531.76	42.16	239.29	49.38	771.05
Hab2	Planta baixa	442.84	36.00	204.33	67.19	647.16
Hab3	Planta baixa	435.52	36.00	204.33	66.61	639.84
Hab4	Planta baixa	481.67	36.00	204.33	64.21	685.99
Bany1	Planta baixa	232.08	54.00	153.24	85.13	385.32
Bany2	Planta baixa	203.52	54.00	153.24	56.75	356.77
Bany3	Planta baixa	100.11	54.00	153.24	82.76	253.35
Vestidor	Planta baixa	275.23	36.00	204.33	52.06	479.55
Pas1	Planta baixa	449.97	46.66	132.43	33.70	582.39
Pas2	Planta baixa	62.40	5.51	15.64	38.24	78.04
Rebador	Planta baixa	331.19	16.27	46.18	62.62	377.37
Sala	Planta baixa	2067.89	98.47	558.90	72.02	2626.79
Menjador	Planta baixa	1044.23	64.80	367.79	82.59	1412.02
Cuina	Planta baixa	2215.01	83.08	471.56	87.31	2686.58
Safreig	Planta baixa	312.52	16.07	45.60	60.17	358.12
Total			679.0			
Càrrega total simultània						12340.4

## 3.- RESUM DELS RESULTATS PER A CONJUNTS DE RECINTES

Calefacció		
Conjunt	Potència per superfície (W/m²)	Potència total (W)
Habitatge Projecte	67.0	12340.4

## PRESSUPOST D'EXECUCIÓ MATERIAL

### PRESSUPOST PARCIAL N° 1 ACONDICIONAMENT DEL TERRENY

Nº UD	DESCRIPCIÓ	QUANTITAT	PREU	TOTAL
1.1 Ut	<p>A) Descripció: Desplaçament, muntatge, desmuntatge i retirada de l'obra d'equip complet per a la perforació, injecció i col·locació de sondes geotèrmiques format per: equip de perforació, compressor, bomba d'aigua (llots), equip d'injecció, equip per a moviment de material en obra, barnillatge, entubament recuperable, mànegues, eines de perforació i d'introducció de les sondes, i altres equips auxiliars. També p/p de desplaçament del personal especialitzat i transport de materials.</p> <p>B) Inclou: Transport a l'obra. Muntatge de l'equip. Desmuntatge de l'equip. Retirada de l'equip&gt;.</p> <p>C) Criteri d'amidament de projecte: Nombre d'unitats previstes, segons documentació gràfica de Projecte.</p> <p>D) Criteri de mesura d'obra: Es mesurarà el nombre d'unitats realment executades segons especificacions de Projecte.</p>	1,00	1.220,37	1.220,37
1.2 m	<p>A) Descripció: Perforació del terreny amb màquina dotada de doble capçal, per a la realització de 2 sondejos de 84 m de profunditat i diàmetre entre 130 i 180 mm, amb entubament recuperable en terrenys inestables, extracció del barnillatge i de l'eina de perforació, introducció de la sonda geotèrmica acompanyada del tub d'injecció i les peses necessàries per al llastrat de la sonda mitjançant utilització de guia mecànica per desenrotllar la sonda, injecció del morter i extracció de la canonada recuperable. Inclús p/p de conducció del detritus de perforació mitjançant sistema Preventer a través de mànegues fins a contenidors. Totalment muntada, connexionada i provada per l'empresa instal·ladora mitjançant les corresponents proves de servei, de pressió i circulació segons norma VDI 4640 (DIN V 4279-7). No estan inclosos en aquest preu ni el subministrament del morter geotèrmic ni el de la sonda geotèrmica.</p> <p>B) Inclou: Perforació del terreny. Extracció del barnillatge de perforació. Introducció de la sonda amb el tub d'injecció. Injecció del morter geotèrmic. Extracció de la canonada de revestiment. Realització de les proves de servei.</p> <p>C) Criteri d'amidament de projecte: Longitud mesurada segons documentació gràfica de Projecte.</p> <p>D) Criteri de mesura d'obra: Es mesurarà la longitud total de la sonda geotèrmica introduïda verticalment en el terreny.</p>	168,27	49,33	8.300,76

**PRESSUPOST PARCIAL N° 1 ACONDICIONAMENT DEL TERRENY**

N° UD	DESCRIPCIÓ	QUANTITAT	PREU	TOTAL
1.3 m <sup>3</sup>	<p>A) Descripció: Formació de reblert amb grava de 20 a 30 mm de diàmetre, en rases en les quals prèviament s'han allotjat les instal·lacions i s'ha realitzat el reblert envoltant de les mateixes (no inclòs en aquest preu); i compactació en tongades successives de 20 cm d'espessor màxim mitjançant equip manual format per taula vibrant, fins a assolir una densitat seca no inferior al 95% de la màxima obtinguda en l'assaig Proctor Modificat, realitzat segons UNE 103501 (assaig no inclòs en aquest preu). Fins i tot cinta o distintiu indicador de la instal·lació, càrrega, transport i descàrrega a peu de tall dels àrids a utilitzar en els treballs de reblert i humectació dels mateixos.</p> <p>B) Inclou: Estesa del material de reblert en tongades d'espessor uniforme. Humidificació o dessecació de cada tongada. Col·locació de cinta o distintiu indicador de la instal·lació. Compactació.</p> <p>C) Criteri d'amidament de projecte: Volum mesurat sobre les seccions teòriques de l'excavació, segons documentació gràfica de Projecte.</p> <p>D) Criteri de mesura d'obra: Es mesurarà, en perfil compactat, el volum realment executat segons especificacions de Projecte, entre cares interiors d'arquetes o altres elements d'unió.</p>	0,00	23,83	0,00
1.4 m <sup>3</sup>	<p>A) Descripció: Formació de reblert amb formigó no estructural HNE-15/B/20, fabricat en central i abocada des de camió, en rases en les quals prèviament s'han allotjat les instal·lacions i s'ha realitzat el reblert envoltant de les mateixes (no inclòs en aquest preu). Fins i tot càrrega, transport, abocament, regat i vibrat del formigó.</p> <p>B) Inclou: Posta en obra del formigó.</p> <p>C) Criteri d'amidament de projecte: Volum mesurat sobre les seccions teòriques de l'excavació, segons documentació gràfica de Projecte.</p> <p>D) Criteri de mesura d'obra: Es mesurarà el volum realment executat segons especificacions de Projecte, entre cares interiors d'arquetes o altres elements d'unió.</p>	0,00	67,15	0,00
TOTAL PRESSUPOST PARCIAL N° 1 ACONDICIONAMENT DEL TERRENY:				9.521,13

PRESSUPOST PARCIAL N° 2 INSTAL·LACIONS

N° UD	DESCRIPCIÓ	QUANTITAT	PREU	TOTAL
2.1 Ut	<p>A) Descripció: Subministrament i instal·lació de col·lector modular plàstic de 1" de diàmetre, "UPONOR IBERIA", per a 3 circuits, compost de 2 vàlvules de pas d'1", 2 termòmetre, 2 purgadors automàtics, clau d'omplert, clau de buidatge, cabalímetres, 2 taps terminals i suports, amb adaptadors per a connexió de tubs de distribució a col·lector, curvatubs de plàstic i armari de 80x500x630 mm amb porta. Totalment muntat, connexionat i provat per l'empresa instal·ladora mitjançant les corresponents proves de servei (incloses en aquest preu).</p> <p>B) Inclou: Replanteig de l'emplaçament del col·lector. Col·locació de l'armari per al col·lector. Col·locació del col·lector. Connexió de les canonades al col·lector. Connexió del col·lector a la xarxa de distribució interior o a la caldera. Realització de proves de servei.</p> <p>C) Criteri d'amidament de projecte: Nombre d'unitats previstes, segons documentació gràfica de Projecte.</p> <p>D) Criteri de mesura d'obra: Es mesurarà el nombre d'unitats realment executades segons especificacions de Projecte.</p>	6,00	520,43	3.122,58
2.2 m²	<p>A) Descripció: Subministrament i instal·lació de sistema de calefacció per terra radiant "UPONOR IBERIA", compost per banda d'escuma de polietilè (PE), de 150x10 mm, panell aïllant modelat, de galets, plastificat, de 1217x817 mm i 30 mm d'espessor, de poliestirè expandit (EPS), tub de polietilè reticulat (PE-X) amb barrera d'oxigen (EVOH), de 20 mm de diàmetre exterior i 1,9 mm de gruix, sèrie 5, EvalPEX, i capa de morter de 3 cm d'espessor amb additiu superplastificant per a morter, inclús peces especials i formació de juntes de dilatació. Totalment muntat, connexionat i provat per l'empresa instal·ladora mitjançant les corresponents proves de servei (incloses en aquest preu).</p> <p>B) Inclou: Preparació i neteja de la superfície de suport. Replanteig de la instal·lació. Fixació del sòcol perimetral. Col·locació dels panells. Replanteig de la canonada. Col·locació i fixació de les canonades. Abocat i estès de la capa de morter. Realització de proves de servei.</p> <p>C) Criteri d'amidament de projecte: Superfície útil, mesura segons documentació gràfica de Projecte.</p> <p>D) Criteri de mesura d'obra: Es mesurarà la superfície realment executada segons especificacions de Projecte.</p>	6,29	89,19	561,01

**PRESSUPOST PARCIAL N° 2 INSTAL·LACIONS**

N°	UD	DESCRIPCIÓ	QUANTITAT	PREU	TOTAL
2.3	m <sup>2</sup>	<p>A) Descripció: Subministrament i instal·lació de sistema de calefacció per terra radiant "UPONOR IBERIA", compost per banda d'escuma de polietilè (PE), de 150x10 mm, panell aïllant modelat, de galets, plastificat, de 1217x817 mm i 30 mm d'espessor, de poliestirè expandit (EPS), tub de polietilè reticulat (PE-X) amb barrera d'oxigen (EVOH), de 20 mm de diàmetre exterior i 1,9 mm de gruix, sèrie 5, EvalPEX, i capa de morter de 3 cm d'espessor amb additiu superplastificant per a morter, inclús peces especials i formació de juntes de dilatació. Totalment muntat, connexionat i provat per l'empresa instal·ladora mitjançant les corresponents proves de servei (incloses en aquest preu).</p> <p>B) Inclou: Preparació i neteja de la superfície de suport. Replanteig de la instal·lació. Fixació del sòcol perimetral. Col·locació dels panells. Replanteig de la canonada. Col·locació i fixació de les canonades. Abocat i estès de la capa de morter. Realització de proves de servei.</p> <p>C) Criteri d'amidament de projecte: Superfície útil, mesura segons documentació gràfica de Projecte.</p> <p>D) Criteri de mesura d'obra: Es mesurarà la superfície realment executada segons especificacions de Projecte.</p>	154,91	75,48	11.692,61
2.4	Ut	<p>A) Descripció: Subministrament i instal·lació de sistema de regulació de la temperatura "UPONOR IBERIA", compost d'unitat base de control termostàtic, per a un màxim de 6 termòstats de control per cable i 8 capçals electrotèrmics a 24 V, model C33, termòstats de control, per cable, model T35 i capçals electrotèrmics, per un voltatge de 24 V. Totalment muntat, connexionat i provat.</p> <p>B) Inclou: Col·locació, fixació i connexionat elèctric i de comunicació amb tots els elements que ho demandin en la instal·lació.</p> <p>C) Criteri d'amidament de projecte: Nombre d'unitats previstes, segons documentació gràfica de Projecte.</p> <p>D) Criteri de mesura d'obra: Es mesurarà el nombre d'unitats realment executades segons especificacions de Projecte.</p>	1,00	342,61	342,61
2.5	Ut	<p>A) Descripció: Subministrament i instal·lació de sistema de regulació de la temperatura "UPONOR IBERIA", compost d'unitat base de control termostàtic, per a un màxim de 6 termòstats de control per cable i 8 capçals electrotèrmics a 24 V, model C33, termòstats de control, per cable, model T35 i capçals electrotèrmics, per un voltatge de 24 V. Totalment muntat, connexionat i provat.</p> <p>B) Inclou: Col·locació, fixació i connexionat elèctric i de comunicació amb tots els elements que ho demandin en la instal·lació.</p> <p>C) Criteri d'amidament de projecte: Nombre d'unitats previstes, segons documentació gràfica de Projecte.</p> <p>D) Criteri de mesura d'obra: Es mesurarà el nombre d'unitats realment executades segons especificacions de Projecte.</p>	5,00	390,17	1.950,85

PRESSUPOST PARCIAL N° 2 INSTAL·LACIONS

N°	UD	DESCRIPCIÓ	QUANTITAT	PREU	TOTAL
2.6	Ut	<p>A) Descripció: Subministrament i instal·lació de punt d'omplert de xarxa de distribució d'aigua, per a sistema de climatització, format per 2 m de tub de polietilè reticulat (PE-X) amb barrera d'oxigen (EVOH), de 16 mm de diàmetre exterior i 1,8 mm de gruix, sèrie 5, PN=6 atm, col·locat superficialment, amb aïllament mitjançant camisa aïllant flexible d'escuma elastomèrica, vàlvules de tall, filtre retenidor de residus, comptador d'aigua i vàlvula de retenció. Fins i tot p/p de material auxiliar per a muntatge i subjecció a l'obra, accessoris i peces especials. Totalment muntat, connexionat i provat per l'empresa instal·ladora mitjançant les corresponents proves de servei (incloses en aquest preu).</p> <p>B) Inclou: Replanteig del recorregut de les canonades, accessoris i peces especials. Col·locació i fixació de canonades, accessoris i peces especials. Col·locació de l'aïllament. Realització de proves de servei.</p> <p>C) Criteri d'amidament de projecte: Nombre d'unitats previstes, segons documentació gràfica de Projecte.</p> <p>D) Criteri de mesura d'obra: Es mesurarà el nombre d'unitats realment executades segons especificacions de Projecte.</p>	1,00	106,48	106,48
2.7	m	<p>A) Descripció: Subministrament i instal·lació de canonada de distribució d'aigua freda i calenta de climatització formada per tub de polietilè reticulat (PE-X) amb barrera d'oxigen (EVOH), de 20 mm de diàmetre exterior i 1,9 mm de gruix, sèrie 5, PN=6 atm, col·locat superficialment en el exterior de l'edifici, amb aïllament mitjançant camis aïllant de llana de vidre protegida per emulsió asfàltica recoberta amb pintura protectora per a aïllament de color blanc. Inclús p/p de material auxiliar per a muntatge i subjecció a l'obra, accessoris i peces especials. Totalment muntada, connexionada i provada per l'empresa instal·ladora mitjançant les corresponents proves de servei (incloses en aquest preu).</p> <p>B) Inclou: Replanteig del recorregut de les canonades, accessoris i peces especials. Col·locació i fixació de canonades, accessoris i peces especials. Col·locació de l'aïllament. Aplicació del revestiment superficial de l'aïllament. Realització de proves de servei.</p> <p>C) Criteri d'amidament de projecte: Longitud mesurada segons documentació gràfica de Projecte.</p> <p>D) Criteri de mesura d'obra: Es mesurarà la longitud realment executada segons especificacions de Projecte.</p>	5,91	18,98	112,17

**PRESSUPOST PARCIAL N° 2 INSTAL·LACIONS**

N°	UD	DESCRIPCIÓ	QUANTITAT	PREU	TOTAL
2.8	m	<p>A) Descripció: Subministrament i instal·lació de canonada de distribució d'aigua freda i calenta de climatització formada per tub de polietilè reticulat (PE-X) amb barrera d'oxigen (EVOH), de 25 mm de diàmetre exterior i 2,3 mm de gruix, sèrie 5, PN=6 atm, col·locat superficialment en el exterior de l'edifici, amb aïllament mitjançant camis aïllant de llana de vidre protegida per emulsió asfàltica recoberta amb pintura protectora per a aïllament de color blanc. Inclús p/p de material auxiliar per a muntatge i subjecció a l'obra, accessoris i peces especials. Totalment muntada, connexionada i provada per l'empresa instal·ladora mitjançant les corresponents proves de servei (incloses en aquest preu).</p> <p>B) Inclou: Replanteig del recorregut de les canonades, accessoris i peces especials. Col·locació i fixació de canonades, accessoris i peces especials. Col·locació de l'aïllament. Aplicació del revestiment superficial de l'aïllament. Realització de proves de servei.</p> <p>C) Criteri d'amidament de projecte: Longitud mesurada segons documentació gràfica de Projecte.</p> <p>D) Criteri de mesura d'obra: Es mesurarà la longitud realment executada segons especificacions de Projecte.</p>	28,59	21,09	602,96
2.9	m	<p>A) Descripció: Subministrament i instal·lació de canonada de distribució d'aigua freda i calenta de climatització formada per tub de polietilè reticulat (PE-X) amb barrera d'oxigen (EVOH), de 32 mm de diàmetre exterior i 2,9 mm de gruix, sèrie 5, PN=6 atm, col·locat superficialment en el exterior de l'edifici, amb aïllament mitjançant camis aïllant de llana de vidre protegida per emulsió asfàltica recoberta amb pintura protectora per a aïllament de color blanc. Inclús p/p de material auxiliar per a muntatge i subjecció a l'obra, accessoris i peces especials. Totalment muntada, connexionada i provada per l'empresa instal·ladora mitjançant les corresponents proves de servei (incloses en aquest preu).</p> <p>B) Inclou: Replanteig del recorregut de les canonades, accessoris i peces especials. Col·locació i fixació de canonades, accessoris i peces especials. Col·locació de l'aïllament. Aplicació del revestiment superficial de l'aïllament. Realització de proves de servei.</p> <p>C) Criteri d'amidament de projecte: Longitud mesurada segons documentació gràfica de Projecte.</p> <p>D) Criteri de mesura d'obra: Es mesurarà la longitud realment executada segons especificacions de Projecte.</p>	35,44	26,59	942,35

**PRESSUPOST PARCIAL N° 2 INSTAL·LACIONS**

N°	UD	DESCRIPCIÓ	QUANTITAT	PREU	TOTAL
2.10	m	<p>A) Descripció: Subministrament i instal·lació de canonada de distribució d'aigua freda i calenta de climatització formada per tub de polietilè reticulat (PE-X) amb barrera d'oxigen (EVOH), de 40 mm de diàmetre exterior i 3,7 mm de gruix, sèrie 5, PN=6 atm, col·locat superficialment en el exterior de l'edifici, amb aïllament mitjançant camis aïllant de llana de vidre protegida per emulsió asfàltica recoberta amb pintura protectora per a aïllament de color blanc. Inclús p/p de material auxiliar per a muntatge i subjecció a l'obra, accessoris i peces especials. Totalment muntada, connexionada i provada per l'empresa instal·ladora mitjançant les corresponents proves de servei (incloses en aquest preu).</p> <p>B) Inclou: Replanteig del recorregut de les canonades, accessoris i peces especials. Col·locació i fixació de canonades, accessoris i peces especials. Col·locació de l'aïllament. Aplicació del revestiment superficial de l'aïllament. Realització de proves de servei.</p> <p>C) Criteri d'amidament de projecte: Longitud mesurada segons documentació gràfica de Projecte.</p> <p>D) Criteri de mesura d'obra: Es mesurarà la longitud realment executada segons especificacions de Projecte.</p>	35,11	30,65	1.076,12
2.11	Ut	<p>A) Descripció: Subministrament i instal·lació de punt de buidatge de xarxa de distribució d'aigua, per a sistema de climatització, format per 2 m de tub de polietilè reticulat (PE-X) amb barrera d'oxigen (EVOH), de 25 mm de diàmetre exterior i 2,3 mm de gruix, sèrie 5, PN=6 atm, col·locat superficialment i vàlvula de tall. Fins i tot p/p de material auxiliar per a muntatge i subjecció a l'obra, accessoris i peces especials. Totalment muntat, connexionat i provat per l'empresa instal·ladora mitjançant les corresponents proves de servei (incloses en aquest preu).</p> <p>B) Inclou: Replanteig del recorregut de les canonades, accessoris i peces especials. Col·locació i fixació de canonades, accessoris i peces especials. Realització de proves de servei.</p> <p>C) Criteri d'amidament de projecte: Nombre d'unitats previstes, segons documentació gràfica de Projecte.</p> <p>D) Criteri de mesura d'obra: Es mesurarà el nombre d'unitats realment executades segons especificacions de Projecte.</p>	1,00	31,14	31,14
2.12	Ut	<p>A) Descripció: Subministrament i instal·lació d'electrobomba centrífuga de tres velocitats, amb una potència de 0,071 kW, boques roscades mascle de 1", altura de la bomba 130 mm, amb cos d'impulsió de ferro colat, impulsor de tecnopolímer, eix motor d'acer cromat, aïllament classe H, per a alimentació monofàsica a 230 V i 50 Hz de freqüència. Inclòs pont de manòmetres format per manòmetre, vàlvules d'esfera i canonada de coure; p/p d'elements de muntatge; caixa de connexions elèctriques amb condensador i demés accessoris necessaris per el seu correcte funcionament. Totalment muntada, connexionada i provada.</p> <p>B) Inclou: Replanteig. Col·locació de la bomba de circulació. Connexió a la xarxa de distribució.</p> <p>C) Criteri d'amidament de projecte: Nombre d'unitats previstes, segons documentació gràfica de Projecte.</p> <p>D) Criteri de mesura d'obra: Es mesurarà el nombre d'unitats realment executades segons especificacions de Projecte.</p>	1,00	437,19	437,19



**PRESSUPOST PARCIAL N° 2 INSTAL·LACIONS**

N°	UD	DESCRIPCIÓ	QUANTITAT	PREU	TOTAL
2.13	Ut	<p>A) Descripció: Subministrament i instal·lació d'electrobomba centrífuga de tres velocitats, amb una potència de 0,071 kW, boques roscades mascle de 1", altura de la bomba 130 mm, amb cos d'impulsió de ferro colat, impulsor de tecnopolímer, eix motor d'acer cromat, aïllament classe H, per a alimentació monofàsica a 230 V i 50 Hz de freqüència. Inclòs pont de manòmetres format per manòmetre, vàlvules d'esfera i canonada de coure; p/p d'elements de muntatge; caixa de connexions elèctriques amb condensador i demés accessoris necessaris per el seu correcte funcionament. Totalment muntada, connexionada i provada.</p> <p>B) Inclou: Replanteig. Col·locació de la bomba de circulació. Connexió a la xarxa de distribució.</p> <p>C) Criteri d'amidament de projecte: Nombre d'unitats previstes, segons documentació gràfica de Projecte.</p> <p>D) Criteri de mesura d'obra: Es mesurarà el nombre d'unitats realment executades segons especificacions de Projecte.</p>	1,00	437,19	437,19
2.14	Ut	<p>A) Descripció: Subministrament i instal·lació de vàlvula de 3 vies de 1/2", mescladora, amb actuator de 220 V; inclòs elements de muntatge i demés accessoris necessaris per el seu correcte funcionament. Totalment muntada, connexionada i provada.</p> <p>B) Inclou: Replanteig. Col·locació de la vàlvula. Connexió de la vàlvula als tubs.</p> <p>C) Criteri d'amidament de projecte: Nombre d'unitats previstes, segons documentació gràfica de Projecte.</p> <p>D) Criteri de mesura d'obra: Es mesurarà el nombre d'unitats realment executades segons especificacions de Projecte.</p>	1,00	195,86	195,86
2.15	Ut	<p>A) Descripció: Subministrament de sonda geotèrmica per a instal·lació vertical, de 90 m de longitud i 96 mm de diàmetre, formada per un tub de polietilè d'alta densitat (PE 100) de 32 mm de diàmetre i 2,9 mm de gruix, SDR11, i un peu amb forma de V, al que es solden els tubs, pes de la sonda 222,75 kg, temperatura de treball entre -20°C i 30°C, subministrada en rotllos, amb tub d'injecció, distanciadors per a tubs i morter preparat de bentonita i ciment.</p> <p>B) Criteri d'amidament de projecte: Nombre d'unitats previstes, segons documentació gràfica de Projecte.</p> <p>C) Criteri de mesura d'obra: Es mesurarà el nombre d'unitats realment executades segons especificacions de Projecte.</p>	2,00	1.935,77	3.871,54

**PRESSUPOST PARCIAL N° 2 INSTAL·LACIONS**

N°	UD	DESCRIPCIÓ	QUANTITAT	PREU	TOTAL
2.16	m	<p>A) Descripció: Subministrament i instal·lació de col·lector modular de plàstic reforçat amb fibra de vidre, de 40 mm de diàmetre interior, amb connexions principals de 1 1/4" de diàmetre, per a 3 circuits, compost per mòdul d'impulsió, mòdul de retorn, purgador manual d'aire, clau de tall per a cada circuit secundari en el mòdul d'impulsió i cabalímetre per a cada circuit secundari en el mòdul de retorn, de 5,2 kg, pressió de treball 6 bar, pressió màxima 10 bar, per a col·locació en sala tècnica, amb conjunt de suports i abraçadores, claus de tall d'esfera, adaptadors 50 mm x 1 1/4", per a les connexions d'alimentació del col·lector, adaptadors 32 mm x 1" per a les connexions de distribució del col·lector i termòmetres amb manòmetre, instal·lats en el mòdul d'impulsió i en el mòdul de tornada del col·lector. Totalment muntat, connexionat i provat per l'empresa instal·ladora mitjançant les corresponents proves de servei (incloses en aquest preu).</p> <p>B) Inclou: Replanteig de l'emplaçament del col·lector. Col·locació del col·lector. Connexionat de tots els circuits. Realització de proves de servei.</p> <p>C) Criteri d'amidament de projecte: Nombre d'unitats previstes, segons documentació gràfica de Projecte.</p> <p>D) Criteri de mesura d'obra: Es mesurarà el nombre d'unitats realment executades segons especificacions de Projecte.</p>	1,00	470,94	470,94
2.17	m	<p>A) Descripció: Subministrament i instal·lació de canonada per a circuit de connexió de bomba de calor amb col·lector, soterrada, formada per tub de polietilè PE 100, de 50 mm de diàmetre exterior i 4,6 mm de gruix, SDR11, PN=16 atm. Inclús accessoris i peces especials. Totalment muntada, connexionada i provada per l'empresa instal·ladora.</p> <p>B) Inclou: Replanteig del recorregut de les canonades, accessoris i peces especials. Col·locació i fixació de la canonada, accessoris i peces especials. Connexionat de tots els circuits. Realització de proves de servei.</p> <p>C) Criteri d'amidament de projecte: Longitud mesurada segons documentació gràfica de Projecte.</p> <p>D) Criteri de mesura d'obra: Es mesurarà la longitud realment executada segons especificacions de Projecte.</p>	29,37	28,35	832,64
2.18	l	<p>A) Descripció: Subministrament de solució anticongelant aigua-metanol, concentració d'anticongelant pur del 25%, per a reomplert de circuit d'instal·lació de geotèrmia.</p> <p>B) Criteri d'amidament de projecte: Volum estimat en funció de les característiques de la instal·lació.</p> <p>C) Criteri de mesura d'obra: Es mesurarà el volum realment subministrat segons especificacions de Projecte.</p>	0,04	4,20	0,17
<b>TOTAL PRESSUPOST PARCIAL N° 2 INSTAL·LACIONS:</b>					<b>26.786,41</b>

Produït per una versió educativa de CYPE

## PRESSUPOST D'EXECUCIÓ MATERIAL

### PRESSUPOST D'EXECUCIÓ MATERIAL

Nº	CAPÍTOL	IMPORT (€)
1	ACONDICIONAMENT DEL TERRENY	9.521,13
2	INSTAL·LACIONS	26.786,41
Pressupost d'execució material		36.307,54

Ascendeix el Pressupost d'execució material a l'expressada quantitat de TRENTA-SIS MIL TRES-CENTS SET EUROS AMB CINQUANTA-QUATRE CÈNTIMS

1.- SISTEMES DE CONDUCCIÓ D'AIGUA. CANONADES.....	2
2.- SISTEMES DE SÒL RADIANT.....	4
2.1.- Bases de càlcul.....	4
2.1.1.- Càlcul de la càrrega tèrmica dels recintes.....	4
2.1.2.- Localització dels col·lectors.....	5
2.1.3.- Diseny de circuits. Càlcul de longituds.....	6
2.1.4.- Càlcul de la temperatura d'impulsió de l'aigua.....	7
2.1.5.- Càlcul del cabal d'aigua dels circuits.....	8
2.2.- Dimensionat.....	8
2.2.1.- Dimensionat del circuit hidràulic.....	8
2.2.2.- Selecció de la caldera o bomba de calor.....	9
3.- SISTEMES DE CAPTACIÓ D'ENERGIA GEOTÈRMICA.....	10
4.- SISTEMES DE CAPTACIÓ D'ENERGIA GEOTÈRMICA. CANONADES.....	12
ANNEX A: NORMA UNE-EN 1264.....	14



## 1.- SISTEMES DE CONDUCCIÓ D'AIGUA. CANONADES

Canonades (Calefacció)								
Inici	Tram		$\Phi$	Q (l/s)	V (m/s)	L (m)	$\Delta P_1$ (kPa)	$\Delta P$ (kPa)
	Final	Tipus						
A2-Planta baixa	A20-Planta baixa	Impulsió (*)	40 mm	0.79	0.9	2.93	0.949	25.47
A10-Planta baixa	A10-Planta baixa	Impulsió	20 mm	0.13	0.6	0.72	0.276	56.06
A21-Planta baixa	A21-Planta baixa	Impulsió	20 mm	0.09	0.4	0.72	0.131	42.86
A21-Planta baixa	A16-Planta baixa	Impulsió (*)	40 mm	0.71	0.8	2.25	0.594	30.54
A16-Planta baixa	A16-Planta baixa	Impulsió	25 mm	0.15	0.5	0.72	0.113	47.64
A16-Planta baixa	N2-Planta baixa	Impulsió (*)	32 mm	0.31	0.6	10.94	1.879	32.42
A16-Planta baixa	A17-Planta baixa	Impulsió	25 mm	0.25	0.8	12.30	4.841	35.38
A17-Planta baixa	A17-Planta baixa	Impulsió	20 mm	0.09	0.4	0.72	0.143	47.62
A17-Planta baixa	A24-Planta baixa	Impulsió	25 mm	0.16	0.5	3.13	0.558	35.94
A24-Planta baixa	A24-Planta baixa	Impulsió	25 mm	0.16	0.5	0.72	0.127	51.58
A28-Planta baixa	A28-Planta baixa	Impulsió (*)	25 mm	0.17	0.5	0.72	0.150	58.61
A28-Planta baixa	N2-Planta baixa	Impulsió (*)	25 mm	0.17	0.5	1.18	0.248	32.67
N2-Planta baixa	A10-Planta baixa	Impulsió	20 mm	0.13	0.6	2.31	0.890	33.31
A20-Planta baixa	A21-Planta baixa	Impulsió (*)	40 mm	0.79	0.9	13.83	4.476	29.95
A10-Planta baixa	A10-Planta baixa	Retorn	25 mm	0.13	0.4	0.72	0.097	7.80
A21-Planta baixa	A21-Planta baixa	Retorn	20 mm	0.09	0.4	0.72	0.138	5.59
A21-Planta baixa	A2-Planta baixa	Retorn (*)	40 mm	0.79	0.9	16.10	5.451	5.45
A21-Planta baixa	N1-Planta baixa	Retorn (*)	32 mm	0.31	0.6	10.48	1.888	7.34
A16-Planta baixa	A16-Planta baixa	Retorn	25 mm	0.15	0.5	0.72	0.119	6.14
A16-Planta baixa	A21-Planta baixa	Retorn	32 mm	0.40	0.7	2.00	0.571	6.02
A17-Planta baixa	A17-Planta baixa	Retorn	20 mm	0.09	0.4	0.72	0.151	7.68
A17-Planta baixa	A16-Planta baixa	Retorn	32 mm	0.25	0.5	12.02	1.512	7.53
Abreviatures utilitzades								
$\Phi$	Diàmetre nominal			L	Longitud			
Q	Cabal			$\Delta P_1$	Pèrdua de pressió			
V	Velocitat			$\Delta P$	Pèrdua de pressió acumulada			



Canonades (Calefacció)								
Tram			$\Phi$	Q (l/s)	V (m/s)	L (m)	$\Delta P_1$ (kPa)	$\Delta P$ (kPa)
Inici	Final	Tipus						
A24-Planta baixa	A24-Planta baixa	Retorn	25 mm	0.16	0.5	0.72	0.134	8.23
A24-Planta baixa	A17-Planta baixa	Retorn	25 mm	0.16	0.5	3.01	0.565	8.10
A28-Planta baixa	A28-Planta baixa	Retorn (*)	25 mm	0.17	0.5	0.72	0.158	7.78
N1-Planta baixa	A10-Planta baixa	Retorn	25 mm	0.13	0.4	2.66	0.363	7.70
N1-Planta baixa	A28-Planta baixa	Retorn (*)	25 mm	0.17	0.5	1.27	0.280	7.62
(*) Tram que forma part del recorregut més desfavorable.								
Abreviatures utilitzades								
$\Phi$	Diàmetre nominal			L	Longitud			
Q	Cabal			$\Delta P_1$	Pèrdua de pressió			
V	Velocitat			$\Delta P$	Pèrdua de pressió acumulada			



## 2.- SISTEMES DE SÒL RADIANT

### 2.1.- Bases de càlcul

#### 2.1.1.- Càlcul de la càrrega tèrmica dels recintes

Per a dissenyar una instal·lació de sòl radiant és necessari calcular prèviament les càrregues tèrmiques dels recintes. En cas de disposar d'una instal·lació de refrigeració, la càrrega tèrmica calculada es considera un percentatge de el 70% de la càrrega tèrmica instantània per a l'hora i el dia més desfavorable.

Una vegada calculades les càrregues tèrmiques es descriu la informació necessària per a realitzar el disseny de la instal·lació per a cada conjunt de recintes:

Conjunt de recintes	Recinte	Planta	$Q_{N,f}$ calefacció (W)	S (m <sup>2</sup> )	q calefacció (W/m <sup>2</sup> )
Habitatge Projecte	Hab1	Planta baixa	771.05	15.62	49.4
	Bany1	Planta baixa	385.32	4.53	85.1
	Vestidor	Planta baixa	479.55	9.21	52.1
	Pas1	Planta baixa	582.39	17.28	33.7
	Bany3	Planta baixa	253.35	3.06	82.8
	Hab4	Planta baixa	688.07	10.68	64.4
	Sala	Planta baixa	2626.79	36.47	72.0
	Rebador	Planta baixa	377.37	6.03	62.6
	Menjador	Planta baixa	1412.02	17.10	82.6
	Cuina	Planta baixa	2686.58	30.77	87.3
	Bany2	Planta baixa	356.77	6.29	56.8
	Hab2	Planta baixa	647.16	9.63	67.2
	Hab3	Planta baixa	639.84	9.61	66.6

#### Abreviatures utilitzades

$Q_{N,f}$ calefacció	Càrrega tèrmica de calefacció per al càlcul de sòl radiant	q calefacció	Densitat de flux tèrmic per a calefacció
$Q_{N,f}$ refrigeració	Càrrega tèrmica de refrigeració per al càlcul de sòl radiant	q refrigeració	Densitat de flux tèrmic per a refrigeració
S	Superfície del recinte		

Per a realitzar el càlcul de la instal·lació de sòl radiant s'ha de partir d'una temperatura màxima de la superfície del sòl segons el tipus d'instal·lació:

Sòl radiant per a calefacció:

Tipus de recinte	$\theta_{f,max}$ (°C)	$\theta_i$ (°C)	$q_c$ (W/m <sup>2</sup> )
Zona de permanència (ocupada)	29	20	100
Quartos de bany i similars	33	24	100
Zona perifèric	35	20	175

#### Abreviatures utilitzades

$\theta_{f,max}$	Temperatura màxima de la superfície del sòl	$q_c$	Densitat de flux tèrmic límit
$\theta_i$	Temperatura del recinte		

Sòl radiant per a refrigeració:



# Càlcul de l'instal·lació

Projecte

Data: 07/06/15

Tipus de recinte		$\theta_{r,max}$ (°C)	$\theta_i$ (°C)	$q_G$ (W/m <sup>2</sup> )
Zona de permanència (ocupada)		20	24	40
Quartos de bany i similars		18	24	60
Abreviatures utilitzades				
$\theta_{f,max}$	Temperatura màxima de la superfície del sòl	$q_G$	Densitat de flux tèrmic limit	
$\theta_i$	Temperatura del recinte			

La temperatura mitja de la superfície del sòl segons sigui per a calefacció o refrigeració es calcula per mitjà de la següent expressió:

Calefacció

$$q = 8.92(\theta_{F,m} - \theta_i)^{1.1} (W / m^2)$$

Refrigeració

$$q = 7(|\theta_{s,m} - \theta_i|)(W / m^2)$$

La temperatura màxima en la superfície limita que el sòl radiant pugui cobrir el total de les càrregues tèrmiques. Per a aquest cas és necessari disposar d'emissors tèrmics auxiliars per a complementar el sistema de sòl radiant. Per al cas dels recintes que superen la densitat màxima de flux tèrmic es considera el límit descrit com valor de disseny.

## 2.1.2.- Localització dels col·lectors

La instal·lació disposa de col·lectors d'impulsió i de tornada que comuniquen l'equip productor amb els circuits de sòl radiant.

Els col·lectors han de disposar-se en un lloc centrat respecte als recintes als quals dóna servei, normalment en passadissos i distribuïdors.

Es descriu a continuació la localització dels armaris introduïts en el projecte i el nombre de circuits que abasteixen.





# Càlcul de l'instal·lació

Projecte

Data: 07/06/15

Conjunt de recintes	Armari de col·lectors	Circuit	Recinte	Planta
Habitatge Projecte	CC 1	C 1	Hab1	Planta baixa
		C 2	Bany1	Planta baixa
	Vestidor		Planta baixa	
	CC 2	C 1	Pas1	Planta baixa
		C 2	Bany3	Planta baixa
		C 3	Hab4	Planta baixa
	CC 3	C 1	Sala	Planta baixa
		C 2	Sala	Planta baixa
		C 3	Sala	Planta baixa
	CC 4	C 1	Rebador	Planta baixa
		C 2	Sala	Planta baixa
			Menjador	Planta baixa
	CC 5	C 3	Menjador	Planta baixa
		C 1	Cuina	Planta baixa
		C 2	Cuina	Planta baixa
	CC 6	C 3	Cuina	Planta baixa
		C 1	Bany2	Planta baixa
		C 2	Hab2	Planta baixa
		C 3	Hab3	Planta baixa

Produït per una versió educativa de CYPE

## 2.1.3.- Diseny de circuits. Càlcul de longituds

La longitud de la canonada per a cada circuit es calcula mitjançant la següent expressió:

$$L = \frac{A}{e} + 2 \cdot l$$

on:

A = Àrea a climatitzar coberta pel circuit (m<sup>2</sup>)

e = Separació entre canonades (cm)

l = Distància entre el col·lector i l'àrea a climatitzar (m)

Es descriuen, a continuació, els paràmetres necessaris per al disseny de cadascun dels circuits de la instal·lació:

Conjunt de recintes	Armari de col·lectors	Circuit	Traçat	Separació entre canonades (cm)	S (m <sup>2</sup> )	q calefacció (W/m <sup>2</sup> )	Longitud màxima (m)	Longitud real (m)
Habitatge Projecte	CC 1	C 1	Espiral	20.0	13.06	59.0	120.0	70.6
		C 2	Espiral	20.0	12.80	67.6		67.6
	CC 2	C 1	Espiral	20.0	11.80	49.3	120.0	62.3
		C 2	Espiral	20.0	3.06	82.8		19.1
		C 3	Espiral	20.0	10.68	64.4		56.2
	CC 3	C 1	Espiral	20.0	8.88	79.0	120.0	46.5
		C 2	Doble serpenti	20.0	12.57	79.0		73.4
		C 3	Doble serpenti	20.0	10.17	79.0		55.3
	CC 4	C 1	Doble serpenti	20.0	6.03	62.6	120.0	36.5
		C 2	Espiral	20.0	8.09	87.9		42.6
		C 3	Doble serpenti	20.0	7.75	87.9		40.5
	CC 5	C 1	Espiral	20.0	8.48	87.3	120.0	44.4
		C 2	Doble serpenti	20.0	11.41	87.3		58.4
		C 3	Espiral	20.0	10.89	87.3		58.7
	CC 6	C 1	Espiral	10.0	6.29	162.6	120.0	66.6
		C 2	Espiral	20.0	9.63	67.2		49.9
		C 3	Doble serpenti	20.0	9.61	66.6		49.6

### Abreviatures utilitzades

S	Superfície del recinte	q refrigeració	Densitat de flux tèrmic per a refrigeració
q calefacció	Densitat de flux tèrmic per a calefacció		



## 2.1.4.- Càlcul de la temperatura d'impulsió de l'aigua

Per a calcular la temperatura d'impulsió de cadascun dels circuits es considera la densitat de flux tèrmic de cadascun d'ells, llevat de les cambres de bany.

Una vegada obtinguda la densitat màxima de flux tèrmic i considerant un salt tèrmic de 5°C, es calcula la temperatura d'impulsió.

$$q = K_H \cdot \Delta\theta_H$$

on:

q = Densitat de flux tèrmic

$\Delta\theta_H$  = Desviació mitja de la temperatura aire-aigua, que depèn de les següents variables:

- Temperatura d'impulsió
- Temperatura de retorn
- Temperatura del recinte

$K_H$  = Constant que depèn de les següents variables:

Sòl (espessor del revestiment i conductivitat)

Llosa de ciment (espessor i conductivitat)

Canonada (diàmetre exterior, inclòs el revestiment, espessor i conductivitat)

En l'Annex Norma UNE-EN 1264 es descriu detalladament la formulació utilitzada en aquest càlcul.

Per a la resta de recintes s'ha d'utilitzar la mateixa formulació, sent la temperatura de tornada de cadascun dels circuits el valor calculat.

Es mostra a continuació un resum dels resultats obtinguts:

Conjunt de recintes	Armari de col·lectors	Circuit	$\theta_v$ calefacció (°C)	$\theta_r$ calefacció (°C)	Potència calefacció (W)
Habitatge Projecte	CC 1	C 1	34.0	29.0	771.0
		C 2	34.0	31.0	864.9
	CC 2	C 1	34.9	26.1	582.4
		C 2	34.9	31.9	253.3
		C 3	34.9	29.9	688.1
	CC 3	C 1	37.4	32.4	701.8
		C 2	37.4	32.4	993.6
		C 3	37.4	32.4	803.5
	CC 4	C 1	38.9	27.2	377.4
		C 2	38.9	33.9	710.8
		C 3	38.9	33.9	680.8
	CC 5	C 1	38.8	33.8	740.2
		C 2	38.8	33.8	995.9
		C 3	38.8	33.8	950.5
	CC 6	C 1	35.4	32.4	1022.1
		C 2	35.4	30.4	647.2
		C 3	35.4	30.2	639.8
	Abreviatures utilitzades				
$\theta_v$ calefacció	Temperatura d'impulsió calefacció		$\theta_v$ refrigeració	Temperatura d'impulsió refrigeració	
$\theta_r$ calefacció	Temperatura de retorn calefacció		$\theta_r$ refrigeració	Temperatura de retorn refrigeració	



### 2.1.5.- Càlcul del cabal d'aigua dels circuits

El cabal del circuit es calcula amb la següent expressió:

$$m_H = \frac{A_F \cdot q}{\sigma \cdot c_w} \left( 1 + \frac{R_o}{R_u} + \frac{\theta_i - \theta_u}{q \cdot R_u} \right)$$

on:

$A_F$  = Superfície coberta pel circuit de sòl radiant

$q$  = Densitat de flux tèrmic

$\delta$  = Salt de temperatura

$c_w$  = Calor específic de l'aigua

$R_o$  = Resistència tèrmica parcial ascendent del sòl

$R_u$  = Resistència tèrmica parcial descendent del sòl

$\theta_u$  = Temperatura del recinte inferior

$\theta_i$  = Temperatura del recinte

Produït per una versió educativa de CYPE

$$R_o = \frac{1}{\alpha} + R_{\lambda, B} + \frac{s_u}{\lambda_u}$$

$$\frac{1}{\alpha} = 0,093 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$$

$$R_u = R_{\lambda, 1} + R_{\lambda, 2} + R_{\lambda, 3} + R_{\alpha, 4}$$

$$R_{\alpha, 4} = 0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$$

on:

$R_{\lambda, 1}$  = Resistència tèrmica de l'aïllant

$R_{\lambda, 2}$  = Resistència tèrmica del fals sostre

$R_{\lambda, 3}$  = Resistència tèrmica de l'arrebossat

$R_{\alpha, 4}$  = Resistència tèrmica del sostre

## 2.2.- Dimensionat

### 2.2.1.- Dimensionat del circuit hidràulic

El dimensionament de les canonades es realitza prenent els següents paràmetres:

- Velocitat màxima = 2.0 m/s
- Pèrdua de pressió màxima per unitat de longitud = 400.0 Pa/m

Es descriu a continuació la instal·lació calculada:



# Càlcul de l'instal·lació

Projecte

Data: 07/06/15

Conjunt de recintes	Armari de col·lectors	Tipus	Circuit	$\varnothing_N$ (mm)	Cabal calefacció (l/h)	$\Delta P$ calefacció (kPa)
Habitatge Projecte	CC 1	Tipus 1	C 1	20	166.74	4.6
			C 2	20	309.86	12.7
	CC 2	Tipus 1	C 1	20	72.58	1.0
			C 2	20	90.11	0.4
			C 3	20	148.26	3.0
	CC 3	Tipus 1	C 1	20	150.13	2.5
			C 2	20	212.57	7.2
			C 3	20	171.89	3.8
	CC 4	Tipus 1	C 1	20	34.84	0.2
			C 2	20	149.44	2.3
			C 3	20	142.88	2.0
	CC 5	Tipus 1	C 1	20	157.89	2.6
			C 2	20	212.44	5.7
			C 3	20	202.75	5.3
	CC 6	Tipus 1	C 1	20	357.55	16.0
			C 2	20	139.21	2.4
			C 3	20	132.31	2.2

## Abreviatures utilitzades

$\varnothing_N$	Diàmetre nominal	Cabal refrigeració	Cabal del circuit refrigeració
Cabal calefacció	Cabal del circuit calefacció	$\Delta P$ refrigeració	Pèrdua de pressió del circuit refrigeració
$\Delta P$ calefacció	Pèrdua de pressió del circuit calefacció		

Equip	Descripció
Tipus 1	Col·lector modular plàstic de 1" de diàmetre, "UPONOR IBERIA", compost de 2 vàlvules de pas d'1", 2 termòmetre, 2 purgadors automàtics, clau d'omplert, clau de buidatge, cabalímetres, 2 taps terminals i suports

La bomba de circulació es calcula prenent la pèrdua de pressió del circuit més desfavorable i la suma de cabals dels circuits.

## 2.2.2.- Selecció de la caldera o bomba de calor

La bomba de calor o la caldera se seleccionen en funció de la càrrega màxima simultània del conjunt de recintes.

Equip	Conjunt de recintes	Armari de col·lectors
Tipus 1	Habitatge Projecte	CC 1
		CC 2
		CC 3
		CC 4
		CC 5
		CC 6

Equip	Descripció
Tipus 1	Bomba de calor geotermica VWS 141/2 amb una potencia de 16.1



## 3.- SISTEMES DE CAPTACIÓ D'ENERGIA GEOTÈRMICA

Bescanviador de calor soterrat per a captació d'energia geotèrmica

Bomba de calor "A2"

Longitud total del bescanviador de calor geotèrmica

$$L_H = \frac{q_{h,H}R_b + q_a R_{10y} + q_{m,H}R_{1m} + q_{h,H}R_{\delta h}F_{SC}}{T_m - (T_g + T_p)}$$

168.27 m

Nombre de perforacions

2

Profunditat de les perforacions

84.14 m

Dades d'entrada per el càlcul

Característiques del terreny

$t_g$ : Temperatura no pertorbada	16.10 °C
$k$ : Conductivitat tèrmica	2.80 W/(m·K)
$c_p$ : Capacitat tèrmica volumètrica	2.25 MJ/(m <sup>3</sup> ·K)
$\alpha$ : Difusivitat tèrmica	0.11 m <sup>2</sup> /dia

Característiques del bescanviador de calor geotèrmica

Tipus de sonda	Simple
$d$ : Distància mínima entre perforacions	6.00 m
$D_b$ : Diàmetre de les perforacions	152.00 mm
$k_b$ : Conductivitat tèrmica del material de reblert de la perforació	2.35 W/(m·K)
$D_{p,ext}$ : Diàmetre exterior de les canonades	32.00 mm
$D_{p,int}$ : Diàmetre interior de les canonades	26.20 mm
$k_p$ : Conductivitat tèrmica de la canonada	0.35 W/(m·K)
$L$ : Distància entre els eixos de les canonades	64.00 mm

Característiques del fluid termòfor

$c_p$ : Capacitat calorífica específica	4000.00 J/(kg·K)
$\rho$ : Densitat	960.00 kg/m <sup>3</sup>

Característiques de la bomba de calor

	Calefacció
Potència calorífica	16.10 kW
COP	4.70
Cabal	0.93 l/s
Temperatura d'entrada	3.26 °C

Perfil de les necessitats tèrmiques

Calefacció



# Càlcul de l'instal·lació

Projecte

Data: 07/06/15

Càrrega tèrmica	16.10 kW
Demanda tèrmica (kW·h)	
Gener	182.00
Febrer	100.00
Març	0.00
Abril	0.00
Maig	0.00
Juny	0.00
Juliol	0.00
Agost	0.00
Setembre	0.00
Octubre	0.00
Novembre	100.00
Desembre	182.00
<b>Total anual</b>	<b>564.00</b>

## Càlcul de la longitud del bescanviador de calor geotèrmica

$$L_H = \frac{q_{h,H} R_b + q_a R_{10y} + q_{m,H} R_{1m} + q_{h,H} R_{6h} F_{SC}}{T_m - (T_g + T_p)} \quad 168.27 \text{ m}$$

## Resultats intermedis

### Potència tèrmica transferida al terreny

q <sub>a</sub> : Potència tèrmica neta anual transferida al terreny	-50.68 W
q <sub>m,H</sub> : Potència tèrmica transferida al terreny en el mes més desfavorable	-192.58 W
q <sub>h,H</sub> : Potència tèrmica màxima horària transferida al terreny	-12674.47 W

### Resistències tèrmiques

R <sub>p</sub> : Resistència tèrmica de la canonada	0.65 m·K/W
R <sub>b</sub> : Resistència tèrmica equivalent de la perforació	0.11 m·K/W
R <sub>10y</sub> : Resistència tèrmica efectiva del terreny per a un pols de calor de 10 anys	0.14 m·K/W
R <sub>1m</sub> : Resistència tèrmica efectiva del terreny per a un pols de calor mensual	0.13 m·K/W
R <sub>6h</sub> : Resistència tèrmica efectiva del terreny per a un pols de calor de 6 hores	0.08 m·K/W

### Temperatures

T <sub>m</sub> : Temperatura mitjana del fluid en la perforació	1.49 °C
T <sub>p</sub> : Temperatura de penalització, que considera l'efecte d'interacció entre perforacions adjacents	-0.04 °C

### Altres

Re: Nombre de Reynolds	5423.42 >2300
F <sub>sc</sub> : Factor de pèrdua per curtcircuit tèrmic	1.04



## 4.- SISTEMES DE CAPTACIÓ D'ENERGIA GEOTÈRMICA. CANONADES

Canonades (Calefacció)								
Inici	Tram		$\Phi$	Q (l/s)	V (m/s)	L (m)	$\Delta P_1$ (kPa)	$\Delta P$ (kPa)
	Final	Tipus						
A3-Planta baixa	A3-Planta baixa	Impulsió	50 mm	0.47	0.4	1.20	0.086	101.20
A3-Planta baixa	A3-Planta baixa	Impulsió	50 mm	0.47	0.4	1.20	0.086	100.86
A4-Planta baixa	A4-Planta baixa	Impulsió	50 mm	0.93	0.7	0.40	0.093	0.26
A4-Planta baixa	A23-Planta baixa	Impulsió	50 mm	0.93	0.7	0.58	0.136	0.16
A4-Planta baixa	A4-Planta baixa	Impulsió	50 mm	0.47	0.4	0.40	0.029	48.94
A4-Planta baixa	A3-Planta baixa	Impulsió	50 mm	0.47	0.4	2.85	0.204	49.14
A4-Planta baixa	A4-Planta baixa	Impulsió	50 mm	0.47	0.4	0.40	0.029	48.94
A4-Planta baixa	A3-Planta baixa	Impulsió	50 mm	0.47	0.4	7.53	0.540	49.48
A23-Planta baixa	A2-Planta baixa	Impulsió	50 mm	0.93	0.7	0.12	0.029	0.03
A3-Planta baixa	A3-Planta baixa	Retorn	50 mm	0.47	0.4	1.20	0.086	52.55
A3-Planta baixa	A3-Planta baixa	Retorn	50 mm	0.47	0.4	1.20	0.086	52.21
A4-Planta baixa	A4-Planta baixa	Retorn	50 mm	0.93	0.7	0.40	0.093	0.26
A4-Planta baixa	A2-Planta baixa	Retorn	50 mm	0.93	0.7	0.71	0.166	0.17
A4-Planta baixa	A4-Planta baixa	Retorn	50 mm	0.47	0.4	0.40	0.029	0.29
A4-Planta baixa	A3-Planta baixa	Retorn	50 mm	0.47	0.4	2.85	0.204	0.49
A4-Planta baixa	A4-Planta baixa	Retorn	50 mm	0.47	0.4	0.40	0.029	0.29
A4-Planta baixa	A3-Planta baixa	Retorn	50 mm	0.47	0.4	7.53	0.540	0.83
Abreviatures utilitzades								
$\Phi$	Diàmetre nominal			L	Longitud			
Q	Cabal			$\Delta P_1$	Pèrdua de pressió			
V	Velocitat			$\Delta P$	Pèrdua de pressió acumulada			

## ANNEX A: NORMA UNE-EN 1264





## ANNEX A: NORMA UNE-EN 1264

El flux de calor procedent de les canonades es calcula mitjançant la següent expressió:

$$q = B \cdot \prod_i (a_i^{m_i}) \cdot \Delta\theta_H$$

$$q = B \cdot a_B \cdot a_T \cdot a_T^{m_T} \cdot a_U^{m_U} \cdot a_D^{m_D} \cdot \Delta\theta_H$$

L'expressió anterior és vàlida per a una separació màxima entre canonades que compleixi  $T < 0.375$  m.

La següent expressió és vàlida per a una separació mínima entre canonades que compleixi  $T > 0.375$  m.

$$q = q_{0.375} \frac{0.375}{T}$$

$a_B$ : Factor de revestiment del terra

$$a_B = \frac{\frac{1}{\alpha} + \frac{S_{u,0}}{\lambda_{u,0}}}{\frac{1}{\alpha} + \frac{S_{u,0}}{\lambda_E} + R_{\lambda,B}}$$

$\alpha$  = Coeficient de transmissió tèrmica: (8.92) W/m<sup>2</sup>·K

$\lambda_{u,0}$  = 1 W/m·K

$S_{u,0}$  = 0.045 m

$R_{\lambda,B}$  = Resistència tèrmica del revestiment

$\lambda_E$  = Conductivitat tèrmica del revestiment

$a_T$ : Factor de pas

$R_{\lambda,B}$ (m <sup>2</sup> K/W)	0	0.05	0.10	0.15
$a_T$	1.23	1.188	1.156	1.134

$a_U$ : Factor de recubriment

$R_{\lambda,B}$ (m <sup>2</sup> K/W)	0	0.05	0.10	0.15
T(m)	$a_U$			
0.05	1.069	1.056	1.043	1.037
0.075	1.066	1.053	1.041	1.035
0.1	1.063	1.05	1.039	1.0335
0.15	1.057	1.046	1.035	1.0305
0.2	1.051	1.041	1.0315	1.0275
0.225	1.048	1.038	1.0295	1.026
0.3	1.0395	1.031	1.024	1.021
0.375	1.03	1.022	1.018	1.015



$a_b$ : Factor adimensional en funció del diàmetre exterior de la canonada

$R_{\lambda,B}$ (m <sup>2</sup> K/W)	0	0.05	0.10	0.15
T(m)	$a_u$			
0.05	1.013	1.013	1.012	1.011
0.075	1.021	1.019	1.016	1.014
0.1	1.029	1.025	1.022	1.018
0.15	1.04	1.034	1.029	1.024
0.2	1.046	1.04	1.035	1.03
0.225	1.049	1.043	1.038	1.033
0.3	1.053	1.049	1.044	1.039
0.375	1.056	1.051	1.046	1.042

$$m_T = 1 - \frac{T}{0.075}$$

L'expressió anterior és vàlida si es complix la condició  $0.050 \text{ m} \leq T \leq 0.375 \text{ m}$ , on T és la separació entre canonades.

$$m_u = 100(0.045 - S_u)$$

L'expressió anterior és vàlida si es complix la condició  $S_u \geq 0.015 \text{ m}$ , on  $S_u$  és l'espessor de la capa per sobre de la canonada.

$$m_D = 250(D - 0.020)$$

L'expressió anterior és vàlida si es complix la condició  $0.010 \text{ m} \leq D \leq 0.030 \text{ m}$ , on D és el diàmetre exterior de la canonada, inclòs el revestiment, si escau.

$$B = B_0$$

Tipus de superfície	$B_0$ (W/(m <sup>2</sup> ·K))
Sòl radiant per a calefacció	6.7
Sòl radiant per a refrigeració	5.2

Quan la canonada té les següents propietats:

Conductivitat tèrmica

$$\lambda R = \lambda R, 0 = 0.35 \quad (\text{W/mK})$$

Gruix de la capa

$$sR = sR, 0 = (d_a - d_i) / 2 = 0.002 \text{ m}$$

Si les canonades no compleixen les condicions anteriors, ha d'utilitzar-se la següent expressió:



$$\frac{1}{B} = \frac{1}{B_0} + \frac{1.1}{\pi} \cdot \prod_i (a_i^{m_i}) \cdot T \cdot \left[ \frac{1}{2\lambda_R} \ln \frac{d_a}{d_a - 2S_R} - \frac{1}{2\lambda_{R,0}} \ln \frac{d_a}{d_a - 2S_{R,0}} \right]$$

on:

$\lambda_R$  = Conductivitat de la capa de la tuberia

$\lambda_{R,0}$  = 0.35 W/m·K

$s_R$  = Espessor de paret de la canonada

$s_{R,0}$  =  $(d_a - d_i)/2 = 0.002$  m

$$\Delta\theta_H = \frac{\theta_V - \theta_R}{\ln \frac{\theta_V - \theta_i}{\theta_R - \theta_i}}$$

on:

$\theta_R$  = Temperatura de retorn

$\theta_V$  = Temperatura d'impulsió

$\theta_i$  = Temperatura del recinte