

**EPS**

Escola Politècnica
Superior

Projecte/Treball Fi de Carrera

Estudi: Enginyeria Tècn. Ind. Mecànica. Pla 2002

Títol: Climatització d'un habitatge mitjançant energia geotèrmica

Document: N°1: Memoria i annexos

Alumne: Jesús Hernández Rodríguez

Director/Tutor: Lino Montoro Moreno

Departament: Eng. Mecànica i de la Construcció Industrial

Àrea: Mecànica de fluids - Màquines i motors tèrmics

Convocatòria (mes/any): 06/2013

1. INTRODUCCIÓ	1
1.1 Antecedents	1
1.2 Objecte	1
1.3 Especificacions i abast	2
2. DESCRIPCIÓ DE L'EDIFICACIÓ	3
2.1 Descripció arquitectònica	3
2.2 Condicions climatològiques	6
2.3 Condicions geològiques	7
3. CàLCUL DE CàRREGUES TÈRMiques	8
3.1 Normativa i reglamentació	8
3.2 Classificació dels espais	8
3.3 Condicions exteriors	8
3.4 Càlcul de les càrregues tèrmiques de refrigeració	9
3.5 Càlcul de les càrregues tèrmiques de calefacció	10
4. DESCRIPCIÓ DEL SISTEMA DE CAPTACIÓ GEOTÈRMICA	11
4.1 Principi de funcionament	11
4.2 Avantatges e inconvenients	12
4.3 Normativa i reglamentació	13
4.4 Disseny de l'intercanviador de calor	13
4.5 Propietats tèrmiques del terreny	13
4.6 Selecció de la bomba de calor	14
4.7 Elecció del fluid circulant	15
4.8 Disposició del captadors	15
4.9 Canonada seleccionada	16
4.10 Ubicació del col·lector geotèrmic	18
4.11 Perforació	18
4.12 Esquema de principi	19
5. DESCRIPCIÓ DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓ PER TERRA RADIANT	20
5.1 Principi de funcionament	20
5.2 Avantatges del terra radiant	20
5.3 Normativa	21
5.4 Classificació dels espais	21
5.5 Components del sistema	21
5.6 Disseny i càlcul de la instal·lació de terra radiant	23
5.7 Separació dels circuits radiants	24
5.8 Càlcul de les temperatures i cabals	25
5.9 Selecció de les canonades per els circuits radiants	26
5.10 Pèrdues de càrrega	27
5.11 Selecció del grup d'impulsió	28

6.	DESCRIPCIÓ DEL SISTEMA DE SOSTRE REFRESCANT	29
6.1	Principi de funcionament.....	29
6.2	Avantatges del sostre refrescant.....	29
6.3	Normativa	29
6.4	Classificació dels espais	29
6.5	Components del sistema	29
6.6	Disseny i càlcul de la instal·lació de sostre refrescant	30
6.7	Sistema de distribució	32
6.8	Muntatge	33
7.	NECESSITAT D'AIGUA CALENTA SANITÀRIA	34
8.	REGULACIÓ I CONTROL	36
9.	ESTUDI DE LA VIABILITAT ECONÒMICA.....	37
9.1	Comparativa amb altres sistemes	37
9.2	Ajuts i subvencions	39
9.3	Anàlisi del període de retorn de la inversió	39
10.	RESUM DEL PRESSUPOST	40
11.	CONCLUSIONS.....	41
12.	RELACIÓ DE DOCUMENTS	42
13.	BIBLIOGRAFIA	43
ANNEX A.	CÀLCUL DE LES CÀRREGUES TÈRMiques	44
A.1	Normativa i reglamentació	45
A.2	Caracterització i quantificació de les exigències	46
A.3	Càlcul de les càrregues tèrmiques de refrigeració	51
A.4	Càlcul de les càrregues tèrmiques de calefacció.....	63
A.5	Resum de les càrregues tèrmiques de l'habitatge	68
ANNEX B.	DISSENY DE L'INTERCANVIADOR DE CALOR GEOTÈRMIC	69
B.1	Propietats tèrmiques del terreny.....	70
B.2	Disseny de l'intercanviador de calor	74
B.3	Informació complementària de l'energia geotèrmica.....	86
ANNEX C.	DISSENY I CàLCUL DE LA INSTAL·LACIÓ DE TERRA RADIANT	92
C.1	Càlcul de les temperatures i cabals	93
C.2	Disseny de la instal·lació hidràulica	94
C.3	Pèrdues de càrrega.....	95
ANNEX D.	DISSENY I CàLCUL DE LA INSTAL·LACIÓ DE SOSTRE REFRESCANT	100
D.1	Disseny de la instal·lació	101
D.2	Sistema de distribució	104

SUMARI D'IMATGES

Imatge 2.1. Emplaçament de l'habitatge	3
Imatge 2.2. Planta soterrani	4
Imatge 2.3. Planta baixa	4
Imatge 2.4. Planta pis	5
Imatge 2.5. Sota coberta	6
Imatge 2.6. Context geològic del maresme	7
Imatge 4.1. Temperatura del terreny en funció de la profunditat	11
Imatge 4.2. Funcionament del sistema en mode de calefacció	11
Imatge 4.3. Model de conducció de calor al voltant d'una línia infinita	13
Imatge 4.4. Elements principals de la bomba de calor	14
Imatge 4.5. Captació horitzontal	15
Imatge 4.6. Captació de sistemes oberts	16
Imatge 4.7. Captació vertical	16
Imatge 4.8. Extrem de la sonda	18
Imatge 4.9. Model i ubicació del col·lector geotèrmic	18
Imatge 4.10. Esquema de principi	19
Imatge 5.1. Comparativa de diferents sistemes de calefacció	20
Imatge 5.2. Instal·lació del tub radiant	22
Imatge 5.3. Secció del terra radiant	22
Imatge 5.5. Diferents dissenys dels circuits radiants	23
Imatge 5.6. Localització dels col·lectors i disseny dels circuits	24
Imatge 5.7. Corbes característiques de les bombes	28
Imatge 6.1. Panell de tubs capil·lars	29
Imatge 6.2. Maniguets d'unió	30
Imatge 6.3. Connexió de les series de panells als col·lectors	32
Imatge 6.4. Fixació mitjançant grapes dels panells capil·lars al sostre.	33
Imatge 6.5. Forats per a la sortida de cables elèctrics	33
Imatge 6.6. Projectió d'arrebossat de guix sobre els panells capil·lars.	33
Imatge 8.1. Comparativa de consum durant 1 any	38
Imatge 8.2. Període de retorn de la inversió de la bomba de calor geotèrmica	39
Imatge A.1. Classificació de zona climàtica	46
Imatge A.2. Límits de transmitància tèrmica (taula 2.2 DB-HE1)	46
Imatge A.3. Paràmetres límit transmitància (taula 2.1 DB-HE1)	47
Imatge A.4. Condicions exteriors per la refrigeració	52
Imatge A.5. Radiació solar R	53
Imatge A.6. Valors de DTE1 per les façanes	55
Imatge A.7. Factor corrector DTE2	56
Imatge A.8. Valors de DTE1 de la teulada	56
Imatge A.9. Calor emesa per persona	59
Imatge A.10. Diferència d'humitats interior-exterior	61
Imatge A.11. Condicions exteriors per la calefacció	63
Imatge B.1. Representació de conductivitat tèrmica	70
Imatge B.2. Valors de conductivitat tèrmica per a diferents tipus de materials	71

Imatge B.3. Viscositat, densitat, capacitat tèrmica i punt de congelació amb diferents concentracions de propilenglicol.....	75
Imatge B.4. Temperatures i humitats relatives mitjanes mensuals al Maresme	78
Imatge B.5. Condicions exteriors per refrigeració i calefacció	78
Imatge B.6. Funcionament de la bomba segons la temperatura exterior	82
Imatge B.7. Sondejos geotèrmics a l'antiga planta de Larderello	86
Imatge B.8. Mapa del país amb aprofitament de calor geotèrmica i productors d'energia elèctrica geotèrmica	87
Imatge B.9. Mapa d'instal·lacions de bombes de calor geotèrmiques	88
Imatge C.1. Representació dels valors al diagrama de Moody	97
Imatge C.2. Pèrdues de càrrega al col·lector en funció del cabal i del número de circuits	99
Imatge D.1. Diagrama psicomètric	101
Imatge D.2. Pèrdua de càrrega	104

SUMARI DE TAULES

Taula 2.1. Distribució planta soterrani.....	4
Taula 2.2. Distribució planta baixa.....	5
Taula 2.3. Distribució planta pis	5
Taula 2.4. Distribució sota coberta	6
Taula 2.5. Condicions climatològiques.....	6
Taula 3.1. Resum de carregues tèrmiques de refrigeració	10
Taula 3.2. Resum de carregues tèrmiques de calefacció	10
Taula 4.1. Característiques principals de la bomba de calor	14
Taula 4.2. Propietats físiques de l'anticongelant.....	15
Taula 4.3. Característiques de la canonada seleccionada	16
Taula 4.4. Longitud del captador segons el mode de funcionament.....	17
Taula 5.1. Distribució de circuits de calefacció.....	24
Taula 5.2. Resum pèrdues de càrrega del terra radiant.....	27
Taula 5.3. Punts característics de les instal·lacions.....	28
Taula 6.1. Nombre de panells a instal·lar per habitació.....	31
Taula 6.2. Circuits refrigerants connectats als col·lectors	32
Taula 7.1. Demanda d'aigua a 60 °C	34
Taula 7.2. Temperatures de mitjanes de l'aigua de xarxa.....	35
Taula 7.3. Cabal d'ACS diari amb una ocupació de 4 persones	35
Taula 8.1. Dades de referència	38
Taula A.1. Obertures a les façanes.....	45
Taula A.2. Obertures a la coberta	45
Taula A.3. Coeficients h per superfícies	48
Taula A.4. Coeficient de transmissió de calor del mur exterior	48
Taula A.5. Coeficient de transmissió de calor de l'envà interior	48
Taula A.6. Coeficient de transmissió de calor de les finestres	49
Taula A.7. Coeficient de transmissió de calor del forjat entre plantes	49
Taula A.8. Coeficient de transmissió de calor de la coberta	49
Taula A.9. Coeficient de transmissió de calor entre el terreny i la planta soterrani	50
Taula A.10. Resum dels coeficients de transmissió	50
Taula A.11. Condicions interiors segons UNE-EN ISO 7730.....	51
Taula A.12. Radiació per orientacions.....	53
Taula A.13. Càrregues per radiació solar.....	54
Taula A.14. Valors DTE1 de façana aplicats	55
Taula A.15. Càrregues per transmissió a través de les façanes	57
Taula A.16. Càrregues per transmissió a través de la teulada	57
Taula A.17. Càrregues de parets no exteriors	58
Taula A.18. Càrregues per transmissió per terra i sostre.....	58
Taula A.19. Càrrega sensible per infiltracions	59
Taula A.20. Càrrega sensible dels ocupants	60
Taula A.21. Càrrega generada per il·luminació	60
Taula A.22. Calor latent per infiltracions.....	62
Taula A.23. Càrrega latent dels ocupants.....	62

Taula A.24. Resum de carregues tèrmiques de refrigeració	62
Taula A.25. Coeficient d'orientació.....	63
Taula A.26. Càrrega tèrmica de transmissió al menjador	64
Taula A.27. Càrrega tèrmica de transmissió al rebedor.....	64
Taula A.28. Càrrega tèrmica de transmissió al lavabo.....	64
Taula A.29. Càrrega tèrmica de transmissió al rebost	64
Taula A.30. Càrrega tèrmica de transmissió a la cuina	64
Taula A.31. Càrrega tèrmica de transmissió al dormitori 3.....	65
Taula A.32. Càrrega tèrmica de transmissió al dormitori 2.....	65
Taula A.33. Càrrega tèrmica de transmissió al bany2.....	65
Taula A.34. Càrrega tèrmica de transmissió al bany 1.....	65
Taula A.35. Càrrega tèrmica de transmissió al dormitori 1.....	65
Taula A.36. Càrrega tèrmica de transmissió a l'estudi.....	66
Taula A.37. Resum de les carregues tèrmiques de transmissió a través dels tancaments	66
Taula A.38. Densitat i calor específica de l'aire	67
Taula A.39. Cabal de ventilació mínim exigít.....	67
Taula A.40. Carregues tèrmiques de ventilació	67
Taula A.41. Resum de carregues tèrmiques de calefacció.....	68
Taula B.22. Valors usats en el càlcul de la longitud de l'intercanviador en mode calefacció	85
Taula B.23. Valors usats en el càlcul de la longitud de l'intercanviador en mode refrigeració ..	85
Taula C.1. Temperatura mitjana superficial del paviment	93
Taula C.2. Temperatura d'impulsió del fluid calefactor.....	93
Taula C.3. Càlcul del cabal d'aigua per les habitacions	94
Taula C.4. Característiques de les canonades radiants disponibles	94
Taula C.5. Velocitats de les canonades dels circuits radiants.....	95
Taula C.6. Velocitats de les canonades dels circuits d'impulsió	95
Taula C.7. Valors aplicats al càlcul del coeficient de fricció.....	96
Taula C.8. Valors aplicats a la representació al diagrama de Moody	97
Taula C.9. Pèrdues de càrrega primàries al circuit d'impulsió.....	97
Taula C.10. Valors aplicats a les pèrdues de càrrega primàries al circuit de distribució.....	98
Taula C.11. Valors obtinguts com a pèrdues de càrrega primàries al circuit de distribució	98
Taula C.12. Pèrdues de càrrega en accessoris	98
Taula C.13. Longitud total de metres equivalents	99
Taula C.14. Pèrdues de càrrega secundàries al circuit d'impulsió.....	99
Taula C.15. Pèrdues de càrrega per col·lector	99
Taula D.1. Temperatura d'impulsió de l'aigua.....	101
Taula D.2. Relació entre $\Delta\theta$ i la capacitat de refrigeració	102
Taula D.3. Quantitat de panells a instal·lar.....	102
Taula D.4. Cabal calculat per una sèrie de 4 panells.....	103

1. INTRODUCCIÓ

1.1 Antecedents

Els objectius estratègics en matèria energètica per part de la Unió Europea són: combatre el canvi climàtic, incrementar la seguretat de subministrament energètic minimitzant la dependència de l'exterior i reduir el cost de la factura energètica per càpita. Tot això es tradueix en la coneguda proposta 20-20-20. Aquesta proposta pretén aconseguir una reducció del 20 % de les emissions de gasos d'efecte hivernacle, arribar a una quota del 20 % d'energies renovables en el consum final i aconseguir un estalvi del 20 % en la demanda futura d'energia d'aquí a l'any 2020. Per tant, totes les tecnologies que contribueixin a disposar d'una energia més neta, diversificada i eficient seran positives per al sistema energètic i l'economia d'Europa.

La gran volatilitat de preus en els mercats internacionals de l'energia ens exigeix l'aplicació de solucions energètiques eficients i renovables que donin com a resultat una disminució en la despesa de la climatització dels habitatges. Per altra banda, la naturalesa finita dels recursos de què disposem i l'empitjorament continuat del medi ambient ens empenyen a pensar i a posar en pràctica cada cop més les energies renovables. Per últim, la falta de constància d'algunes d'aquestes energies renovables, com ara la solar, o els inconvenients d'altres, com ara la biomassa, ens obliguen a centrar-nos en un sistema d'energia renovable més eficient i constant, com l'energia geotèrmica, que es troba emmagatzemada sota la superfície terrestre en forma de calor, per ser aprofitada sota el compliment dels criteris de sostenibilitat demandats en l'actualitat i de manera competitiva davant dels sistemes convencionals.

1.2 Objecte

Aquest projecte té com a objectiu el càlcul, disseny i definició tècnica de la instal·lació de climatització i obtenció d'aigua calenta sanitària (ACS) per a un habitatge unifamiliar de nova construcció amb tres plantes i sota coberta, situat a la població d'Argentona.

Per tal de complir els requeriments del Codi Tècnic de l'Edificació (CTE) en matèria d'eficiència energètica, la font energètica que farem servir per a dur a terme aquest projecte serà un sistema de captació geotèrmica de baixa temperatura.

Per a la calefacció farem servir una instal·lació de terra radiant, que és el sistema que ens proporcionarà les condicions de confort òptimes, així com un gran rendiment de la bomba de calor. Amb aquests mateixos objectius preveiem que la refrigeració la farem mitjançant una instal·lació de sostre refrescant, per tal de garantir les millors condicions de funcionament.

1.3 Especificacions i abast

La construcció i la distribució de l'habitatge on realitzarem l'estudi estan totalment definides.

El espais a considerar en el disseny de la calefacció seran: el menjador, la cuina, el rebedor, el lavabo, els dos banys, les tres habitacions i l'estudi.

Els espais a refrigerar seran: el menjador, la cuina, les tres habitacions i l'estudi.

El projecte inclourà:

- L'estudi de les necessitats energètiques segons la situació geogràfica, l'orientació i les característiques constructives de l'immoble.
- La valoració de l'adequació del terreny per a l'extracció d'energia geotèrmica en funció de les seves característiques geològiques.
- La definició tècnica del sistema de captació geotèrmica així com de l'equipament per a dur a terme l'explotació.
- L'adequació i el compliment del marc legal actual amb referència a les instal·lacions de climatització i de captació geotèrmica.
- El dimensionament i la definició dels sistemes de climatització en funció de les especificacions establertes.
- La producció d'aigua calenta sanitària conforme a la normativa vigent.
- L'estudi del rendiment econòmic i del període d'amortització de la instal·lació.
- L'estat d'amidaments i el pressupost del projecte.
- La definició de les clàusules generals i particulars a nivell tècnic mitjançant el plec de condicions.
- Els plànols necessaris per a dur a terme el projecte.

2. DESCRIPCIÓ DE L'EDIFICACIÓ

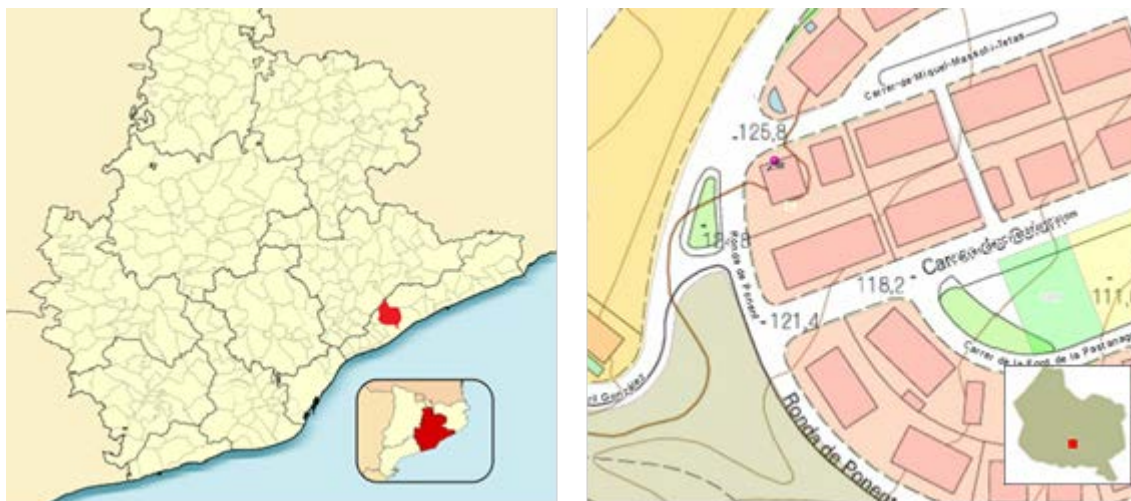
2.1 Descripció arquitectònica

2.1.1 Propietat

L'habitatge és propietat de PTFCETIM2013, SL., que té domicili al carrer Bisbe Lorenzana, núm. 15, de Girona.

2.1.2 Emplaçament

L'habitatge estarà situat a l'encreuament del carrer Miquel Massot i Tetas i la Ronda de Ponent, de la urbanització La Pastanaga, a la vila d'Argentona. L'entrada principal estarà ubicada al carrer Miquel Massot i Tetas.



Imatge 2.1. Emplaçament de l'habitatge

2.1.3 Característiques constructives

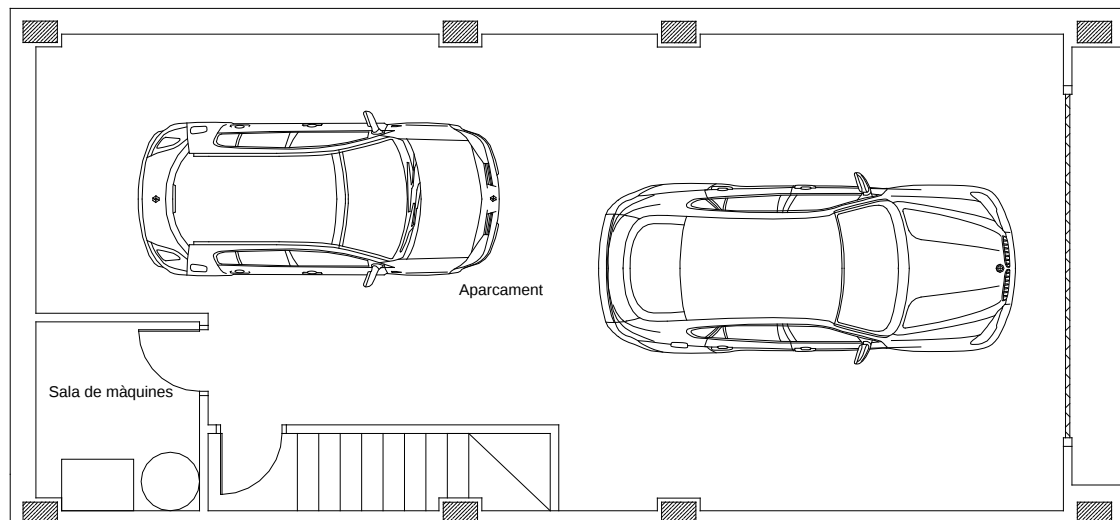
La fonamentació serà superficial mitjançant sabates i murs perimetrals de formigó armat. L'estructura vertical de l'edifici serà amb pilars de formigó armat i els forjats reticulats in situ amb cassetons de formigó.

Els tancaments exteriors són de maó, cambra interior amb aïllament tèrmic i envà interior amb arrebossat de morter, pintat a l'exterior i enguixat a l'interior. Els envans de distribució a l'interior de l'habitatge són de fàbrica de maons foradats de 7 cm de gruix, agafats amb morter de ciment Pòrtland i calç. La fusteria exterior és d'alumini lacat amb vidres dobles i persiana exterior.

2.1.4 Distribució

La superfície de la parcel·la és de 360,53 m² i, per ajustar-se a les normes urbanístiques del municipi, s'ha disposat que l'habitatge constarà de 3 plantes més sota coberta distribuïdes de la següent manera:

- Planta soterrani de 78 m² de superfície construïda i 61,7 m² de superfície útil.

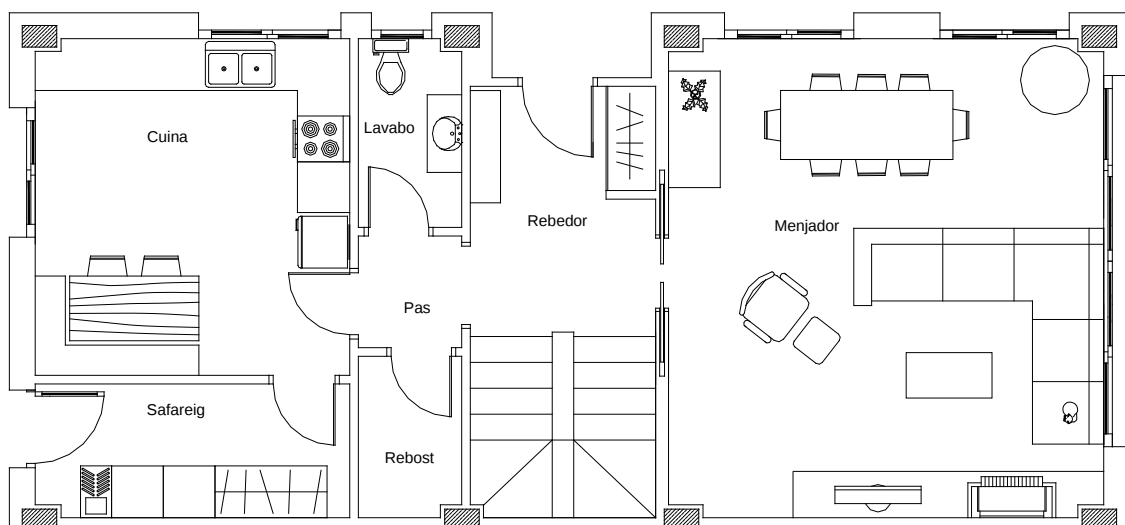


Imatge 2.2. Planta soterrani

<i>Estança</i>	<i>Superfície (m²)</i>	<i>Volum (m³)</i>
Aparcament	57,5	143,8
Sala de màquines	4,2	10,4

Taula 2.1. Distribució planta soterrani

- Planta baixa de 78 m² de superfície construïda i 60,6 m² de superfície útil.

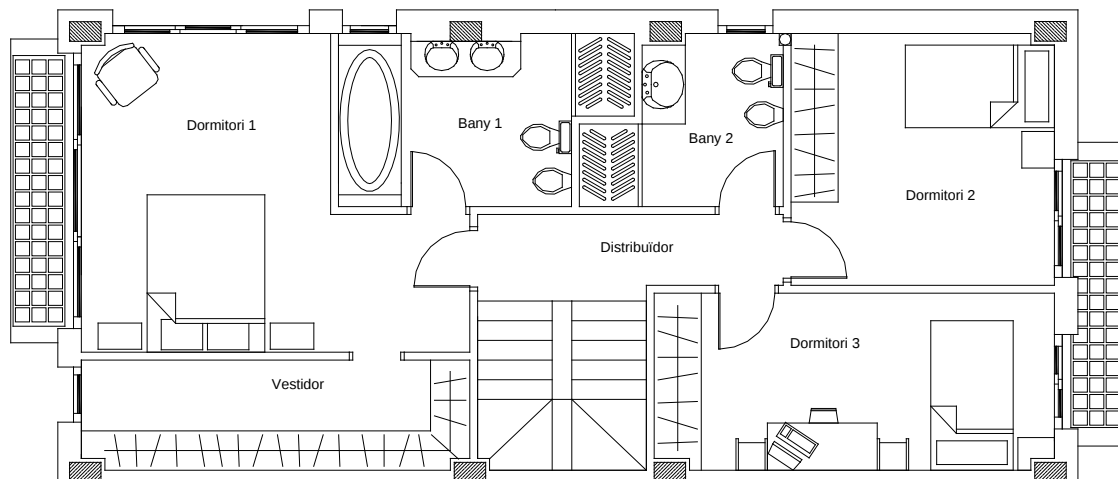


Imatge 2.3. Planta baixa

<i>Estança</i>	<i>Superfície (m²)</i>	<i>Volum (m³)</i>
Menjador	28	69,9
Rebedor	6,1	15,3
Lavabo	2,6	6,5
Pas	1,3	3,1
Rebost	2,5	6,3
Cuina	14,2	35,5
Safareig	5,6	14

Taula 2.2. Distribució planta baixa

- Planta pis de 78 m² de superfície construïda i 61,3 m² de superfície útil.

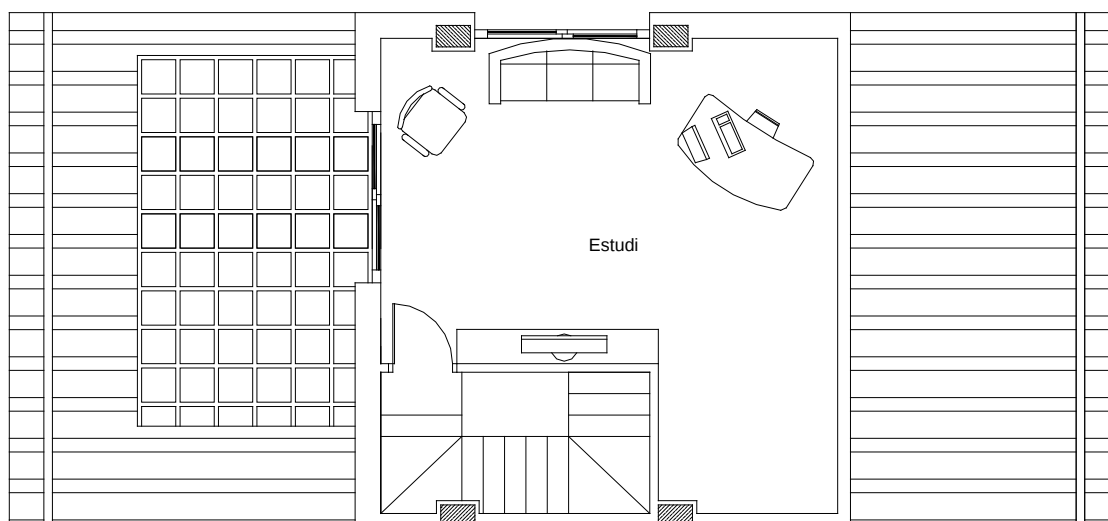


Imatge 2.4. Planta pis

<i>Estança</i>	<i>Superfície (m²)</i>	<i>Volum (m³)</i>
Dormitori 1	16,7	41,8
Vestidor	7,1	17,8
Bany 1	6,6	16,5
Distribuidor	4	10
Dormitori 2	10,7	26,8
Bany 2	5	12,5
Dormitori 3	11,4	28,5

Taula 2.3. Distribució planta pis

- Sota coberta de 25,2 m² de superfície construïda i de 20,6 m² de superfície útil.



Imatge 2.5. Sota coberta

<i>Estança</i>	<i>Superfície (m²)</i>	<i>Volum (m³)</i>
Estudi	21	52,5

Taula 2.4. Distribució sota coberta

2.2 Condicions climatològiques

Per establir les condicions de càlcul exteriors (temperatura, humitat relativa, salt tèrmic, etc.) hem fet servir la guia tècnica de condicions climàtiques exteriors, editada per IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía). Segons l'alçada sobre el nivell del mar i la proximitat a la costa hem decidit fer servir els valors que ens ofereix l'estació ubicada a la ciutat de Granollers.

Tenint en compte la norma UNE-EN ISO 7730, que determina les condicions de confort dins d'un habitatge, hem dissenyat la Taula 2.5., on trobem resumides les temperatures i humitats interiors de consigna per a l'habitatge i per a les diferents temporades de l'any.

<i>Temporada</i>	<i>Temperatura interior (°C)</i>	<i>Humitat relativa interior (%)</i>
Refrigeració	25	60
Calefacció	20	50

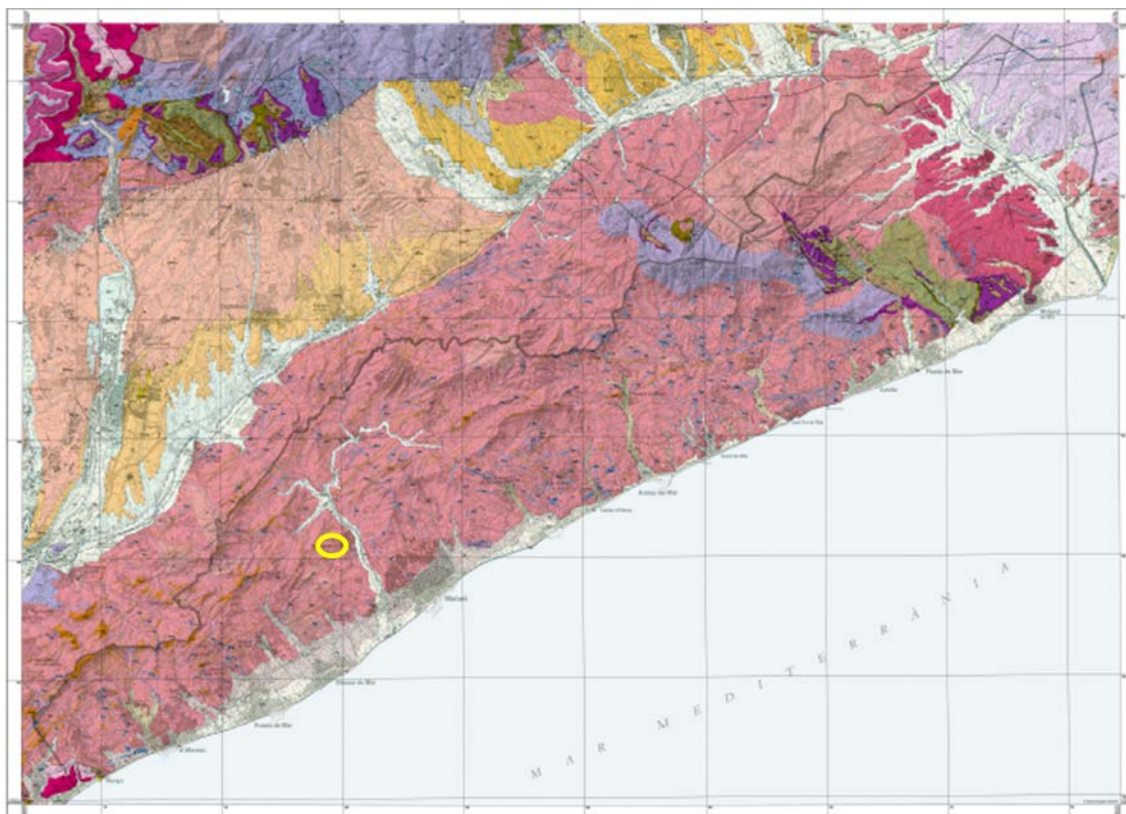
Taula 2.5. Condicions climatològiques

2.3 Condicions geològiques

Com a part prèvia de la construcció de l'habitatge vam dur a terme un estudi geotècnic, a fi de determinar les característiques principals del terreny on es fonamentarà l'habitatge.

2.3.1 Marc geològic

La parcel·la on està projectada la construcció de l'habitatge està situada al peu de la Serralada Litoral Catalana, a la zona de domini litoral mediterrani. La Serralada Litoral Catalana està constituïda principalment per roques granítiques (granodiorites). A la vessant nord-oest es troben formacions de pissarra metamòrfica del Paleozoic per sobre del granit.



Imatge 2.6. Context geològic del maresme

2.3.2 Valoració de l'adequació del terreny per a l'extracció d'energia geotèrmica

Després d'estudiar les diferents propietats tèrmiques, vam catalogar el terreny com a adequat per a dur a terme la captació d'energia geotèrmica de baixa entalpia.

3. CÀLCUL DE CÀRREGUES TÈRMIQUES

Per tal de dur a terme un dimensionament de la instal·lació que garantís les condicions de confort i òptim funcionament, el primer requeriment d'aquest projecte va ser conèixer les necessitats tèrmiques a les quals hauria de respondre el nostre disseny.

En aquest capítol trobareu resumits els procediments de càlcul i criteris que hem seguit per a l'obtenció d'aquestes dades, si bé la totalitat dels càlculs detallats els trobareu a l'annex A d'aquest mateix projecte.

3.1 Normativa i reglamentació

Per fer el càlcul de les necessitats tèrmiques de l'habitatge hem fet servir el Codi Tècnic de l'Edificació (CTE), concretament el Document Bàsic d'Estalvi d'Energia (DB-HE). Aquest document es troba dividit en cinc exigències bàsiques. Dins l'àmbit d'aplicació de la primera d'aquestes exigències (HE1: limitació de demanda energètica) hi ha els edificis de nova construcció, i és per aquest motiu, i d'acord amb l'objecte d'estudi d'aquest projecte, que es va fer servir per a calcular les càrregues tèrmiques de l'habitatge.

3.2 Classificació dels espais

Segons l'article 3.1.2 de l'HE1, els espais habitables es poden classificar en funció de la quantitat de calor dissipada al seu interior, donada l'activitat prevista i el període d'utilització de cada espai.

Hem considerat que tots els espais habitables del nostre habitatge són de càrrega interna baixa, perquè són espais destinats a residir-hi, de forma permanent o eventual. Per aquest mateix motiu, hem considerat el garatge com a espai no habitable.

3.3 Condicions exteriors

Per establir les condicions exteriors hem fet servir la guia tècnica de condicions climàtiques exteriors, editada per IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía).

Tot i que aquesta guia no inclou informació de la vila d'Argentona, sí que disposem de tres punts amb reculls de dades a la província de Barcelona. Tenint en compte l'alçada sobre el nivell del mar i la proximitat a la costa, hem decidit fer servir els valors que ens ofereix l'estació ubicada a la ciutat de Granollers.

3.3.1 Condicions per al càlcul de les càrregues tèrmiques de refrigeració

- Temperatura màxima de 38,2 °C.
- Temperatura del percentil 98 de 30,8 °C, és a dir, aquesta temperatura cobreix un 98 % de les hores d'estiu.

Aquest darrer valor és el que hem seleccionat com a temperatura exterior de càlcul ja que és la recomanada en el cas d'habitatges.

La data i l'hora solar les hem establert a les 15 hores del 23 de juliol.

La latitud és de 40° nord.

3.3.2 Condicions per al càlcul de les càrregues tèrmiques de refrigeració

Com hem fet per a calcular les càrregues en refrigeració, farem servir els valors que ens ofereix l'estació ubicada a la ciutat de Granollers.

Aquí veiem les dades que farem servir per al càlcul de les càrregues tèrmiques en mode de calefacció.

Temperatura mínima de -5,2 °C.

Oscil·lació mitjana diària (OMDC) de 11,8 °C.

Temperatura seca del percentil 99 de 1,2 °C. Aquest valor és el que hem seleccionat com a temperatura exterior de càlcul ja que és la recomanada en el cas d'habitatges.

3.4 Càlcul de les càrregues tèrmiques de refrigeració

A fi de conèixer la quantitat d'energia en forma de calor que haurem d'extreure de l'habitatge durant la temporada d'estiu, hem tingut en compte l'existència de dos tipus de càrregues tèrmiques: les càrregues sensibles, que venen donades per la diferència de temperatura i la radiació tèrmica, i les càrregues latents, que venen donades per l'aportació d'humitat a l'aire.

La suma d'aquestes dues càrregues és la quantitat final d'energia que haurem de contrarestar amb el nostre sistema de refrigeració.

Com a càrregues sensibles hem considerat:

- Càrregues tèrmiques per radiació solar a les superfícies translúcides.
- Càrregues per transmissió a través dels tancaments opacs.
- Càrrega de parets no exteriors.
- Càrrega sensible per infiltracions.
- Càrrega sensible a causa dels ocupants.
- Càrrega generada per la il·luminació.

Com a càrregues latents :

- Calor latent per infiltracions d'aire.
- Càrrega latent a causa dels ocupants.

El resultat final del càlcul de cadascuna de les partides esmentades el trobem resumit a la Taula 3.1.

Habitació	Càrregues sensibles (kcal/h)							Càrregues latents (kcal/h)	
	Q_{SR}	Q_{STR}	Q_{ST}	Q_{ST}	Q_{SI}	Q_{SIL}	Q_{SP}	Q_{LI}	Q_{LP}
Menjador	468	102	209	241	138	156	268	377	200
Cuina	143	111	140	122	70	86	-	191	-
Dormitori 1	279	109	156	144	82	70	134	225	100
Dormitori 2	20	65	67	92	53	39	67	144	50
Dormitori 3	20	16	40	98	56	31	67	154	50
Estudi	42	410	84	181	104	77	-	284	-
Σ (kW)	5,64							2,07	

Taula 3.1. Resum de càrregues tèrmiques de refrigeració

3.5 Càlcul de les càrregues tèrmiques de calefacció

Com a càrregues sensibles hem considerat les següents partides:

- Càrrega tèrmica de transmissió a través dels tancaments.
- Càrrega tèrmica de ventilació.

El resultat final del càlcul de cadascuna de les partides calculades el trobem resumit a la Taula 3.2.

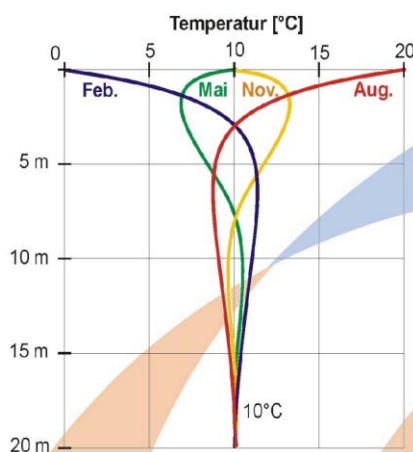
Habitació	Q_{TR} (kcal/h)	Q_V (kcal/h)	Q (kcal/h)	Q (W)
Menjador	1230,98	418,73	1649,71	1917,34
Rebedor	339,70	77,31	417,01	484,66
Lavabo	93,24	329,91	423,16	491,80
Cuina	818,15	781,77	1599,92	1859,47
Dormitori 1	690,38	207,04	897,42	1043,01
Bany 1	132,32	329,91	462,23	537,21
Dormitori 2	309,84	62,81	372,65	433,10
Bany 2	76,19	329,91	406,10	471,98
Dormitori 3	249,91	62,81	312,72	363,45
Estudi	780,59	62,81	843,40	980,22

Taula 3.2. Resum de càrregues tèrmiques de calefacció

4. DESCRIPCIÓ DEL SISTEMA DE CAPTACIÓ GEOTÈRMICA

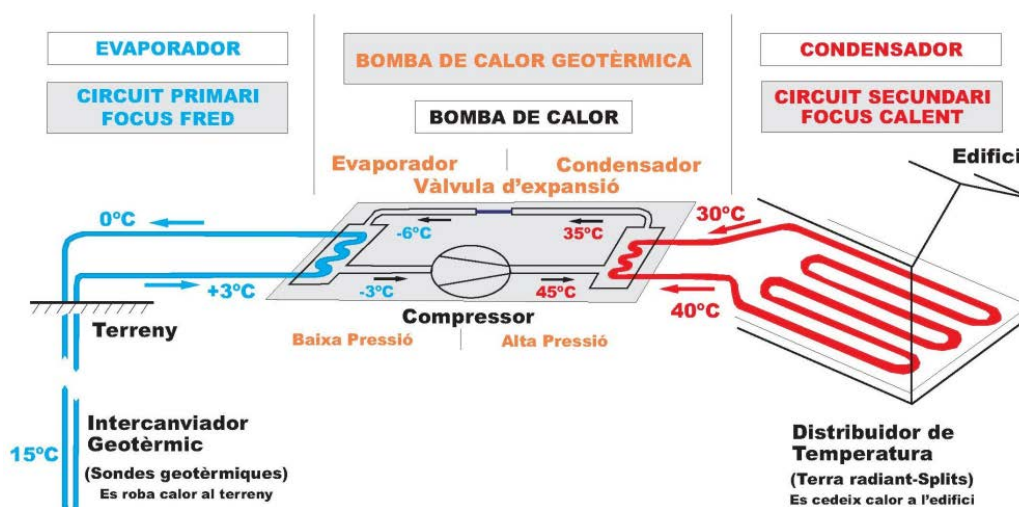
4.1 Principi de funcionament

L'energia geotèrmica de baixa entalpia basa la seva aplicació en la capacitat que té el subsòl de mantenir una temperatura constant a partir de certa profunditat, a diferència del que succeeix a la superfície, on la temperatura ambient varia significativament al llarg de tot l'any. El nostre sistema geotèrmic aprofita la constància d'aquesta temperatura mitjançant una bomba de calor i un sistema de captació.



Imatge 4.1. Temperatura del terreny en funció de la profunditat

El propòsit del nostre projecte és aconseguir la climatització de l'habitatge i és per aquest motiu que en el nostre disseny la bomba de calor ha de ser reversible, això vol dir que absorbeix calor del terreny en període de calefacció per cedir-la a la instal·lació interior. En període de refrigeració cedeix la calor extreta de la instal·lació interior cap al terreny.



Imatge 4.2. Funcionament del sistema en mode de calefacció

Aquesta reversibilitat del sistema millora la recuperació del terreny en escalfar a l'estiu el terreny refredat durant l'hivern.

4.2 Avantatges e inconvenients

En aquest apartat volem exposar de manera resumida els principals avantatges i inconvenients de la generació i el consum d'energia geotèrmica, analitzant aspectes relacionats amb els costos d'operació, la inversió necessària o la repercussió mediambiental que pot tenir una instal·lació geotèrmica.

4.2.1 Avantatges

Entre els avantatges de l'energia geotèrmica es troben:

- Un sistema amb bomba de calor geotèrmica per a una casa individual suposa un cost d'inversió elevat, de l'ordre del doble d'una instal·lació clàssica de calefacció i refrigeració. No obstant això, els costos d'explotació són molt més baixos que els d'aquests altres equips.
- Les inversions en matèria d'energia geotèrmica tenen subvencions gestionades per cada comunitat autònoma a Espanya.
- El temps per a la posada en servei de la instal·lació geotèrmica és menor que el necessari per altres fonts d'energia.
- En general, es produeix entre dues i quatre vegades més energia tèrmica o frigorífica que l'energia elèctrica que es consumeix. Això significa que aquests sistemes tenen rendiments de 200 a 400 %, molt superiors a les resistències elèctriques, on el rendiment màxim és del 100 %.
- Una instal·lació que utilitzi energia geotèrmica, comparada amb instal·lacions clàssiques de bombes de calor o de climatització, permeten estalvis d'energia de 30 a 70 % en calefacció i de 20 a 50 % en climatització.
- Es redueix la dependència d'importacions energètiques i assegura la regularitat en el proveïment. Disminueixen les pèrdues energètiques derivades del transport d'electricitat i la contaminació que provoca el transport de combustibles per carretera.
- L'energia geotèrmica no depèn del clima, de la radiació solar ni del vent. Està disponible 24 hores al dia, 365 dies a l'any.
- Aquesta forma de produir energia no emet CO₂ al medi ambient.

4.2.2 Inconvenients

Entre els inconvenients generats de l'energia geotèrmica es troben:

- No en totes les cases es pot instal·lar un sistema de climatització geotèrmic. Pot ser que no hi hagi espai suficient per a la perforació, que la composició del terreny faci que el cost de la perforació sigui massa alt o que les màquines especials de sondeig energètic no entrin en la parcel·la per raons d'espai.
- Costos d'inversió inicial elevats.

- Es pot produir contaminació d'aigües pròximes amb substàncies com arsènic, amoníac, etc.
- Risc de contaminació tèrmica a l'entorn del lloc d'on s'extreu l'energia geotèrmica.
- No es pot transportar com energia primària.

4.3 Normativa i reglamentació

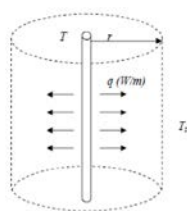
A nivell espanyol no hi ha legislació específica per a instal·lacions de sistemes geotèrmics de baixa entalpia tancats. Si bé la Secretaria General d'Energia del Ministeri d'Indústria, Turisme i Comerç edita una guia tècnica per al disseny de sistemes d'intercanvi geotèrmic de circuit tancat, aquest document només té caràcter informatiu.

En el nostre projecte hem seguit aquesta guia que desenvolupa la metodologia de disseny de la International Ground Source Heat Pump Association (IGSHPA).

4.4 Disseny de l'intercanviador de calor

En el disseny dels intercanviadors de calor soterrats intervenen múltiples factors que fan possibles moltes variants de disseny per a un mateix sistema. En l'etapa de disseny hem mirat de trobar el mètode de captació més adient segons els requeriments del nostre projecte.

La metodologia de disseny de l'IGSHPA, és un mètode de càlcul estàtic que assumeix que el sistema funciona durant un temps determinat amb una càrrega constant, amb el terra a la temperatura més desfavorable, és a dir, el mes de gener per a calefacció i el mes de juliol per a refrigeració, i amb una temperatura d'aigua fixa. Durant la resta de mesos, la temperatura de l'aire serà més moderada i, per tant, la càrrega calorífica o frigorífica serà menor.



Imatge 4.3. Model de conducció de calor al voltant d'una línia infinita

4.5 Propietats tèrmiques del terreny

Les propietats tèrmiques del terreny són determinants en el càlcul de l'intercanviador de calor enterrat, principalment la conductivitat tèrmica. Un valor de conductivitat tèrmica elevat a igualtat de la resta de condicions de disseny, disminueix considerablement la longitud de l'intercanviador. A més, les característiques tèrmiques del subsòl influeixen en altres paràmetres de disseny, com ara la distància entre les diverses perforacions que conformen l'intercanviador de calor vertical necessària perquè no hi hagi interferència tèrmica entre els captadors verticals.

4.5.1 Conductivitat tèrmica

Hem fet el càlcul de la conductivitat tèrmica per al disseny de la captació geotèrmica a partir de la relació entre les proporcions dels diferents materials trobats a l'estudi geotècnic. Una altra tècnica per a determinar aquest paràmetre és realitzant un test de resposta tèrmica del terra TRT (Thermal Response Test). Aquest mètode és el més fiable i l'únic recomanat per a grans instal·lacions. Si bé amb el TRT es pot establir amb major precisió el valor de conductivitat del terreny, el seu elevat cost ens va fer descartar aquesta opció.

4.5.2 Difusivitat tèrmica del terreny

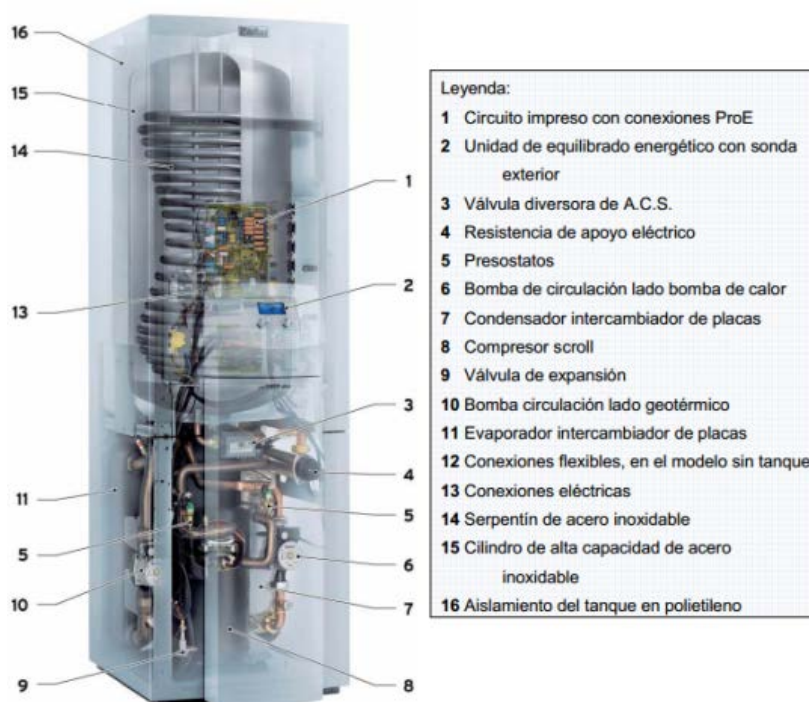
El procediment per determinar el valor d'aquesta propietat va ser el mateix que el que vam fer servir per a la conductivitat tèrmica.

4.6 Selecció de la bomba de calor

A partir del càlcul de les càrregues tèrmiques de l'habitatge, que podeu trobar detallats a l'Annex A d'aquest projecte, ens hem decantat per l'adquisició de la bomba de calor GeoTHERM exclusiv VWS83/2 de la marca Vaillant. Podeu veure'n les principals característiques a la Taula 4.1.

Mode de funcionament	Capacitat tèrmica (kW)	Consum elèctric (kW)	COP
Calefacció	9,3	2,0	4,65
Refrigeració	6	1,8	3,33

Taula 4.1. Característiques principals de la bomba de calor



Imatge 4.4. Elements principals de la bomba de calor

De la bomba seleccionada, cal destacar-ne l'elevat COP (coeficient of performance), que és la relació entre l'energia útil en forma de calor subministrat per la bomba de calor i l'energia elèctrica consumida.

Com es pot veure a la Imatge 4.4., la bomba de calor està equipada amb un acumulador d'acer inoxidable per a aigua calenta sanitària de 175 litres de volum.

4.7 Elecció del fluid circulant

El fluid circulant per l'intercanviador de calor soterrat pot ser aigua o aigua amb anticongelant. En el nostre cas vam descartar l'opció de l'aigua, ja que només amb la utilització d'un anticongelant podem garantir que els captadors treballin tant com a evaporadors en règim de calefacció, com a condensadors en mode de refrigeració.

Comparant les diferents alternatives de solucions anticongelants que ens ofereix el mercat, el metanol i el propilenglicol són els més recomanats per als intercanviadors geotèrmics.

Donada la baixa viscositat i l'alta transferència de calor del propilenglicol, el fluid refrigerant seleccionat va ser una barreja d'aigua destil·lada (80 %) amb propilenglicol (20 %), de la qual en podeu veure les principals característiques a la Taula 4.2.

Viscositat (m^2/s)	Densitat (kg/m^3)	Calor específic ($J/kg \cdot K$)	Punt de congelació ($^{\circ}C$)
$2,5 \cdot 10^{-6}$	1020	4000	-12

Taula 4.2. Propietats físiques de l'anticongelant

4.8 Disposició del captadors

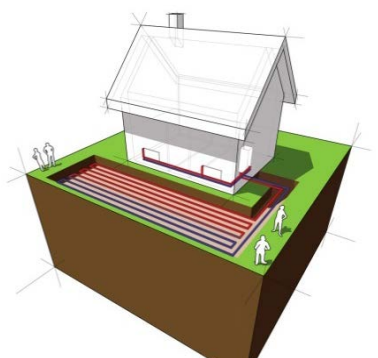
La captació de l'energia es durà a terme gràcies a uns col·lectors, per l'interior dels quals circularà el fluid, que en contacte amb el subsòl captaran o cediran energia com a conseqüència del salt tèrmic entre el fluid i el terreny.

Els diferents sistemes que es poden emprar per a la captació de l'energia geotèrmica són:

4.8.1 Captació horitzontal

La captació horitzontal consisteix en l'execució d'una sèrie de rases en les quals es col·loquen els col·lectors d'energia. La seva profunditat està compresa entre els 0,6 m i els 1,5m aproximadament. Es tracta d'un sistema força econòmic, però necessita molta superfície de terreny, sobre la qual no es podran plantar arbres d'arrels profundes que puguin trencar en un futur els col·lectors.

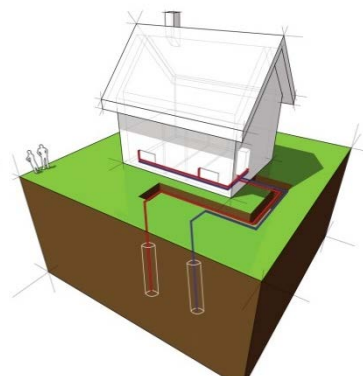
En el nostre cas no és possible dur a terme una captació horitzontal donada la limitació de superfície de la parcel·la.



Imatge 4.5. Captació horitzontal

4.8.2 Captació de sistemes oberts

Hi ha la possibilitat d'extreure aigua subterrània per una perforació, portar-la a la bomba de calor i un cop fet l'intercanvi energètic, retornar-la al subsòl per una altra perforació diferent. Aquest sistema requereix garantir un cabal mínim durant tota la vida de la instal·lació. A més haurem de tenir en compte el consum energètic de la bomba d'elevació que haurem de sumar al sistema de climatització amb el corresponent descens de l'eficiència global del sistema. Finalment, i com que es fa ús d'un recurs hídric, és necessari tenir autorització de la confederació hidrogràfica corresponent.

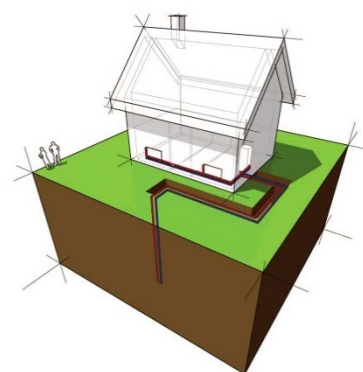


Imatge 4.6. Captació de sistemes oberts

Tenint en compte la inexistència d'aigua subterrània que ens doni la possibilitat de fer una captació oberta hem descartat aquesta possibilitat.

4.8.3 Captació vertical

La captació vertical consisteix en l'execució d'una o diverses perforacions en les quals s'introdueixen els captadors d'energia. La seva longitud varia entre els 80 m aproximadament fins als 200 m. Tenen l'avantatge que ocupen poc espai i proporcionen una gran estabilitat de les temperatures.



Imatge 4.7. Captació vertical

4.9 Canonada seleccionada

És molt important que el material de les canonades respongui adequadament a les temperatures de treball de l'intercanviador de calor, és per aquest motiu que tant el polietilè (PE) com el polibutilè (PB) són els materials més comuns en els intercanviadors de calor soterrats. Tots dos són flexibles alhora que resistents i poden unir-se mitjançant fusió per calor per formar unions més fortes que el tub mateix.

La major durada de les canonades de polietilè va ser determinant perquè fos el material seleccionat per al nostre intercanviador. La Taula 4.3. en recull les principals característiques.

Referència	Pressió (MPa)	Ø ext. (mm)	Ø int. (mm)	Kp (W/m·K)
PE100	1	25	21	0,43

Taula 4.3. Característiques de la canonada seleccionada

4.9.1 Diàmetre

Per determinar el diàmetre de les canonades i garantir un bon funcionament del circuit, la velocitat del fluid circulant ha de ser com a mínim de 0,6 m/s i no excedir els 2 m/s. Mitjançant l'Equació 4.1 establim que amb un diàmetre de 21 mm obtenim una velocitat dintre dels paràmetres establerts.

$$S = \frac{q}{v}$$

Equació 4.1

On:

S: Superfície de la canonada (m²)

q: Cabal per circuit captació de la bomba de calor (m³/s)

v: Velocitat del fluid (m/s)

També s'ha de garantir l'existència de turbulències del fluid dins del tub, de manera que s'afavoreixi el traspàs tèrmic entre el fluid que circula i la paret interior. Com més gran sigui la turbulència més gran serà l'intercanvi tèrmic. La condició que assegura la turbulència és l'expressió:

$$Re = \frac{4 \cdot q}{\pi \cdot \vartheta \cdot D} > 2.300$$

Equació 4.2

On:

Re: Número de Reynolds

q: Cabal circulant (m³/s)

ϑ : Viscositat cinemàtica del fluid (m²/s)

D: Diàmetre interior (m)

El número de Reynolds resultant és de 13.047, podem establir, doncs, que el règim dins l'intercanviador és turbulent.

4.9.2 Longitud del captador

Hem calculat la longitud de l'intercanviador de calor tant en mode de refrigeració com de calefacció. El resultat del càlcul es pot veure a la Taula 4.4.

$L_{CAL}(m)$	$L_{REF}(m)$
554,8	89,32

Taula 4.4. Longitud del captador segons el mode de funcionament

Com que la instal·lació ha de satisfer tots dos modes de funcionament, la longitud amb la qual s'ha dissenyat el captador és la del mode calefacció.

La configuració final del captador és de 4 pous amb una profunditat de 70 m amb sonda geotèrmica doble (4 pous x 70 metres x 2 canonades = 560 m).

Hem previst la col·locació de pesos als extrems de les sondes geotèrmiques, per tal de facilitar la caiguda de les sondes durant la seva instal·lació.

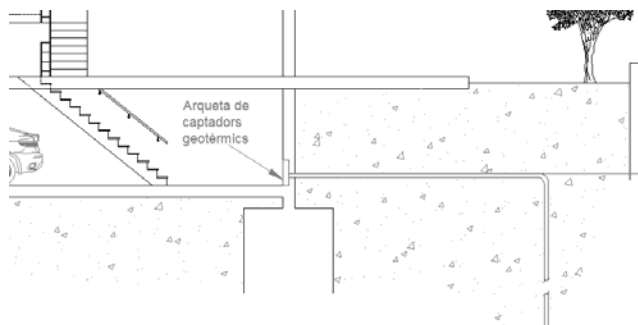


Imatge 4.8. Extrem de la sonda

4.10 Ubicació del col·lector geotèrmic

Hem previst la construcció d'una sala de màquines a la planta soterrani, on s'ubicarà tota la maquinària necessària per tal de dur a terme la captació de l'energia geotèrmica com també l'acumulació i distribució de l'ACS, així com de l'aigua que es farà servir per a la climatització.

Al mur d'aquesta sala anirà encastat el col·lector geotèrmic que es farà servir per a dur a terme la connexió dels quatre col·lectors i la bomba de calor.



Imatge 4.9. Model i ubicació del col·lector geotèrmic

4.11 Perforació

L'execució de les perforacions per a la captació energètica suposen una part molt important en la inversió inicial de la instal·lació geotèrmica i arriba, en determinades ocasions, fins al 60 % sobre el total de la instal·lació.

Es tracta, per tant, d'una partida molt important i és per aquest motiu que hem estudiat diferents sistemes de perforació, per tal de trobar el que millor s'adaptés a les característiques del nostre projecte (dureza del terreny, possibilitat d'instal·lar gran maquinària, profunditat de la perforació...). Tenint en compte totes aquestes consideracions la perforació es durà a terme mitjançant una percussió amb cable i barrina.

L'empresa de perforació que farà els treballs haurà d'estar certificada i haurà d'elaborar un pla d'execució en què s'indiquin totes les autoritzacions i limitacions.

En l'obra s'han de prendre les següents precaucions:

- L'accés per a la màquina de perforació hauria d'estar pavimentat i s'hauria de tenir en compte el radi de gir. Haurà de tenir un ample d'accés d'almenys 1,5 m.
- Connexió elèctrica: 400 V.
- Connexió d'aigua corrent.
- Plànol general amb indicació dels conductes elèctrics, d'aigua i de desguàs o de qualsevol altre obstacle en el subsòl.

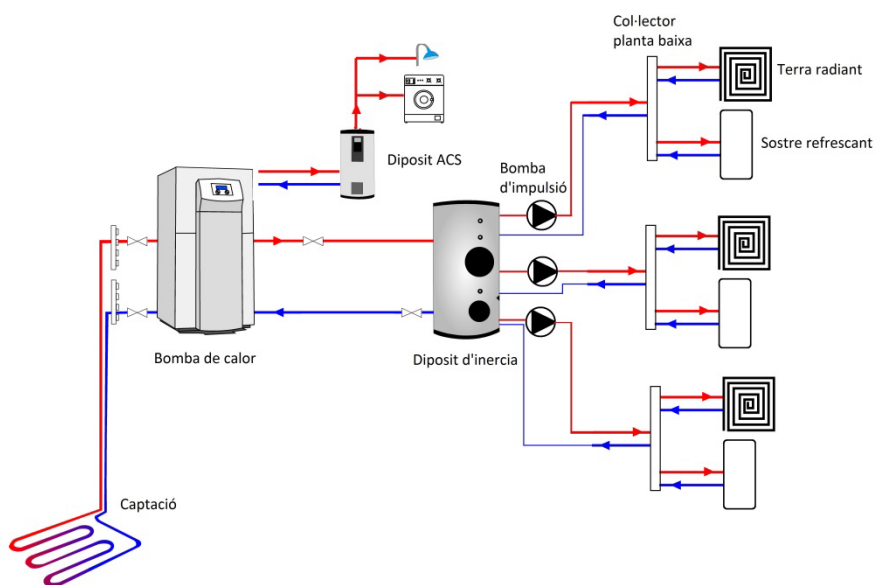
4.11.1 Materials de rebliment i segellat

Després d'instal·lar la sonda geotèrmica cal omplir l'espai anular amb una massa segellant. Aquesta assegura un bon assentament de la sonda i millora considerablement la transmissivitat tèrmica. Així mateix, amb aquesta massa es segellen els estrats argilosos impermeables que hagin estat travessats durant la perforació, evitant així possibles contaminacions de les aigües subterrànies.

4.12 Esquema de principi

De les diferents opcions de connexió que ens ofereix la bomba de calor seleccionada, el disseny final es pot veure a la Imatge 4.10., on veiem un esquema de les connexions hidràuliques.

Com es pot observar a l'esquema hem previst dos dipòsits: un per l'ACS que està integrat a la bomba de calor i l'altre per l'anticongelant del sistema de climatització. Hem escollit aquesta configuració amb el propòsit de minimitzar la quantitat d'arrencades de la bomba de calor i allargar així tant com sigui possible la vida de la instal·lació.



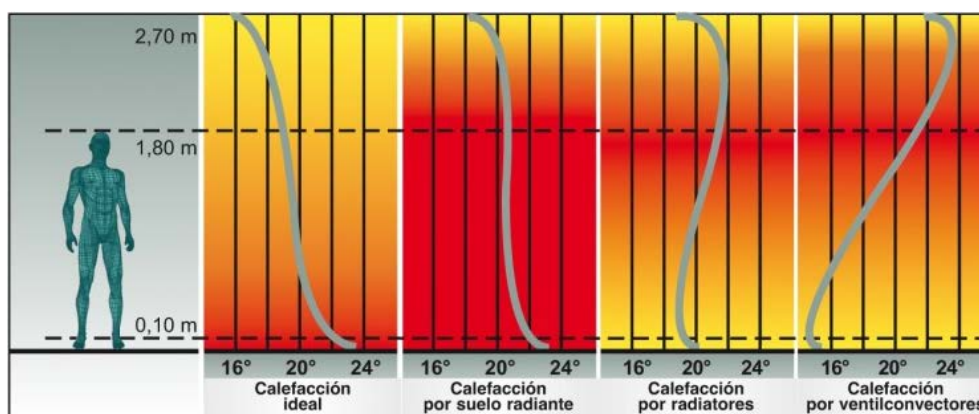
Imatge 4.10. Esquema de principi

5. DESCRIPCIÓ DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓ PER TERRA RADIANT

5.1 Principi de funcionament

La calefacció per terra radiant es basa en una xarxa de canonades encastada a la capa de morter situada al terra de la cambra que es vulgui calefactar.

Per dins la canonada es fa circular aigua calenta. La capa de morter absorbeix l'energia tèrmica dissipada per les canonades i la cedeix al paviment que, per mitjà de la radiació, la reparteix al local. Per tant, la calefacció per terra radiant entrega la calor a l'estança per radiació.



Imatge 5.1. Comparativa de diferents sistemes de calefacció

5.2 Avantatges del terra radiant

El sistema de calefacció per terra radiant ofereix una gran quantitat d'avantatges, entre les quals destaquem:

Sensació tèrmica de benestar: la calor baixa fins al terra de manera suau i regular, proporcionant un major confort. La corba de temperatura resultant s'aproxima a la calefacció ideal, és a dir, ens permet tenir els peus tebis i el cap fred.

Temperatura uniforme: no existeixen zones fredes i zones calentes com passa en els sistemes per aire o radiadors, on les zones pròximes als emissors estan més calentes que les zones properes a les finestres.

Eficiència energètica: la temperatura de treball del terra radiant en calefacció és de 40 °C, fet que permet un estalvi d'energia sense perdre confort. En treballar a baixa temperatura també afavoreix que no hi hagi tantes pèrdues de calor en la xarxa de distribució.

Avantatges estètiques: l'absència d'emissors de calor permet més versatilitat en les propostes de decoració i disposició del mobiliari, cosa que augmenta el confort visual i l'estètica.

Seguretat: atès que s'eliminen els radiadors, que suposen un risc de cremades, tant per als nens com per a la gent gran.

Higiene: és més net que el sistema tradicional de radiadors, ja que en aquests s'acumula pols sobre l'aparell i en determinades circumstàncies poden aparèixer taques a les parets.

5.3 Normativa

Hem seguit la norma UNE EN 1264 en el procés de disseny i càlcul del nostre projecte. La norma especifica els requisits de disseny dels sistemes de calefacció per terra radiant, i es refereix exclusivament als sistemes de calefacció per terra que fan servir aigua calenta o altres fluids calefactors diferents de l'aigua, en edificis d'habitatges, oficines i altres en què l'ús sigui assimilable al dels edificis d'habitatges.

5.4 Classificació dels espais

Segons les especificacions del client, les habitacions que han de disposar de calefacció per terra radiant són:

- A la planta baixa: el menjador, el lavabo, la cuina i l'àrea del rebedor i pas
- A la planta pis: els dos banys i les tres habitacions.
- A la sota coberta: l'estudi.

5.5 Components del sistema

5.5.1 Canonades emissores especials per a calefacció

Especialment dissenyades per als sistemes de calefacció per terra, són canonades de polietilè reticulat amb barrera antidifusió d'oxigen.

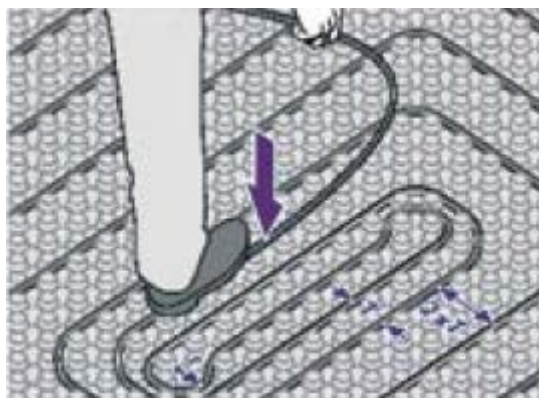
Les característiques especials dels tubs són:

- Estanquitat a l'oxigen. Increment de la vida de la instal·lació.
- No s'oxiden ni es deterioren per contacte amb morters, formigons, additius per a morters, guix, ni amb qualsevol altre element constructiu.
- Les forces d'expansió són molt baixes. No hi ha risc de fissures en la llosa de morter de ciment.
- Baix coeficient de fricció. Baixa caiguda de pressió.
- Flexibilitat i subministrament en rotlle: facilitat d'instal·lació i transport.

5.5.2 Panells aïllants

Per fixar les canonades a terra s'ha seleccionat el panell modelat de botons que permet passos entre tubs múltiples de 5 cm. Els panells s'uneixen encavalcats pels seus extrems i les canonades es fixen al panell gràcies a la pressió exercida pels botons. El panell portatubs està

compost per una base de poliestirè expandit recobert d'una làmina portatubs plàstica per reforçar la part superior.



Imatge 5.2. Instal·lació del tub radiant

5.5.3 Sòcol perimetral

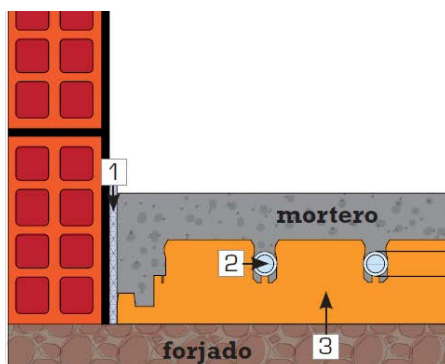
És una banda d'escuma de polietilè que s'instal·la amb la finalitat d'absorbir les dilatacions produïdes pel morter de ciment col·locat sobre els tubs emissors a causa del seu escalfament/refredament.

S'ha d'assegurar que el forjat i els envans del local no estiguin en contacte amb el terra radiant, per assegurar que aquesta llosa es pugui contraure i dilatar de manera lliure amb les variacions de temperatura, perquè no es produeixi cap tipus d'esquerda en la llosa a causa d'empentes o pressions.

Es fixa a la base de les parets de totes les àrees a climatitzar, des del terra base fins a la cota superior del paviment. La làmina adherida a l'escuma de polietilè ha de quedar a la cara oposada a la del contacte sòcol perimetral.

5.5.4 Additiu per a morter

Amb aquest líquid es pretén millorar el contacte entre el morter i les canonades, evitant així inclusions d'aire que augmentarien la resistència tèrmica del sistema i dificultarien la transmissió de calor.



Imatge 5.3. Secció del terra radiant

5.6 Disseny i càlcul de la instal·lació de terra radiant

5.6.1 Disseny dels circuits radiants

Els diferents sistemes que es poden emprar per a la distribució dels tubs a terra són els següents:

5.6.1.1 Distribució en serpenti

La distribució del tub comença per un extrem del local i acaba a l'extrem oposat avançant en línies paral·leles equidistants. Aquesta distribució és la més senzilla, però presenta l'inconvenient que, tot i tenir una quantitat de tub per metre quadrat idèntica en qualsevol punt del local, el repartiment de la calor no és igual, ja que l'aigua es va refredant al llarg del circuit.

5.6.1.2 Distribució en doble serpenti

Igual que la distribució en serpenti, es va d'un extrem a un altre avançant en línies paral·leles equidistants les unes de les altres, però deixant buits allà on van col·locades les línies de retorn fins arribar altre cop al punt de partida. Aquesta distribució elimina l'inconvenient esmentat anteriorment i s'adapta perfectament a locals irregulars o allargats.

5.6.1.3 Distribució en espiral

Com el seu nom indica, es realitza en forma d'espiral de forma quadrada o rectangular començant per un extrem i avançant de fora a dins deixant buits per tornar al punt de partida en arribar al centre del local. Aquest sistema iguala perfectament la temperatura del sòl, ja que s'alterna un tub d'anada amb un tub de tornada.



Imatge 5.4. Diferents dissenys dels circuits radiants

En el nostre projecte hem fet una distribució en espiral amb un pas entre canonades de 20 centímetres.

5.6.2 Emplaçament dels col·lectors

Hem previst un col·lector per planta calefactada i els hem situat en un lloc centrat respecte a la zona calefactada a què donen servei. Hem buscat, dins d'aquesta àrea centrada, una ubicació que no distorsioni l'aspecte estètic de l'espai habitable, és per això que hem emplaçat els col·lectors: al fons de l'armari encastat del rebedor a la planta baixa, a dins de l'armari del bany a la planta pis i a sota de la finestra a la planta sota coberta.

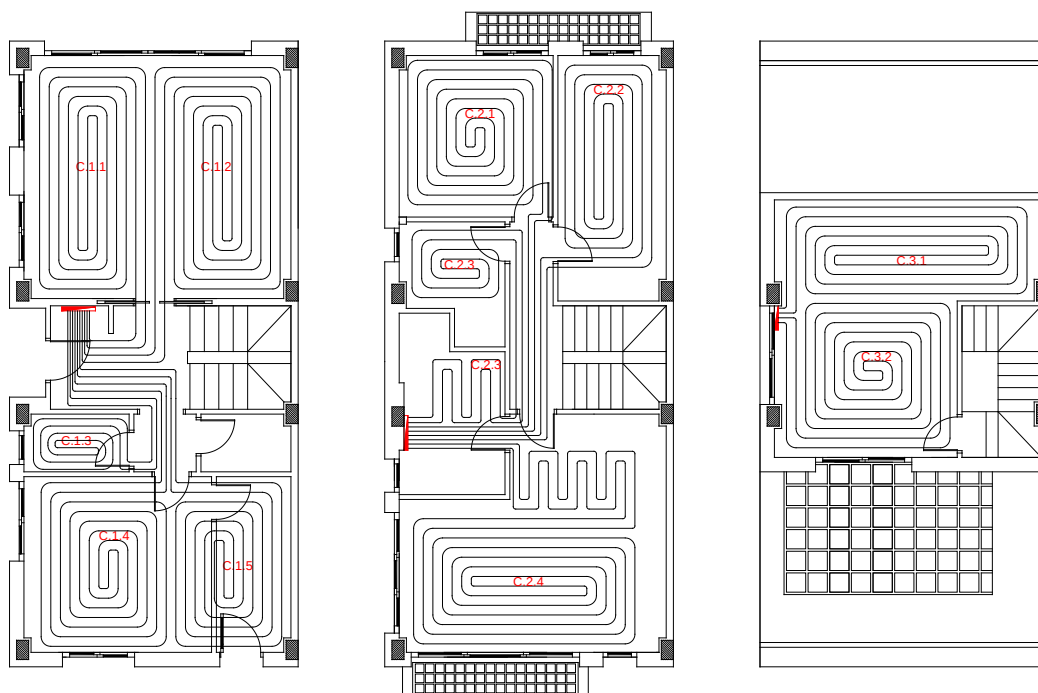
5.7 Separació dels circuits radiants

El disseny dels circuits de terra radiant és un punt delicat, ja que no totes les habitacions de l'habitatge disposen de la mateixa superfície, però és molt important per garantir un bon equilibrat hidràulic, que la longitud dels circuits radiants siguin similars. A més, un disseny de circuit massa llarg provocaria una pèrdua de càrrega que la bomba de circulació no podria assumir. És per aquest motiu que hem dividit les habitacions en diferents circuits amb les longituds que podeu veure a la Taula 5.1.

<i>Habitació</i>	<i>Circuit</i>	<i>Longitud (m)</i>
Menjador	C.1.1	62,70
	C.1.2	74,42
Lavabo	C.1.3	27,23
Cuina	C.1.4	60,60
	C.1.5	53,88
Dormitori 2	C.2.1	65,35
Dormitori 3	C.2.2	57,10
Bany 2	C.2.3	35,50
Bany 1		
Dormitori 1	C.2.4	90,09
Estudi	C.3.1	50,76
Estudi	C.3.2	56,51

Taula 5.1. Distribució de circuits de calefacció

Tenint en compte tots els paràmetres esmentats fins ara hem fet el disseny del terra radiant.



Imatge 5.5. Localització dels col·lectors i disseny dels circuits

5.8 Càlcul de les temperatures i cabals

5.8.1 Càlcul de la temperatura mitjana superficial

La temperatura mitjana superficial del paviment ($\Theta_{F,m}$) és funció de la demanda tèrmica, que considerarem igual a la càrrega tèrmica del local (Q) i de la temperatura interior de disseny del local (Θ_i).

Per establir la màxima emissió tèrmica d'un sistema de sòl radiant cal referir-se a la norma UNE EN 1264-2. Aquesta norma estableix una corba característica base que fixa la relació entre la densitat de flux tèrmic i la temperatura mitjana de la superfície del sòl i és aplicable a tota la tipologia de sistemes radiants.

Queda establerta la relació amb la següent expressió:

$$Q=U \cdot (\Theta_{F,m} - \Theta_i)$$

Equació 5.1

On:

Q : Potència necessària per superfície d'habitació (W/m^2)

$\Theta_{F,m}$: Temperatura mitjana de la superfície del sòl ($^{\circ}C$)

Θ_i : Temperatura ambient nominal ($^{\circ}C$)

U : Coeficient de transmissió de calor ($W/m^2 \cdot K$)

El resultat d'aplicar l'Equació 5.1 a les habitacions que disposaran de calefacció ens dona un resultat de $30^{\circ}C$ com a temperatura superficial del terra.

5.8.2 Temperatura d'impulsió del fluid calefactor

La temperatura d'impulsió del fluid a la sortida de la bomba de calor és un paràmetre determinant que hem d'avaluar segons el requeriment de totes les habitacions de l'edifici i que ve determinada per l'expressió:

$$Q=U \cdot (\Theta_{F,m} - \Theta_m)$$

Equació 5.2

On:

Θ_m : Temperatura d'impulsió del fluid refrigerant ($^{\circ}C$)

U : Coeficient de transmissió de calor entre el terra i el tub radiant ($W/m^2 \cdot K$)

Al bany 2 es necessita la major temperatura d'impulsió amb un valor de 40°C, aquesta temperatura es troba dins dels paràmetres que ofereix la bomba de calor geotèrmica prevista.

5.8.3 Càlcul del cabal d'aigua

Els capçals electrotèrmics, gràcies al seu cicle d'obertura i de tancament, permetran el pas del cabal calculat. D'aquesta manera es possibilita la regulació de cada local de manera independent.

El cabal d'aigua a través d'un circuit de calefacció per terra radiant és funció de la potència tèrmica emesa (Q) i del salt tèrmic que, seguint les especificacions del proveïdor del terra radiant, hem establert en 10 °C. Per tant, hem calculat el cabal segons l'expressió:

$$Q=q \cdot C_p \cdot \Delta t$$

Equació 5.3

On:

Q: Potència emesa a cada habitació (kcal/h)

q: Cabal de refrigerant (l/h)

C_p: Calor específica del refrigerant (kcal/kg °C)

Per a satisfer les necessitats tèrmiques tindrem un cabal total circulant de 0,730 m³/h.

5.9 Selecció de les canonades per els circuits radiants

La pèrdua de càrrega depèn de la rugositat interior de la canonada i de la velocitat de circulació de l'aigua. A més velocitat de circulació es tindrà una major pèrdua de càrrega i també més soroll, però, en canvi, l'intercanvi de calor serà millor. Per tant, la velocitat en instal·lacions de terra radiant s'ha de mantenir entre:

Velocitat mínima: 0,5 m/s (per evitar sedimentacions).

Velocitat màxima: 2 m/s (per evitar soroll de circulació de l'aigua).

Per seleccionar la canonada més adient apliquem l'Equació 5.4 als diferents diàmetres interiors de què disposem.

$$v = \frac{Q}{A}$$

Equació 5.4

On:

v: Velocitat mitja del fluid dins la canonada (m/s)

Q: Cabal circulant dins de la canonada (m^3/s)

A: Superfície de la canonada (m^2)

Amb una canonada Wirsbo-evalPEX 32x2,9 obtenim un rang de velocitats que satisfà els requeriments de la instal·lació.

5.9.1 Selecció de les canonades per l'impulsió

El següent pas és el càlcul de la xarxa de canonades de connexió entre la sala de màquines i els col·lectors instal·lats a cadascuna de les tres plantes.

Un cop conegut el cabal circulant per cada tram es selecciona la dimensió de la canonada aplicant els criteris donats a l'apartat anterior.

Les canonades seleccionades pels circuits d'impulsió són: Wirsbo-evalPEX 40x3,7 pel circuit de la planta baixa i Wirsbo-evalPEX 32x2,9 tant per la planta pis com per la planta sota coberta.

5.10 Pèrdues de càrrega

En tota instal·lació de canonades existeixen pèrdues per efecte de fricció del fluid amb les parets dels tubs. A més de les pèrdues de càrrega per fregament, es produeixen altres tipus de pèrdues que s'originen en punts singulars de les canonades (canvis de direcció, colzes, juntes...) i que es deuen a fenòmens de turbulència. La suma d'aquestes pèrdues de càrrega accidentals o localitzades més les pèrdues per fricció donen les pèrdues de càrrega totals. És per aquest motiu que en el càlcul hem considerat dos tipus de pèrdues de càrrega: primàries i secundàries.

Per tal de determinar la màxima pèrdua de càrrega que tindrà la instal·lació, hem estudiat i calculat aquestes pèrdues de càrrega dividint la instal·lació en dos:

- Circuit de distribució que inclou el col·lector i les canonades del terra radiant.
- Circuit d'impulsió que va des de la bomba d'impulsió fins al col·lector.

Com a resultat, a la Taula 5.2., podeu veure el resum dels circuits amb les majors pèrdues de càrrega.

Circuit	Pèrdues de càrrega (m.c.a)				
	Primàries		Secundàries		Σ
	Distribució	Impulsió	Distribució	Impulsió	
C.1.2	0,33	1,93	0,59	0,03	2,88
C.2.4	0,45	2,35	0,86	0,02	3,68
C.3.2	0,59	0,37	0,85	0,01	1,82

Taula 5.2. Resum pèrdues de càrrega del terra radiant

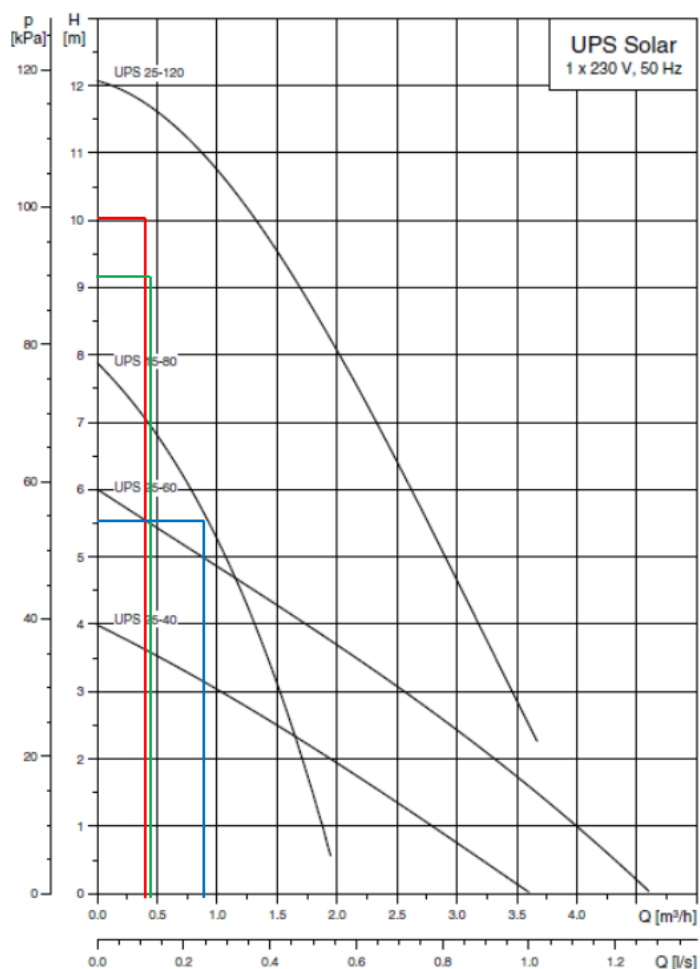
5.11 Selecció del grup d'impulsió

Hem seleccionat la bomba en funció del punt característic de la instal·lació, definit pel cabal i la pèrdua de càrrega del circuit més desfavorable més l'alçada que haurà de vèncer la bomba, aquestes dades les trobeu resumides a la Taula 5.3.

Circuit	Pèrdues de càrrega (m.c.a)	Alçada manomètrica (m)	Total pèrdua de càrrega	$q \text{ (m}^3/\text{h)}$
C.1.2	2,88	2,65	5,53	0,9
C.2.4	3,68	5,45	9,13	0,46
C.3.2	1,82	8,25	10,07	0,44

Taula 5.3. Punts característics de les instal·lacions

Representant aquests punts a les corbes característiques de les bombes establim que per la impulsió de la planta baixa és necessari el model UPS 25-60 i tant per la planta pis com per la planta sota coberta farem servir el model UPS 25-120.



Imatge 5.6. Corbes característiques de les bombes

6. DESCRIPCIÓ DEL SISTEMA DE SOSTRE REFRESCANT

6.1 Principi de funcionament

Els sostres radiants ofereixen una bona opció per refrigerar, ja que generen un perfil tèrmic a l'habitació molt proper al del màxim benestar, és a dir, sostre fred i sòl calent. Gràcies a la seva baixa inèrcia tèrmica, s'adapten ràpidament a les variacions de càrrega tèrmica.

6.2 Avantatges del sostre refrescant

El sistema de refrigeració per sostre refrescant ofereix una gran quantitat d'avantatges, d'entre les quals destaquem:

- Màxim confort i benestar (sostres freds).
- Estalvi d'energia.
- Baix manteniment.
- Sense corrents, moviment d'aire ni sorolls molestos.
- Temps de resposta ràpida.
- Fàcil muntatge.

6.3 Normativa

En el disseny del sistema de refrigeració per sostre refrescant hem fet servir la norma UNE-EN 15377: sistemes encastats de calefacció i refrescament on els tubs que transporten aigua, amb o sense additiu, s'encasten a terra, paret o sostre.

6.4 Classificació dels espais

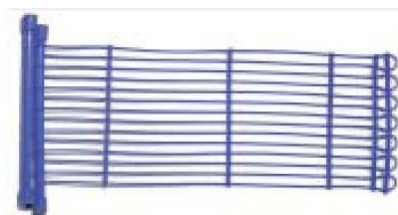
Segons les especificacions del client les habitacions a refrigerar són:

- A la planta baixa: el menjador i la cuina.
- A la planta pis: els tres dormitoris.
- A la planta sota coberta: l'estudi.

6.5 Components del sistema

6.5.1 Panell de tubs capil·lars

El principal component del sistema és una trama de tubs capil·lars amb tubs distribuïdors fabricats en polipropilè pels quals circula aigua freda. El baix gruix del panell (8 mm) permet el seu muntatge en tot tipus de sostres.



Imatge 6.1. Panell de tubs capil·lars

6.5.2 Peces separadores

Les peces separadores s'utilitzaran per a fixar els tubs a un pas diferent a l'habitual per salvar punts d'il·luminació.

6.5.3 Accessoris d'unió

Els accessoris d'unió seran els maniguets d'unió ràpida necessaris per a la unió de panells capil·lars entre si, que permeten realitzar les connexions hidràuliques per simple introducció, sense soldadura ni escalfament.



Imatge 6.2. Maniguets d'unió

6.5.4 Collectors

A fi d'abaratir el preu de la instal·lació i atès que els criteris per emplaçar els col·lectors són idèntics que els del sistema de terra radiant, els col·lectors que es fan servir pel sistema de refrigeració són els mateixos que en el sistema de calefacció.

6.5.5 Sistema de regulació

Amb la mateixa premissa que en l'apartat anterior, aprofitarem el sistema de regulació que es farà servir en el sistema de calefacció.

6.6 Disseny i càlcul de la instal·lació de sostre refrescant

6.6.1 Punt de rosada

Per a calcular la temperatura mínima que pot assolir l'aigua, hem de determinar el punt de rosada de l'aire. La temperatura de rosada segons les condicions del projecte és de 14 °C.

6.6.2 Temperatura d'impulsió de l'aigua

Com a mesura de seguretat, per tal d'evitar condensacions al sostre, establim la temperatura d'impulsió un grau per sobre de la temperatura de rosada, és a dir, la temperatura d'impulsió queda fixada en 15 °C.

Hem fixat el salt tèrmic en 2 °C, cosa que implica que la temperatura de retorn serà de 17 °C.

Per a poder determinar la capacitat de refrigeració dels panells haurem de trobar la diferència entre la temperatura mitjana de l'aigua i la temperatura ambient de disseny. Per a fer-ho, farem servir l'Equació 6.1:

$$\Delta\theta = T_D - \left(\frac{T_{IMP} + T_{RET}}{2} \right)$$

Equació 6.1

On:

$\Delta\theta$: Diferència entre la temperatura mitjana de l'aigua i la temperatura ambient (°C)

T_D : Temperatura de disseny (°C)

T_{IMP} : Temperatura d'impulsió de l'aigua (°C)

T_{RET} : Temperatura de retorn de l'aigua (°C)

6.6.3 Quantitat de panells a instal·lar

Un cop coneguda la capacitat de refrigeració del sistema podem obtenir el nombre de panells necessaris per a cada habitació fent servir l'equació:

$$N = \frac{Q_{REF}}{P \cdot S}$$

Equació 6.2

On:

N: Nombre de panells a instal·lar

Q_{REF} : Càrrega tèrmica de l'habitació (W)

P: Capacitat de refrigeració del panell (W/m²)

S: Àrea del panell (m²)

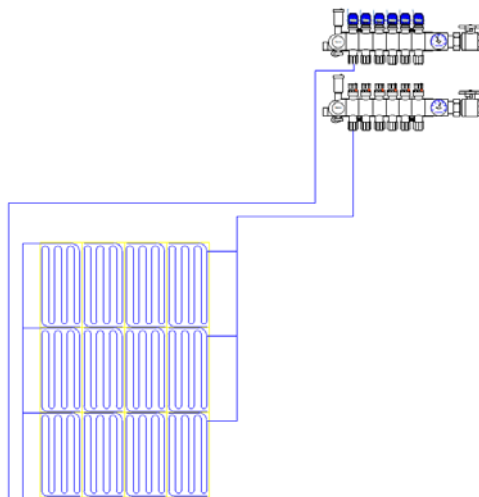
El nombre definitiu de panells a instal·lar el trobeu a la Taula 6.1.

Habitació	$Q_{REF}(W)$	N
Menjador	2029,6	36
Dormitori 1	1163,7	20
Estudi	1082,6	20
Cuina	698,4	12
Dormitori 2	489,3	8
Dormitori 3	501,0	8

Taula 6.1. Nombre de panells a instal·lar per habitació

6.7 Sistema de distribució

La connexió dels panells als col·lectors de cada planta es farà com podeu veure a la Imatge 6.3., connectant com a màxim 4 sèries de 4 panells a cada sortida/entrada del col·lector.



Imatge 6.3. Connexió de les sèries de panells als col·lectors

És per aquest motiu que hem dividit les habitacions en diferents circuits amb els panells corresponents, com podeu veure a la Taula 6.2.

<i>Habitació</i>	<i>Circuit</i>	<i>Panells connectats</i>
Menjador	R.1.1	12
	R.1.2	12
	R.1.3	12
Cuina	R.1.4	12
Dormitori 1	R.2.1	12
	R.2.2	8
Dormitori 2	R.2.3	8
Dormitori 3	R.2.4	8
Estudi	R.3.1	12
	R.3.2	8

Taula 6.2. Circuits refrigerants connectats als col·lectors

6.7.1 Càlcul de les pèrdues de càrrega

Les pèrdues de càrrega al circuit d'impulsió són les mateixes que les calculades a l'apartat de calefacció. Seguint les recomanacions del proveïdor considerem una pèrdua de càrrega de 1,01 kPa/m, que aplicada a la longitud total de la sèrie (38,4m), és igual a 38,78 kPa. Queda així demostrat que no superem el límit de 40 kPa per sèrie.

6.8 Muntatge

1. En primer lloc cal unir els panells capil·lars entre si, mitjançant les unions ràpides dels tubs distribuïdors.
2. S'estenen els panells capil·lars i es grapen al sostre segons el plànols de disseny.



Imatge 6.4. Fixació mitjançant grapes dels panells capil·lars al sostre.

3. Es fan passar els cables elèctrics a través dels panells, fent servir els distanciadors per obrir el forat corresponent.



Imatge 6.5. Forats per a la sortida de cables elèctrics

4. Abans d'aplicar l'enlluït es realitza la prova d'estanqueïtat a 6 kg/cm^2 .
5. Es projecta l'enlluït de guix sobre els panells fixats al sostre.



Imatge 6.6. Projecció d'arrebossat de guix sobre els panells capil·lars.

7. NECESSITAT D'AIGUA CALENTA SANITÀRIA

El document HS4, Subministrament d'aigua, i la secció HE 4, Contribució solar mínima d'aigua calenta sanitària, del Codi Tècnic de l'Edificació, indiquen que la contribució solar mínima pot reduir si es cobreix l'aportació mitjançant l'aprofitament d'energies renovables. Per tant, no és d'aplicació en el nostre cas, ja que l'energia geotèrmica de baixa entalpia cobrirà la demanda d'aigua calenta de l'habitatge.

En aquest mateix document es troba la Taula 7.1., que ens dona els consum d'ACS a 60 °C per dia segons el tipus d'edificació.

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

Taula 7.1. Demanda d'aigua a 60 °C

En el nostre cas, la temperatura en l'acumulador és de 45 °C, que és la temperatura recomanada per un bon funcionament de la bomba de calor segons el seu fabricant.

Atès que s'ha d'assolir la contribució mínima corresponent a la demanda obtinguda amb les demandes de referència a 60 °C, la demanda a considerar serà la que s'obtingui a partir de la següent expressió:

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

Equació 7.1

On:

$D_i(T)$: Demanda d'aigua calenta pel mes_i a la temperatura T seleccionada

$D_i(60^{\circ}\text{C})$: Demanda d'aigua calenta pel mes_i a la temperatura de 60 °C

T: Temperatura final de l'acumulador

T_i : Temperatura mitja de l'aigua freda en el mes_i (Taula 7.2.)

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
Álava	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9.3
Albacete	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9.3
Alicante	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12.3
Almería	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12.3
Asturias	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10.3
Ávila	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8.3
Badajoz	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10.3
Baleares	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12.3
Barcelona	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12.3
Burgos	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8.3
Cáceres	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10.3
Cádiz	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12.3

Taula 7.2. Temperatures de mitjanes de l'aigua de xarxa.

De l'aplicació d'aquests càlculs obtenim la Taula 7.3., on mostren els cabals d'ACS per cada mes de l'any amb una ocupació de 4 persones per una temperatura de subministrament de 45 °C.

Mes	Cabal (l/dia)
Gener	160,00
Febrer	161,05
Març	163,33
Abril	165,88
Maig	167,27
Juny	168,75
Juliol	170,32
Agost	168,75
Setembre	167,27
Octubre	165,88
Novembre	163,33
Desembre	160,00

Taula 7.3. Cabal d'ACS diari amb una ocupació de 4 persones

Amb aquests valors podem determinar que l'acumulador d'ACS amb una capacitat de 175 litres que integra la bomba de calor geotèrmica serà suficient per satisfer les necessitats d'aigua calenta sanitària que corresponen al nostre habitatge.

8. REGULACIÓ I CONTROL

Per la regulació i control de tota la instal·lació es col·loca un sistema únic modular que controla tots els elements de la instal·lació de climatització per superfícies radiant. Entre les funcions que realitza i tenim:

- Gestiona el refrescament radiant amb temperatura d'aigua d'impulsió en funció del punt de rosada de l'aire intern, de la resistència tèrmica i del factor de resposta del pannel optimitzant aquesta aigua d'impulsió.
- Gestiona segons la fase horària el confort en funció de la temperatura externa i de la temperatura d'impulsió màxima imposada.
- Regula la temperatura de cada habitació de manera independent.
- Controla la bomba de calor, de les bombes d'impulsió, dels capçals electrotèrmics dels col·lectors, etc.

Aquest sistema està format per diversos elements son de la marca UPONOR IBERIA

Aquest sistema estarà format per:

- Centraleta de regulació C33.
- Termòstats de control per cable.
- Sondes de temperatura Sense T
- Sondes de temperatura aigua impulsio i retorn NTC

La centraleta de regulació estarà ubicada a la primera planta, vora del col·lector de distribució dintre un quadre encastrat a la paret. A partir d'aquesta centraleta es connectaran tots els elements per tal d'aconseguir un funcionament correcte de total la instal·lació.

Es col·locaran les sondes de temperatura a cada habitació i una sonda de temperatura i humitat en l'habitació més desfavorable de cada planta, per tal de obtenir una qualitat de l'aire òptima i una seguretat per la possibilitat de formació de condensacions. A partir d'aquestes sondes es podrà regular la temperatura de cada habitació de manera independent.

El muntatge i connexió dels diferents elements de control i regulació serà realitzat per personal especialitzat i seguint les instruccions facilitades pel propi fabricant.

9. ESTUDI DE LA VIABILITAT ECONÒMICA

9.1 Comparativa amb altres sistemes

A continuació analitzarem i compararem el sistema dissenyat en aquest projecte amb altres sistemes de calefacció.

A la Taula 8.1. es poden veure les dades de referència fetes servir en la comparativa de la Imatge 8.1., on es representa el cost de funcionament durant un any dels diferents sistemes de calefacció que hem considerat.

<i>Radiadors amb tarifa normal</i>	
Cost elèctric tarifa normal	0,135 €/kWh
Rendiment radiadors elèctrics	98 %
Cost	0,1378 €/kWh

<i>Caldera gasoil C</i>	
Cost gasoil C	0,81 €/l
Poder calorífic gasoil C	8550 kcal/l
Rendiment caldera gasoil C	92 %
Cost anual d'electricitat consumida	40 €/any
Cost anual de manteniment	80 €/any
Increment anual cost gasoil C	9 %
Cost	0,0886 €/kWh

<i>Caldera GN</i>	
Cost GN	0,55 €/l
Poder calorífic GN	10000 kcal/m ³
Rendiment caldera GN	92 %
Cost anual d'electricitat consumida	40 €/any
Cost anual de manteniment	80 €/any
Increment anual cost del GN	10 %
Cost	0,0515 €/kWh

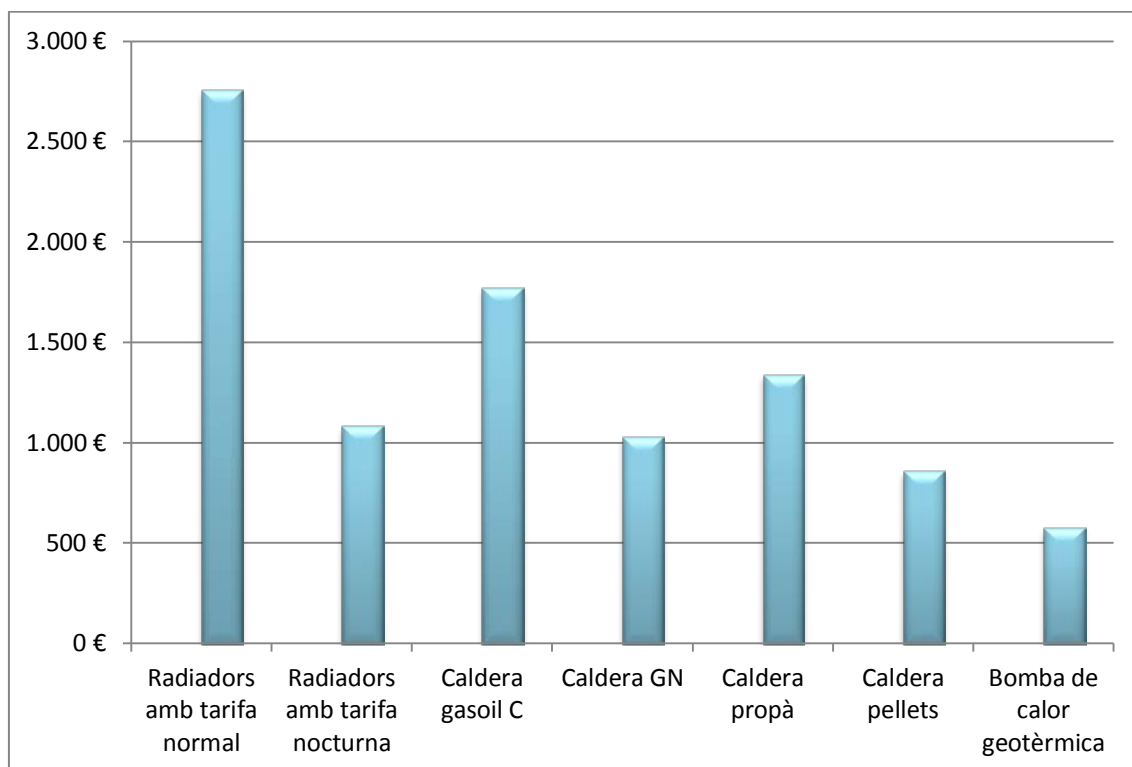
<i>Caldera propà</i>	
Cost propà	0,86 €/kg
Poder calorífic propà	12000 kcal/kg
Rendiment caldera de propà	92 %
Cost anual d'electricitat consumida	40 €/any
Cost anual de manteniment	80 €/any
Increment anual cost propà	7 %
Cost	0,067 €/kWh

<i>Radiadors amb tarifa nocturna</i>	
Cost elèctric tarifa nocturna	0,053 €/kWh
Rendiment radiadors elèctrics	98 %
Cost	0,0541 €/kWh

<i>Caldera pellets</i>	
Cost pellets	0,22 €/kg
Poder calorífic pellets	4800 kcal/kg
Rendiment caldera pellets	92 %
Cost anual d'electricitat consumida	100 €/any
Cost anual de manteniment	80 €/any
Increment anual de pellets	3 %
Cost	0,0429 €/kWh

<i>Bomba de calor geotèrmica</i>	
Cost elèctric tarifa normal	0,135 €/kWh
COP bomba de calor geotèrmica	4,65
Consum anual bomba calor geotèrmica	3085,83 kWh
Cost anual manteniment	0 €/any
Increment anual d'electricitat	5 %
Cost	0,0288 €/kWh

Taula 8.1. Dades de referència



Imatge 8.1. Comparativa de consum durant 1 any

9.2 Ajuts i subvencions

L'energia geotèrmica és una de les fonts d'energia renovable menys coneguda i utilitzada a Espanya, entre les barreres detectades per al desenvolupament del sector es troben el cost elevat de la inversió inicial així com la dificultat per obtenir el finançament.

Per ajudar a superar aquestes barreres el Ministeri d'Indústria, Turisme i Comerç ha dissenyat el programa GEOTCASA amb el qual es pot aconseguir una ajuda del 40 % del total del projecte.

L'Institut Català d'Energia disposa d'un programa de promoció de les energies renovables i de l'estalvi energètic amb importants ajuts especialment quan l'habitatge combina diferents tipus d'energies renovables.

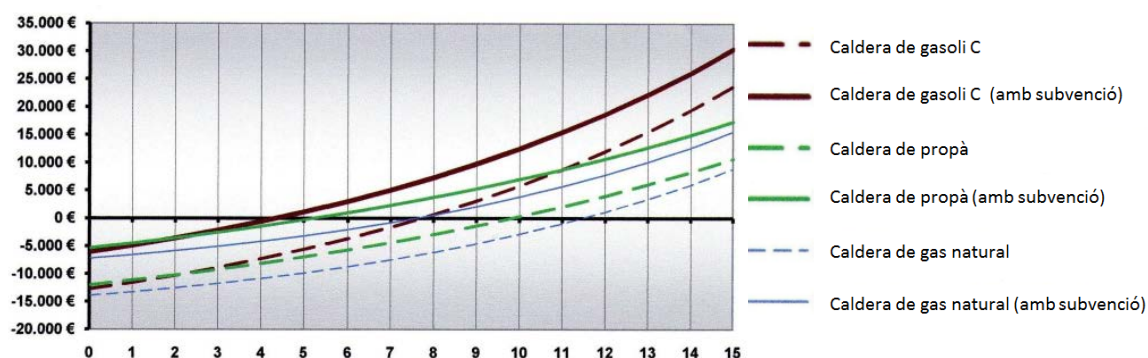
9.3 Anàlisi del període de retorn de la inversió

El següent apartat analitza el període de retorn estimat de la inversió de la instal·lació geotèrmica enfront d'altres sistemes amb fonts de calor convencionals.

Considerant les inversions inicials i uns determinats índexs d'increment de preu de l'electricitat i el combustible corresponent, la inversió inicial realitzada amb el sistema de captació geotèrmica, es recuperarà al llarg del període corresponent en funció de les variables considerades.

L'estimació del període de retorn de la inversió inicial per a la implantació del sistema geotèrmic variarà en funció del tipus de combustible amb què es compari, de la quantia de les possibles subvencions, l'increment anual en el preu dels combustibles i de l'electricitat considerada.

A continuació es pot observar com la inversió inicial de la bomba de calor geotèrmica es va amortitzant al llarg dels anys. Es parteix d'un cost que resulta de restar el cost inicial d'inversió de la bomba de calor geotèrmica i el del sistema convencional. A partir d'aquest cost inicial cada any es va obtenint un estalvi econòmic tenint en compte els costos anuals d'operació de la gràfica anterior.



Imatge 8.2. Període de retorn de la inversió de la bomba de calor geotèrmica

10. RESUM DEL PRESSUPOST

Pel càlcul de cost dels diferents equips i elements s'ha fet amb les tarifes de venda al públic dels diferents fabricants, tot i que es preveu que l'empresa instal·ladora podrà aconseguir descomptes significatius. El pressupost es detalla en el document nº5: Pressupost.

El pressupost total de l'actuació prevista puja a la quantitat de **SEIXANTA-CINC MIL VUIT-CENTS CINQUANTA-VUIT EUROS** amb **SETANTA-NOU CÈNTIMS**.

11. CONCLUSIONS

Com a resultat de tot el que hem exposat en aquesta memòria hem determinat que aquest projecte és tècnicament i materialment viable.

L'elevada inversió inicial és sens dubte el major inconvenient que es pot preveure, donat que a més de l'evident estalvi econòmic anual que suposa la utilització de la bomba de calor geotèrmica, no s'han d'oblidar una sèrie d'avantatges com són l'absència d'olors i sorolls, el no haver de disposar d'un tanc d'emmagatzematge de combustible, un manteniment mínim, la higiene del sistema sense fums ni cendres.

Un altre aspecte a considerar és la sensació de màxim confort que donen els tipus d'instal·lacions previstes tant per la calefacció com per la refrigeració.

Com a accions complementàries a aquest estudi volem recomanar la realització d'un TRT per garantir que la resposta tèrmica del terreny s'aproxima a la que s'ha calculat i assegurar així el correcte dimensionament de la instal·lació.

Donada l'orientació i disponibilitat d'espai a la teulada que tindrà l'habitatge aconsellàrem estudiar la possibilitat d'instal·lar panells solars fotovoltaics, que comportarien un descens en el consum elèctric, sobretot en l'època d'estiu, i millorarien així el conjunt de la instal·lació.

Girona, a 3 de Juny de 2013

El Redactor

Jesús Hernández Rodríguez

12. RELACIÓ DE DOCUMENTS

Aquest estudi particular està format pels següents documents:

DOCUMENT N°1: Memòria

Annex A. Càlcul de les càrregues tèrmiques.

Annex B. Disseny de l'intercanviador de calor geotèrmic.

Annex C. Disseny i càlcul de la instal·lació de terra radiant.

Annex D: Disseny i càlcul de la instal·lació de sostre refrescant.

DOCUMENT N°2: Plànols

DOCUMENT N°3: Plec de condicions

DOCUMENT N°4: Estat d'amidaments

DOCUMENT N°5: Pressupost

13. BIBLIOGRAFIA

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. *Fundamentals Volume (S.I. Edition)*. Atlanta: ASHRAE, 2001.

CREUS SOLÉ, Antonio. *Energía Geotérmica de Baja Temperatura*. Ediciones Ceysa, 2008.

CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY. *Manual de aire acondicionado*. Barcelona: Marcombo, 1996.

GRUNDFOS. *Catàleg i programa selecció bombes*.

MIRANDA BARRERAS, Ángel Luís. *Aire acondicionado*. Barcelona: CEAC, 2000.

RITE. *Reglamento de Instalaciones Térmicas de los edificios e Instrucciones Complementarias*. Any 2008.

SERVEI METEOROLÒGIC DE CATALUNYA. *Anuari de dades meteorològiques de 2011*. Disponible en línia a: <http://www.meteocat.com/mediamb_xemec/servmet/marcs/marc_clima.html> [Consulta: 25 juliol 2012].

UPONOR. *Aplicaciones de calefacción y climatización. Manual Técnico. Sistema Uponor de refrigeración por techo*. (www.uponor.es/, 12 de novemre de 2012).

Programes informàtics utilitzats

- AutoCAD 2013
- CYPE INGENIEROS 2012.c
- Microsoft Word 2010
- Microsoft Excel 2010
- ADOBE ACROBAR X PRO

Annex A

CÀLCUL DE LES CÀRREGUES TÈRMiques DE L'HABITATGE

A.1 NORMATIVA I REGLAMENTACIÓ

Per a fer el càlcul de les necessitats tèrmiques de l'habitatge hem fet servir el Codi Tècnic de l'Edificació (CTE), concretament, el Document Bàsic d'Estalvi d'Energia (DB-HE). Aquest document es troba dividit en cinc exigències bàsiques. Dins l'àmbit d'aplicació de la primera d'aquestes exigències (HE1: limitació de demanda energètica) hi ha els edificis de nova construcció i és per aquest motiu, i d'acord amb l'objecte d'estudi d'aquest projecte, que l'emprarem per a calcular les càrregues tèrmiques de l'habitatge.

Per a la correcta aplicació d'aquesta exigència s'han de realitzar una sèrie de verificacions, que es poden dur a terme de dues maneres diferents: l'opció simplificada i l'opció general. L'apartat 3.2.1.2 (aplicabilitat) d'aquesta exigència ens dona les condicions que s'han de complir simultàniament per a poder fer servir l'opció simplificada.

- a) que la superfície de buits en cada façana sigui inferior al 60 % de la superfície.
- b) que la superfície de llurnes sigui inferior al 5 % de la superfície total de la coberta.

En primer lloc, justifiquem la condició *a* amb la taula següent, que conté les superfícies de les façanes de l'habitatge, els seus respectius buits segons l'orientació i el percentatge que representen en el total de la façana.

Orientació	Àrea façana (m ²)	Àrea de buits (m ²)	% d'obertures
Nord	39,3	8,55	22
Oest	96,52	15,33	16
Sud	39,3	12,42	32

Taula A.1. Obertures a les façanes

En segon lloc, justifiquem la condició *b* amb la comprovació que la superfície de llurnes és inferior al 5 % de la superfície total de la coberta.

Àrea coberta (m ²)	Àrea de buits (m ²)	% d'obertures
78	1,4	1,8

Taula A.2. Obertures a la coberta

Queda doncs justificada l'elecció de l'opció simplificada.

Aquesta opció està basada en el control indirecte de la demanda energètica dels edificis mitjançant la limitació dels paràmetres característics dels tancaments i les particions interiors que formen l'envolupant tèrmica.

La comprovació es realitza posteriorment a través de la comparació dels valors límit permesos amb els valors obtinguts en el càlcul.

A.2 CARACTERITZACIÓ I QUANTIFICACIÓ DE LES EXIGÈNCIES

A.2.1 Demanda energètica

La demanda energètica dels edificis es determina en funció del clima de la localitat on s'ubiquen (apartat 3.1.1) i de la càrrega interna en els seus espais (apartat 3.1.2).

L'alçada de referència del municipi d'Argentona és de 88 msnm (metres sobre el nivell del mar), i com que aquesta alçada no difereix més de 200 m de la de Barcelona (capital de província) i segons les indicacions de l'HE1, determinem que la zona climàtica d'Argentona és la C2.

Província	Capital	Altura de referència (m)	Desnivell entre la localidad y la capital de su provincia (m)				
			≥200 <400	≥400 <600	≥600 <800	≥800 <1000	≥1000
Albacete	D3	877	D2	E1	E1	E1	E1
Alicante	B4	7	C3	C1	D1	D1	E1
Almería	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

Imatge A.1. Classificació de zona climàtica

Els paràmetres límit de transmitància tèrmica que corresponen a aquesta zona climàtica els mostrem a continuació:

ZONA CLIMÀTICA C2

Transmitància límit de murs de fachada y cerramientos en contacto con el terreno

$U_{Mim}: 0,73 \text{ W/m}^2\text{K}$

Transmitància límit de suelos

$U_{Sim}: 0,50 \text{ W/m}^2\text{K}$

Transmitància límit de cubiertas

$U_{Clim}: 0,41 \text{ W/m}^2\text{K}$

Factor solar modificado límit de lucernarios

$F_{Lim}: 0,32$

% de huecos	Transmitància límit de huecos ⁽¹⁾ $U_{Him} \text{ W/m}^2\text{K}$				Factor solar modificado límit de huecos F_{Him}			
	N	E/O	S	SE/SO	Baja carga interna		Alta carga interna	
					E/O	S	E/O	S
de 0 a 10	4,4	4,4	4,4	4,4	-	-	-	-
de 11 a 20	3,4 (4,2)	3,9 (4,4)	4,4	4,4	-	-	-	-
de 21 a 30	2,9 (3,3)	3,3 (3,8)	4,3 (4,4)	4,3 (4,4)	-	-	0,60	-
de 31 a 40	2,6 (2,9)	3,0 (3,3)	3,9 (4,1)	3,9 (4,1)	-	-	0,47	0,51
de 41 a 50	2,4 (2,6)	2,8 (3,0)	3,6 (3,8)	3,6 (3,8)	0,59	-	0,40	0,58
de 51 a 60	2,2 (2,4)	2,7 (2,8)	3,5 (3,6)	3,5 (3,6)	0,51	0,55	0,35	0,52

⁽¹⁾ En los casos en que la transmitància media de los muros de fachada U_{Him} , definida en el apartado 3.2.2.1, sea inferior a 0,52 se podrá tomar el valor de U_{Him} indicado entre paréntesis para las zonas climáticas C1, C2, C3 y C4.

Imatge A.2. Límits de transmitància tèrmica (taula 2.2 DB-HE1)

Per evitar descompensacions entre la qualitat tèrmica de diferents espais, cada un dels tancaments i les particions interiors de l'envolupant tèrmica tindran una transmitància no superior als valors indicats en la taula següent:

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

Imatge A.3. Paràmetres límit transmitància (taula 2.1 DB-HE1)

A.2.2 Càlcul i dimensionament

Un cop conegudes les limitacions del nostre habitatge hem realitzat el càlcul dels paràmetres que posteriorment compararem amb els que hem definit en el punt anterior per assegurar-nos que no els sobrepassem.

A continuació es defineix l'envolupant tèrmica (tancaments que limiten espais habitables amb l'ambient exterior i amb els no habitables) de l'habitatge.

A.2.3 Classificació dels espais

Segons l'article 3.1.2 de l'HE1, els espais habitables es poden classificar en funció de la quantitat de calor dissipada en el seu interior, donada l'activitat prevista i el període d'utilització de cada espai.

Hem considerat que tots els espais habitables del nostre habitatge són de càrrega interna baixa, perquè són espais destinats a residir-hi, de forma permanent o eventual. Per aquest mateix motiu, hem considerat el garatge com a espai no habitable.

A.2.4 Paràmetres característics

A continuació hem fet el càlcul dels paràmetres característics de la demanda (apèndix E de l'HE1).

-Pels tancaments amb contacte amb l'aire exterior, com ara façanes, cobertes i sòls, la transmitància tèrmica U (W/m^2K) ve donada per l'equació següent:

$$U = \frac{1}{\sum r_n} = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \frac{L_1}{\lambda_1} + \dots + \frac{L_n}{\lambda_n} + \frac{1}{h_i}}$$

Equació A.1

On:

U : Coeficient de transmissió de calor ($W/m^2 \cdot K$)

r : Resistència del material a la conducció de calor ($m^2 \cdot K/W$)

h : Coeficient superficial de transmissió de calor ($W/m^2 \cdot K$)

λ : Coeficient de conductivitat de calor dels diversos material ($\text{W/m}\cdot\text{K}$)

L: Espessor del material (m)

Trobarem els valors dels coeficients h mitjançant la taula següent:

Vent	Posició de la superfície	Flux tèrmic	$h(\text{W/m}^2\text{K})$
Aire en calma	Horitzontal	Ascendent	8
	Inclinada a 45°	Ascendent	8
	Vertical	Horitzontal	7
	Inclinada a 45°	Descendent	6,5
	Horitzontal	Descendent	5
Vent de 12 Km/h	Qualsevol	Qualsevol	20
Vent de 24 Km/h	Qualsevol	Qualsevol	29

Taula A.3. Coeficients h per superfícies

Només ens resta aplicar la fórmula que hem descrit anteriorment a tots els tancaments del nostre habitatge segons les seves característiques constructives.

Mur exterior		
$h_e (\text{W/ m}^2\cdot\text{K})$	20	
$h_i (\text{W/ m}^2\cdot\text{K})$	7	
Material	$e (m)$	$\lambda (\text{W/m}\cdot\text{K})$
Enlluït monocapa	0,13	0,75
Escuma de poliuretà	0,04	0,028
Aire	0,06	0,42
Mao doble	0,07	0,45
Lliscat de guix	0,01	0,26
U ($\text{W/m}^2\cdot\text{K}$)	0,469	

Taula A.4. Coeficient de transmissió de calor del mur exterior

Envà interior		
$h_e (\text{W/ m}^2\cdot\text{K})$	7	
$h_i (\text{W/ m}^2\cdot\text{K})$	7	
Material	$e (m)$	$\lambda (\text{W/m}\cdot\text{K})$
Lliscat de guix	0,01	0,26
Mao doble	0,07	0,45
Lliscat de guix	0,01	0,26
U ($\text{W/m}^2\cdot\text{K}$)	1,930	

Taula A.5. Coeficient de transmissió de calor de l'envà interior

<i>Finestres</i>		
h_e (W/ m ² ·K)	20	
h_i (W/ m ² ·K)	7	
<i>Material</i>	<i>e (m)</i>	<i>λ (W/m·K)</i>
Vidre	0,06	0,82
Aire	0,08	0,42
Vidre	0,06	0,82
U (W/m²·K)	1,888	

Taula A.6. Coeficient de transmissió de calor de les finestres

<i>Forjat entre plantes</i>		
h_e (W/ m ² ·K)	5	
h_i (W/ m ² ·K)	5	
<i>Material</i>	<i>e (m)</i>	<i>λ (W/m·K)</i>
Gres ceràmic	0,015	0,9
Morter ciment	0,015	0,5
Sorra	0,015	0,5
Formigó	0,2	1,4
Aire	0,01	0,42
Poliestirè	0,027	0,038
Lliscat de guix	0,01	0,26
U (W/m²·K)	0,43	

Taula A.7. Coeficient de transmissió de calor del forjat entre plantes

<i>Coberta</i>		
h_e (W/ m ² ·K)	29	
h_i (W/ m ² ·K)	8	
<i>Material</i>	<i>e (m)</i>	<i>λ (W/m·K)</i>
Teula	0,02	0,8
Morter ciment	0,02	1,2
Mao foradat	0,07	0,45
Escuma de poliuretà	0,05	0,028
Aire	0,05	0,42
Poliestirè	0,03	0,027
Lliscat de guix	0,01	0,015
U (W/m²·K)	0,231	

Taula A.8. Coeficient de transmissió de calor de la coberta

<i>Terreny i planta soterrani</i>		
h_e (W/ m ² ·K)	5	
h_i (W/ m ² ·K)	5	
<i>Material</i>	<i>e (m)</i>	<i>λ (W/m·K)</i>
Grava	0,05	3
Formigó	0,3	1,4
Sorra	0,015	0,5
Morter	0,015	0,5
Gres ceràmic	0,015	0,9
U (W/m²·K)	1,413	

Taula A.9. Coeficient de transmissió de calor entre el terreny i la planta soterrani

Porta metàl·lica del garatge: 4 W/m²K

Portes interiors de fusta: 1,8 W/m²K

Porta exterior de fusta: 3 W/m²K

A la taula següent veiem la comparativa entre els valors calculats i els establerts com a màxims per la norma. Destaquem que s'ha pres com a valor màxim el més desfavorable, tant pel factor d'orientació com pel percentatge d'obertura.

<i>Element</i>	<i>U_{Calculada} (W/m²·K)</i>	<i>U_{Màxima} (W/m²·K)</i>
Mur exterior	0,469	0,73
Finestres	1,888	3,3
Forjat entre plantes	0,430	0,5
Coberta	0,231	0,41

Taula A.10. Resum dels coeficients de transmissió

Demostrem així que no hem excedit els valors límits de transmitància tèrmica.

A.3 CÀLCUL DE LES CÀRREGUES TÈRMIQUES DE REFRIGERACIÓ

En aquest apartat veurem una descripció del mètode de càlcul que hem seguit a fi de conèixer la quantitat d'energia en forma de calor que haurem d'extreure de l'habitatge durant la temporada d'estiu.

Per fer el càlcul de demanda de fred haurem de tenir en compte l'existència de dos tipus de càrregues tèrmiques: les càrregues sensibles, que venen donades per la diferència de temperatura i la radiació tèrmica, i les càrregues latents, que venen donades per l'aportació d'humitat a l'aire.

La suma d'aquestes dues càrregues serà la quantitat final d'energia que haurem de contrarestar amb el nostre sistema de climatització.

Ens hem valgut del capítol 5 de la monografia *Aire Acondicionado. Nueva enciclopedia de la climatización*, d'Ángel Luis Miranda Barreras, que trobareu recollida a la bibliografia i a la qual farem referència durant aquest apartat.

A.3.1 Condicions del projecte

A continuació donarem les condicions de l'habitatge classificades en condicions interiors i exteriors.

A.3.1.1 Condicions interiors

Segons la norma UNE-EN ISO 7730, els paràmetres de temperatura, humitat relativa i velocitat mitjana de l'aire a l'interior de l'habitatge que hem de tenir en compte són els següents:

	<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Humitat relativa (%)</i>	<i>Velocitat de l'aire (m/s)</i>
Mínima	20	40	0,15
Màxima	25	60	0,2

Taula A.11. Condicions interiors segons UNE-EN ISO 7730

A.3.1.2 Condicions exteriors

Per establir la temperatura exterior haurem de fer servir la guia tècnica de condicions climàtiques exteriors, editada per IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía).

Tot i que aquesta guia no inclou informació de la vila d'Argentona, sí que disposem de tres punts amb reculls de dades a la província de Barcelona. Tenint en compte l'alçada sobre el nivell del mar i la proximitat a la costa s'ha decidit fer servir els valors que ens ofereix l'estació ubicada a la ciutat de Granollers.

Aquí veiem les dades que farem servir pel càlcul de les càrregues tèrmiques en mode de refrigeració:

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)
38,2	33,6	22,1	32,2	22,0	30,8	21,8	13,8

Imatge A.4. Condicions exteriors per la refrigeració

On destaquem:

- Temperatura màxima de 38,2 °C.
- Temperatura del percentil 98 de 30,8 °C, és a dir, aquesta temperatura cobreix un 98 % de les hores d'estiu.

Aquest darrer valor és el que hem seleccionat com a temperatura exterior de càlcul ja que és la recomanada en el cas d'habitatges.

Hem establert la data i l'hora solar a les 15 hores del 23 de juliol.

La latitud és de 40° nord.

A.3.2 Càrregues sensibles

A.3.2.1 Càrregues tèrmiques per radiació solar a les superfícies translúcides

La radiació solar travessa les superfícies translúcides per incidir sobre les superfícies interiors dels locals i incrementa així la temperatura de l'ambient interior. Les càrregues per radiació s'obtenen de l'equació:

$$Q_{SR} = S \cdot R \cdot f$$

Equació A.2

On:

Q_{SR} : Càrrega tèrmica a causa de la radiació solar (kcal/h)

S: Superfície del vidre (m²)

R: Radiació solar unitària (kcal/h·m²)

f: Factor de correcció

Els valors corresponents a la radiació els obtenim de la Imatge A.5. ,que ha estat extreta de la monografia abans esmentada.

Fecha	Orientación	Hora solar				
		12	13	14	15	16
	N	44	44	44	41	37
	NE	44	44	44	41	37
	E	44	44	44	41	37
	SE	107	44	44	41	37
21 de junio	S	170	138	109	59	37
	SO	107	223	312	350	343
	O	44	138	299	448	511
	NO	44	44	94	230	352
	Horizontal	747	732	662	564	422
	N	44	44	44	41	37
	NE	44	44	44	41	37
	E	44	44	44	41	37
	SE	131	47	44	41	37
23 de julio	S	217	198	138	81	41
	SO	131	258	347	394	375
	O	44	135	308	454	516
	NO	44	44	81	208	330
	Horizontal	734	709	640	538	397
	N	44	44	44	41	34
	NE	44	44	44	41	34
	E	44	44	44	41	34
	SE	208	78	44	41	34
24 de agosto	S	321	306	280	161	76
	SO	208	337	438	461	435
	O	44	142	317	457	511
	NO	44	44	50	144	258
	Horizontal	675	647	583	472	315

Imatge A.5. Radiació solar R

Els valors de radiació segons l'orientació de cada obertura queden resumits amb la Taula A.12.:

Orientació	$R(kcal/h \cdot m^2)$
Nord	41
Est	41
Sud	81
Oest	454

Taula A.12. Radiació per orientacions

El factor de correcció és el producte d'un seguit de variables. En el nostre cas, hi intervenen les següents:

- El marc metàl·lic de les nostres obertures, que ens fa aplicar un factor f de 1,17.
- El tipus de finestres del nostre projecte, de tipus vidre doble amb persiana exterior de color clar, cosa que ens fa aplicar un factor f de 0,14.

El resultat final de factor de correcció és de 0,1638.

El càlcul de les càrregues per radiació solar queda resolt amb la taula següent:

Habitació	Orientació	$S(m^2)$	$R(kcal/h \cdot m^2)$	f	$Q_{SR}(kcal/h)$
Cuina	Sud	3	41	0,1638	20,15
Cuina	Oest	1,65	454	0,1638	122,70
Menjador	Oest	3	454	0,1638	223,10
Menjador	Oest	3	454	0,1638	223,10
Menjador	Nord	3,3	41	0,1638	22,16
Dormitori 1	Sud	7	81	0,1638	92,87
Dormitori 1	Oest	2,5	454	0,1638	185,91
Dormitori 2	Nord	3	41	0,1638	20,15
Dormitori 3	Nord	3	41	0,1638	20,15
Estudi	Sud	3,2	81	0,1638	42,46

Taula A.13. Càrregues per radiació solar

A.3.2.2 Càrregues per transmissió a través de tancaments opacs

La calor procedent del Sol escalfarà tant les façanes com el sostre de l'habitatge, aquesta calor es transferirà a l'interior de l'habitatge. Podem avaluar aquesta càrrega tèrmica de la manera següent:

$$Q_{STR} = U \cdot S \cdot DTE$$

Equació A.3

On:

Q_{STR} : Càrrega tèrmica per transmissió (kcal/h)

U : Coeficient de transmissió de calor ($W/m^2 \cdot K$)

S : Superfície del mur exposada a la diferència de temperatures (m^2)

DTE : Diferència de temperatures equivalents

A.3.2.2.1 Càlcul de la DTE de la façana

La diferència de temperatures equivalents és el salt tèrmic corregit, tenint en compte l'efecte de la radiació solar. Aquest factor resulta de la suma de dos correccions ($DTE = DTE_1 + DTE_2$), per conèixer la DTE_1 farem servir la Imatge A.6., de la monografia d'Ángel Luis Miranda Barreras.

Les dades necessàries per treballar amb la taula són:

- L'orientació de cadascuna de les façanes.
- El producte de la densitat pel gruix de la façana (DE).
- L'hora solar del projecte.

Orientación del muro	DE kg/m ²	Hora solar				
		12	13	14	15	16
NE	100	7,4	6,9	6,4	6,9	7,4
	300	10,8	8,1	5,3	5,8	6,4
	500	8,5	8,1	7,4	6,4	5,3
	700	3	5,3	7,4	8,5	7,4
E	100	17,4	10,8	6,4	6,9	7,4
	300	16,9	10,2	7,4	6,9	6,4
	500	13,1	13,6	13,1	10,8	9,7
	700	5,3	8,1	9,7	10,2	9,7
SE	100	15,2	14,1	13,1	10,2	8,5
	300	15,2	14,1	13,6	11,3	9,7
	500	8,5	9,2	9,7	10,2	9,7
	700	3	5,8	7,4	8,1	8,5
S	100	11,9	14,7	16,4	15,2	14,1
	300	6,4	10,8	13,1	13,6	14,1
	500	1,9	4,1	6,4	8,1	8,5
	700	1,9	1,9	1,9	3,6	5,3
SO	100	3	10,2	14,1	18,6	21,9
	300	0,8	4,2	6,4	13,1	17,5
	500	3	3,6	4,2	6,4	7,4
	700	3	3	3	3,6	4,2
O	100	3	7,4	10,8	17,5	21,9
	300	1,9	3,6	5,3	10,2	14,1
	500	3	3,6	4,2	5,3	6,4
	700	4,2	4,7	5,3	5,3	5,3
NO	100	3	5,3	6,4	10,2	13,1
	300	0,8	3	4,2	5,3	6,4
	500	1,9	1,9	1,9	2,5	3
	700	3	3	3	3	3

Imatge A.6. Valors de DTE₁ per les façanes

Amb un valor DE = 300 kg/m² i una hora solar de les 15 hores, els valors de DTE₁ per les diferents habitacions i orientacions són:

Habitació	Orientació	DTE ₁ (°C)
Cuina	Sud	13,6
Cuina	Oest	10,2
Menjador	Oest	10,2
Menjador	Nord	6,4
Dormitori 1	Sud	13,6
Dormitori 1	Oest	10,2
Dormitori 2	Nord	6,4
Dormitori 2	Oest	10,2
Dormitori 3	Nord	6,4
Estudi	Sud	13,6
Estudi	Oest	10,2

Taula A.14. Valors DTE₁ de façana aplicats

El factor corrector DTE_2 el trobarem fent servir la Imatge A.7. extreta del manual esmentat.

Aquest valor depèn de l'excursió tèrmica, que és la diferència entre la temperatura màxima mitjana i la temperatura mínima mitjana, i del salt tèrmic, que és la diferència de temperatures entre la cara exterior i la cara interior del tancament.

Temperatura exterior menos temperatura interior, Δt	Excursión (variación) térmica diaria (ET)													
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
3	-1,5	-2	-2,5	-3	-3,5	-4	-4,5	-5	-5,5	-6	-6,5	-7	-7,5	
4	-0,5	-1	-1,5	-2	-2,5	-3	-3,5	-4	-4,5	-5	-5,5	-6	-6,5	
5	0,5	0	-0,5	-1	-1,5	-2	-2,5	-3	-3,5	-4	-4,5	-5	-5,5	
6	1,5	1	0,5	0	-0,5	-1	-1,5	-2	-2,5	-3	-3,5	-4	-4,5	
7	2,5	2	1,5	1	0,5	0	-0,5	-1	-1,5	-2	-2,5	-3	-3,5	
8	3,5	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0	-0,5	-1	-1,5	-2	-2,5	
9	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0	-0,5	-1	-1,5	
10	5,5	5	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0	-0,5	
11	6,5	6	5,5	5	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1	0,5	
12	7,5	7	6,5	6	5,5	5	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	
13	8,5	8	7,5	7	6,5	6	5,5	5	4,5	4	3,5	3	2,5	
14	9,5	9	8,5	8	7,5	7	6,5	6	5,5	5	4,5	4	3,5	
15	10,5	10	9,5	9	8,5	8	7,5	7	6,5	6	5,5	5	4,5	
16	11,5	11	10,5	10	9,5	9	8,5	8	7,5	7	6,5	6	5,5	

Imatge A.7. Factor corrector DTE_2

Segons aquesta taula ens correspon un valor $DTE_2 = -1,5^\circ\text{C}$

Δt : Salt tèrmic = $6,8^\circ\text{C}$

ET: Excursió tèrmica = 12°C

A.3.2.2.2 Càlcul de la DTE de la teulada

Per conèixer la DTE_1 de la teulada farem servir la Imatge A.8., de la monografia esmentada, tenint en compte que:

- La teulada estarà exposada al Sol.
- El producte de la densitat pel gruix de la teulada és de 200 kg/m^2
- L'hora solar del projecte està establerta a les 15 hores.

	DE kg/m ²	Hora solar				
		12	13	14	15	16
Techo soleado	50	8,1	13,1	17,5	20,8	23,6
	100	8,5	12,5	16,4	19,7	22,5
	200	8,5	12,5	15,2	18,12	0,8
	300	8,5	11,9	14,7	16,91	9,2
	400	8,5	11,9	14,11	5,2	17,5
Techo en sombra	100	3	4,7	6,4	6,9	7,4
	200	0,8	2,5	4,2	5,3	6,4
	300	-0,3	0,8	1,9	3	4,2

Imatge A.8. Valors de DTE_1 de la teulada

Q_{STR} : Càrrega tèrmica per transmissió (kcal/h)

Obtenim un $DTE_1 = 18,12\text{ }^{\circ}\text{C}$, mentre que el valor romandrà constant a $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Aplicant l'Equació A.3 obtenim els següents valors de càrrega tèrmica per transmissió a través de tancaments opacs.

Habitació	Orientació	$S\text{ (m}^2\text{)}$	$DTE\text{ (}^{\circ}\text{C)}$	$Q_{STR}\text{ (kcal/h)}$
Cuina	Sud	11,76	12,1	66,74
Cuina	Oest	10,78	8,7	43,99
Menjador	Oest	15,54	8,7	63,41
Menjador	Nord	16,8	4,9	38,61
Dormitori 1	Sud	12,32	12,1	69,91
Dormitori 1	Oest	10,08	8,7	41,13
Dormitori 2	Nord	9,94	4,9	22,84
Dormitori 2	Oest	10,36	8,7	42,27
Dormitori 3	Nord	6,86	4,9	15,76
Estudi	Sud	10,64	12,1	60,38
Estudi	Oest	14,98	8,7	61,12

Taula A.15. Càrregues per transmissió a través de les façanes

Aplicant la mateixa fórmula obtenim els valors de càrrega tèrmica per transmissió a través de la teulada.

Habitació	$S\text{ (m}^2\text{)}$	$U\text{ (W/m}^2\cdot\text{K)}$	$DTE_{TOT}\text{ (}^{\circ}\text{C)}$	$Q_{STR}\text{ (kcal/h)}$
Estudi	75,2	0,231	16,62	288,709

Taula A.16. Càrregues per transmissió a través de la teulada

A.3.2.3 Càrrega de parets no exteriors

En aquest apartat inclourem les càrregues per transmissió que es donen a través de les parets que separen les habitacions refrigerades de les que no ho estan, també s'inclouran les transmissions que es donen a través del sostre i del terra de l'habitació. Aquesta càrrega es calcula mitjançant la següent expressió:

$$Q_{ST} = S \cdot U \cdot \Delta t$$

Equació A.4

On:

Q_{ST} : Calor per transmissió (kcal/h)

S : Superfície de façana exposada a la diferència de temperatures (m^2)

U : Coeficient de transmissió de calor = $0,645\text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

Δt : Salt tèrmic = 10 °C

Habitació	$S(m^2)$	$Q_{ST}(kcal/h)$
Menjador	16,8	108,36
Menjador	15,54	100,233
Cuina	10,6	68,37
Cuina	11,1	71,595
Dormitori 1	13,1	84,495
Dormitori 1	11,1	71,595
Dormitori 2	10,32	66,564
Dormitori 3	6,18	39,861
Estudi	13	83,85

Taula A.17. Càrregues de parets no exteriors

Habitació	$S(m^2)$	$Q_{ST}(kcal/h)$
Menjador	28	240,8
Cuina	14,2	122,12
Dormitori 1	16,7	143,62
Dormitori 2	10,7	92,02
Dormitori 3	11,4	98,04
Estudi	21	180,6

Taula A.18. Càrregues per transmissió per terra i sostre

A.3.2.4 Càrrega sensible per infiltracions

La càrrega tèrmica sensible per ventilació o infiltració d'aire exterior es determina amb l'expressió:

$$Q_{SI} = V \cdot 0,29 \cdot \Delta t$$

Equació A.5

On:

Q_{SI} : Calor sensible per infiltracions (kcal/h)

V : Cabal d'aire infiltrat o de ventilació (m^3/h)

Δt : Salt tèrmic = 6.8 °C

0,29 és la calor específica de l'aire sobre el volum ($kcal/^\circ C \cdot m^3$)

El cabal d'aire exterior serà d'una renovació horària, que és el mínim que estableix ITE 02.2.2.

Habitació	V (m ³ /h)	Q _{si} (kcal/h)
Menjador	69,88	137,79
Cuina	35,45	69,91
Dormitori 1	41,75	82,33
Bany 1	16,50	32,54
Dormitori 2	26,75	52,75
Dormitori 3	28,50	56,20
Estudi	52,50	103,53

Taula A.19. Càrrega sensible per infiltracions

A.3.2.5 Càrrega sensible a causa dels ocupants

Les persones que ocupen un recinte generen calor sensible i latent a causa, per una banda, de l'activitat que realitzen i, per altra banda, perquè la seva temperatura (uns 37 °C) és més gran que la de consigna del local.

$$Q_{sp}=n \cdot q$$

Equació A.6

On:

Q_{sp}: Càrrega tèrmica per ocupació (kcal/h)

n: Nombre de persones al local

q: Calor emesa per persona (kcal/h)

Amb la Imatge A.9. de la monografia *Aire Acondicionado. Nueva enciclopedia de la climatización*, segons la temperatura del local i l'activitat que s'hi desenvolupi, trobarem el valor de q.

Cuadro de actividad	28 °C		27 °C		26 °C		24 °C	
	Sensible	Latente	Sensible	Latente	Sensible	Latente	Sensible	Latente
Sentado en reposo	52	52	58	47	64	41	70	30
Sentado trabajo ligero	52	64	58	58	64	52	70	47
Oficinista con actividad moderada	52	81	58	76	64	70	70	58
Persona de pie	52	81	58	87	64	81	76	70
Persona que pasea	52	93	58	87	64	81	76	70
Trabajo sedentario	58	105	64	99	70	93	81	81
Trabajo ligero taller	58	163	64	157	70	151	87	134
Persona que camina	64	186	70	180	81	169	99	151
Persona que baila	81	215	87	204	99	198	110	180
Persona en trabajo penoso	134	291	140	291	145	285	151	268

Imatge A.9. Calor emesa per persona

Podem considerar el nombre de persones que ofereix la HS 3 per al càlcul de ventilació d'un habitatge:

- Una persona per dormitoris individuals.
- Dos persones per dormitoris dobles.
- Al menjador, la suma de persones que hi ha en tots els dormitoris.

En el nostre cas considerem unes condicions d'assegut amb treball lleuger $q = 67$ (kcal/h).

Habitació	n	Q_{SP} (kcal/h)
Menjador	4	268
Dormitori 1	2	134
Dormitori 2	1	67
Dormitori 3	1	67

Taula A.20. Càrrega sensible dels ocupants

A.3.2.6 Càrrega generada per la il·luminació

Es considerarà que la potència íntegra de la llum es transformarà en calor sensible, aplicarem la següent equació en funció de la il·luminació a cadascuna de les habitacions:

$$Q_{SIL} = Pot \cdot 860$$

Equació A.7

On:

Q_{SIL} : Calor sensible d'il·luminació (kcal/h)

Pot: Potència elèctrica d'il·luminació (kW)

Habitació	Pot. il·luminació (kW)	Q_{SIL} (kcal/h)
Menjador	0,181	155,66
Cuina	0,1	86
Dormitori 1	0,081	69,66
Dormitori 2	0,045	38,7
Dormitori 3	0,036	30,96
Estudi	0,09	77,4

Taula A.21. Càrrega generada per il·luminació

A.3.3 Càrregues latents

Les partides que hem de considerar són les següents:

A.3.3.1 Calor latent per infiltracions d'aire

Amb el mateix cabal d'infiltracions que hem fet servir a l'apartat A.3.2.4, aplicarem la formula:

$$Q_{LI} = V \cdot \Delta W \cdot 0,72$$

Equació A.8

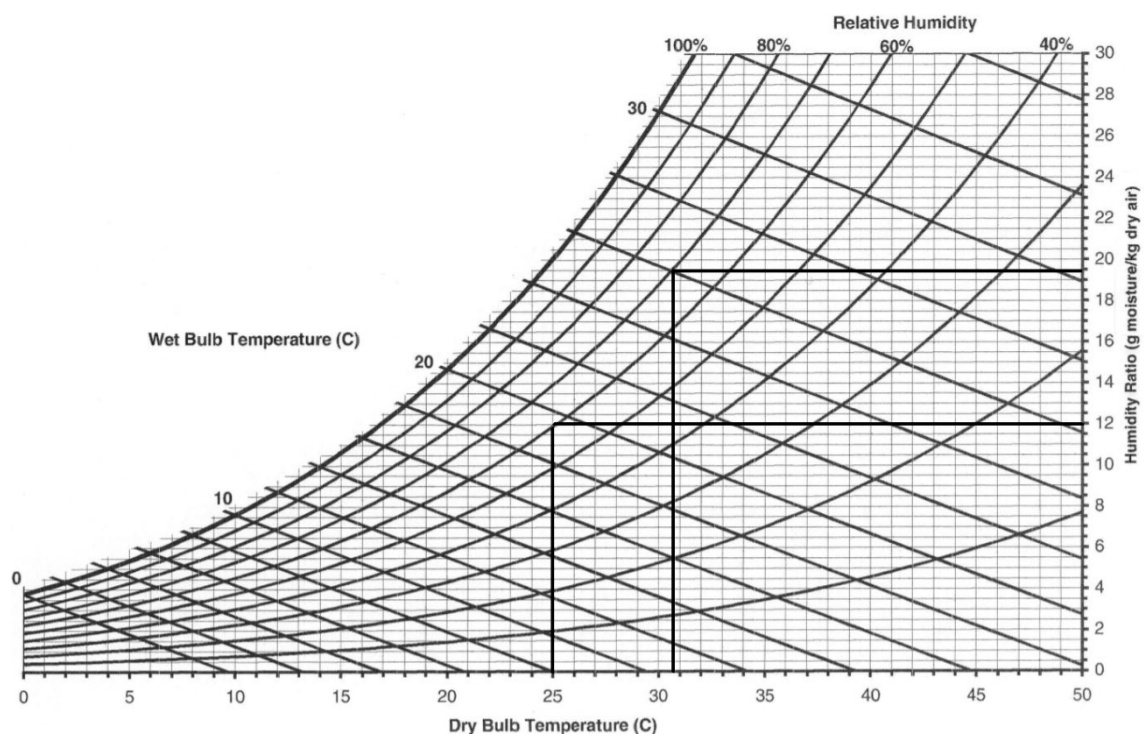
On:

Q_{LI} : Calor latent per infiltracions (kcal/h)

V : Cabal d'aire infiltrat o de ventilació (m^3/h)

ΔW : Diferència d'humitats absolutes (g/kg)

La diferència entre humitats absolutes s'ha calculat amb l'ajuda del diagrama psicomètric representat a continuació amb les condicions de l'exterior i les de l'interior.



Imatge A.10. Diferència d'humitats interior-exterior

Diferència d'humitats: $\Delta W = 19,5 - 12 = 7,5$ g/kg

Habitació	$V \text{ (m}^3/\text{h)}$	$Q_{LI} \text{ (kcal/h)}$
Menjador	69,88	377,33
Cuina	35,45	191,43
Dormitori 1	41,75	225,45
Dormitori 2	26,75	144,45
Dormitori 3	28,50	153,90
Estudi	52,50	283,50

Taula A.22. Calor latent per infiltracions

A.3.3.2 Càrrega latent a causa dels ocupants

Aquesta partida la calcularem de la mateixa manera que ho hem fet a l'apartat A.3.2.5, fent servir la columna de calor latent de la Imatge A.9.

Habitació	n	$Q_{LP} \text{ (kcal/h)}$
Menjador	4	200
Dormitori 1	2	100
Dormitori 2	1	50
Dormitori 3	1	50

Taula A.23. Càrrega latent dels ocupants

A.3.4 Càlcul de les càrregues totals de refrigeració

El resultat final del càlcul de cadascuna de les partides el trobeu resumit a la Taula A.24.

Habitació	Q_{SR}	Q_{STR}	Q_{ST}	Q_{ST}	Q_{SI}	Q_{SIL}	Q_{SP}	Q_{LI}	Q_{LP}
Menjador	468	102	209	241	138	156	268	377	200
Cuina	143	111	140	122	70	86	-	191	-
Dormitori 1	279	109	156	144	82	70	134	225	100
Dormitori 2	20	65	67	92	53	39	67	144	50
Dormitori 3	20	16	40	98	56	31	67	154	50
Estudi	42	410	84	181	104	77	-	284	-
$\Sigma \text{ (kcal/h)}$	4854,1							1776,1	
$\Sigma \text{ (kW)}$	5,64							2,07	

Taula A.24. Resum de càrregues tèrmiques de refrigeració

La càrrega sensible s'ha fixat en 5,64 kW i la càrrega latent serà de 2,07kW. Serà la que haurà de vèncer la nostra instal·lació de refrigeració.

A.4 CÀLCUL DE LES CÀRREGUES TÈRMIQUES DE CALEFACCIÓ

A.4.1 Condicions exteriors

Per establir la temperatura exterior haurem de fer servir la guia tècnica de condicions climàtiques exteriors, editada per IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía).

Com hem fet per calcular les càrregues en refrigeració, farem servir els valors que ens ofereix l'estació ubicada a la ciutat de Granollers.

Aquí veiem les dades que farem servir per al càlcul de les càrregues tèrmiques en mode de calefacció.

CONDICIONES PROYECTO CALEFACCIÓN (TEMPERATURA SECA EXTERIOR MÍNIMA)

TSMIN (°C)	TS_99,6 (°C)	TS_99 (°C)	OMDC (°C)	HUMcoin (%)	OMA (°C)
-5,2	-0,2	1,2	11,8	75,2	33,8

Imatge A.11. Condicions exteriors per la calefacció

A.4.2 Càrrega tèrmica de transmissió a través dels tancaments

Aquesta partida la calcularem mitjançant l'Equació A.9.

$$Q_{TR} = U \cdot S \cdot \Delta t \cdot Co$$

Equació A.9

On:

Q_{TR} : Flux de calor (kcal/h)

U : Coeficient de transmissió de calor ($W/m^2 \cdot K$)

S : Superfície (m^2)

Δt : Diferència de temperatura (°C)

Co : Coeficient d'orientació

Orientació	Co
Nord	1,15
Oest	1,05
Sud	1
Est	1,1

Taula A.25. Coeficient d'orientació

Obtenim els valors de Q_{TR} per cada habitació que podem veure a les taules següents:

<i>Menjador</i>						
<i>Tancament</i>	<i>Orientació</i>	<i>S(m²)</i>	<i>Co</i>	<i>U (W/m²·K)</i>	<i>Δt (°C)</i>	<i>Q_{TR} (kcal/h)</i>
Mur exterior	Oest	15,54	1,05	0,469	19,8	151,52
	Nord	16,8	1,15	0,469	19,8	179,41
	Est	15,54	1,1	0,469	11	88,19
Finestra	Oest	6	1,05	1,888	19,8	235,51
	Nord	3,3	1,15	1,888	19,8	141,87
Terra	-	27,95	-	1,413	11	434,49

Taula A.26. Càrrega tèrmica de transmissió al menjador

<i>Rebedor</i>						
<i>Tancament</i>	<i>Orientació</i>	<i>S(m²)</i>	<i>Co</i>	<i>U (W/m²·K)</i>	<i>Δt (°C)</i>	<i>Q_{TR} (kcal/h)</i>
Mur exterior	Oest	2,65	1,05	0,469	19,8	25,84
	Est	4,62	1,1	0,469	11	26,22
Porta exterior	Oest	1,97	1,05	3	19,8	122,87
Terra	-	10,6	-	1,413	11	164,78

Taula A.27. Càrrega tèrmica de transmissió al rebedor

<i>Lavabo</i>						
<i>Tancament</i>	<i>Orientació</i>	<i>S(m²)</i>	<i>Co</i>	<i>U (W/m²·K)</i>	<i>Δt (°C)</i>	<i>Q_{TR} (kcal/h)</i>
Mur exterior	Oest	2,6	1,05	0,469	19,8	25,35
Finestra	Oest	0,7	1,05	1,888	19,8	27,48
Terra	-	2,6	-	1,413	11	40,42

Taula A.28. Càrrega tèrmica de transmissió al lavabo

<i>Rebost</i>						
<i>Tancament</i>	<i>Orientació</i>	<i>S(m²)</i>	<i>Co</i>	<i>U (W/m²·K)</i>	<i>Δt (°C)</i>	<i>Q_{TR} (kcal/h)</i>
Mur exterior	Est	3,3	1,1	0,469	11	18,73
Terra	-	3,9	-	1,413	11	60,63

Taula A.29. Càrrega tèrmica de transmissió al rebost

<i>Cuina</i>						
<i>Tancament</i>	<i>Orientació</i>	<i>S(m²)</i>	<i>Co</i>	<i>U (W/m²·K)</i>	<i>Δt (°C)</i>	<i>Q_{TR} (kcal/h)</i>
Mur exterior	Oest	8,95	1,05	0,469	19,8	87,27
	Sud	11,1	1	0,469	19,8	103,08
	Est	10,6	1,1	0,469	11	60,15
Finestra	Oest	1,65	1,05	1,888	19,8	64,77
	Sud	1,72	1	1,888	19,8	64,30
	Sud	3	1	1,888	19,8	112,15
Terra	-	21	-	1,413	11	326,45

Taula A.30. Càrrega tèrmica de transmissió a la cuina

<i>Dormitori 3</i>						
<i>Tancament</i>	<i>Orientació</i>	<i>S(m²)</i>	<i>Co</i>	<i>U (W/m²·K)</i>	<i>Δt (°C)</i>	<i>Q_{TR} (kcal/h)</i>
Mur exterior	Nord	3,26	1,15	0,469	19,8	34,81
	Est	13,51	1,1	0,469	11	76,67
Finestra	Nord	3,22	1,15	1,888	19,8	138,43

Taula A.31. Càrrega tèrmica de transmissió al dormitori 3

<i>Dormitori 2</i>						
<i>Tancament</i>	<i>Orientació</i>	<i>S(m²)</i>	<i>Co</i>	<i>U (W/m²·K)</i>	<i>Δt (°C)</i>	<i>Q_{TR} (kcal/h)</i>
Mur exterior	Nord	6,18	1,15	0,469	19,8	66,00
	Oest	10,32	1,1	0,469	19,8	105,42
Finestra	Nord	3,22	1,15	1,888	19,8	138,43

Taula A.32. Càrrega tèrmica de transmissió al dormitori 2

<i>Bany 2</i>						
<i>Tancament</i>	<i>Orientació</i>	<i>S(m²)</i>	<i>Co</i>	<i>U (W/m²·K)</i>	<i>Δt (°C)</i>	<i>Q_{TR} (kcal/h)</i>
Mur exterior	Oest	4,62	1,05	0,469	20,8	47,32
Finestra	Oest	0,7	1,05	1,888	20,8	28,86

Taula A.33. Càrrega tèrmica de transmissió al bany2

<i>Bany 1</i>						
<i>Tancament</i>	<i>Orientació</i>	<i>S(m²)</i>	<i>Co</i>	<i>U (W/m²·K)</i>	<i>Δt (°C)</i>	<i>Q_{TR} (kcal/h)</i>
Mur exterior	Oest	10,1	1,05	0,469	20,8	103,45
Finestra	Oest	0,7	1,05	1,888	20,8	28,86

Taula A.34. Càrrega tèrmica de transmissió al bany 1

<i>Dormitori 1</i>						
<i>Tancament</i>	<i>Orientació</i>	<i>S(m²)</i>	<i>Co</i>	<i>U (W/m²·K)</i>	<i>Δt (°C)</i>	<i>Q_{TR} (kcal/h)</i>
Mur exterior	Oest	7,37	1,15	0,469	19,8	78,71
	Sud	4,13	1	0,469	19,8	38,35
	Est	13,1	1,1	0,469	11	74,34
Finestra	Oest	2,5	1,15	1,888	19,8	107,47
	Sud	7,5	1	1,888	19,8	280,37
Sostre		24,3	-	0,231	19,8	111,14

Taula A.35. Càrrega tèrmica de transmissió al dormitori 1

Estudi						
Tancament	Orientació	S(m ²)	Co	U (W/m ² ·K)	Δt (°C)	Q _{TR} (kcal/h)
Mur exterior	Oest	10,68	1,05	0,469	19,8	104,14
	Sud	10,8	1	0,469	19,8	100,29
	Est	13	1,1	0,469	11	73,77
	Nord	7,2	1,15	0,469	19,8	76,89
Finestra	Oest	2,32	1,05	1,888	19,8	91,06
	Sud	3	1	1,888	19,8	112,15
Sostre	-	48,6	-	0,231	19,8	222,29

Taula A.36. Càrrega tèrmica de transmissió a l'estudi

El resum de les càrregues tèrmiques de transmissió a través dels tancaments per a cadascuna de les habitacions el trobeu a la Taula A.37.

Habitació	Q _{TR} (kcal/h)
Menjador	1230,98
Rebedor	339,70
Lavabo	93,24
Rebot	79,35
Cuina	818,15
Dormitori 1	690,38
Bany 1	132,32
Dormitori 2	309,84
Bany 2	76,19
Dormitori 3	249,91
Estudi	780,59

Taula A.37. Resum de les càrregues tèrmiques de transmissió a través dels tancaments

A.4.3 Càrrega tèrmica de ventilació

La ventilació és la renovació de l'aire interior per tal de mantenir unes condicions adequades dins del local. La càrrega tèrmica per ventilació és, doncs, la pèrdua energètica derivada de l'acondicionament tèrmic de l'aire entrant d'acord a la temperatura interior de disseny.

$$Q_v = n \cdot V \cdot \rho \cdot C_p \cdot \Delta t$$

Equació A.10

On:

Q_v: Càrrega tèrmica de ventilació (kcal/h)

n: número de renovacions d'aire per hora

V: Volum del local (m³)

ρ: Densitat de l'aire (kg/m³)

C_p: Calor específica de l'aire (kcal/Kg·K)

Δt : Salt tèrmic (°C)

Aplicant els següents valors per l'aire:

ρ (kg/m ³)	C_p (kcal/Kg·K)
1,23	0,2388

Taula A.38. Densitat i calor específica de l'aire

El cabal de ventilació mínima s'obté de la Taula A.39., extreta del document bàsic de HS de salubritat inclòs al codi tècnic de l'edificació.

		Caudal de ventilación mínimo exigido q_v en l/s		
		Por ocupante	Por m ² 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 ⁽¹⁾	50 por local ⁽²⁾
	Trasteros y sus zonas comunes		0,7	
	Aparcamientos y garajes			120 por plaza
	Almacenes de residuos		10	

Taula A.39. Cabal de ventilació mínim exigít

Considerant l'ocupació de la Taula A.20, obtenim la Taula A.40

Habitació	V_{HAB} (m ³)	Ventilació (m ³)	Δt (°C)	n	Q_v (kcal/h)
Menjador	69,88	72,00	19,8	1,0	418,73
Rebedor	38,43	14,00	18,8	0,4	77,31
Lavabo	6,50	54,00	20,8	8,3	329,91
Rebost	6,30	14,00	19,8	2,2	81,42
Cuina	49,48	134,42	19,8	2,7	781,77
Dormitori 1	41,75	21,60	19,8	0,5	207,04
Bany 1	16,50	54,00	20,8	3,3	329,91
Distribuïdor	10,00	14,00	18,8	1,4	77,31
Dormitori 2	26,75	10,80	19,8	0,4	62,81
Bany 2	12,50	54,00	20,8	4,3	329,91
Dormitori 3	28,50	10,80	19,8	0,4	62,81
Estudi	52,50	10,80	19,8	0,2	62,81

Taula A.40. Càrregues tèrmiques de ventilació

A.4.4 Càlcul de les càrregues totals de calefacció

El resultat final del càlcul de cadascuna de les partides calculades el trobem resumit a la Taula A.41.

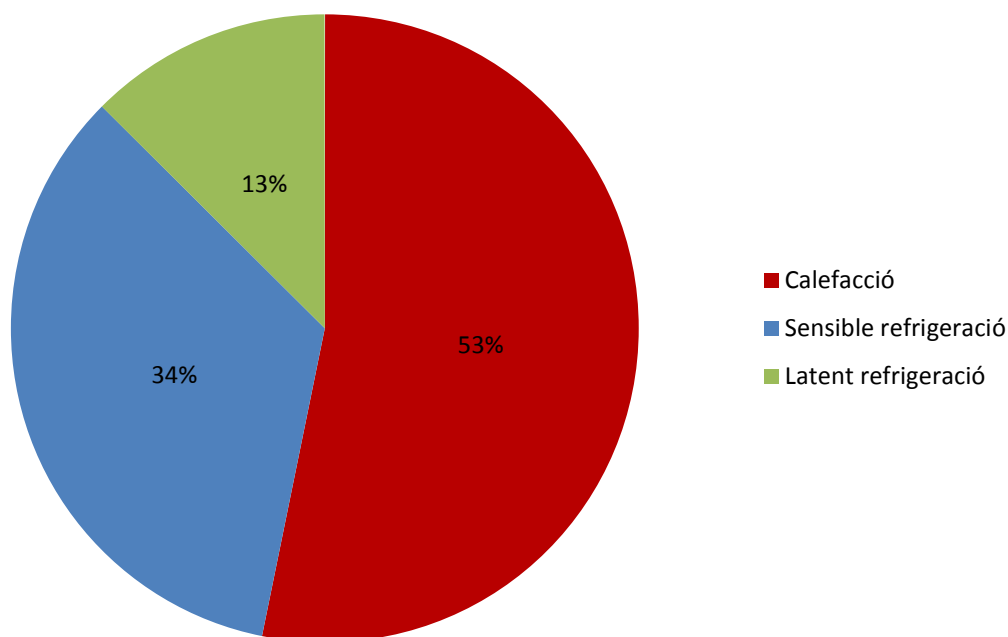
Habitació	Q_{TR} (kcal/h)	Q_V (kcal/h)	Q (kcal/h)	Q (W)
Menjador	1230,98	418,73	1649,71	1917,34
Rebedor	339,70	77,31	417,01	484,66
Lavabo	93,24	329,91	423,16	491,80
Rebost	79,35	81,42	160,77	186,85
Cuina	818,15	781,77	1599,92	1859,47
Dormitori 1	690,38	207,04	897,42	1043,01
Bany 1	132,32	329,91	462,23	537,21
Dormitori 2	309,84	62,81	372,65	433,10
Bany 2	76,19	329,91	406,10	471,98
Dormitori 3	249,91	62,81	312,72	363,45
Estudi	780,59	62,81	843,40	980,22
Σ	4800,66	2744,43	7545,09	8769,08

Taula A.41. Resum de càrregues tèrmiques de calefacció

Hem fixat la càrrega tèrmica total de l'habitatge en 8,77kW, que serà la que haurà de vèncer la nostra instal·lació de calefacció.

A.5 RESUM DE LES CÀRREGUES TÈRMIQUES DE L'HABITATGE

Càrregues tèrmiques de l'habitatge



Annex B

DISSENY DE L'INTERCANVIADOR GEOTÈRMIC

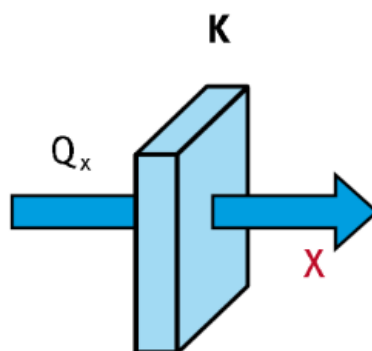
B. DISSENY DE L'INTERCANVIADOR GEOTÈRMIC

B.1 Propietats tèrmiques del terreny

Les propietats tèrmiques del terreny són determinants en el càlcul de l'intercanviador de calor enterrat, principalment la conductivitat tèrmica. Un valor de conductivitat tèrmica elevat a igualtat de la resta de condicions de disseny, disminueix considerablement la longitud de l'intercanviador. A més, les característiques tèrmiques del subsòl influeixen en altres paràmetres de disseny, com ara la distància entre les diverses perforacions que conformen l'intercanviador de calor vertical necessària perquè no hi hagi interferència tèrmica entre els captadors verticals.

B.1.1 Conductivitat tèrmica

La conductivitat tèrmica (λ) és una propietat característica de cada material que indica la seva capacitat per conduir la calor. Es pot expressar, segons la llei de Fourier, com la calor que travessa en la direcció x un gruix d'un metre del material com a conseqüència d'una diferència d'un grau entre els extrems oposats.



Imatge B.1. Representació de conductivitat tèrmica

Hi ha estudis que demostren que la conductivitat tèrmica augmenta normalment amb el grau d'humitat del terreny fins a arribar als valors de conductivitat corresponents a un terreny saturat, si bé no és fàcil establir la dependència entre ambdós factors amb caràcter general.

El càlcul de la conductivitat tèrmica per al disseny de la captació geotèrmica s'ha fet a partir de la relació entre les proporcions dels diferents materials trobats a l'estudi geotècnic i els valors més usats per a la conductivitat tèrmica d'acord al tipus de terreny, que es recullen a la taula de la Imatge B.2.

Tipo de roca	Conductivitat tèrmica (W/mK)		
	Mín.	Valor típic	Máx.
Rocas magmáticas			
Basalto	1,3	1,7	2,3
Diorita	2	2,6	2,9
Grabo	1,7	1,9	2,5
Granito	2,1	3,4	4,1
Peridotita	3,8	4	5,3
Riolita	3,1	3,3	3,4
Rocas metamórficas			
Gneis	1,9	2,9	4
Màrmol	1,3	2,1	3,1
Metacuarcita		aprox. 5,8	
Micasquistos	1,5	2	3,1
Esquistos ardillosos	1,5	2,1	2,1
Rocas sedimentarias			
Caliza	2,5	2,8	4
Marga	1,5	2,1	3,5
Cuarcita	3,6	6	6,6
Sal	5,3	5,4	6,4
Arenisca	1,3	2,3	5,1
Limolitas y argilitas	1,1	2,2	3,5
Rocas no consolidadas			
Grava, seca	0,4	0,4	0,5
Grava, saturada de agua		aprox. 1,8	
Arena, seca	0,3	0,4	0,8
Arena, saturada de agua	1,7	2,4	5
Arcilla/limo, seco	0,4	0,5	1
Arcilla/limo, saturado de agua	0,9	1,7	2,3
Turba	0,2	0,4	0,7
Otros materiales			
Bentonita	0,5	0,6	0,8
Hormigón	0,9	1,6	2
Hielo (-10 °C)		2,32	
Plástico (PE)		0,39	
Aire (0 - 20 °C, seco)		0,02	
Acero		60	
Agua (+ 10 °C)		0,58	

Imatge B.2. Valors de conductivitat tèrmica per a diferents tipus de materials

El càlcul del coeficient es va desenvolupar fent servir la mitja ponderada, tenint en compte el gruix de les diferents capes, així com el percentatge de material i la seva conductivitat.

Capa	Gruix (m)	Material	%	Conductivitat (W/mK)
A	3,3	Argila	64	1,7
		Granit	36	3,4
B	10	Pissarra	87	1,5
		Granit	13	3,4

Taula B.1. Càlcul de la conductivitat tèrmica del terreny

Establim així uns valors de conductivitat tèrmica en el terreny de 1,875 (W/mK).

B.1.2 Capacitat tèrmica

S'anomena capacitat tèrmica o calorífica (C) al quocient entre la calor que se subministra a un sistema i la variació de temperatura provocada.

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

Equació B.1

La capacitat tèrmica del terreny expressa la calor que és capaç d'emmagatzemar un volum de terreny en incrementar la seva temperatura. És per aquest motiu que es denomina "Capacitat" a aquesta magnitud, però també de l'oposició a aquest canvi de temperatura en la mesura en que com més gran sigui la capacitat tèrmica major ha de ser la calor subministrada per aconseguir la mateixa variació de temperatura podem parlar així de certa inèrcia tèrmica.

B.1.3 Difusivitat tèrmica del terreny

La difusivitat tèrmica (α) és una propietat que combina les dues anteriors i es defineix com el quocient entre la conductivitat tèrmica i la capacitat calorífica específica multiplicada per la densitat ρ del material, les seves unitats són els m^2/s .

$$\alpha = \frac{\lambda}{C \cdot \rho}$$

Equació B.2

A la Taula B.2. trobem aquesta propietat per diferents materials emprats a la construcció:

PROPIEDADES TÉRMICAS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y AISLANTES			
Material	Densidad (kg / m ³)	Calor específico (J / (kg·K))	Difusividad térmica (m ² /s) (x10 ⁻⁶)
Agua	1000	4186	0,139
Aire	1,2	1000	21,67
Aluminio	2700	909	85,16-94,53
Arcilla refractaria	2000	879	0,261
Arena seca	1400	795	0,296-0,521
Asfalto	2120	1700	0,205-0,211
Granito	2750	837	1,303
Hierro	7870	473	19,34
Níquel	8800	460	12,92
Oro	19330	130	122,65
Pizarra	2650	758	0,209
Yeso	1800	837	0,538

Taula B.2. Valors de difusivitat per diferents materials

El procediment per determinar el valor d'aquesta propietat va ser el mateix que el fet servir per la conductivitat tèrmica.

<i>Capa</i>	<i>Gruix (m)</i>	<i>Material</i>	<i>%</i>	<i>Difusivitat (m²/s) (x10⁻⁶)</i>
A	3,3	Argila	64	0,261
		Granit	36	1,303
B	8	Pissarra	87	0,209
		Granit	13	1,303

Taula B.3. Càlcul de la difusivitat tèrmica del terreny

Establim així un valor de difusivitat tèrmica en el terreny de $0,434 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

B.2 Disseny de l'intercanviador de calor

B.2.1 Selecció de la bomba de calor

A partir del càlcul de les càrregues tèrmiques de l'habitatge, que podeu trobar detallades a l'Annex A d'aquest projecte, ens hem decantat per l'adquisició de la bomba de calor GeoTHERM exclusiv VWS83/2 de la marca Vaillant. Podeu veure'n les principals característiques a la Taula B.4.

<i>Mode de funcionament</i>	<i>Capacitat tèrmica (kW)</i>	<i>Consum elèctric (kW)</i>
Calefacció	9,3	2,0
Refrigeració	6	1,8

Taula B.4. Característiques de la bomba de calor

El COP, així com la relació entre la calor absorbida o injectada al terreny, es calculen mitjançant les següents expressions:

$$\text{COP}_{\text{CALEFACCIÓ}} = \frac{Q_{\text{CALEFACCIÓ}}}{W_{\text{CALEFACCIÓ}}}$$

Equació B.3

$$Q_{\text{ABSORBIDA}} = Q_{\text{CALEFACCIÓ}} - W_{\text{CALEFACCIÓ}}$$

Equació B.4

$$\text{COP}_{\text{REFRIGERACIÓ}} = \frac{Q_{\text{REFRIGERACIÓ}}}{W_{\text{REFRIGERACIÓ}}}$$

Equació B.5

$$Q_{\text{INJECTADA}} = Q_{\text{REFRIGERACIÓ}} + W_{\text{REFRIGERACIÓ}}$$

Equació B.6

On:

$W_{\text{CALEFACCIÓ}}$: Consum elèctric en calefacció (kW)

$W_{\text{REFRIGERACIÓ}}$: Consum elèctric en refrigeració (kW)

$Q_{\text{CALEFACCIÓ}}$: Capacitat tèrmica de calefacció (kW)

$Q_{\text{REFRIGERACIÓ}}$: Capacitat tèrmica de refrigeració (kW)

$Q_{\text{ABSORBIDA}}$: Quantitat de calor absorbida del terreny (kW)

$Q_{\text{INJECTADA}}$: Quantitat de calor injectada al terreny (kW)

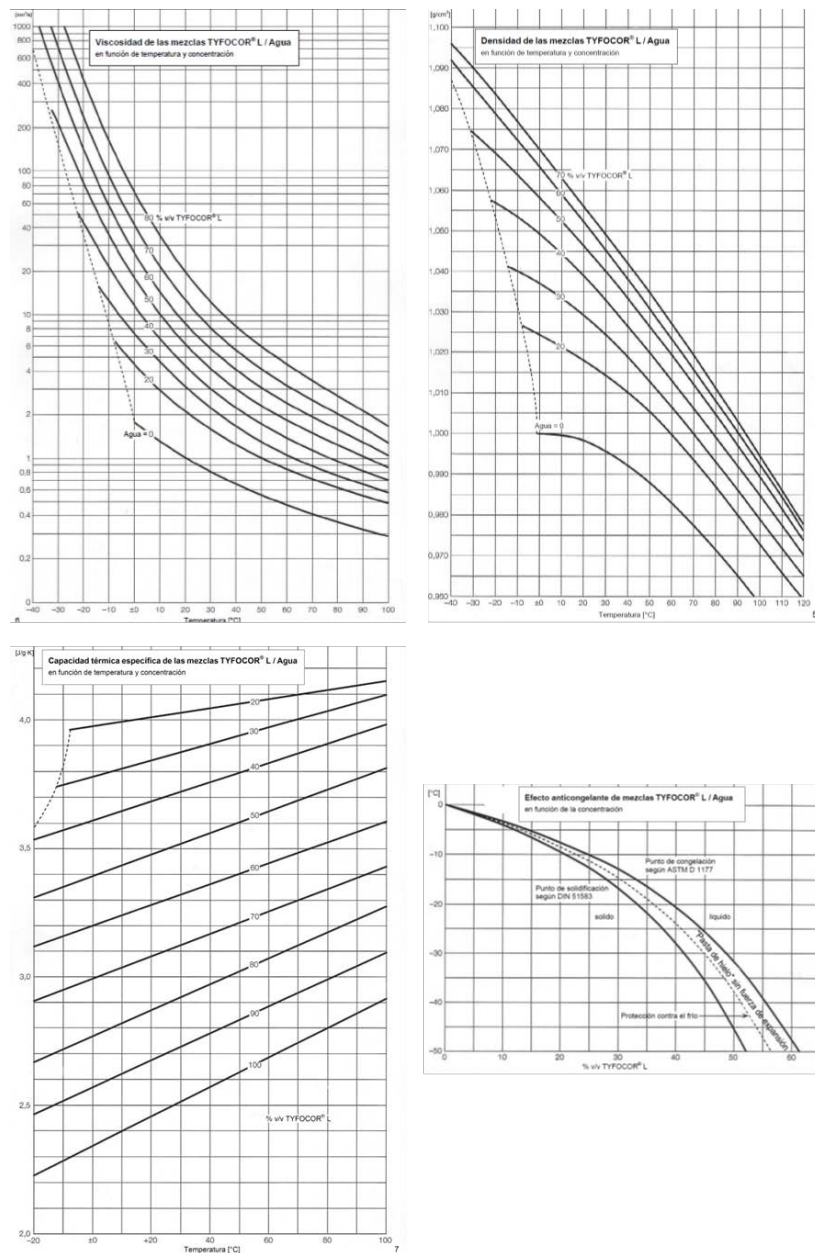
Aplicant els valors corresponents a la nostra bomba, obtenim:

$COP_{CALEFACCIÓ}$	$Q_{ABSORBIDA} (kW)$	$COP_{REFRIGERACIÓ}$	$Q_{INJECTADA} (kW)$
4,65	7,3	3,33	7,8

Taula B.5. Característiques calculades de la bomba de calor

B.2.2 Elecció del fluid circulant

Donada la baixa viscositat i l'alta transferència de calor del propilenglicol, el fluid refrigerant seleccionat va ser una barreja d'aigua destil·lada (80 %) amb propilenglicol (20 %), de la qual en podeu veure les propietats a la Imatge B.3., que es va fer servir per obtenir la Taula B.6.



Imatge B.3. Viscositat, densitat, capacitat tèrmica i punt de congelació amb diferents concentracions de propilenglicol

Viscositat (m^2/s)	Densitat (kg/m^3)	Calor específic ($J/kg \cdot K$)	Punt de congelació ($^{\circ}C$)
$2,5 \cdot 10^{-6}$	1020	4000	-12

Taula B.6. Propietats físiques de l'anticongelant

B.2.3 Disposició de l'intercanviador seleccionat

En el nostre cas no és possible dur a terme una captació horitzontal donada la limitació de superfície a la parcel·la, i tenint en compte la inexistència d'aigua subterrània que ens doni la possibilitat de fer una captació oberta, el mètode més adient segons les característiques del nostre projecte és un sistema de captació vertical.

B.2.4 Diàmetre de la canonada

Per determinar el diàmetre de les canonades i garantir un bon funcionament del circuit, la velocitat del fluid circulant ha de ser com a mínim de 0,6 m/s i no ha d'excedir els 2 m/s. Mitjançant l'Equació B.7 i la seva aplicació a la Taula B.7., establim que amb un diàmetre de 21 mm obtenim una velocitat dins dels paràmetres de disseny.

$$S = \frac{q}{v}$$

Equació B.7

On:

S: Superfície de la canonada (m^2)

q: Cabal per circuit captació de la bomba de calor (m^3/s)

v: Velocitat del fluid (m/s)

$V (m/s)$	$q (m^3/s)$	$S (m^2)$	$D (mm)$
0,6	$5,38 \cdot 10^{-4}$	$8,96 \cdot 10^{-4}$	33,78
0,8		$6,72 \cdot 10^{-4}$	29,26
1		$5,38 \cdot 10^{-4}$	26,17
1,2		$4,48 \cdot 10^{-4}$	23,89
1,4		$3,84 \cdot 10^{-4}$	22,12
1,6		$3,36 \cdot 10^{-4}$	20,69
1,8		$2,99 \cdot 10^{-4}$	19,50
2		$2,69 \cdot 10^{-4}$	18,50

Taula B.7. Velocitat en funció del diàmetre

També s'ha de garantir l'existència de turbulències del fluid dins del tub, de manera que s'afavoreixi el traspàs tèrmic entre el fluid que circula i la paret interior. Com més gran sigui la turbulència més gran serà l'intercanvi tèrmic. La condició que assegura la turbulència és l'expressió:

$$Re = \frac{4 \cdot q}{\pi \cdot \vartheta \cdot D} > 2.300$$

Equació B.8

On:

Re: Número de Reynolds

q: Cabal circulat (m^3/s) ϑ : Viscositat cinemàtica del fluid (m^2/s)

D: Diàmetre interior (m)

Aplicant uns valors de:

q	ϑ	D
$5,38 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$	$2,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	0,021 m

Taula B.8. Valors aplicats al càlcul del número de Reynolds

El número de Reynolds és de 13.047, podem establir, doncs, que el règim dins l'intercanviador és turbulent.

B.2.5 Dimensionament de l'intercanviador de calor soterrat

L'intercanvi de calor vindrà donat per la diferència de temperatures entre el sòl i el fluid que circuli per l'intercanviador, per tant, per dimensionar l'intercanviador de calor soterrat cal determinar aquestes temperatures.

B.2.5.1 Temperatura màxima i mínima del terra

A partir de les Equacions B.9 i B.10 hem calculat les temperatures màximes i mínimes del terra, que es donen durant l'any per a qualsevol profunditat.

$$T_H = T_m + A_s \cdot e^{\left(-x_s \cdot \sqrt{\frac{\pi}{\alpha}}\right)}$$

Equació B.9

$$T_L = T_m - A_s \cdot e^{\left(-x_s \cdot \sqrt{\frac{\pi}{\alpha}}\right)}$$

Equació B.10

On:

 T_H : Temperatura màxima del sòl ($^{\circ}\text{C}$)

T_L : Temperatura mínima del sòl ($^{\circ}\text{C}$)

T_m : Temperatura mitjana anual del sòl ($^{\circ}\text{C}$)

A_s : Oscil·lació de la temperatura superficial ($^{\circ}\text{C}$)

X_s : Profunditat d'estudi (cm)

α : Difusivitat tèrmica del terra (cm^2/any)

Per a trobar el valor de la temperatura mitjana anual del sòl hem fet servir la Taula G2 corresponent a l'apèndix G, del document CTE-DR/CC.AA-005/09, que conté les temperatures i humitats relatives mitjanes mensuals a les comarques de Catalunya.

Maresme	T_{med}	9,3	8,7	13,2	12,5	15,4	21,1	22,7	24,1	21,2	18,4	11,3	9,8
	HR_{med}	74	80	78	77	77	75	74	76	80	75	73	71

Imatge B.4. Temperatures i humitats relatives mitjanes mensuals al Maresme

Per a trobar el valor d'oscil·lació de la temperatura, hem fet servir la guia tècnica de condicions climàtiques exteriors, editada per IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía)

CONDICIONES PROYECTO CALEFACCIÓN (TEMPERATURA SECA EXTERIOR MÍNIMA)						
TSMIN ($^{\circ}\text{C}$)	TS _{99,6} ($^{\circ}\text{C}$)	TS ₉₉ ($^{\circ}\text{C}$)	OMDC ($^{\circ}\text{C}$)	HUM _{coin} (%)	OMA ($^{\circ}\text{C}$)	
-5,2	-0,2	1,2	11,8	75,2	33,8	

CONDICIONES PROYECTO REFRIGERACIÓN (TEMPERATURA SECA EXTERIOR MÁXIMA)							
TSMAX ($^{\circ}\text{C}$)	TS _{0,4} ($^{\circ}\text{C}$)	THC _{0,4} ($^{\circ}\text{C}$)	TS ₁ ($^{\circ}\text{C}$)	THC ₁ ($^{\circ}\text{C}$)	TS ₂ ($^{\circ}\text{C}$)	THC ₂ ($^{\circ}\text{C}$)	OMDR ($^{\circ}\text{C}$)
38,2	33,6	22,1	32,2	22,0	30,8	21,8	13,8

Imatge B.5. Condicions exteriors per refrigeració i calefacció

L'oscil·lació de la temperatura superficial és el valor mitjà entre la temperatura màxima (38,2 $^{\circ}\text{C}$) i la mínima (-5,2 $^{\circ}\text{C}$).

Aplicant a l'Equació B.9 i l'Equació B.10, tenim uns valors de:

A_s ($^{\circ}\text{C}$)	T_m ($^{\circ}\text{C}$)	α (m^2/s)	X_s (m)
1,7	15,64	$0,434 \cdot 10^{-6}$	15

Taula B.9. Valors aplicats al càlcul de les temperatures màximes i mínimes del terra

Obtenim la Taula B.10. on es pot observar que no hi ha variació de temperatura del terra al llarg de l'any.

T_H ($^{\circ}\text{C}$)	T_L ($^{\circ}\text{C}$)
15,65	15,62

Taula B.10. Temperatures màximes i mínimes del terra

B.2.6 Temperatures màximes i mínimes d'entrada del fluid a la bomba de calor

Un paràmetre clau que hem hagut de triar per dissenyar el sistema és la temperatura del fluid circulant per l'intercanviador de calor. Cal trobar el compromís òptim entre dues consideracions:

- Com més baixa sigui la temperatura a l'hivern (més alta a l'estiu), més gran serà la diferència amb la temperatura del sòl i menor haurà de ser l'intercanviador soterrat per al mateix intercanvi de calor, de manera que els costos d'inversió seran menors.
- Com més alta sigui la temperatura a l'hivern (més baixa a l'estiu), més gran serà el COP del sistema, de manera que l'estalvi energètic serà major.

En el mode de calefacció:

$$T_{\text{SOR}} = T_{\text{ENT}} - \frac{1000 \cdot Q_{\text{CAL}} \cdot \frac{\text{COP}_{\text{CAL}} - 1}{\text{COP}_{\text{CAL}}}}{C_P \left(\frac{q}{3600} \right)}$$

Equació B.11

Per a la refrigeració:

$$T_{\text{SOR}} = T_{\text{ENT}} + \frac{1000 \cdot Q_{\text{REF}} \cdot \frac{\text{COP}_{\text{REF}} + 1}{\text{COP}_{\text{REF}}}}{C_P \left(\frac{q}{3600} \right)}$$

Equació B.12

On:

T_{ENT} : Temperatura del fluid a l'entrada de la bomba de calor (°C)

T_{SOR} : Temperatura del fluid a la sortida de la bomba de calor (°C)

C_P : Calor específica del fluid (J/kg·K)

Aplicant a l'Equació B.11 els valors de la Taula B.11. en el mode calefacció s'obté una $T_{\text{SOR}} = 8,47$ °C.

$T_{\text{ENT}} (^{\circ}\text{C})$	$Q_{\text{CAL}} (\text{kW})$	COP_{CAL}	$C_P (\text{J/kg}\cdot\text{K})$	$q (\text{l/h})$
12	9,3	4,65	4000	1396

Taula B.11. Valors aplicats al càlcul de la temperatura de sortida de la bomba de calor en mode de calefacció

I fent servir l'Equació B.12 amb els valors de la Taula B.12. obtenim en el mode refrigeració una $T_{SOR} = 37,11 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

$T_{ENT} (^{\circ}\text{C})$	$Q_{REF} (\text{kW})$	COP_{REF}	$C_p (\text{J/kg}\cdot\text{K})$	$q (\text{l/h})$
30	6	3,33	4000	1396

Taula B.12. Valors aplicats al càlcul de la temperatura de sortida de la bomba de calor en mode de refrigeració

Aplicades a l'Equació B.13 i a l'Equació B.14 ens serviran per trobar el valors de les temperatures màximes i mínimes.

$$T_{MIN} = \frac{T_{ENT,CAL} + T_{SOR,CAL}}{2}$$

Equació B.13

$$T_{MAX} = \frac{T_{ENT,REF} + T_{SOR,REF}}{2}$$

Equació B.14

$T_{MIN} (^{\circ}\text{C})$	$T_{MAX} (^{\circ}\text{C})$
10,23	33,55

Taula B.13. Valors de les temperatures màximes i mínimes d'entrada del fluid a la bomba de calor

B.2.7 Càlcul de la resistència tèrmica dels tubs

L'Equació B.15 determina la resistència tèrmica de les canonades al flux de calor:

$$R_p = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot k_p} \cdot \ln\left(\frac{D_e}{D_i}\right)$$

Equació B.15

Amb els valors:

$k_p (\text{W/m}\cdot\text{K})$	$D_e (\text{m})$	$D_i (\text{m})$
0,43	0,025m	0,021m

Taula B.14. Valors aplicats al càlcul de la resistència tèrmica dels tubs

Obtenim una resistència tèrmica dels tubs de $81,13 \cdot 10^{-3} \text{ m}\cdot\text{K/W}$.

B.2.8 Càlcul de la resistència tèrmica del terra

El càlcul de la resistència tèrmica dels intercanviadors és una de les parts més delicades de tot el procés de disseny. La resistència tèrmica de l'intercanviador depèn del tipus de canonada, del tipus de sòl i del temps de funcionament d'aquest. L'expressió per al seu càlcul s'especifica a continuació:

$$R_s = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot E_i \left(\frac{r^2}{4 \cdot \alpha \cdot t} \right)}$$

Equació B.16

On:

λ : Conductivitat tèrmica del terreny (W/m·K)

E_i : Funció integral exponencial

r : Radi exterior de la canonada (m)

α : Difusivitat tèrmica del terreny (m²/s)

t : Temps d'utilització de l'intercanviador (h)

$$E_i \approx -\gamma - \ln x + A \cdot x - B^2 \cdot x^2 + C \cdot x^3 - D \cdot x^4 + E \cdot x^5$$

Equació B.17

On:

$\gamma = 0,577215664$ (Constant d'Euler)

$A = 0,99999193$

$B = 0,24991055$

$C = 0,05519968$

$D = 0,00976004$

$E = 0,00107857$

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

Obtenim una resistència tèrmica del terra de 0,8819 m·K/W.

B.2.9 Factor d'utilització

El factor d'utilització representa la fracció de temps que està en marxa la bomba de calor i, per tant, el temps de funcionament estacional de la instal·lació.

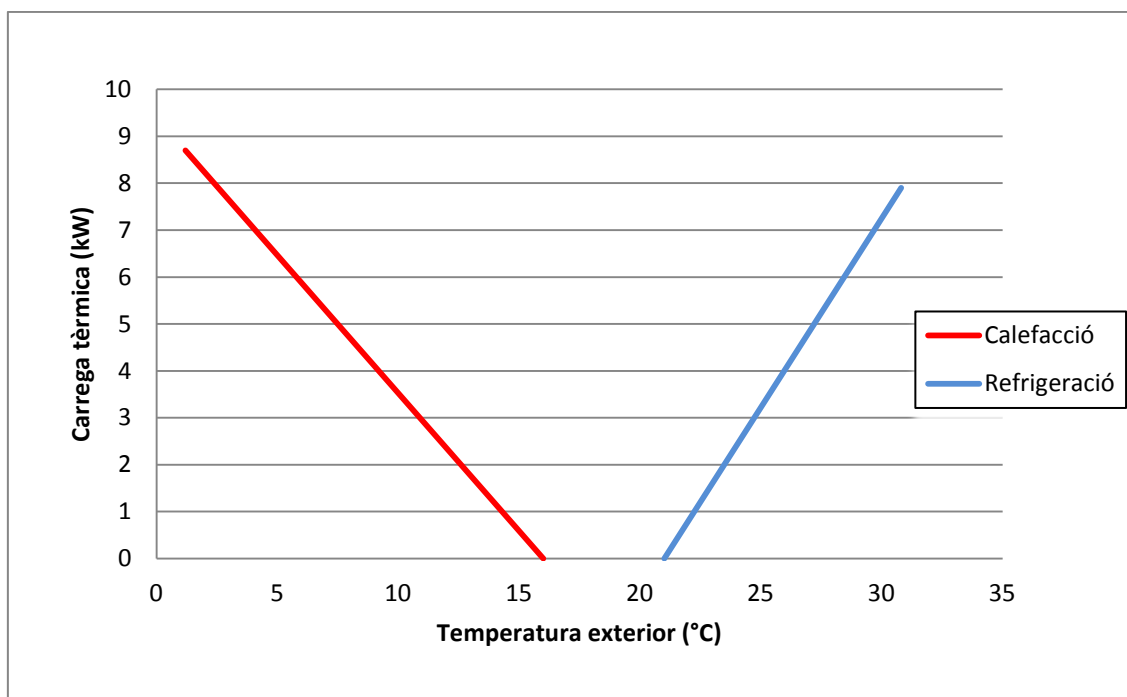
És un factor molt important, ja que determina la quantitat de calor que el sistema intercanvia amb el sòl al llarg de l'any, és a dir, la calor que s'extrau del subsòl en el mode de calefacció i el que s'injecta al subsòl en el mode de refrigeració.

La manera de calcular la càrrega tèrmica va ser assumir que aquesta és una funció lineal de la temperatura exterior. D'aquesta manera es va establir que, amb les temperatures exteriors establertes a l'annex A, les carreges tèrmiques són les màximes i que l'equip no entra en funcionament a no ser que la temperatura exterior baixi dels 16 °C en calefacció i que no es superin els 21 °C en refrigeració.

Mode	Temperatura exterior (°C)	Càrrega habitatge (kW)
Calefacció	1,2	8,7
	16	0
Refrigeració	21	0
	30,8	7,9

Taula B.15. Valors aplicats al càlcul del factor de funcionament de la bomba de calor

Amb les dades de la Taula B.15. hem elaborat el gràfic de la Imatge B.6. on podeu veure representades les rectes de les Equació B.18 i B.19.



Imatge B.6. Funcionament de la bomba segons la temperatura exterior

$$T \text{ Càrrega habitatge en calefacció} = -0,5878T_{\text{ext}} + 9,405$$

Equació B.18

$$\text{Càrrega habitatge en refrigeració} = 0,8061T_{\text{ext}} - 16,928$$

Equació B.19

Fent servir l'Equació B.18 i l'Equació B.19 hem elaborat la Taula B.16. que determina la fracció de funcionament per les diferents temperatures exteriors:

Mode	$T_{\text{ext}} (^{\circ}\text{C})$	Càrrega habitatge (kW)	Potència bomba (kW)	Fracció de funcionament
Calefacció	0,2	9,29	9,3	100%
	1,2	8,70	9,3	94%
	4	7,05	9,3	76%
	7	5,29	9,3	57%
	10	3,53	9,3	38%
	13	1,76	9,3	19%
	16	0	9,3	0%
Refrigeració	21	0	12,7	0%
	23	1,61	12,7	13%
	25	3,22	12,7	25%
	27	4,84	12,7	38%
	29	6,45	12,7	51%
	30,8	7,90	12,7	62%
	33	9,67	12,7	76%
	35	11,29	12,7	89%
	36,75	12,70	12,7	100%

Taula B.16. Fracció de funcionament per les diferents temperatures exteriors

Per determinar la fracció de marxa de la instal·lació cal conèixer la quantitat de temps en què la temperatura de l'aire exterior es troba dins d'un determinat interval. A les Taules B.17. i B.18. es mostren les distribucions de temperatures segons les hores del dia en els mesos de gener i agost.

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$T_{\text{ext}} (^{\circ}\text{C})$	9	8,6	8	7,6	7	6,8	7,7	8,9	9,5	10	10,5	10,9
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$T_{\text{ext}} (^{\circ}\text{C})$	11,5	12	12,2	11,3	10,7	9,9	9,4	9,3	9,3	9,2	9,2	9,1

Taula B.17. Evolució de les temperatures diàries al mes de gener

<i>Hora</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$T_{ext} (^{\circ}C)$	21,1	20,6	20,1	19,7	19,5	19,5	22	24,9	26,6	27,6	28	28,2
<i>Hora</i>	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$T_{ext} (^{\circ}C)$	28,4	28,5	28,5	28,1	27,8	27,3	26,6	25,4	24,4	23,6	22,6	21,8

Taula B.18. Evolució de les temperatures diàries al mes d'agost

Amb les dades de les taules anteriors hem elaborat les Taules B.19. i B.20. on hem calculat les hores de funcionament de la bomba de calor durant el mesos de gener i agost en funció de la temperatura exterior.

$T_{ext} (^{\circ}C)$	Hores dia	Hores mes	Càrrega habitatge (kW)	Potència de la bomba (kW)	Factor d'utilització	Hores de funcionament
5-5,9	0	0	6,17	9,3	66%	0,00
6-6,9	1	31	5,58	9,3	60%	18,61
7-7,9	3	93	5,00	9,3	54%	49,97
8-8,9	3	93	4,41	9,3	47%	44,09
9-9,9	9	279	3,82	9,3	41%	114,63
10-10,9	4	124	3,23	9,3	35%	43,11
11-11,9	2	62	2,65	9,3	28%	17,64
12-12,9	2	62	2,06	9,3	22%	13,72
13-13,9	0	0	1,47	9,3	16%	0,00

Taula B.19. Hores de funcionament en el mes de gener

$T_{ext} (^{\circ}C)$	Hores dia	Hores mes	Càrrega habitatge (kW)	Potència de la bomba (kW)	Factor d'utilització	Hores de funcionament
18-18,9	0	0	0,00	12,7	0%	0,00
19-19,9	2	62	0,00	12,7	0%	0,00
20-20,9	3	93	0,00	12,7	0%	0,00
21-21,9	2	62	0,40	12,7	3%	1,97
22-22,9	2	62	1,21	12,7	10%	5,90
23-23,9	1	31	2,02	12,7	16%	4,92
24-24,9	2	62	2,82	12,7	22%	13,77
25-25,9	1	31	3,63	12,7	29%	8,85
26-26,9	2	62	4,43	12,7	35%	21,64
27-27,9	3	93	5,24	12,7	41%	38,37
28-28,9	6	186	6,05	12,7	48%	88,55
29-29,9	0	0	6,85	12,7	54%	0,00

Taula B.20. Hores de funcionament en el mes d'agost

Un vegada conegudes les hores de funcionament de la bomba de calor només ens queda aplicar l'Equació B.20 als valors corresponents:

$$F = \frac{\text{Hores funcionament}}{\text{Hores mes}}$$

Equació B.20

Gener			Agost		
Hores funcionament	Hores mes	$F_{\text{CALEFACCIÓ}}$	Hores funcionament	Hores mes	$F_{\text{REFRIGERACIÓ}}$
301,76	744	0,406	184	744	0,247

Taula B.21. Resultat del càlcul del factor de funcionament de la bomba de calor

B.2.10 Longitud del captador

A partir de tots els paràmetres establerts anteriorment, la longitud de l'intercanviador de calor es pot determinar per a calefacció i refrigeració mitjançant les següents expressions:

$$L_{\text{CAL}} = \frac{Q_{\text{CAL}} \cdot \frac{\text{COP}_{\text{CAL}} - 1}{\text{COP}_{\text{CAL}}} (R_P + R_S \cdot F_{\text{CAL}})}{T_L - T_{\text{MIN}}}$$

Equació B.21

On aplicarem els valors de la taula següent:

$Q_{\text{CAL}} (W)$	COP_{CAL}	$R_P (m \cdot K/W)$	$R_S (m \cdot K/W)$	F_{CAL}	$T_L (^\circ C)$	$T_{\text{MIN}} (^\circ C)$
9.300	4,65	$81,13 \cdot 10^{-3}$	0,8819	0,406	15,62	10,23

Taula B.22. Valors usats en el càlcul de la longitud de l'intercanviador en mode de calefacció

$$L_{\text{REF}} = \frac{Q_{\text{REF}} \cdot \frac{\text{COP}_{\text{REF}} + 1}{\text{COP}_{\text{REF}}} (R_P + R_S \cdot F_{\text{REF}})}{T_{\text{MAX}} - T_H}$$

Equació B.22

On aplicarem els valors de la taula següent:

$Q_{\text{REF}} (W)$	COP_{CAL}	$R_P (m \cdot K/W)$	$R_S (m \cdot K/W)$	F_{REF}	$T_H (^\circ C)$	$T_{\text{MAX}} (^\circ C)$
6000	3,33	$81,13 \cdot 10^{-3}$	0,8819	0,247	15,65	33,55

Taula B.23. Valors usats en el càlcul de la longitud del l'intercanviador en mode de refrigeració

Obtenim que la longitud del captador en mode de calefacció és de 554,8 metres i de 89,32 metres per a la refrigeració, i és la més gran de totes dues la necessària per a un correcte funcionament de la instal·lació.

B.3 Informació complementària de l'energia geotèrmica

B.3.1 Breu història de l'energia geotèrmica

Les restes arqueològiques més antigues relacionades amb l'energia geotèrmica van ser trobades a Niisato, al Japó, i són objectes tallats en pedra volcànica que daten de la Tercera Glaciació, fa entre 15.000 i 20.000 anys.

Les primeres civilitzacions, uns 3.500 anys aC, apreciaven la pràctica dels banys termals, però van ser grecs i, posteriorment, els romans els que van deixar nombrosos exemples de l'aplicació de l'energia geotèrmica a la calefacció urbana i en les tradicionals termes i banys públics, que es van convertir en gegantins centres d'oci, salut i negoci.

A partir del segle XIX, els avenços tècnics i el millor coneixement del subsòl, permet buscar cada vegada a major profunditat i explotar cada vegada millor la calor de la Terra.

El descobriment el 1818 de sals de bor a Larderello, Toscana (Itàlia), va marcar l'inici de la utilització industrial dels recursos geotèrmics. Gràcies a la indústria de l'àcid bòric, el 1904 es va aconseguir la generació d'electricitat a partir de vapor geotèrmic i el 1913 va entrar en funcionament una central de 250 kW. Avui en dia, aquesta central produeix 4.800 MW anuals, representa el 10 % de la producció mundial i proveeix electricitat a un milió de persones.



Imatge B.7. Sondejos geotèrmics a l'antiga planta de Larderello

La primera xarxa moderna de calefacció urbana alimentada per energia geotèrmica es va instal·lar a Reykjavík, Islàndia, el 1930. Des de llavors, xarxes de calefacció que utilitzen l'energia geotèrmica es troben en funcionament a França, Itàlia, Hongria, Romania, Rússia, Turquia, Geòrgia, Xina, Estats Units i la pròpia Islàndia, on avui en dia, el 95 % dels habitants de l'illa tenen calefacció per mitjà d'una xarxa de 700 km de canonades aïllades que transporten aigua calenta.

La primera instal·lació amb bomba de calor geotèrmica en un habitatge va entrar en funcionament el 1945 a Indianapolis, i el 1949 se'n va instal·lar una altra en una casa experimental a la Universitat de Toronto, Canadà.

A partir la dècada dels setanta, com a conseqüència dels preus del cru, però sobretot a partir de la dècada dels noranta, sota la pressió de les exigències ambientals i, més particularment, de la reducció de les emissions de CO₂ a l'atmosfera, l'ús de bombes de calor geotèrmiques comença a conèixer un desenvolupament prometedori a nivell internacional. En menys de 15 anys s'ha arribat a la situació actual, amb més d'un milió d'instal·lacions.

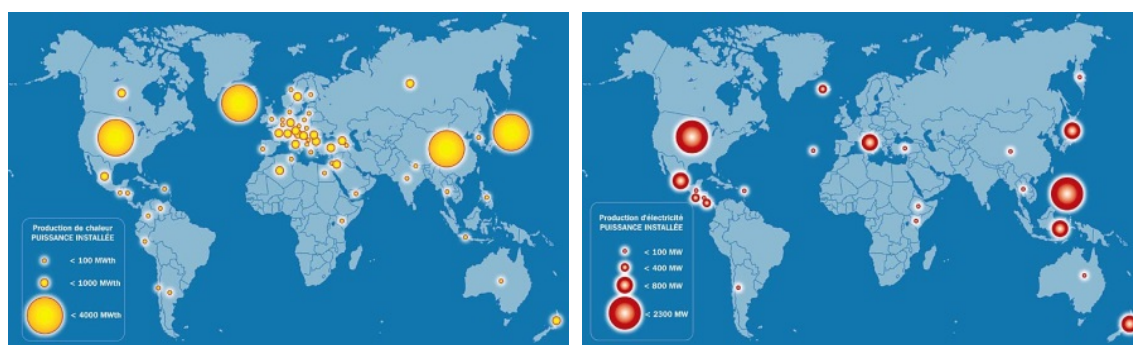
B.3.2 Geotèrmia a l'actualitat

L'ús actual de l'energia geotèrmica representa encara un percentatge molt petit en el sistema energètic mundial, ja que els jaciments termals són pocs i estan situats en indrets molt concrets. Tanmateix, ja es fa servir en una quarantena de països per a cobrir una part de la seva demanda elèctrica i de climatització.

Els usos geotèrmics més estesos es troben en els països del nord d'Europa, on les fonts de calor subterrànies són molt abundants, tot i que també hi ha recursos geotèrmics aprofitables al Japó, França, Canadà, Estats Units, Xile, Grècia, Kènia, Índia i Nova Zelanda, entre d'altres.

La potència mundial energètica instal·lada en geotèrmia d'alta temperatura per a la producció d'electricitat és d'uns 9.000 MW (una central nuclear convencional té una potència d'uns 1.000 MW), 2.600 als Estats Units. La potència global s'estima en uns 73.000 MW, xifra que pot arribar als 138.000 MW amb la millora de la tecnologia.

A Espanya, hi ha diferents zones que tenen potencial geotèrmic de baixa temperatura, si bé els jaciments no s'aprofiten encara amb finalitats energètiques. Els únics indrets on hi ha un potencial energètic d'alta temperatura estan situats a l'arxipèlag volcànic de les Illes Canàries, on s'està investigant la construcció d'una central elèctrica. A l'illa de Mallorca, concretament al municipi de Lluçmajor, hi ha un pou geotèrmic d'uns 700 m de profunditat a una temperatura d'uns 70 °C.



Imatge B.8. Mapa del països amb aprofitament de calor geotèrmica i productors d'energia elèctrica geotèrmica

B.3.3 A Catalunya

L'estudi de l'energia geotèrmica a Catalunya va ser objecte d'un gran nombre de treballs i inversions durant els anys vuitanta, arran de la crisi del petroli. L'Instituto Geológico y Minero de España (IGME) va elaborar l'Inventario Nacional de Manifestaciones Geotérmicas (1976), i a Catalunya es van fer diferents reculls dels punts termals.

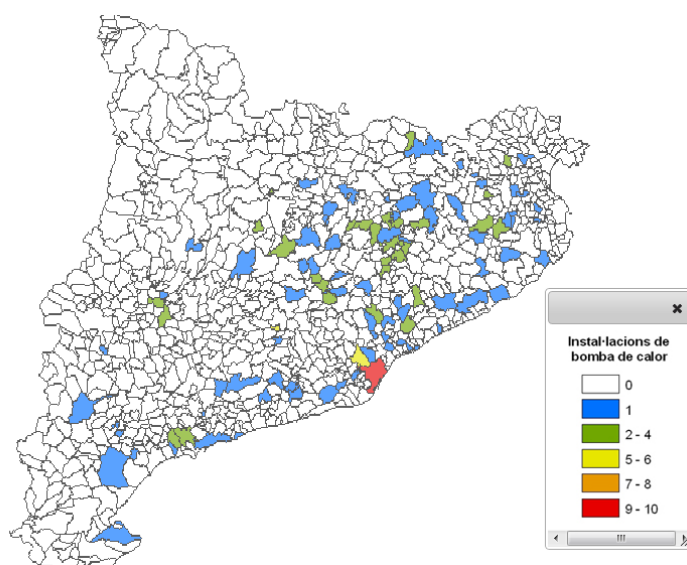
L'interès creixent per les àrees potencialment geotèrmiques de Catalunya, va fer que l'IGME iniciés estudis a la zona del Vallès (entre Sentmenat i Samalús), on les surgències termals brollaven a una temperatura entre 60 °C (la Garriga) i 70 °C (Caldes de Montbui). L'estructura geològica de l'àrea del Vallès (falla occidental del Vallès i encavalcament granític prelitoral) afavoria la regió com a possible zona de jaciment geotèrmic. El Vallès Occidental va ser declarat Reserva Geotèrmica i es va dur a terme la perforació del primer pou de prospecció geotèrmica a Samalús (1981).

Les depressions d'Olot i la Selva també es van considerar àrees d'interès i, juntament amb l'Empordà, es van unificar com la Reserva Geotèrmica d'Olot.

L'àrea de Sant Cugat va ser objecte d'interès i l'empresa ENHER, conjuntament amb l'IGME, va fer un estudi detallat de l'anomalia geotèrmica de Sant Cugat, on es va perforar un pou de control piezomètric (1983) i un pou de producció (1984).

A principis dels anys noranta i coincidint amb l'abaratiment del preu del petroli, es van abandonar els estudis sobre l'energia geotèrmica.

Actualment, a Catalunya, l'energia geotèrmica encara és força desconeguda i poc considerada, tot i que recentment amb l'auge de les energies renovables torna a ser objecte d'estudi i l'aplicació en la climatització d'edificacions està en plena expansió. La Generalitat de Catalunya en promou la utilització en habitatges i equipaments, alguns tan emblemàtics com el fa poc inaugurat Hospital de Mollet, que utilitza bombes de calor geotèrmica per a la climatització.



Imatge B.9. Mapa d'instal·lacions de bombes de calor geotèrmiques

El mapa de la Imatge B.10. mostra les instal·lacions de climatització geotèrmica que han estat inventariades per l'Institut Català d'Energia (ICAEN). L'inventari d'instal·lacions està encara en fase d'elaboració, per tant, el mapa és susceptible d'actualitzacions. Aquest tipus d'instal·lacions està en ple creixement a Catalunya i, exemples com el nou Hospital de Mollet o el Mercat de Sant Antoni a Barcelona, reflecteixen l'interès que ha despertat l'aplicació de l'energia geotèrmica a la climatització de grans equipaments.

B.3.4 Potencial del recurs geotèrmic

Degut a la calor interna de la terra, la mitjana del flux cap a la superfície és de 82 mW/m^2 , el qual suma una pèrdua de calor de 42 milions de MW. La calor total continguda dins la terra és de l'ordre de $12,6 \cdot 10^{24} \text{ MJ}$, de la qual $5,4 \times 10^{21} \text{ MJ}$ pertany a l'escorça. Aquest número es pot comparar amb la generació mundial d'electricitat el 2007 de $7,1 \cdot 10^{13} \text{ MJ}$. De mitjana, el gradient geotèrmic de la terra es troba entre els 25 i els 30°C/km ; així, assumint un gradient convectiu, la temperatura de la terra a 10 km estaria per sobre els 3000°C . Malgrat això, la major part de l'exploració i usos geotermals ocorren on el gradient és més elevat, i d'aquesta manera es perfora més proper a la superfície el qual és menys costós. Les causes d'aquests recursos geotermals de superfície són les següents:

- Intrusió magmàtica aportant grans quantitats de calor.
- Gran superfície de flux de calor a causa d'una escorça prima i un elevat gradient de temperatura.
- Ascensió d'aigua subterrània que ha estat circulant en profunditat (km) i ha estat escalfada pel gradient normal de temperatura.
- Aïllament tèrmic de roques profundes per grans formacions de pissarres suprajacents, la conductivitat de les quals és baixa i provoca l'acumulació del flux ascendent de calor i evita que es perdi per superfície.
- Anomalies tèrmiques de roques superficials per desintegració radioactiva d'elements, potser intensificat per aïllament tèrmic.

A la base de l'escorça continental el rang de temperatures va de 200 a 10000°C i en el centre de la terra pot ser de 3500 a 4500°C . La calor és transferida des de l'interior cap a la superfície, en gran part per conducció. Amb la mitjana de gradient geotèrmic, un pou d'1 km en formació de roca seca tindria una temperatura de fons entre 40 - 45°C en moltes parts del món (assumint una temperatura anual de l'aire de 15°C) i un pou de 3 km de 90 - 100°C .

Es considera que és possible produir més del 8.3 % de l'electricitat mundial total amb recursos geotèrmics i servir al 17 % de la població mundial. Trenta nou països localitzats a l'Àfrica, Centre i Sud Amèrica i el Pacífic poden obtenir potencialment el 100 % de la seva electricitat amb recursos geotèrmics.

B.3.5 El gradient geotèrmic

La temperatura, que podem mesurar als primers quilòmetres de l'escorça, augmenta amb la profunditat seguint una progressió mitjana de 3°C cada 100 metres de fondària. La relació entre la variació de temperatura i la fondària rep el nom de gradient geotèrmic.

A més de la calor natural de fons deguda als diferents processos físics i químics que tenen lloc a l'interior del planeta, hi ha altres factors que intervenen en l'equació tèrmica.

- Factors regionals: el context geològic i estructural a escala regional condiciona la distribució de temperatures, així en zones amb vulcanisme actiu o en àrees amb apimament litosfèric, el gradient geotèrmic és més elevat que en altres zones sense activitat volcànica o amb un gruix litosfèric superior a la mitjana.
- Factors locals: les diferències entre les propietats tèrmiques de les roques, com la conductivitat tèrmica, produeixen importants variacions laterals i verticals del gradient geotèrmic. El factor que més condiciona el valor del gradient geotèrmic és la circulació subterrània d'aigua, doncs aquesta té la capacitat de redistribuir la calor. Així, en zones de recàrrega d'aqüífers el gradient geotèrmic disminueix a causa de la circulació descendent de l'aigua més freda, mentre que a les zones de descàrrega succeeix el contrari (ascens d'aigua profunda més calenta). Les estructures geològiques també poden condicionar el gradient geotèrmic en àrees molt reduïdes, ja que localment l'aigua subterrània pot ascendir des de zones profundes a través de plans de fractura, produint així anomalies tèrmiques molt intenses. Per tant, el valor del gradient geotèrmic, a més de dependre de la fondària també varia en funció del context geològic i estructural, les diferències de propietats tèrmiques de les roques i la circulació de les aigües subterrànies.

B.3.6 Classificació i usos

Existeixen diferents classificacions per l'energia geotèrmica, però la més habitual és la classificació per temperatures (entalpia). A continuació podem veure aquesta classificació i les seves diferents utilitzacions.

B.3.6.1 D'alta temperatura

Existeixen en les zones més actives de l'escorça de la Terra a temperatures superiors a 150 °C. Són jaciments dels quals se'n pot extreure prou calor per produir energia elèctrica a partir de vapor d'aigua. Es localitzen principalment en zones amb gradients geotèrmics (relació entre la variació de temperatura i la fondària) elevats i es situen a profunditats molt variables.

B.3.6.2 De mitjana temperatura

Generalment assoleixen temperatures que oscil·len entre els 100 i els 150 °C, la qual cosa permet el seu aprofitament per a producció d'electricitat, però amb un rendiment menor que els d'alta temperatura. L'aprofitament també pot ser directe en forma de calor per a sistemes de calefacció urbans o usos industrials. Es localitzen en àrees amb un context geològic i estructural favorable i un gradient superior a la mitjana.

B.3.6.3 De baixa temperatura

Assoleixen temperatures que oscil·len entre els 30 i els 100 °C. La seva utilització es centra en usos tèrmics en sistemes de calefacció urbans, en processos industrials i en balnearis. Es localitzen habitualment en zones amb un context geològic favorable amb presència d'aqüífers profunds, tot i que el gradient pot ser proper al gradient mitjà.

B.3.6.4 De molt baixa temperatura.

Són els jaciments als quals la temperatura és inferior als 30 °C. Se solen utilitzar com a intercanviadors tèrmics en sistemes de climatització mitjançant bomba de calor. Aquests jaciments es poden localitzar a qualsevol punt, ja que el gradient geotèrmic només condiciona l'eficiència del sistema.

Annex C

DISSENY I CÀLCUL DE LA INSTAL·LACIÓ DE TERRA RADIANT

C. DISSENY I CàLCUL DE LA INSTAL·LACIÓ DE TERRA RADIANT

C.1 Càlcul de les temperatures i cabals

C.1.1 Càlcul de la temperatura mitjana superficial del paviment

Aplicant l'Equació 5.1 de la memòria d'aquest projecte hem obtingut la taula següent:

Habitació	$S (m^2)$	$Q (w)$	$q (W/m^2)$	$\theta_i (^\circ C)$	$\theta_{F,m} (^\circ C)$
Menjador	27,95	1917,34	68,60	21	27,1
Rebedor	7,37	484,66	65,76	20	26,2
Lavabo	2,6	395,95	152,29	18	30
Cuina	21	1859,47	88,55	21	28,9
Dormitori 1	24,3	1043,01	42,92	21	24,8
Bany 1	6,6	537,21	81,40	22	29,3
Dormitori 2	10,7	433,10	40,48	21	24,6
Bany 2	5,3	471,98	89,05	22	30
Dormitori 3	11,4	363,45	31,88	21	23,8
Estudi	23,7	980,22	41,36	21	24,6

Taula C.1. Temperatura mitjana superficial del paviment

C.1.2 Temperatura d'impulsió del fluid calefactor

Aplicant l'Equació 5.2 de la memòria d'aquest projecte hem dissenyat la taula següent:

Habitació	$q (W/m^2)$	$\theta_{F,m} (^\circ C)$	$\theta_m (^\circ C)$
Menjador	68,60	27,1	34,86
Rebedor	65,76	26,2	33,29
Lavabo	152,29	30	48,77
Cuina	88,55	28,9	38,89
Dormitori 1	42,92	24,8	29,67
Bany 1	81,40	29,3	38,44
Dormitori 2	40,48	24,6	29,18
Bany 2	89,05	30	39,99
Dormitori 3	31,88	23,8	27,44
Estudi	41,36	24,6	29,36

Taula C.2. Temperatura d'impulsió del fluid calefactor

C.1.3 Càlcul del cabal d'aigua

Aplicant l'Equació 5.3 de la memòria d'aquest projecte hem dissenyat la taula següent:

Habitació	Q (kcal/h)	Q (l/s)	Q (m ³ /h)
Menjador	1649,71371	0,0458	0,1650
Rebedor	417,011874	0,0116	0,0417
Lavabo	340,684	0,0095	0,0341
Cuina	1599,92109	0,0444	0,1600
Dormitori 1	897,424297	0,0249	0,0897
Bany 1	462,228437	0,0128	0,0462
Dormitori 2	372,650933	0,0104	0,0373
Bany 2	406,097016	0,0113	0,0406
Dormitori 3	312,71883	0,0087	0,0313
Estudi	843,397189	0,0234	0,0843

Taula C.3. Càlcul del cabal d'aigua per les habitacions

C.2 Disseny de la instal·lació hidràulica

C.2.1 Selecció de les canonades pels circuits radiants

Aplicant els criteris descrits a l'apartat 5.9 i l'Equació 5.4 de la memòria d'aquest projecte, segons els diàmetres disponibles a la Taula C.4., hem elaborat la Taula C.5., que correspon a una canonada Wirsbo-evalPEX 32x2,9.

Wirsbo-evalPEX - Rango de dimensiones					
Dimensión	Diámetro int. (mm)	Diámetro ext. (mm)	Tamaño rollo (m)	Tamaño barra (m)	Peso Kg/100m
12x2	8	12	100	-	6,0
16x2	12	16	200	-	8,8
17x2	13	17	200	-	10,2
20x2	16	20	240	-	11,7
25x2,3	20,4	25	25	-	18,2
32x2,9	26,2	32	100	6	27,4
40x3,7	32,6	40	100	6	42,9
50x4,6	40,8	50	100	6	65,8
63x5,8	51,4	63	100	6	103,8
75x6,8	61,4	75	50	6	146,8
90x8,2	73,6	90	50	6	210,0
110x10,0	90	110	50	6	311,3

Taula C.4. Característiques de les canonades radiants disponibles

<i>Circuit</i>	<i>Q (m³/s)</i>	<i>v (m/s)</i>
C.1.1	0,0754	1,40
C.1.2	0,0895	1,66
C.1.3	0,0341	0,63
C.1.4	0,0847	1,57
C.1.5	0,0753	1,40
C.2.1	0,0373	0,69
C.2.2	0,0313	0,58
C.2.3	0,0868	1,61
C.2.4	0,0897	1,66
C.3.1	0,0399	0,74
C.3.2	0,0444	0,82

Taula C.5. Velocitats de les canonades dels circuits radiants

C.2.2 Selecció del diàmetre de les canonades pels circuits d'impulsió

Aplicant els mateixos criteris que en l'apartat anterior hem elaborat la Taula C.6.

<i>Planta</i>	<i>Q (m³/s)</i>	<i>D (mm)</i>	<i>v (m/s)</i>
Baixa	0,111	32,6	1,33
Pis	0,068	26,2	1,26
Sota coberta	0,023	26,2	0,43

Taula C.6. Velocitats de les canonades dels circuits d'impulsió

C.3 Pèrdues de càrrega

C.3.1 Pèrdues de càrrega primàries al circuit d'impulsió

Hem calculat les pèrdues de càrrega primària tal i com expressa la fórmula de Darcy-Weisbach mostrada en l'Equació C.1.

$$H_r = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Equació C.1

On:

H_r : Pèrdua de càrrega primària (m.c.a.)

λ : Coeficient de fricció

L : Longitud de canonada (m)

D : Diàmetre interior de la canonada (m)

v : Velocitat del fluid (m/s)

g : Gravetat (m/s^2)

Abans de fer el càlcul de la pèrdua de càrrega primària, és necessari determinar el coeficient de fricció. Aquest coeficient es pot calcular de diverses maneres. La forma escollida, en aquest cas, ha estat mitjançant el Diagrama de Moody, com es mostra a la Imatge C.1.

Per treballar amb aquest diagrama hem de conèixer tant el número de Reynolds (Re) com la rugositat relativa (ε) de la nostra canonada de polietilè reticulat.

El número de Reynolds és un paràmetre adimensional, que segons el seu valor, indica en quin règim es troba el fluid: laminar o turbulent. El seu valor es pot calcular mitjançant l'equació:

$$Re = \frac{v \cdot D}{\vartheta}$$

Equació C.2

On:

Re : Número de Reynolds

v : Velocitat mitjana del fluid circulant (m/s)

D : Diàmetre interior (m)

ϑ : Viscositat cinemàtica del fluid (m^2/s)

El valor de rugositat relativa l'obtenim aplicant l'equació:

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

Equació C.3

On:

ε : Rugositat relativa

K : Rugositat absoluta (m)

D : Diàmetre de la canonada (m)

Aplicant uns valors constants de:

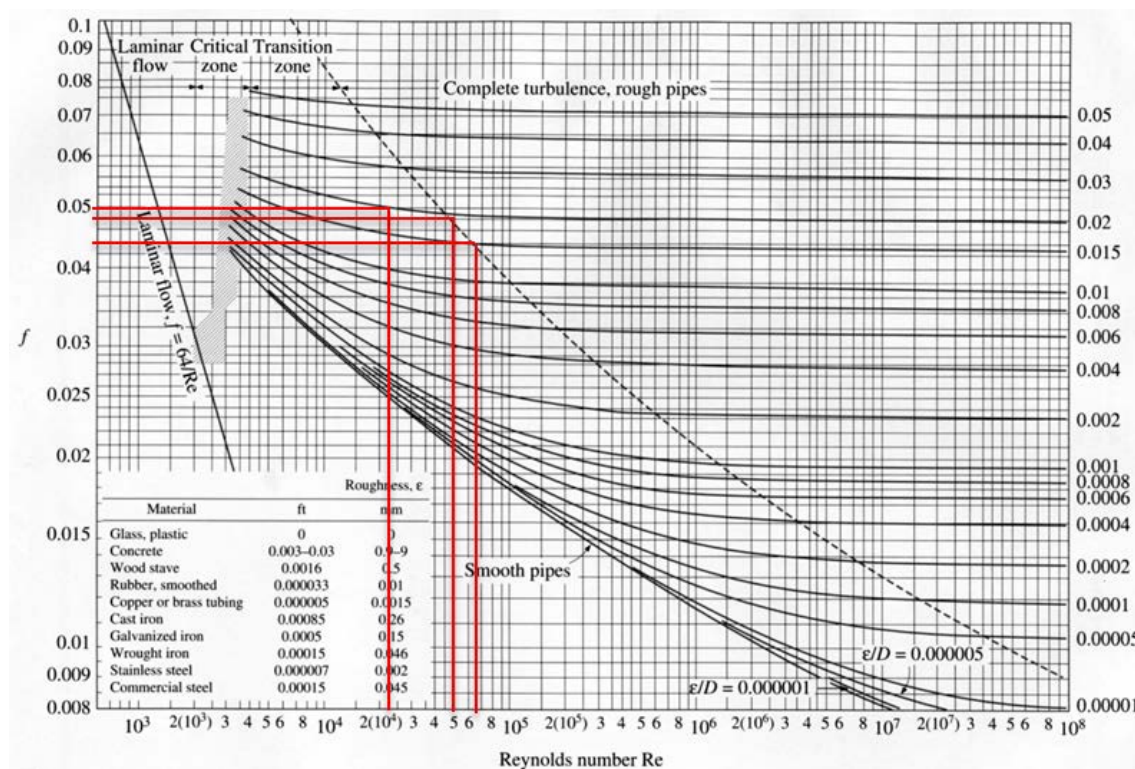
$K(m)$	$\vartheta (m^2/s)$	$g (m/s^2)$
0,0005	$6,61 \cdot 10^{-7}$	9,81

Taula C.7. Valors aplicats al càlcul del coeficient de fricció

A la Taula C.8. es representen els valors amb què entrem al Diagrama de Moody de la Imatge C.1.:

<i>Planta</i>	<i>Re</i>	ε
Baixa	65586	0,0153
Pis	49994	0,0191
Sota coberta	16910	0,0191

Taula C.8. Valors aplicats a la representació al diagrama de Moody



Imatge C.1. Representació dels valors al diagrama de Moody

Finalment apliquem l'Equació C.1 per obtenir la taula on veiem les pèrdues de càrrega primàries al circuit d'impulsió:

<i>Planta</i>	λ	L (m)	D (m)	v (m/s)	Hr (m.c.a)
Baixa	0,0447	26,44	0,0326	1,330	0,3271
Pis	0,0486	29,8	0,0262	1,261	0,4479
Sota coberta	0,5005	33,1	0,0262	0,427	0,5865

Taula C.9. Pèrdues de càrrega primàries al circuit d'impulsió

C.3.2 Pèrdues de càrrega primàries al circuit de distribució

El procediment per al càlcul de les pèrdues de càrrega primàries al circuit de distribució serà el mateix que hem seguit a l'apartat anterior, és per aquest motiu que no detallem el procés de càlcul.

$D(m)$	$K(m)$	$\vartheta(m^2/s)$	$g(m/s^2)$
0,0262	0,0005	$6,61 \cdot 10^{-7}$	9,81

Taula C.10. Valors aplicats al càlcul de les pèrdues de càrrega primàries al circuit de distribució

Circuit	$v(m/s)$	Re	λ	$L(m)$	$Hr(m.c.a)$
C.1.1	1,40	55460,361	0,0485	62,70	1,16
C.1.2	1,66	65827,114	0,0484	74,42	1,93
C.1.3	0,63	25047,196	0,0493	27,23	0,1
C.1.4	1,57	62265,708	0,0484	60,60	1,41
C.1.5	1,40	55360,996	0,0485	53,88	0,99
C.2.1	0,69	27397,415	0,0492	65,35	0,3
C.2.2	0,58	22991,187	0,0495	57,10	0,18
C.2.3	1,61	63839,562	0,0484	35,50	0,87
C.2.4	1,66	65978,918	0,0484	90,09	2,35
C.3.1	0,74	29341,536	0,0491	50,76	0,27
C.3.2	0,82	32665,292	0,0490	56,51	0,37

Taula C.11. Valors obtinguts com a pèrdues de càrrega primàries al circuit de distribució

C.3.3 Pèrdues de càrrega secundàries al circuit d'impulsió

A més de les pèrdues de càrrega per fregament, es produeixen altres tipus de pèrdues que s'originen en punts singulars de les canonades (canvis de direcció, colzes, juntes ...) i que es deuen a fenòmens de turbulència. La suma d'aquestes pèrdues de càrrega accidentals o localitzades més les pèrdues primàries donen les pèrdues de càrrega totals. Cada circuit disposarà dels accessoris necessaris, com ara colzes, maneguets, etc., que provocaran una pèrdua de càrrega a la instal·lació. Per tal de determinar la pèrdua total que hi haurà en cada circuit disposem de la Taula C.12. on trobem la quantitat de metres equivalents en funció del tipus d'accessori i del diàmetre.

PÉRDIDAS DE CARGA EN ACCESORIOS [m de tubería equivalente] DIÁMETRO EXTERIOR DE LA TUBERÍA WIRSBO-EVALPEX											
TIPO DE ACCESORIO	16	17	20	25	32	40	50	63	75	90	110
Manguito de unión	0,00	0,00	0,04	0,05	0,07	0,09	0,11	0,16	0,21	0,26	0,35
Manguito reducido	0,53	-	0,88	1,14	1,49	1,75	2,28	3,50	4,03	5,25	7,00
Codo	0,88	-	1,10	1,33	1,77	2,31	2,99	3,40	3,52	3,87	5,15
Te	0,26	-	0,35	0,53	0,70	0,88	1,05	1,23	1,40	1,58	1,75
Llave de corte	2,35	-	3,05	3,99	5,06	6,06	7,93	9,64	11,71	15,40	18,90

Taula C.12. Pèrdues de càrrega en accessoris

Considerant els elements necessaris per a la nostra instal·lació obtenim la Taula C.13.:

Planta	Colzes	Maneguet d'unió	Vàlvula de pas	Longitud equivalent (m)
Baixa	18	2	1	47,82
Pis	22	2	1	57,06
Sota coberta	18	2	1	47,82

Taula C.13. Longitud total de metres equivalents

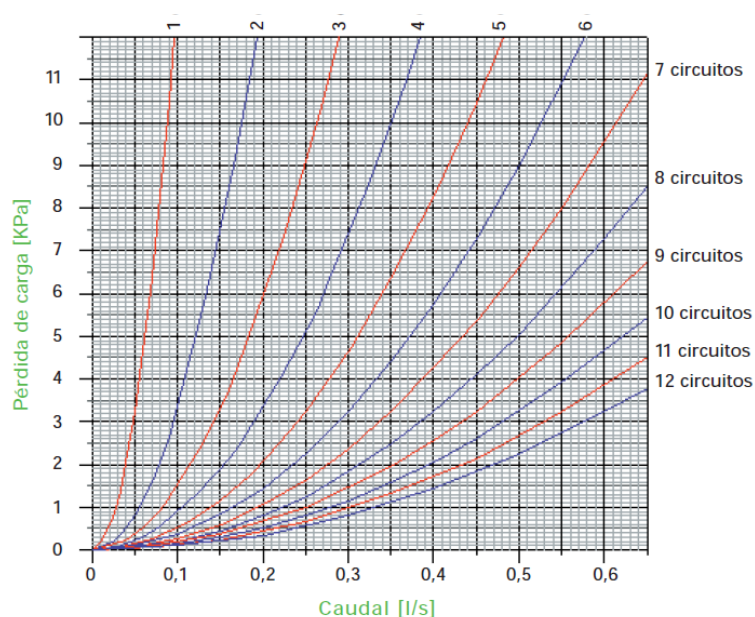
Amb aquesta longitud tornem a aplicar l'Equació C.1 i obtenim la Taula C.14.:

Planta	λ	L (m)	d (m)	v (m/s)	g (m/s ²)	H_r (m.c.a)
Baixa	0,0447	47,82	0,0326	1,330	9,81	0,59
Pis	0,0486	57,06	0,0262	1,261	9,81	0,86
Sota coberta	0,5005	47,82	0,0262	0,427	9,81	0,85

Taula C.14. Pèrdues de càrrega secundàries al circuit d'impulsió

C.3.4 Pèrdues de càrrega secundàries al circuit de distribució

En aquest tram de la instal·lació hem considerat les pèrdues de càrrega que es donaran als col·lectors instal·lats a cada planta.



Imatge C.2. Pèrdues de càrrega al col·lector en funció del cabal i del número de circuits

Planta	Número de circuits	Q (l/s)	Pèrdua de càrrega (m.c.a.)
Baixa	9	0,0997	0,3
Pis	8	0,0681	0,2
Sota coberta	4	0,0234	0,1

Taula C.15. Pèrdues de càrrega per col·lector

Annex D

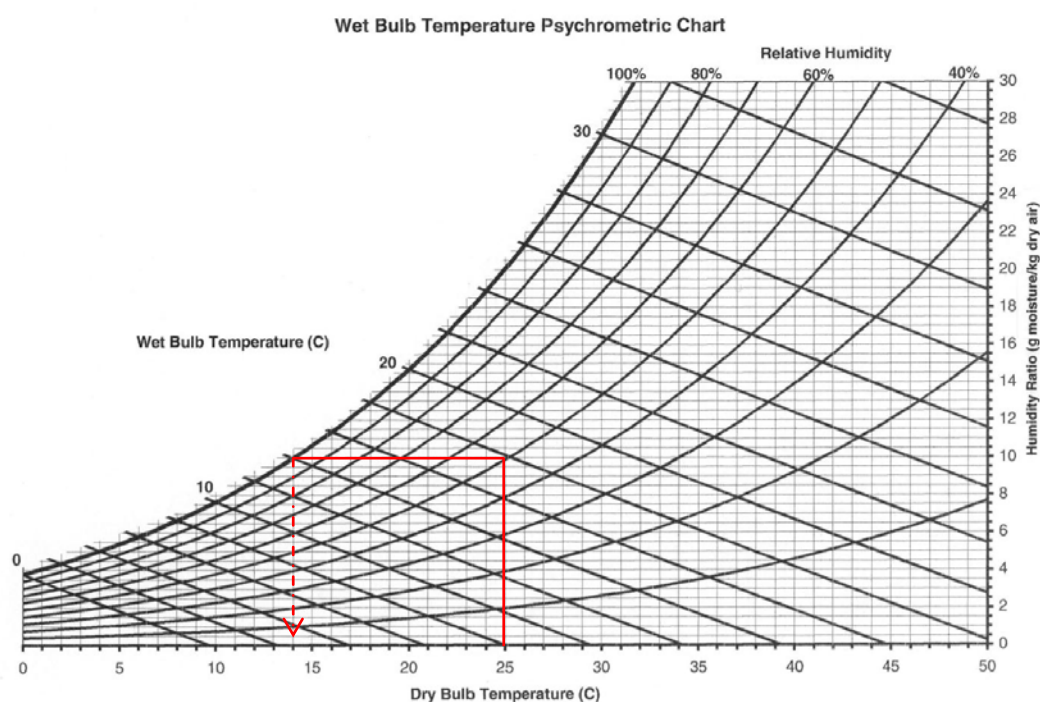
DISSENY I CÀLCUL DE LA INSTAL·LACIÓ DE SOSTRE REFRESCANT

D. DISSENY I CàLCUL DE LA INSTAL·LACIÓ DE SOSTRE REFRESCANT

D.1 Disseny de la instal·lació

D.1.1 Punt de rosada

Per a calcular la temperatura mínima que pot assolir l'aigua, hem de determinar el punt de rosada de l'aire. Aquest es calcula mitjançant un diagrama psicomètric. Per calcular-lo necessitem els valors de temperatura interior i d'humitat relativa.



Imatge D.1. Diagrama psicomètric

Amb uns valors de $T_i = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ i de $HR = 50\%$, la temperatura de rosada és de $14\text{ }^{\circ}\text{C}$.

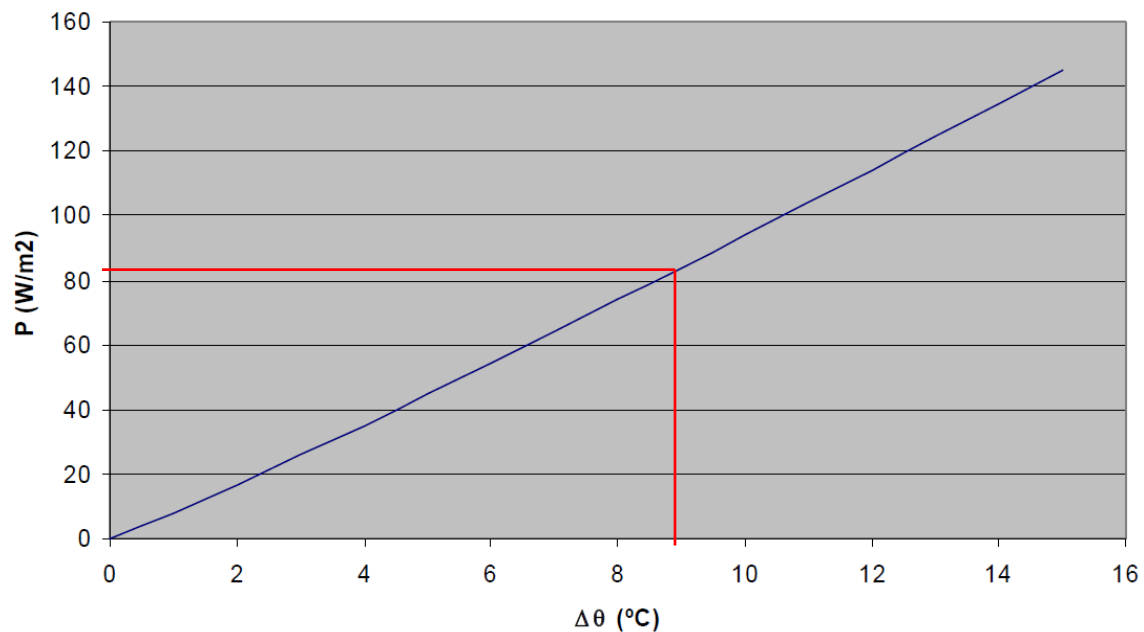
D.1.2 Temperatura d'impulsió de l'aigua

Fent servir l'equació 6.1 s'ha elaborat la Taula D.1

$T_D\text{ (}^{\circ}\text{C)}$	$T_{IMP}\text{ (}^{\circ}\text{C)}$	$T_{RET}\text{ (}^{\circ}\text{C)}$	$\Delta\theta\text{ (}^{\circ}\text{C)}$
25	16	18	9

Taula D.1. Temperatura d'impulsió de l'aigua

Fent servir el diagrama següent, que mostra la relació entre $\Delta\theta$ i la capacitat de refrigeració del panell refrigerant, obtenim un valor de $P = 85 \text{ w/m}^2$.



Taula D.2. Relació entre $\Delta\theta$ i la capacitat de refrigeració

D.1.3 Quantitat de panells a instal·lar

Aplicant l'equació 6.2 s'ha elaborat la Taula

Habitació	$Q_{REF}(w)$	$P(w/m^2)$	$S(m^2)$	N	n
Menjador	2029,6	85	0,72	33,16	36
Dormitori 1	1163,7	85	0,72	19,01	20
Estudi	1082,6	85	0,72	17,69	20
Cuina	698,4	85	0,72	11,41	12
Dormitori 2	489,3	85	0,72	8,00	8
Dormitori 3	501,0	85	0,72	8,19	8

Taula D.3. Quantitat de panells a instal·lar

Observeu que a la columna final hem arrodonit al nombre enter superior que sigui divisible per 4, ja que amb 3 o 2 panells en sèrie es requereixen un nombre d'unions significatius.

Hem de tenir en compte també que el nombre màxim de panells a instal·lar en sèrie és de 4.

D.1.4 Càlcul del cabal d'aigua

Per determinar el cabal necessari per cada sèrie de panells hem de calcular l'efecte de refrigeració del nombre de panells seleccionat.

$$q = \frac{n \cdot S \cdot P \cdot 0,86}{\Delta T}$$

Equació D.1

On:

q: Cabal circulat (l/h)

n: Nombre de panells instal·lats

S: Àrea del panell (m²)

P: Capacitat de refrigeració del panell (w/m²)

ΔT: Salt tèrmic (°C)

<i>n</i>	<i>S</i> (m ²)	<i>P</i> (w/m ²)	<i>ΔT</i> (°C)	<i>q</i> (l/h)
4	0,72	85	2	105,26

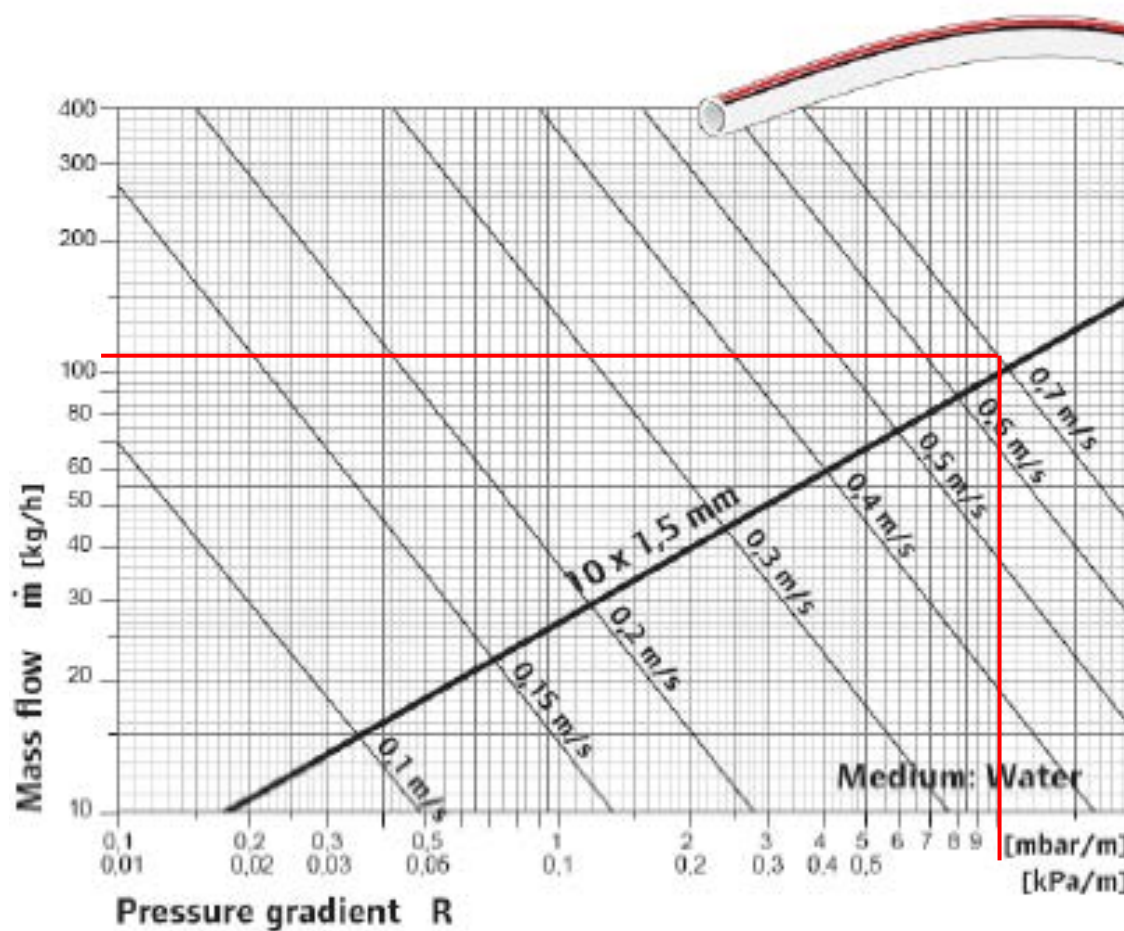
Taula D.4. Cabal calculat per una sèrie de 4 panells

D.2 Sistema de distribució

D.2.1 Pèrdues de càrrega al circuit d'impulsió

Un cop calculats el nombre de panells necessaris i el cabal del circuit, verificarem que la pèrdua de càrrega de cada sèrie de circuits no supera el límit establert pel proveïdor, tenint en compte que:

- Cada sèrie està formada per 4 panells amb una longitud de canonada a cada panell de 9,6 m.
- El cabal circulant és de 105,26 l/h.



Imatge D.2. Pèrdua de càrrega

Fent servir el gràfic de la Imatge D.2 trobem una pèrdua de càrrega de 1,01 kPa/m que aplicada a la longitud total de la sèrie (38,4 m) és igual a 38,78 kPa, queda així demostrat que no superem el límit de 40 kPa per sèrie.