

Treball de Fi de Grau

**Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials
(GETI)**

**Estudi i millora del sistema de climatització
d'una masia a partir d'una font renovable**

MEMÒRIA

Autor: Bet Gríful Bohera
Director: Jordi Garcia Boixés
Convocatòria: Juny 2020



**Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona**



Resum

Aquest treball pretén dur a terme la rehabilitació energètica d'una masia. Es fa un estudi i millora del sistema de climatització d'*El Verdguer*, una masoveria unifamiliar aïllada, que es troba en el terme municipal de Sant Pere de Torelló, comarca d'Osona. La masia no disposa de cap sistema de climatització ni està condicionada energèticament: s'escalfa amb una llar de foc i estufes de llenya. La ineficiència d'aquest mètode porta a replantejar la climatització d'*El Verdguer*. La intenció és trobar una alternativa energètica més eficient, confortable i respectuosa amb el medi ambient. Aquesta alternativa serà un sistema de climatització geotèrmica.

La climatització és la tecnologia que permet mantenir el confort tèrmic i higromètric d'un espai que, en funció de les condicions climàtiques exteriors, regula la temperatura i la humitat de l'espai tot fent-lo més confortable. L'energia geotèrmica és aquella que s'obté mitjançant l'aprofitament de la calor interna de la Terra. Així doncs, la climatització geotèrmica és l'intercanvi calorífic, que es basa en captar la calor d'un punt i transportar-lo a un altre. Aquesta és una energia neta, altament eficient i no emet gasos d'efecte hivernacle, i tot i que la inversió inicial és considerablement més alta que la que requeririen altres sistemes renovables, a llarg termini esdevé l'opció més econòmica.

L'estudi s'estructura en dues parts. La primera part és de tipus teòric, i s'hi fa una extensa revisió bibliogràfica relativa al món de les energies renovables, així com a la seva aplicació en sistemes de climatització. La segona part és el cas pràctic: primer, es calculen les necessitats tèrmiques d'*El Verdguer* –amb l'ajut dels programes de simulació energètica, *EnergyPlus™* i *OpenStudio®*– i, a continuació, es calcula el dimensionament de la instal·lació geotèrmica de la masia. Per fer-ho, s'aplica el model geotèrmic proposat pel Ministeri de Recursos Naturals del Canadà, recollit en el document *Clean Energy Project Analysis*, de l'any 2005.

Durant la realització del treball, s'ha trobat la necessitat d'aplicar a l'habitatge les anomenades mesures passives que, prèvies a la instal·lació geotèrmica, han ajudat a reduir significativament la pèrdua de calor. En concret, s'ha millorat el tancament tèrmic de les façanes i de la coberta a través de materials aïllants naturals, i s'han substituït les finestres antigues per unes de noves més eficients.

Finalment, es conclou que la instal·lació proposada cobreix les necessitats tèrmiques de la masia. Tot i que el cost econòmic de la rehabilitació energètica d'*El Verdguer* és molt elevat (48.590 euros), es considera oportú realitzar-la, ja que es tracta d'una alternativa que resultarà eficient a llarg termini i que és respectuosa amb el medi ambient. A més, existeixen mesures de polítiques públiques per part del Govern espanyol i de la Unió Europea que contemplen alleujar els costos de rehabilitacions energètiques en tot tipus d'habitatges.

Sumari

SUMARI	5
1. GLOSSARI	9
2. PREFACI	11
2.1. Origen del projecte	11
2.2. Motivació	12
3. INTRODUCCIÓ	13
3.1. Objectius del projecte	13
3.2. Abast del projecte	13
3.3. Metodologia	13
4. SECTOR DE LES ENERGIES RENOVABLES	15
4.1. Introducció a les energies renovables	15
4.2. Les principals fonts d'energia renovable	17
4.2.1. Biocombustible i Biomassa	17
4.2.2. Energia solar	18
4.2.3. Energia geotèrmica	18
4.2.4. Energia eòlica	19
4.2.5. Energia hidràulica	19
4.2.6. Energies del mar	19
5. SECTOR DE LA CLIMATITZACIÓ	21
5.1. La climatització d'habitatges	21
5.2. Mesures d'eficiència energètica en els habitatges	22
5.2.1. Mesures passives	22
5.2.2. Mesures actives	24
5.2.3. Mesures de gestió i ús	25
5.3. Alternatives de sistemes de climatització renovable	25
5.3.1. Bombes de calor	25
5.3.2. Calderes de biomassa	28
5.3.3. Plaques solars tèrmiques	29
5.4. Alternatives de sistemes d'emissió	31
5.4.1. Radiadors d'aigua	31
5.4.2. Fan coils	32
5.4.3. Terra radiant	32
6. DESCRIPCIÓ GENERAL DE LA MASIA	33

6.1.	Descripció geogràfica	33
6.2.	Descripció geològica	34
6.3.	Descripció climatològica	35
6.4.	Descripció d' <i>El Verdguer</i>	36
6.4.1.	Sistema de climatització existent	37
6.4.2.	Tancaments tèrmics actuals	38
7.	SELECCIÓ DE LES MESURES D'EFICIÈNCIA ENERGÈTICA _____	41
7.1.	Tancaments tèrmics.....	41
7.2.	Sistema de climatització	43
7.3.	Sistema d'emissió	45
8.	CLIMATITZACIÓ GEOTÈRMICA _____	47
8.1.	Tipus de captació geotèrmica	47
8.1.1.	Sistemes oberts	47
8.1.2.	Sistemes tancats.....	48
9.	SIMULACIÓ ENERGÈTICA DE LA MASIA _____	51
9.1.	Programes utilitzats	51
9.2.	Modelització geomètrica	52
9.3.	Modelització energètica	53
9.4.	Necessitats tèrmiques.....	55
9.4.1.	Càlcul passiu.....	55
9.4.2.	Càlcul de la demanda energètica.....	56
9.5.	Càrregues tèrmiques	57
9.5.1.	Temperatures <i>bin</i>	57
9.5.2.	Mètode d'ús energètic.....	58
10.	SELECCIÓ DE L'EQUIPAMENT GEOTÈRMIC _____	63
10.1.	Bomba de Calor Geotèrmica	63
10.1.1.	Alternatives	63
10.1.2.	Criteris de selecció.....	63
10.1.3.	Matriu de selecció	64
10.1.4.	Alternativa seleccionada	65
10.2.	Tipus de captació.....	66
10.3.	Tubs captadors	66
10.4.	Fluid circulant.....	67
11.	SISTEMA DE CAPTACIÓ _____	69
11.1.	Descripció tèrmica del terreny	69

11.1.1. Conductivitat tèrmica.....	69
11.1.2. Capacitat tèrmica	70
11.1.3. Difusivitat tèrmica.....	70
11.1.4. Temperatura del terreny.....	71
11.2. Dimensionament de l'intercanviador de calor	73
11.2.1. Temperatura mínima del terreny	73
11.2.2. Temperatura mínima i màxima del fluid captador	73
11.2.3. Resistència dels tubs R_p	74
11.2.4. Resistència de la terra R_s	75
11.2.5. Factor de càrrega.....	75
11.2.6. Càlcul de la longitud de l'intercanviador	75
11.3. Rendiment de la BCG	76
11.3.1. Temperatura d'entrada de l'aigua	76
11.3.2. COP i capacitat de la bomba	77
12. SISTEMA D'EMISSIÓ	81
12.1. Radiadors de baixa temperatura	81
12.2. Distribució de la instal·lació dels radiadors	82
13. ESTUDI ECONÒMIC	83
13.1. Pressupost	83
13.2. Estalvi energètic respecte altres sistemes	84
13.3. Estudi de rendibilitat	86
13.4. Ajuts i subvencions.....	88
14. IMPACTE AMBIENTAL	89
14.1. Efectes ambientals de l'energia geotèrmica.....	89
14.2. Certificat energètic.....	89
15. MARC NORMATIU	91
CONCLUSIONS	93
AGRAÏMENTS	95
BIBLIOGRAFIA	97
Referències bibliogràfiques.....	97
Bibliografia complementària.....	100

1. Glossari

CTE: Codi Tècnic de a l'Edificació → és el marc normatiu que estableix les exigències que han de complir els edificis en relació amb altres requisits bàsics de seguretat i habitabilitat.

DB-HE: Document Bàsic del Codi Tècnic de l'Edificació especialitzant en l'estalvi d'energia → té l'objectiu establir regles i procediments que permeten complir les exigències bàsiques d'estalvi d'energia.

IDAE: Institut per a la Diversificació i l'Estalvi d'Energia → entitat pública empresarial adscrita al Ministeri per a la Transició Ecològica.

RITE: Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques en l'Edificació → estableix les condicions que han de complir les instal·lacions destinades a atendre la demanda del benestar tèrmic i higiene a través de les instal·lacions de calefacció, climatització i aigua calenta sanitària per aconseguir un ús racional de l'energia.

ICAEN: Institut Català d'Energia → entitat de la Generalitat de Catalunya encarregada d'elaborar i dur a terme la política energètica catalana, especialment en el camp de la millora de l'estalvi i l'eficiència energètica i el desenvolupament de les energies renovables.

BCA: Bomba de Calor Aerotèrmica

BCG: Bomba de Calor Geotèrmica

COP: Coeficient d'Eficiència Energètica per sistemes de calefacció (en anglès: *Coefficient of Performance*) → és la expressió de l'eficiència energètica d'una bomba de calor, la relació entre la potència (kW) que surt de la bomba i la potència (kW) que se subministra al compressor que produeix aquesta calor.

EER: Coeficient d'Eficiència Energètica per sistemes de refrigeració (en anglès: *Energy Efficiency Ratio*) → és l'expressió que mesura la relació entre la energia elèctrica consumida i la potència total que genera, es parla d'aquest índex només en instal·lacions frigorífiques.

E+: Energyplus → programa de simulació energètica d'edificis

OS: OpenStudio → software complementari d'Energyplus

ADRASE: Accés a dades de radiació solar a Espanya

IGME: Institut Geològic i Miner d'Espanya

2. Prefaci

2.1. Origen del projecte

Al llarg de la història, la disponibilitat i assequibilitat de l'energia han esdevingut un motor de desenvolupament econòmic i de benestar social. No obstant, el consum energètic present i la dependència actual dels combustibles fòssils, obren un espai de reflexió sobre el nostre model energètic.

A nivell mundial, la majoria d'analistes i d'institucions de l'àmbit energètic posen de manifest que l'esgotament dels recursos energètics fòssils fan més urgent el desenvolupament de noves polítiques energètiques que redueixin de manera radical la dependència dels combustibles fòssils i que permetin avançar cap a un model energètic sostenible en el període de temps més curt possible. Per altra banda, l'amenaça i les conseqüències del canvi climàtic dels darrers anys posen igualment de manifest la urgència del canvi de model energètic des del punt de vista de la sostenibilitat mediambiental. Aquestes teories del canvi climàtic han deixat de ser especulacions de grups marginals per formar part del pensament econòmic principal. Les actuacions per mitigar el canvi climàtic deixen el seu caràcter aïllat per convertir-se en una necessitat vital. Així doncs, és indubtable la necessitat de crear, desenvolupar i impulsar polítiques energètiques a escala mundial que es comprometin a afavorir la transició cap a un model energètic sostenible, implicant les polítiques que hi tenen algun grau de relació (econòmica, mediambiental, territorial, etc.).[1]

Aquesta economia moderna habituada a consumir al màxim com a sinònim de creixement, davant el marc energètic actual, es veu obligada a promoure un canvi en el seu model, passar de ser una economia de consum a una altra d'estalvi. Aquí és on apareix el nou concepte d'economia, la economia de l'estalvi, de l'eficiència energètica en tots els nivells, des del sector primari al residencial passant per l'industrial i el públic.

Es considera que la construcció és un dels sectors que ha evolucionat poc en comparació amb altres. Tanmateix, el conjunt de canvis que la societat occidental està vivint en els últims anys com la crisi energètica, la creixent consciència ecològica i sostenible, el desenvolupament fugaç de les altes tecnologies i els nous hàbits de consum de la població, farà que aquest sector no quedi exclòs d'experimentar noves polítiques en la construcció d'habitatges.

2.2. Motivació

En la perspectiva de la transició cap a un nou model energètic, el principal problema en el futur és el manteniment de les edificacions ja construïdes i la seva adequació a les noves energies renovables. De manera que la motivació d'aquest estudi sorgeix en el moment que es planteja aquesta necessitat de saber com afrontar el nou model energètic en habitatges ja construïts.

En aquesta línia, doncs, neix l'interès personal d'estudiar un cas pràctic d'una masia situada a la comarca d'Osona que té actualment un mal condicionament tèrmic i una demanda i consum elevats energèticament. D'aquesta manera, es planteja fer una rehabilitació energètica per tal de poder cobrir aquesta necessitat eficientment. Així doncs, es vol veure la possibilitat d'instal·lar un sistema de climatització a partir d'utilitzar fonts d'energia renovable i així com també millorant el seu confort tèrmic.

3. Introducció

3.1. Objectius del projecte

Aquest projecte pretén familiaritzar-se amb les possibles solucions per a la climatització d'una masia unifamiliar aïllada a la comarca d'Osona a partir d'energies renovables. L'objectiu és seleccionar una possible solució i fer-ne l'estudi corresponent per tal d'analitzar la seva viabilitat tècnica, econòmica i ambiental. D'aquesta manera, veure si s'aconsegueix un important estalvi energètic i una major eficiència dels sistemes tot aportant una preservació del medi ambient.

Finalment, es trauran unes conclusions a nivell general de les possibles aplicacions, les seves limitacions i unes conclusions concretes de la masia estudiada.

3.2. Abast del projecte

En qualsevol projecte, es poden distingir tres tipus de fases: fase de disseny, fase de construcció i fase d'explotació. Aquest projecte es centra, clarament, a la fase de disseny. Es limita a fer-ne estudi de viabilitat de la instal·lació d'un sistema de climatització amb energies renovables per satisfer la demanda.

Queden exclosos del projecte: la fase de construcció i d'explotació del projecte com pot ser l'execució i el muntatge de la instal·lació, la posada en marxa i el seu manteniment. L'estudi de la demanda d'aigua calenta sanitària (ACS) amb la seva instal·lació corresponent, queda exclosa en aquest estudi però és complementària a aquest projecte.

3.3. Metodologia

Primer, es fa una recerca inicial per separat dels dos sectors que abasta aquest projecte: el sector d'energies renovables i el de la climatització. I seguidament es combinen els sectors, estudiant les alternatives de climatització renovable en habitatges i el tipus d'unitats terminals que s'utilitzen per aquests sistemes.

En segon lloc, es presenta l'objecte d'estudi, la masia *El Verdguer*. Es fa una descripció geogràfica, climatològica, geològica i, finalment, una descripció de la masia veient el seu estat actual, els sistemes energètics passius i actius que disposa actualment.

En tercer lloc, es seleccionen les mesures d'eficiència energètica que s'aplicaran a l'objecte estudi: les millores de tancament, el sistema de climatització renovable més adequat i el tipus d'emissió dins la masia. Tot fent una descripció teòrica més exhaustiva del sistema de climatització seleccionat.

Seguidament, es procedeix a fer la simulació energètica utilitzant programes energètics (*Energyplus* i *OpenStudio*) i complementant-ho amb l'Excel. Una vegada calculades les necessitats tèrmiques, es selecciona l'equipament de la instal·lació, es calcula el dimensionament del sistema de captació i la distribució del sistema d'emissió que disposarà la masia.

Per acabar, es fa un pressupost exhaustiu de tota la instal·lació proposada, un estudi de l'estalvi energètic comparant-ho amb altres sistemes del mercat i poder treure conclusions econòmiques de rendibilitat respecte aquests altres sistemes. En un últim terme, s'estudia l'impacte ambiental que suposa i veure si a nivell global s'han complert els objectius plantejats d'entrada.

4. Sector de les energies renovables

En aquest apartat es fa una recerca i una investigació del que actualment s'entén com a energia renovable. També es fa un descripció de les principals fonts renovables i quina aplicació tecnològica tenen.

4.1. Introducció a les energies renovables

L'energia es pot classificar en renovable i en no renovable en funció de la seva capacitat de renovació. L'energia renovable és tota aquella que s'obté de recursos naturals com l'aigua, el sol, el vent i la Terra.

Les energies renovables constitueixen una font d'abastament inesgotable, ja que, directa o indirectament provenen majoritàriament del Sol. El Sol produeix un seguit de fenòmens naturals que a la vegada originen els recursos en què es basen els diferents tipus d'aprofitament de les energies renovables [2].

Les figures que s'adjunten a continuació, recullen el conjunt d'energies renovables més conegudes (veure *Figura 4.1*) i també el conjunt d'energies renovables que deriven dels cicles terrestres de més llarga durada on la Lluna també té part de protagonisme.(veure *Figura 4.2*)

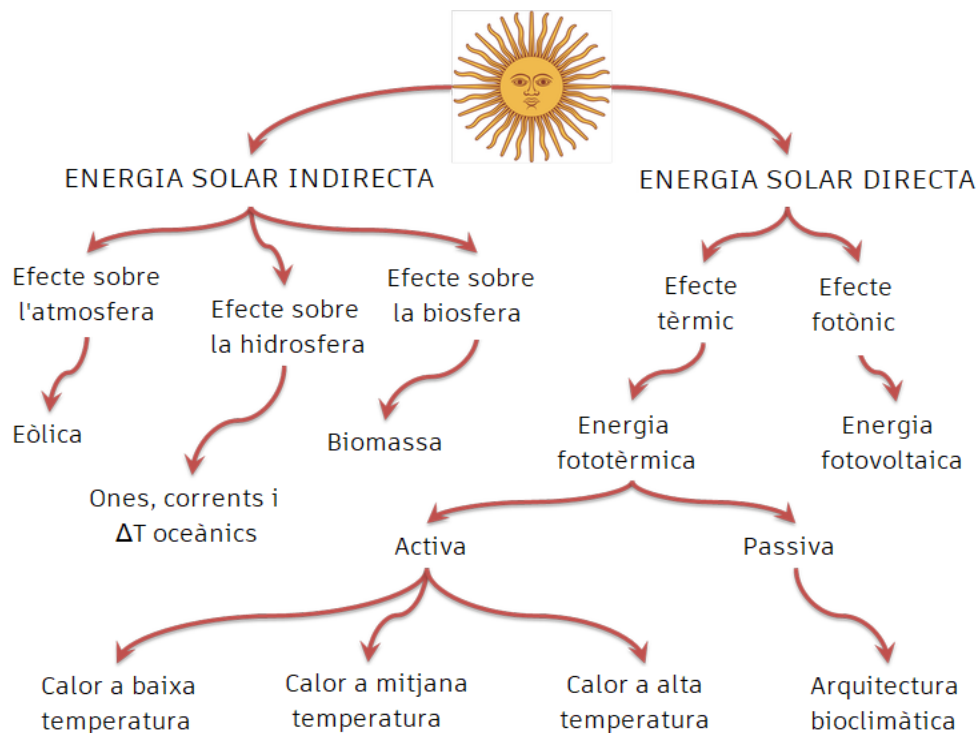


Figura 4.1. Esquema del conjunt d'energies renovables (font [2])

Les energies hidràulica, geotèrmica i de les mareas es consideren també renovables perquè es regeneren amb menys o més temps, són el resultat dels cicles de formació terrestre, geològics i atmosfèrics.

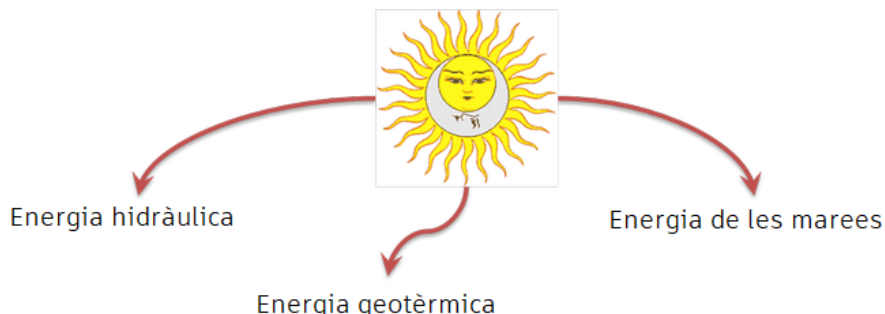


Figura 4.2. Energies renovables que provenen d'altres fenòmens naturals a part de la radiació solar (font [2])

L'energia procedent de la radiació solar, que és absorbida per la Terra en un any, és equivalent segons [2], a vint vegades l'energia emmagatzemada a totes les reserves de combustibles fòssils del món. Si s'aprofités només el 0,005% d'aquesta radiació s'obtidria més energia útil en un any que la que s'aconsegueix cremant els combustibles en el mateix temps [2].

Generalment, les energies renovables es consumeixen al lloc on es generen, és a dir, són fonts d'energia autòctones. En canvi, els combustibles fòssils s'extrauen tan sols en un nombre limitat de països i s'exporten a la resta del món. Les fonts d'energia locals resulten més econòmiques que les fonts tradicionals perquè comporten una menor pèrdua energètica i les despeses econòmiques inherents a les necessitats de transport i distribució també es redueixen.

Així doncs, les energies renovables són garantia de futur ja que majoritàriament són netes, es restitueixen gratuïtament i, a llarg termini, són part de la solució al problema energètic. Representen el recurs energètic autòcton més important de Catalunya i el seu aprofitament energètic redueix la dependència energètica externa, a més de mitigar els efectes sobre el canvi climàtic. Les tres característiques, doncs, més importants de les energies renovables són:

- No contaminen: són energies netes ja que durant el procés de producció com d'extracció de l'energia no genera residus amb un efecte contaminant. Cal destacar, però, que existeix una energia renovable que sí que contamina, com és el cas de la biomassa.
- No s'esgoten: són energies inesgotables ja que provenen de recursos que són naturals i totalment renovables. La quantitat disponible es pot mantenir al llarg del temps, encara que s'utilitzi en grans proporcions.

- Són competitives: són energies competitives ja que una vegada s'ha realitzat la inversió inicial per la instal·lació, els costos són relativament baixos. A més, poden tenir moltes i diverses aplicacions. Contribueixen al desenvolupament econòmic sostenible.

4.2. Les principals fonts d'energia renovable

A continuació, es descriuen segons l'Institut Català de l'Energia (ICAEN) [3] les fonts renovables principals i les aplicacions tecnològiques que ofereixen actualment en el mercat.

4.2.1. Biocombustible i Biomassa

El biocombustible és la producció dels tipus de combustibles que s'utilitzen en els motors de combustió a partir de plantes i altres matèries orgàniques enlloc de combustibles fòssils. Per exemple existeix el bioetanol, biogàs o biodièsel, entre d'altres. Aquests biocombustibles es produeixen de dues maneres:

- 1) Processant directament una matèria primera vegetal, extraient els seus olis naturals i transformant-los en un tipus de combustible.
- 2) Extraient els residus o matèries de descompost com a resultat de processos anaeròbics naturals. Com per exemple la descomposició per bacteries o algues en una substància alcohòlica, bioetanol.

La biomassa és diferent del biocombustible en el sentit que és un material orgànic residual com la fusta i altres matèries vegetals. Normalment, és fusta trossejada, herbes, fulles, matolls i altres matèries primeres orgàniques que puguin cremar i produir energia, inclosos fems d'animals. El pèl·let de fusta és un exemple comú que s'utilitza per generar calor amb biomassa, està format per la compactació de subproductes provinents de la indústria de la fusta, majoritàriament serradures i encenalls.

Aquesta energia però té el mateix problema que les energies produïdes per combustibles fòssils ja que en el procés de combustió emet CO_2 . Tot i així, s'inclou dins del grup d'energies renovables perquè es considera que es reutilitza el CO_2 emès en la següent generació de matèria orgànica, tot i que actualment els processos que s'utilitzen per l'obtenció d'aquesta font d'energia; transport, servei, utilització, obtenció... També desprenen aquests tipus de gasos. Fet que provoca que el total de gasos emesos en tot el cicle de l'energia sigui major als que s'absorbeixen en la següent generació. Però no deixen de ser renovables, com bé diu la paraula.

4.2.2. Energia solar

L'energia solar és la que aprofita l'energia lluminosa del Sol de forma directe. Aquesta energia és font i origen de la majoria de les altres formes d'energia a la Terra. Cada any la radiació solar aporta a la Terra l'energia equivalent a varis mils de vegades la quantitat d'energia que consumeix la humanitat. Aquesta energia pot ser aprofitada de dues maneres:

- Energia solar tèrmica: consisteix en l'aprofitament directe, en forma d'escalfament o energia calorífica, de la radiació solar incident. Una instal·lació solar tèrmica està formada bàsicament per un camp de captadors solars, un conjunt de canonades aïllades tèrmicament i un dispositiu acumulador d'aigua [3].
- Energia solar fotovoltaica: és la transformació directa de l'energia lumínica que prové del Sol en energia elèctrica mitjançant uns panells solars que tenen cèl·lules fotoelèctriques. La radiació solar té un valor de potència que varia amb l'altitud, el clima, la latitud, les condicions atmosfèriques, el moment del dia i les estacions l'any[3].

4.2.3. Energia geotèrmica

L'energia geotèrmica és aquella energia que s'obté mitjançant l'aprofitament de la calor interna de la Terra, que globalment es pot considerar contínua, estable i inesgotable a escala humana. Un jaciment geotèrmic és una zona del subsol on el recurs geotèrmic és susceptible de ser aprofitat per l'ésser humà.

Els jaciments geotèrmics es classifiquen d'acord amb el nivell energètic del recurs que contenen. Aquests jaciments es poden classificar com [3]:

- D'alta temperatura ($T > 150^{\circ}\text{C}$): en les zones més actives de l'escorça de la Terra. 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.
- De mitjana temperatura ($100^{\circ}\text{C}-150^{\circ}\text{C}$): s'aprofita generalment per a producció elèctrica, però amb un rendiment menor que els d'alta temperatura. L'aprofitament també pot ser directa en forma de calor per a sistemes de calefacció urbans o usos industrials. Es localitzen en àrees amb un context geològic i estructural favorable.
- De baixa temperatura ($30^{\circ}\text{C}-100^{\circ}\text{C}$): 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.

- De molt baixa temperatura ($T < 30^{\circ}\text{C}$): són els jaciments que es troben uns metres per sota de la superfície del sòl (uns 2 metres aproximadament). S'acostumen a utilitzar com a intercanviadors tèrmics en sistemes de climatització i escalfament d'ACS (aigua calenta sanitària) mitjançant bomba de calor. Aquests jaciments es poden localitzar a qualsevol punt, ja que el gradient geotèrmic només condiciona l'eficiència del sistema.

4.2.4. Energia eòlica

L'energia eòlica fa referència a aquella tecnologia que aprofita l'energia cinètica del vent per convertir-la en energia elèctrica o mecànica [3]. Gràcies als aerogeneradors de grans dimensions, també anomenats turbines de vent, es pot transformar aquesta energia eòlica a electricitat amb gran eficiència. Si un aerogenerador es connecta directament a una càrrega, substituint el seu generador elèctric, s'anomena molí de vent on la seva funció més comuna és el bombeig d'aigua.

4.2.5. Energia hidràulica

La finalitat de les centrals hidroelèctriques és aprofitar, mitjançant un salt existent en un curs d'aigua, l'energia potencial continguda en la massa d'aigua per convertir-la en energia elèctrica, emprant unes turbines acoblades a alternadors [3]. Aquestes centrals hidroelèctriques processen i controlen el flux de l'aigua a partir d'instal·lacions de preses.

4.2.6. Energies del mar

El mar és una font d'energia inesgotable que actualment no està sent aprofitada, tot i que s'està treballant en trobar tecnologies que permetin convertir el mar en una font d'abastament energètic viable tècnicament i econòmicament [3].

- Energia de les mareas (mareomotriu): aprofita la capacitat de les mareas per desplaçar grans masses d'aigua convertint així la seva energia potencial en energia elèctric mitjançant una turbina, com en les centrals hidroelèctriques.
- Energia maremotèrmica del gradient tèrmic: es basa en la diferència de temperatures entre les aigües superficials i les del fons marí, aprofitant aquest gradient tèrmic per generar electricitat.
- Energia de les corrents marines: consisteix en aprofitar la seva energia cinètica per fer girar una turbina.
- Energia de les onades: aprofita l'energia mecànica de les onades.

Les fonts d'energia renovables poden satisfer moltes vegades la demanda energètica del món actual gràcies al seu enorme potencial. Actualment, hi ha moltes tecnologies renovables al mercat tot i que comercialment parlant, la majoria encara es troben en fase inicial de desenvolupament i no madures tècnicament. Exigeixen investigació, desenvolupament i demostració de manera contínua. A més poques fonts d'energia renovable poden competir amb els combustibles convencionals. Els escenaris que investiguen el potencial de les renovables revelen que a la 2a meitat del segle XXI podrien contribuir entre el 20 i el 50% dels subministraments d'energia.

5. Sector de la climatització

En aquest apartat, es defineix el concepte de climatització d'habitatges, detallant-ne els elements que influeixen. Seguidament, es descriuen els tipus de mesures d'eficiència que actualment s'apliquen en les rehabilitacions energètiques i, per acabar, es fa una explicació exhaustiva de tres alternatives de captació renovable i de tres sistemes d'emissió de l'energia.

5.1. La climatització d'habitatges

La climatització es defineix com aquella tecnologia que permet mantenir un determinat ambient en unes condicions tèrmiques i higromètriques diferents de les de l'ambient exterior. En general, s'associa a l'àmbit domèstic i, per tant, es parla de condicions de confort. Actualment, el consum associat al manteniment d'aquestes condicions de confort implica el 50% de l'energia consumida per un edifici, com diu [4]. L'energia consumida per condicionar tèrmicament un ambient és directament proporcional a la demanda tèrmica d'aquell espai i inversament proporcional a l'eficiència del generador de calor/fred. El consum energètic d'un habitatge es pot formular així [4]: (veure l'equació 5.1)

$$\text{Consum} = \frac{\text{Demanda tèrmica}}{\text{Eficiència del generador de calor/fred}} = \frac{U \cdot A \cdot \Delta T}{E} \quad \text{eq (5.1)}$$

On U [W/m^2K] és la transmitància tèrmica que mesura el flux de calor en watts que travessa un metre quadrat d'un tancament de l'edifici per una diferència de temperatura d'un grau entre dos ambients. A [m^2] és l'àrea del tancament, ΔT és la diferència de temperatures entre l'ambient interior i exteriors i E és el rendiment de la màquina tèrmica. Aquests paràmetres, doncs, són els que podran fer reduir la demanda energètica i augmentar l'eficiència i l'estalvi en l'àmbit de la climatització.

Els elements que influeixen en el consum energètic dels edificis poden estar agrupats, segons [5], en tres factors:

- Arquitectura: forma, compacitat, l'orientació, els aïllaments, les proteccions solars, la qualitat dels tancaments i de la fusteria de les façanes, etc.
- Instal·lacions: eficiència dels sistemes de calefacció i refrigeració, l'eficiència de la il·luminació o dels equips elèctrics de l'habitatge, etc.
- Gestió i l'ús: programació de la posada en marxa de les instal·lacions, automatismes de parada automàtica, etc.

5.2. Mesures d'eficiència energètica en els habitatges

Encara que cada edifici és únic pel que fa a la seva ubicació, el seu clima, la seva arquitectura, les seves instal·lacions i el seu ús; existeixen una sèrie de mesures concretes de rehabilitació que influeixen en la millora energètica de l'edifici. Aquestes mesures es classifiquen segons els factors descrits en l'apartat anterior: mesures passives (arquitectura), mesures actives (instal·lacions) i mesures d'ús (gestió energètica).

5.2.1. Mesures passives

S'anomena arquitectura o enginyeria bioclimàtica aquella disciplina que estudia el potencial passiu dels edificis, és a dir, analitza i avalua l'aprofitament de les condicions mediambientals de l'entorn en benefici de les necessitats dels usuaris d'un habitatge per tal de cerca solucions que permetin dissenyar els edificis de forma estratègica amb l'objectiu d'aconseguir el màxim confort tèrmic amb el mínim consum energètic.

En una obra de construcció nova, els aspectes passius són requisit bàsic d'estudi, ja que el disseny parteix de zero. En el cas d'edificis ja existents, però, les mesures passives aplicables se centren bàsicament en la millora dels tancaments tèrmics, per tal de reduir la seva transmitància tèrmica (U) i d'aquesta manera disminuir la demanda energètica. Segons [6], les mesures passives es descriuen així:

a) Aïllament de façana

L'aïllament de façana consisteix a incorporar o millorar el material aïllant per tal de reduir les pèrdues tèrmiques en els tancaments de façana. En la rehabilitació de façanes, l'aïllament pot ser per l'exterior, en la cambra d'aire o per l'interior.

- Exterior: s'adhereix un panell aïllant prefabricat al mur existent mitjançant adhesiu i fixació mecànica. El panell aïllant va protegit amb un revestiment d'una o diverses capes aplicada sobre el mateix panell. Amb materials d'igual conductivitat tèrmica, la solució per l'exterior és la que comporta un major estalvi energètic i en general és la més usada. És una bona solució per la minimització dels ponts tèrmics existent, però suposa un elevat cost en la bastida i l'obra mateixa. S'utilitzen materials com: poliestirè expandit (EPS), poliestirè extrudit (XPS), llanes minerals (de roca o de vidre), suro, etc.
- En la cambra d'aire: la injecció de l'aïllament en la cambra d'aire permet deixar intacta la façana. Requereix un treball rigorós per assegurar l'ompliment complet de la cambra. Aquesta solució, però, no resol els ponts tèrmics. S'utilitzen materials com: EPS grafitat, llana mineral injectada, escuma de poliuretà (PUR), cel·lulosa, suro, llana d'ovella, cotó, etc.

- **Interior:** es basa a muntar un panell aïllant prefabricat col·locat en una placa de guix laminat que va fixat en una estructura mecànica, i després es fa un acabat de pintura. O bé es fa un extradossat directe per l'interior amb plaques de guix laminat que incorporen el material aïllant fixat al mur de manera mecànica o amb una pasta específica. Aquesta solució tampoc elimina els ponts tèrmics (excepte els dels contorns de finestres i pilars), redueix la superfície interior de l'habitatge. Des d'un punt de vista acústic, pot ser més eficient. És la millor tècnica possible quan no es desitja intervenir de forma global a l'edifici. S'utilitza materials com: EPS, llana mineral, cel·lulosa, suro, llana d'ovella, cotó, etc.

b) Aïllament de coberta

L'aïllament tèrmic de coberta és la incorporació de material aïllant tèrmic a la coberta per sobre, entre bigues o per sota de la coberta amb l'objectiu de reduir les pèrdues tèrmiques ja sigui per transmissió com per radiació a la coberta a l'hivern, i disminuir els guanys tèrmics a l'estiu. Per altra banda, és imprescindible assegurar la impermeabilització de la coberta a l'aigua i l'aire.

- **Exterior:** es col·loca una capa d'impermeabilització a sobre del material aïllant de manera que aquest està protegit dels efectes meteorològics i de la radiació solar. També existeix la possibilitat de no afegir una nova capa impermeable i es crea una coberta invertida on es crea una protecció tèrmica de la impermeabilització gràcies a l'aïllant. Material més utilitzat és el panell rígid d'XPS.
- **Interior:** és la col·locació de revestiments autoportants de plaques de guix laminat i aïllament. Es poden utilitzar diferents materials aïllants, però l'acabat interior final sempre serà de plaques de guix laminat fixades sobre ancoratges metàl·lics suspesos del forjat. És un muntatge ràpid i sec. Aquesta solució possibilita intervencions parcials sense necessitat de grans obres. Materials com EPS o la llana mineral.

c) Millora dels forats de façana

Per tal de reduir les pèrdues (hivern) i guanys (estiu) de calor a través dels forats de façana i reduir les infiltracions d'aire se substitueixen les finestres actuals per fusteries de millors prestacions tèrmiques (amb trencament de pont tèrmic) i col·locació de vidres de millors característiques tèrmiques. D'aquesta manera es millora l'aïllament de les obertures i s'incrementa l'estanquitat de l'habitatge.

- **Vidres:** consisteix a substituir els vidres simples de les finestres per vidres dobles de cambra d'aire. L'increment del gruix de la cambra d'aire permet incrementar l'aïllament sense reduir la transmissió lumínica a l'interior de la llar.
- **Fusteries:** es poden canviar les fusteries per reduir la conductivitat entre el vidre i la fulla,

escollint entre fusteria metàl·lica amb ruptura de pont tèrmic o altres fusteries de materials amb transmitàncies tèrmiques menors, com la fusta o PVC.

d) Proteccions solars passives

La instal·lació de proteccions solars passives als forats de les façanes, adequades a la tipologia constructiva, orientació i ús. Té com a finalitat reduir les càrregues tèrmiques degudes als guanyos solars de la radiació incident sobre el vidre en els mesos càlids. Com per exemple, la instal·lació de tendals, persianes, etc. En el cas de l'hivern la col·locació de cortines gruixudes pot reduir el consum energètic reduint les pèrdues tèrmiques hivernals cap a l'exterior.

e) Reducció de les infiltracions d'aire

La reducció de les infiltracions d'aire té la finalitat de millorar l'estanquitat de l'edifici. Les infiltracions són fluxos descontrolats de l'aire exterior que entren a l'edifici per ranures o obertures no intencionades: forats de persiana, forats entre marc i fulla de fusteries, fissures o esquerdes dels murs, passos de canonades i instal·lacions, etc. També poden ser causades per l'ús habitual d'una obertura (finestra o porta). En la rehabilitació, la incorporació d'elements de segellat que garanteixin un major estanquitat a l'aire de l'edifici, especialment de totes les seves obertures o esquerdes, redueix els consums i incrementa el confort. *Blower Door Test* és un assaig d'estanquitat que permet avaluar els nivells d'infiltracions d'aire o vent que té un edifici mitjançant la mesura de pressions diferencials.

f) Aïllament de canonades

És la col·locació o canvi del recobrint aïllant de les canonades d'aigua per a reduir les pèrdues tèrmiques per transmissió en les canonades. Consisteix a instal·lar un material aïllant tèrmic a les canonades de l'aigua calenta o freda o millorar l'existent. Això permet evitar pèrdues de calor en el transport de l'aigua calenta i evitar possibles condensacions en les conduccions d'aigua freda.

5.2.2. Mesures actives

Les mesures actives són propostes de millora en els sistemes energètics actius. Algunes de les propostes poden ser: canviar els equips electrodomèstics, canviar la vitroceràmica per inducció, la reducció del cabal de les dutxes i les aixetes, millorar l'eficiència en la il·luminació, renovar la instal·lació actual de climatització per un sistema més eficient, etc.

En la següent secció es descriuran mesures actives de sistemes de climatització a partir de fonts renovables, com a alternatives de sistemes de captació renovables, ja que és la finalitat de l'estudi.

5.2.3. Mesures de gestió i ús

Els sistemes de gestió energètica s'encarreguen de gestionar aquells elements que interactuen amb l'ús de l'energia, amb la finalitat de realitzar millores contínues i sistemàtiques del rendiment energètic aplicat en l'habitatge.

Algun exemple de gestió podria ser: l'adequació de la temperatura consigna a valors normatius. Segons el *Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios* (RITE) 2007 la temperatura consigna a l'hivern és 21 °C i 26 °C a l'estiu, amb l'objectiu de reduir el consum de climatització dels edificis en calefacció i refrigeració. A més d'adequar la temperatura del termòstat a les exigides pel RITE 2007, la instal·lació de vàlvules termostàtiques en els diferents radiadors de l'habitatge permet una millor regulació de la calefacció en les llars. O una altra mesura pot ser la gestió avançada i eficient d'ordinadors (hibernació, desconexió de targetes de xarxa, etc.) amb l'objectiu de reduir el consum elèctric dels ordinadors quan no són utilitzats.

5.3. Alternatives de sistemes de climatització renovable

En aquest apartat es tracta de descriure les opcions que hi ha actualment al mercat dels sistemes energètics actius en la climatització d'habitatges a partir d'energies renovables, amb la finalitat de seleccionar la més adequada per aquest estudi per tal d'assolir els objectius proposats.

5.3.1. Bombes de calor

Les bombes de calor (BC) són màquines tèrmiques que permeten climatitzar els edificis utilitzant poca energia. Són capaces d'aprofitar l'energia tèrmica d'origen renovable emmagatzemada en l'aire (bombes aerotèrmiques) o a terra (bombes geotèrmiques) i convertir-la en calor útil. Aquest procés s'aconsegueix a través del canvi d'estat de gas a líquid d'un fluid refrigerant. Tant pot funcionar com a sistema de calefacció com de refrigeració, és un sistema reversible.

Són considerades sistemes d'elevat rendiment i la raó és pel fet que aquestes no generen calor sinó que la transporten d'un punt a un altre. Així doncs, el consum elèctric que necessiten és per poder fer factible aquest transport.

Funcionament de la bomba de calor

El sistema de funcionament d'una bomba de calor consta de tres parts: el circuit primer (captació d'energia), el circuit secundari (intercanvi) i el circuit terciari (consum), pel cas de calefacció. (veure *Figura 5.1*)

- (1) El circuit primari s'encarrega de captar la calor ambiental, ja sigui de l'aire, de la terra o d'aigües subterrànies, com s'ha comentat anteriorment, a partir d'un intercanviador de calor. Aquest intercanviador és un sistema de tubs per on circula un fluid líquid anticongelant que està més fred que la temperatura ambient i aquesta diferència de temperatura provoca la captació de la calor i conduir-la en el segon circuit.
- (2) El líquid anticongelant, entre dins l'evaporador on allà circula un líquid refrigerant que absorbeix la calor del primer cicle i s'evapora, fins i tot a baixes temperatures.
- (3) El vapor surt de l'evaporador i passa per un compressor on el condensa i fa incrementar la seva temperatura. El compressor de la bomba de calor és el que requereix energia elèctrica.
- (4) El vapor surt a una temperatura suficientment elevada que transmetrà en el circuit de calefacció, dins del condensador. Allà es condensa cedint la calor en el tercer circuit.
- (5) El circuit de calefacció s'encarrega de distribuir la calor absorbida per tot l'habitatge, ja sigui a partir de radiadors, de terra radiant o de fan coils.
- (6) Una vegada el refrigerant del segon circuit ha transmès la seva calor, s'ha refredat i surt del condensador en estat líquid, però encara en alta pressió. És per això que es fa passar per una vàlvula d'expansió per tal de refredar-se més i tornar a estar a baixa pressió per tornar a captar la calor del primer circuit i el cicle torna a començar de nou.

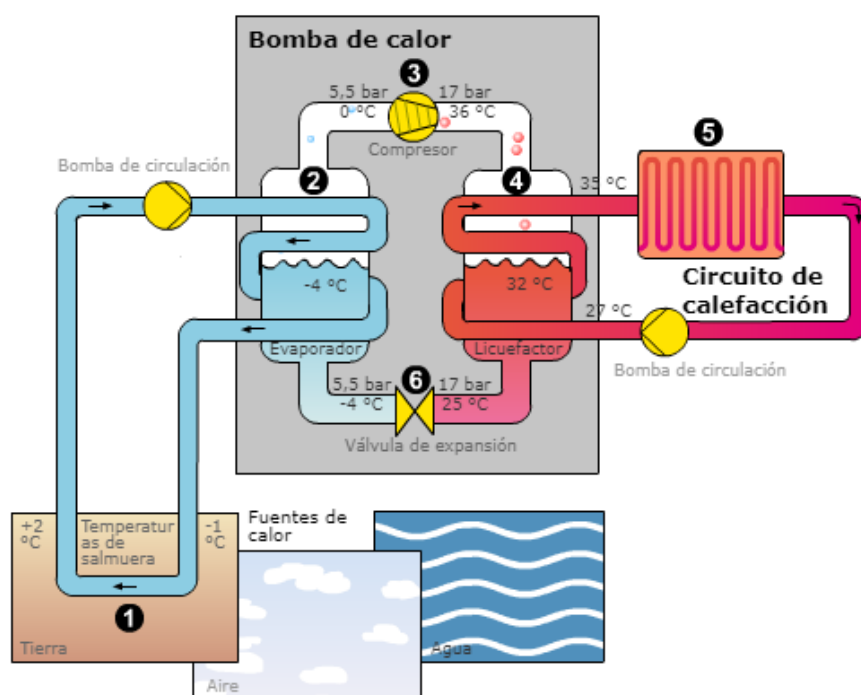


Figura 5.1. Funcionament d'una bomba de calor (font: [7])

Pel sistema de refrigeració, el circuit seria invers al de la calefacció, ja que capta la calor de l'habitatge i l'emet cap a l'ambient. Segons la font de calor es podran classificar en bombes de calor aerotèrmiques (BCA) o geotèrmiques (BCG). Segons el tipus de fluid emissor-captador, les BCA poden ser: aire-aire o aire-aigua. Les BCG funcionen com a aigua-aigua.

Comparació entre la geotèrmica i l'aerotèrmica

La geotèrmica i l'aerotèrmica es pot dir que nivell de funcionament són molt semblants, però existeixen diferències entre elles que poden ser significatives a l'hora d'escollir-ne una. A continuació es mostra una taula (veure *Taula 5-A*) amb alguns dels aspectes on es diferencien més. Cal afegir que són valors aproximats i que aquesta taula simplement fa una primera comparativa visual.

	Geotèrmica	Aerotèrmica
Font de captació	La BCG intercanvia calor amb el subsol, aigua directa o mitjançant un circuit tancat d'aigua	La BCA intercanvia calor amb l'aire exterior
Cost d'inversió	Major cost inicial de la instal·lació a causa de les sondes geotèrmiques (sistema captador)	No requereix inversió inicial la instal·lació és senzilla
Rendiment	Rendiments constants ja que a partir de 10-15 metres el subsol es manté durant tot l'any a la mateixa temperatura	Rendiments són molt fluctuants per les condicions climatològiques exteriors
Manteniment	Sistema hermètic refrigerant sense risc de fugues. Tot queda sota cobert.	Elevat risc d'avaries perquè sistema de captació està exposat a l'exterior.
Amortització	Instal·lació més complexa però major estalvi en el consum degut al millor i més constant rendiment	Instal·lació més senzilla però de rendiment més baix
Confort	Sense risc de fugues ni sorolls	Possibles sorolls per la unitat exterior
Vida útil	Entre 20 – 25 anys	Entre 10-15 anys
Impacte estètic	No existeixen elements en l'exterior de la instal·lació	Unitat exterior pot ubicar-se en llocs de poc impacte estètic o sonor

Taula 5-A. Comparació entre bombes de calor (font: adaptació [8])

Avantatges i inconvenients de les bombes de calor

<i>Punts forts</i>	<i>Punts febles</i>
Baix cost operacional	Elevada cost d'inversió
Mínim manteniment	Dificultat en la seva instal·lació
Més segur que sistemes de combustió	Alguns dels fluids utilitzats en l'intercanviador es poden qüestionar la seva sostenibilitat
Redueix les emissions de CO ₂	Té una dependència de l'energia elèctrica per tal que el compressor funcioni
És un sistema climàtic, tant pot escalfar com refrigerar un habitatge.	
Es considera l'alternativa més eficient del mercat, amb un COP de 3 a 6	

Taula 5-B. Punts forts i febles de la bomba de calor (font: adaptació [8])

5.3.2. Calderes de biomassa

La caldera és considerada el sistema hegemònic de la calefacció i ACS del segle XX. Majoritàriament són calderes que utilitzen energia elèctrica o combustibles no renovables com el gas, gasoil, etc. Però també existeixen les calderes que aprofita el combustible renovable esmentat anteriorment: la biomassa.

Funcionament d'una caldera de biomassa

Les calderes de biomassa funcionen com les calderes convencionals però la diferència principal és que utilitzen com a font de combustible elements naturals com els pèl·lets de fusta, pinyols d'oliva, residus forestals, closques de fruits secs, etc.

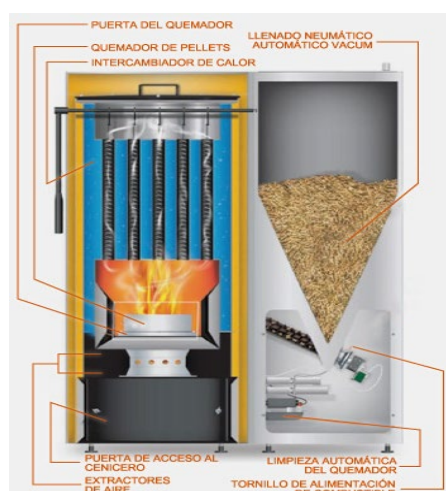


Figura 5.2. Funcionament de caldera de biomassa (font: [9])

La caldera genera calor a partir de cremar un combustible, que en aquest cas és natural, i posteriorment la transmet a l'aigua que circula per l'interior de la caldera. El cremador de combustible que crema el pèl·let genera una flama que transmet per conducció, per radiació i també per convecció la calor al circuit d'aigua incorporat dins la caldera (intercanviador). L'aigua calenta generada s'utilitza per a la calefacció (terres radiants, radiadors, fan coils...), ACS, etc. Es necessita un contenidor o sitja per l'emmagatzematge del biocombustible (els pèl·lets) i ha d'estar proper a la caldera. Aquest contenidor té un alimentador automàtic de tornavís que porta el combustible cap a la caldera.[9]

Les estufes de biomassa es basen amb el sistema tradicional d'estufes de llenya però aplicant una tecnologia més avançada on el biocombustible més comú també és el pèl·let. Aquestes estufes no compten amb grans potències com les calderes així que s'acostumen a utilitzar per escalfar habitacions individuals o com a calefacció addicional.

Al mercat hi ha models que necessiten actuacions directes contínues (neteja de la cendra, encesa, càrrega de combustible) o models 100% automatitzats on l'única actuació periòdica necessària és el buidatge de les cendres en intervals de diverses setmanes.

Avantatges i inconvenients de la caldera de biomassa

<i>Punts forts</i>	<i>Punts febles</i>
Utilitza combustible natural i renovable	Gran espai d'emmagatzematge i amb unes bones condicions pel manteniment del pèl·lets.
La majoria d'aquestes calderes estan totalment automatitzades, té un control complet del sistema de calefacció.	El biocombustible no deixa de ser un generador de calor finit comparat amb l'energia solar o tèrmica
El combustible es pot adquirir de proveïdors de la zona, per tant, no es genera contaminació en el transport d'aquest, treball local.	Requereix un manteniment constant. Les cendres que es generen en la combustió s'ha d'anar buidant regularment

Taula 5-C. Punts forts i febles de la caldera de biomassa (font: adaptació [8])

5.3.3. Plaques solars tèrmiques

Les plaques o també anomenats col·lectors solars tèrmics són un altre mètode d'aprofitar l'energia d'una font renovable, l'energia solar radiant. A partir d'aquests captadors solars s'encarreguen de transformar-la en energia tèrmica. Qualsevol sistema de captació solar es basa a combinar l'"efecte del cos negre" amb l'"efecte hivernacle" on per una banda s'aconsegueix aprofitar gran part de la radiació que arriba a la instal·lació solar i per altra banda, impedir la fuga de calories una vegada emmagatzemades. L'aplicació més comuna d'aquest sistema és la producció d'ACS, encara que també s'utilitza per la climatització de piscines o per calefacció. No és un sistema reversible com el cas de les bombes de calor. Aquests sistemes també tenen tres circuits hidràulics: circuit primari (captació), el circuit secundari (intercanvi) i el circuit de consum (calefacció i ACS). Aquest sistema, segons [10], pot ser complementari als dos sistemes descrits anteriorment, tant per la bomba com per la caldera.

Funcionament d'una placa solar tèrmica

- (1) El circuit de captació s'encarrega d'absorbir la radiació solar i transferir aquesta radiació al fluid calor-portador que circula pels col·lectors en forma d'energia tèrmica. La coberta d'aquests col·lectors genera un efecte hivernacle clau per la captació d'energia del fluid calor-portador. La coberta és transparent a la radiació solar però opaca a la radiació infraroja.
- (2) El circuit secundari s'encarrega de transferir aquesta calor captada en el primari i transmetre-la en el circuit de consum. L'acumulador del circuit secundari és essencial, ja que s'encarrega d'emmagatzemar tota l'energia en forma d'aigua calenta per a la seva posterior utilització on existeixi demanda de consum.
- (3) El circuit de consum doncs com bé diu la paraula serveix per satisfer les necessitats d'ACS i calefacció.

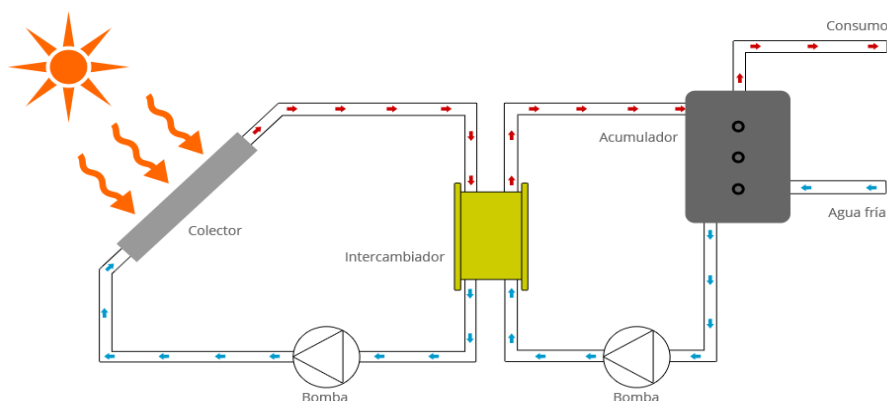


Figura 5.3. Funcionament esquemàtic d'un panell solar tèrmic (font: [10])

Avantatges i inconvenients de les plaques solars tèrmiques

<i><u>Punts forts</u></i>	<i><u>Punts febles</u></i>
L'energia solar és 100% renovable	Inversió inicial elevada
Redueix les emissions CO ₂	Depèn directament de la climatologia de la zona
Baix manteniment i neteja	Té limitacions en els sistemes de climatització

Taula 5-D. Punts forts i febles dels panells solars tèrmics (font: [8])

5.4. Alternatives de sistemes d'emissió

El sistema d'emissió és el circuit de climatització de dins l'habitatge, sigui circuit d'aire o d'aigua. Els tipus de circuits de climatització és independent del tipus de circuit de captació. Els emissors d'energia més usuals en habitatges són:

5.4.1. Radiadors d'aigua

És el sistema de calefacció més utilitzat en habitatges, existeixen radiadors d'alumini, d'acer o de ferro. El seu principi és ben senzill, es tracta de fer passar aigua calenta per un circuit tancat que conté un bloc en forma de serpenti, normalment d'alumini, distribuïts per totes aquelles cambres de l'habitatge que es vol escalfar. L'aigua calenta que circula pels radiadors acostuma a estar entre els 60 °C i els 70 °C. El seu funcionament és emetre calor per convecció natural (80%), malgrat això, la idea inicial és per radiació (20%) com bé diu el seu nom. (veure *Figura 5.4*)

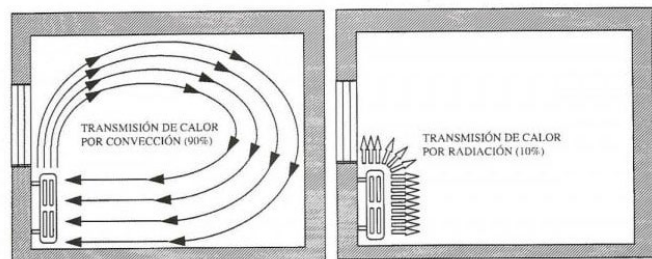


Figura 5.4. Esquema dels radiadors d'aigua [11]

És cert que els radiadors d'aigua són els sistemes d'emissió tèrmica amb més salt tèrmic (entre $\Delta T = 50^{\circ}\text{C}$ i $\Delta T = 70^{\circ}\text{C}$), per això es classifica com dels sistemes menys eficients si es compara amb el terra radiant. Però, actualment, existeixen els anomenats radiadors de baixa temperatura que intenten reduir aquest salt ($\Delta T = 30^{\circ}\text{C}$). Mentre els radiadors tradicionals estan compostos per mòduls que irradien calor per tota la superfície, els radiadors de baixa temperatura acostumen a ser un mòdul de xapa tancat on el seu interior conté la bateria d'intercanvi. L'aire fred entra al mòdul per la part baixa, s'escalfa en entrar en contacte amb la bateria i ascendeix per convecció fins que s'escapa per la reixa situada al part superior del mòdul. Així que mentre un radiador convencional escalfa tant per radiació com per convecció, un de baixa temperatura emet quasi el 100% de la calor per convecció. Això permet maximitzar l'aprofitament de la calor i a més a més es percep com més confortable [12].

Els radiadors tenen la necessitat que hi hagi corrent natural d'aire per tal que funcionin. Per això es pot considerar un inconvenient, ja que, per aquesta raó, se situen normalment a prop de finestres o sota d'aquestes per tal d'escalfar l'aire fred que entra i distribuir-la per l'habitació. També té l'inconvenient que provoca que a les parts més altes de l'habitació l'aire estigui més calent que a les baixes, justament quan la part més calenta de cos humà és el cap.

5.4.2. Fan coils

Els sistemes fancoils, també són anomenats *ventiloconvectors*, són equips aigua-aira que consten d'un o més ventiladors (*fan*), d'un o dos intercanviadors de calor (*coil*) i un filtre d'aire. Aquests equips poden produir calor com fred segons la temperatura del fluid que passa per l'intercanviador. El ventilador impulsa l'aire i el fa passar per uns tubs per on circula aigua calenta o freda i d'aquesta manera es produeix la termostransferència. Seguidament, l'aire passa per un filtre i surt cap a l'habitació que s'està climatitzant, en forma d'aire fred o calent. Aquests sistemes són de baixa inèrcia tèrmica i escalfen l'habitatge a partir de convecció forçada. Hi ha diversos tipus de fancoils segons on es col·loquen.

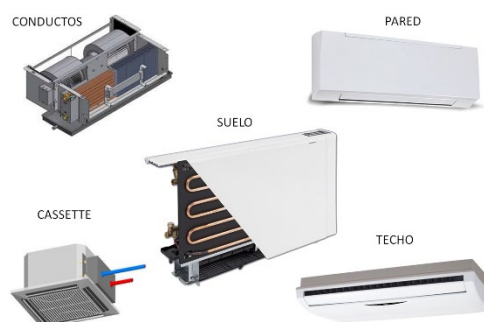


Figura 5.5. Fan coils [13]

Un avantatge és la gran independència que tenen de funcionament en cada habitació. Però com a inconvenient, és l'alta contaminació acústica, ja que provoca sorolls i corrents d'aire, per aquesta raó, es necessita una bona regulació del sistema i la seva instal·lació pot ser costosa.

5.4.3. Terra radiant

Els sistemes de terra radiant consisteixen a situar una xarxa de tubs de plàstic en un fals terra que pot cobrir tota la superfície de l'habitació. Aquests tubs poden fer circular tant aigua freda com calenta.

Aquest sistema té grans avantatges com l'elevat rendiment i el baix consum, ja que la temperatura de l'aigua que circula no supera els 45°C comparat amb els altres sistemes. També deixa d'ocupar espais i no té cap impacte visual. Pel cas de la calefacció aquest sistema provoca una millor sensació de confort comparat amb els altres sistemes, ja que fa que la temperatura de l'aire a l'altura dels peus sigui superior a la temperatura de l'altura del cap. Però també cal destacar l'elevat preu de la instal·lació de terra radiant sobretot si la implementació de sistema de climatització no és obra nova ni reforma global. Són sistemes d'alta inèrcia tèrmica perquè es tracta d'escalfar o refredar la massa que es troba sobre la superfície.



Figura 5.6. Sistema d'emissió en terra radiant [12]

6. Descripció general de la masia

En qualsevol projecte, és necessari conèixer l'entorn de l'objecte estudi, ja que és un paràmetre clau en la presa de decisions. És per això que en aquesta secció es descriuen primer les característiques de la zona on està situada la masia, la situació geogràfica, climatològica i geològica. I després es descriuen les característiques generals de l'habitatge, la seva distribució dels espais habitables, el sistema actual que utilitza per escalfar i refredar la masia i, per últim, es descriuen els seus tancaments tèrmics per veure si es pot aplicar alguna de les mesures d'eficiència energètiques explicades anteriorment.

6.1. Descripció geogràfica

L'objecte d'estudi és una masia unifamiliar i aïllada anomenada *El Verdguer*. La masia està situada al Nord-Est de la comarca d'Osona (veure *Figura 6.1*), prop del municipi de Sant Pere de Torelló a la vall del riu Ges, riu que neix als contraforts septentrionals del Puigsacalm i recorre una trentena de quilòmetres abans d'unir-se al Ter. El municipi de Sant Pere es troba a 25 km de Vic, capital de la comarca.

El Verdguer es situa amb les següents coordenades en DMS:

$42^{\circ}04'15.5''N$ $2^{\circ}18'56.0''E$



Figura 6.1. Situació geogràfica de la masia (font: adaptació wikipedia.org)

La cota altimètrica sobre el nivell del mar de Sant Pere de Torelló és de 621 metres. La masia es troba aproximadament a 600 metres per sobre el nivell del mar. A continuació, es mostra la situació geogràfica de la masia enquadrada de color vermell segons el mapa topogràfic que proporciona l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC). (veure Annex A)



Figura 6.2. Mapa topogràfic de la localització geogràfica de l'objecte d'estudi (font: [14])

6.2. Descripció geològica

La unitat de paisatge de la Plana de Vic és una plana d'erosió fluvial sobre materials sedimentaris formant una plana envoltada de muntanyes i excavada essencialment pel riu Ter, els seus principals afluents i el riu Congost. Les margues blavoses són els elements naturals que més destaquen.

A partir de la digitalització de la cartografia MAGNA de l'*Institut Geològic i Miner d'Espanya (IGME)*, s'ha obtingut el mapa geològic de la zona d'estudi. Observant el full cartogràfic MAGNA número 294 de l'*IGME* que correspon a Manlleu, lloc on s'ubica Sant Pere de Torelló i l'objecte, adjuntat en l'*Annex A*. S'identifica a la llegenda l'element natural amb to rosat, número 11, anomenat llims sorrencs amb fauna. Així doncs el terreny on pertany la masia d'estudi, *El Verdguer*, està compost per llims sorrencs amb fauna.

6.3. Descripció climatològica

Per un correcte dimensionament de la instal·lació i una bona climatització de la masia, és necessari tenir en compte les condicions climatològiques de la zona d'estudi pels càlculs de les càrregues tèrmiques i d'aquesta manera intentar reduir un sobredimensionat del sistema de climatització.

Segons [15], hi ha l'apartat que tracta la limitació de demanda energètica on s'estableixen diferents zones climàtiques identificades per una lletra que correspon a la divisió d'hivern i un número que fa referència a la divisió d'estiu. Cada capital de província disposa d'aquests codis tabulats i aprovats per la norma. Per qualsevol localitat es pot obtenir la seva zona climàtica en funció de la seva capital de província i la seva altitud respecte al nivell del mar.

Com bé s'ha comentat en la descripció geogràfica, la masia correspon a la comarca d'Osona, província de Barcelona i es troba amb una altitud, h , de 600 metres. Doncs seguint la taula adjunta (veure *Taula 6-A*) del [15], la masia pertany a la zona climàtica D1.

Zonas climáticas Península Ibérica																		
Capital	Z.C.	Altitud	A4	A3	A2	A1	B4	B3	B2	B1	C4	C3	C2	C1	D3	D2	D1	E1
Albacete	D3	677										h < 450			h < 950			h ≥ 950
Alicante/Alacant	B4	7					h < 250					h < 700			h ≥ 700			
Almeria	A4	0	h < 100				h < 250	h < 400				h < 800			h ≥ 800			
Avila	E1	1054														h < 550	h < 850	h ≥ 850
Badajoz	C4	168									h < 400	h < 450			h ≥ 450			
Barcelona	C2	1											h < 250			h < 450	h < 750	h ≥ 750
Bilbao/Bilbo	C1	214											h < 250				h ≥ 250	
Burgos	E1	861												h < 250			h < 600	h ≥ 600
Caceres	C4	385									h < 600				h < 1050			h ≥ 1050
Cádiz	A3	0	h < 150				h < 450					h < 600	h < 850			h ≥ 850		
Castellón/Castelló	B3	18					h < 50					h < 500			h < 600	h < 1000		h ≥ 1000
Ceuta	B3	0					h < 50											
Ciudad Real	D3	630									h < 450	h < 500			h ≥ 500			
Córdoba	B4	113					h < 150				h < 550				h ≥ 550			
Coruña, La/ A Coruña	C1	0												h < 200			h ≥ 200	
Cuenca	D2	975												h < 800	h < 1050			h ≥ 1050
Gerona/Girona	D2	143											h < 100		h < 600			h ≥ 600

Taula 6-A. Zones climàtiques de la Península Ibèrica (font: [15])

A partir dels documents de suport de [15], s'obté un arxiu .met amb totes les dades climatològiques de les zones climàtiques. S'han seleccionat les dades de zona D1 i s'ha trasllat a un Excel. Aquestes dades es van prendre durant cada hora de cada dia de l'any 2014. S'han extret les temperatures mitjanes per després fer-ne els càlculs necessaris:

Temperatures mitjanes [°C]	
Temperatura seca mitjana anual, T_0	12
Temperatura mínima, T_{\min}	-4,40
Temperatura màxima, T_{\max}	31,10
Amplitud anual de la temperatura mitjana diària, A_0 ¹	13

Taula 6-B. Temperatures mitjanes anuals extretes de zona climàtica D1 (font: annex D)

¹ A_0 es calcula com el valor mitjà entre la màxima i la mínima temperatura anual.

També a partir d'aquest arxiu *.met* es poden calcular el nombre d'hores anuals en què es troben en certs increments de temperatures, les anomenades *temperatures bins*² i d'aquesta manera queden determinades el total d'hores anuals d'ocurrència dels mesos d'hivern per exemple o dels mesos d'estiu.

És important conèixer la radiació solar de la zona de l'objecte estudi per poder prendre posteriors decisions del sistema de captació de l'energia. A partir de l'accés a dades de la radiació solar d'Espanya (ADRASE) s'obté que la irradiació global de la zona de Sant Pere de Torelló és 4,4kW/m².

6.4. Descripció d'El Verdaguer

El Verdaguer és una masia antiga construïda a finals del s.XIX, aproximadament 1890, està orientada de N – S, on la façana principal està encarada a Sud. (veure *Figura 6.3*).



Figura 6.3. Masia d'estudi, El Verdaguer (font pròpia)

Aquesta masoveria consta de sis grans espais: planta baixa, planta primera, planta sota coberta, galliner, estable i corral. Els tres últims són antics espais de bestiar (galliner, estable i corral) que actualment estan en desús i no es consideren espais habitables per l'estudi. Els altres tres espais són habitables i se'n farà el càlcul corresponent de la seva demanda i càrrega tèrmica.

² *Ambient temperatura bin data*: són dades que s'agrupen per rangs de temperatura el número total d'hores que la temperatura ambient s'ha trobat entre aquest rang i s'utilitzen per estimar l'energia que es consumeix en sistemes de calefacció i refrigeració.

La distribució dels espais s'adjunten a continuació (veure *Taula 6-C*). En l'annex A es mostren els plànols de la masia.

PLANTA BAIXA		PLANTA PRIMERA		PLANTA SOTA COBERTA	
Espai	Àrea [m ²]	Espai	Àrea [m ²]	Espai	Àrea [m ²]
Vestíbul	25,46	Menjador	24,96	Dormitori 5	19,43
Sala	37,65	Cuina	19,06	Dormitori 6	9,45
Taller	19,25	Dormitori 1	19,91		
Magatzem	17,42	Dormitori 2	15,25		
Bany 1	5,76	Dormitori 3	8,19		
		Dormitori 4	11,09		
		Bany 2	6,95		

Taula 6-C. Distribució dels espais de la masia (font pròpia)

La masia té un ús i ocupació constant al llarg de tot l'any, ja que es considera que hi viuen unes 9-10 persones i fan ús dels espais habitables amb regularitat. Per tant, pel càlcul de les necessitats tèrmiques es tindrà en compte aquesta càrrega d'ocupació i es voldrà satisfer doncs el confort tèrmic de manera permanent i no amb discriminació horària.

6.4.1. Sistema de climatització existent

El Verdguer és una masia amb més d'un segle d'antiguitat i un dels aspectes que encara conserva és el seu mètode de calefacció. La masia s'escalfa a partir d'una clàssica i rústica llar de foc oberta situada a la cuina, tres estufes de llenya situades al menjador i a dos dormitoris i la resta d'habitacions, actualment, s'escalfen amb estufes elèctriques.

Històricament, la llar de foc a part de ser una font d'escalfor durant els hiverns, també era el lloc on es cuinaven i es coïen els aliments i fins i tot on s'assecaven alguns aliments perquè es conservessin. Malgrat tenir un ús multifuncional, actualment aquest sistema de calefacció és considerat el sistema de calefacció més ineficient del sector, és doncs per aquesta raó que es fa el present estudi.



Figura 6.4. Estufa de llenya i llar de foc de la masia (font pròpia)

6.4.2. Tancaments tèrmics actuals

Per definició, un conjunt de tancaments tèrmics, també anomenat envoltant tèrmica, són totes les parts de la masia que separen els espais interiors amb l'exterior, ja siguin tancaments fixes (cobertes, façanes, terres...) com forats (finestres, portes, lluernaris, claraboies...).

Segons [15], la transmissió tèrmica dels tancaments (U), en obra nova, no han de superar els valors classificats per zones climàtiques, per aquest cas es comparen amb els valors de la zona climàtica D1 (veure *Taula 6-D*). Cal remarcar que, segons [15], s'han de complir aquestes limitacions si es tracta d'obra nova. L'objecte estudi no ho és, però igualment, en l'annex B es calculen les transmissió tèrmiques de cada tancament i es comprova si supera el valor establert.

Parámetro	Zona climàtica de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Transmissió tèrmica de murs y elements en contacte con el terreno ⁽¹⁾ [W/m ² ·K]	1,35	1,25	1,00	0,75	0,60	0,55
Transmissió tèrmica de cubiertas y suelos en contacte con el aire [W/m ² ·K]	1,20	0,80	0,65	0,50	0,40	0,35
Transmissió tèrmica de huecos ⁽²⁾ [W/m ² ·K]	5,70	5,70	4,20	3,10	2,70	2,50
Permeabilitat al aire de huecos ⁽³⁾ [m ³ /h·m ²]	≤ 50	≤ 50	≤ 50	≤ 27	≤ 27	≤ 27

Taula 6-D. Transmissió tèrmica màxima dels tancaments tèrmics establert pel CTE (font: [15])

a) Façanes

Les façanes del Verdaguer, són els tancaments tèrmics verticals. Consten d'un sòcol de mur de paredat construït amb pedres de la zona i morter de calç com a conglomerant. L'acabat exterior dels murs consta d'un revestiment continu de morter. Des de l'interior, només les façanes de les plantes primera i segona han estat revestides amb guix (*Figura 6.5* de la dreta). A la planta baixa, en canvi, la façana no té acabat interior (*Figura 6.5* de l'esquerra).

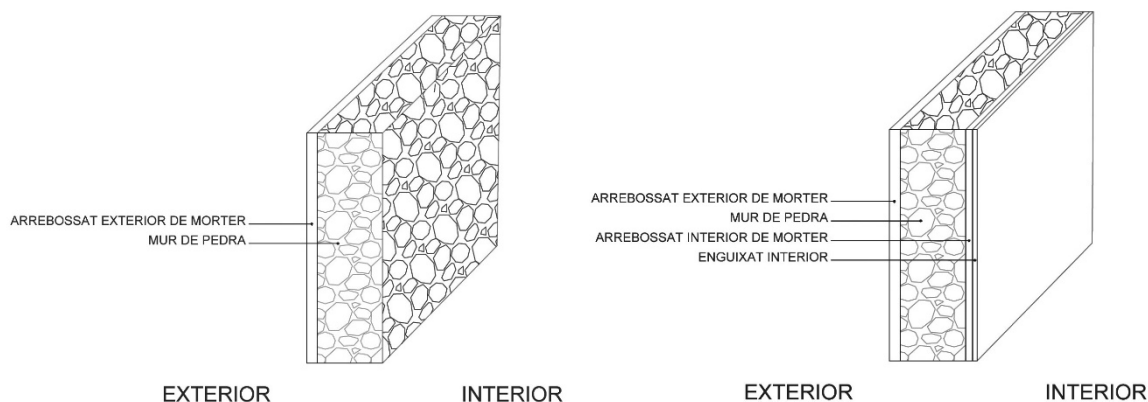


Figura 6.5. Façana actual esquerra: PB; Façana actual dreta: P1 i P2 (font pròpia)

En la taula adjunta s'exposen els valors de les transmissibilitats tèrmiques (U) de cada tancament i es compara amb el valor màxim de la transmissibilitat tèrmica de les façanes establerta pel CTE. El recull de càlculs es troben en l'annex D.

	PLANTA BAIXA	PLANTA PRIMERA	PLANTA SOTA COBERTA
U_{actual} [W/m ² K]	1,88	1,64	1,64
$U_{límit}$ [W/m ² K]	0,60		

Taula 6-E. Transmissibilitat tèrmica actual de les façanes comparada amb la límit (font annex D)

Es comprova que les tres plantes no compleixen amb la normativa establerta pel CTE (veure annex D). Es proposaran més endavant mesures per fer minvar aquest flux de calor.

b) Coberta

La coberta també és un tancament tèrmic important a l'hora de tenir en compte la reducció del flux de calor. Les capes que formen el tancament de la coberta són bigues, llates de fusta, rajoles ceràmiques i llistons de fusta sobre les quals es recolzen les teules, en la taula adjunta s'exposa el valor de transmissibilitat tèrmica (U) de la coberta es compara amb el valor màxim establert pel CTE. El recull de càlculs es troben a l'annex D.

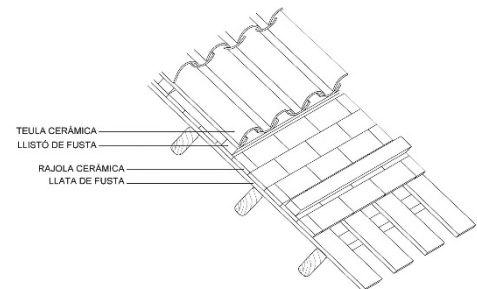


Figura 6.6. Coberta actual (font pròpia)

	COBERTA
U_{actual} [W/m ² K]	1,49
$U_{límit}$ [W/m ² K]	0,40

Taula 6-F. Transmissibilitat tèrmica actual de la coberta comparada amb la límit (font annex D)

c) Terra

El terra, com a tancament tèrmic horitzontal, està format directament per la roca natural on està situada la masia i amb rajoles de ceràmica col·locades al damunt.

	TERRA
U_{actual} [W/m ² K]	1,47
$U_{límit}$ [W/m ² K]	0,60

Taula 6-G. Transmissibilitat tèrmica actual dels tancaments horitzontals comparada amb la límit (font annex D)

d) Finestres i balcó

Actualment, els forats de la planta baixa no disposen de cap tancament. A les altres dues plantes la majoria de finestres i inclòs el balcó (veure *Figura 6.7*) no són energèticament eficients sinó que són senzilles i antigues.



Figura 6.7. Balcó de la planta primera (font pròpia)

7. Selecció de les mesures d'eficiència energètica

En aquest apartat, una vegada s'ha fet una descripció de la masia, es decideixen quines mesures d'eficiència energètica, tan passives com actives, es duen a terme per tal de poder complir els objectius d'*El Verdguer* que s'han plantejat. Primer de tot, es prendran mesures passives en els tancaments tèrmics de la masia. En segon lloc, com una de les mesures actives, es selecciona el tipus de sistema de climatització renovable. En últim terme, es selecciona les unitats terminals d'emissió de l'energia que tindrà la masia. Tant el sistema de climatització com el d'emissió s'utilitzen les matrius de decisió com a eines d'ajuda per poder enfocar la selecció en els factors que es consideren claus per la instal·lació.

7.1. Tancaments tèrmics

Com s'ha descrit en l'apartat anterior 6.4.2 els tancaments tèrmics actuals d'*El Verdguer* tenen transmitàncies (U) superiors a les recomanades per [15]. La masia necessita incorporar noves capes d'aïllament en els seus tancaments tèrmics per poder fer minvar aquest valor i així afavorir en l'eficiència energètica de l'espai.

S'apliquen mesures passives, comentades anteriorment en l'apartat 5.2.1, a les façanes i la coberta, ja que són les que tenen els valors de transmitància més elevats i per on es perd més la calor. El tipus d'aïllament que s'escull per cada tancament és el següent:

Aïllament de façanes

En les quatre façanes s'incorpora un aïllament termoacústic amb un extradossat autoportant, per l'interior de tancaments verticals, format per l'extradossat, amb placa de guix laminat i un aïllament amb panell de llana mineral de la casa *Ursa*.

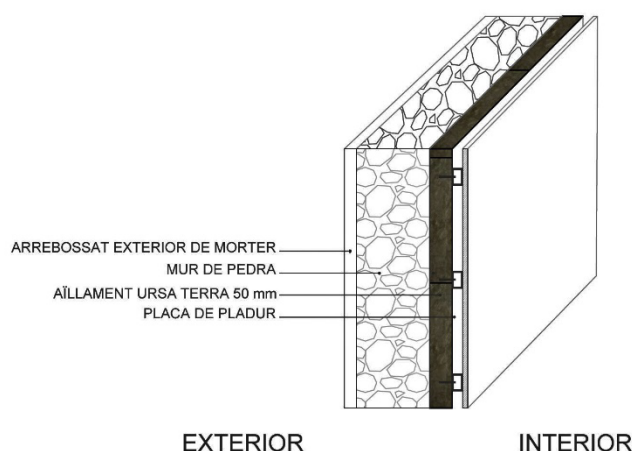


Figura 7.1. Aïllament extradossat interior (font pròpia)

Amb la proposta feta, la transmissió tèrmica nova de les façanes compleix amb U límit:

	PLANTA BAIXA	PLANTA PRIMERA	PLANTA SOTA COBERTA
U_{actual} [W/m²K]	1,88	1,64	1,64
U_{límit} [W/m²K]	0,60		
U_{millorada} [W/m²K]	0,495	0,48	0,48

Taula 7-A. Nous valors de la transmissió tèrmica de les façanes (font annex D)

Aïllament coberta

A la coberta s'incorpora un aïllament tèrmic per l'interior, format per una manta de llana mineral, de la casa *Ursa*, de 80 mm d'espessor, i un acabat amb placa de guix deixant les bigues vistes per mantenir l'estètica clàssica de la masia.

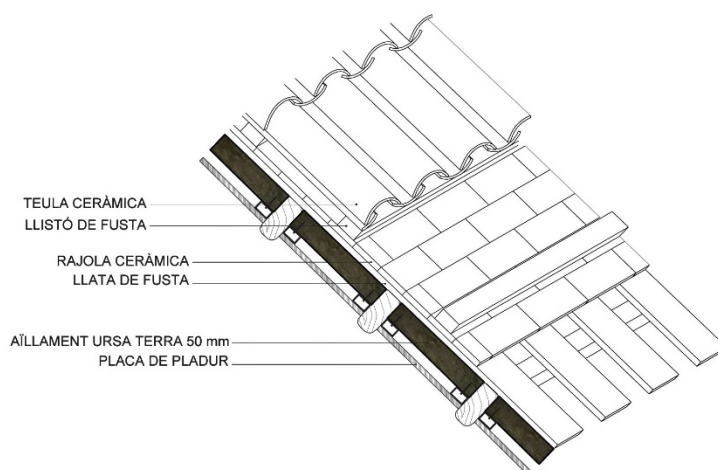


Figura 7.2. Aïllament coberta (font pròpia)

Amb aquesta nova mesura la transmissió compleix amb la límit (veure Taula 7-B)

	COBERTA
U_{actual} [W/m²K]	1,49
U_{límit} [W/m²K]	0,40
U_{millorada} [W/m²K]	0,495

Taula 7-B. Nou valor de la transmissió tèrmica de la coberta (font annex D)

Cal destacar que aquestes noves capes d'aïllament que s'afegeixen a les façanes i a la coberta de la masia, són materials naturals, vegetals o minerals, per tal de reduir l'aportació de material contaminant com el plàstic.

Aïllament de les finestres



Figura 7.3. Finestra de doble vidre (font [16])

L'aïllament de finestres d'un habitatge també són elements importants a tenir en compte, ja que són forats directes per on circula el flux de calor. Es decideix substituir les finestres actuals per unes noves també de fusta per mantenir l'estètica però amb doble vidre i cambra d'aire.

Amb aquesta nova mesura es compleix la establerta pel CTE.

A l'annex D, però, es descriuen en més detall les característiques constructives de cada tancament. Així com el càlcul de transmitància tèrmica de l'estat actual de la masia i les noves capes d'aïllament proposades.

7.2. Sistema de climatització

Per la selecció del sistema de climatització s'empra el mètode de les matrius de decisió, com s'ha comentat a l'inici. L'ús d'aquestes matrius es poden dividir en dos tipus, conceptualment, molt simple: les *matrius de filtratge* i les *matrius d'avaluació*. Les de filtratge s'usen per descartar les alternatives que no requereixen una major consideració, i en canvi, les d'avaluació, com bé diu la paraula, serveixen ja per escollir-ne una. En aquest cas es considera que el filtratge ja s'ha fet d'inici en descartar els sistemes de climatització no renovables. Així doncs, es fa directament la matriu d'avaluació, o també anomenada matriu de selecció. La matriu de selecció es basa a assignar un pes (percentatge) a cada un dels criteris establerts i una puntuació escalar, en aquest cas, del 0 al 10.

- Alternativa Actual: Llar de foc + estufes de llenya
- Alternativa B: Bomba de calor

B.1: Bomba de Calor Aerotèrmica (BCA)
B.2: Bomba de calor Geotèrmica (BCG)
- Alternativa C: Caldera de biomassa
- Alternativa D: Placa solar tèrmica

Les alternatives són els sistemes renovables descrits en l'apartat 5.2 on també s'afegeix l'alternativa actual per poder fer-ne una comparació.

Els criteris de selecció són els següents:

Criteri 1: Cost de la inversió: (pes **15%**) Si partim que les renovables ja d'entrada tenen una

elevada inversió inicial, hi ha diferències entre elles. Aquest criteri té un pes considerable que pot ser compensat amb el quart criteri, el període de retorn.

Criteri 2: Rendiment, eficiència energètica: (pes **20%**) El criteri per excel·lència del segle XXI, antigament el concepte d'eficiència d'un sistema quedava eclipsat pel concepte de consum. Es pot afirmar que el rendiment d'un sistema és actualment una peça clau en la presa de decisions. Per sobre de 5 significa alt rendiment, per sota de 5 baix rendiment.

Criteri 3: Dimensions de la instal·lació: (pes **5%**) Les dimensions de la instal·lació són molt variables per cada sistema i considerant que en l'objecte estudi té terreny suficient per al cas més desfavorable.

Criteri 4: Període de retorn teòric: (pes **15%**) Conegut el món econòmic com *payback*, és el moment on s'amortitzarà la inversió inicial feta, i depenen de cada sistema serà més o menys llunyà. Tot sistema renovable acostuma a estar entre els 8 i els 15 anys de retorn.

Criteri 5. Confort: (pes **10%**) El confort es defineix com tot allò que produeix benestar i comoditat. En aquest cas, es té en compte el confort tèrmic i el confort acústic.

Criteri 6: Vida útil: (pes **15%**) La vida útil d'aquests sistemes és elevada i pot compensar al primer criteri. Generalment, tots els sistemes tenen vides útils superiors als 15 anys.

Criteri 7: Manteniment: (pes **5%**) El manteniment és important, ja que per molt eficients que siguin aquests sistemes, es diferencien entre ells per les inspeccions periòdiques d'alguns, d'altres que quasi són completament autònomes.

Criteri 8. Impacte estètic: (pes **5%**) L'impacte visual que té cada alternativa e escala estètica.

Criteri 9. Contribució pel medi ambient: (pes **10%**) El fet que les alternatives proposades utilitzin fonts renovables excepte l'alternativa base s'ha decidit afegir aquest criteri per distingir-se de l'alternativa base.

Seguidament, s'ha omplert la matriu de selecció seguint els criteris descrits i puntuant del 0 al 4 si es considera que no es favorable i del 6 al 10 si n'és favorable. Després aquesta puntuació es pondera amb cada criteri i es fa la suma total. A partir d'aquí s'escull l'alternativa amb la puntuació més alta.

	PES	Alternativa Actual Llar de foc	Alternativa B.1 BCA	Alternativa B.2 BCG	Alternativa C Caldera biomassa	Alternativa D Placa solar tèrmica
Criteri 1. Cost inversió	15%	10	4	1	3	3
Criteri 2. Rendiment	20%	0	9	10	6	6
Criteri 3. Dimensió de la instal·lació	5%	5	5	1	2	3
Criteri 4. Període de retorn	15%	0	3	2	3	3
Criteri 5. Confort	10%	1	6	10	7	8
Criteri 6. Vida útil	15%	9	7	8	7	7
Criteri 7. Manteniment	5%	3	6	9	4	5
Criteri 8. Impacte estètic	5%	5	3	9	6	4
Criteri 9. Contribució medi ambient	10%	5	10	10	10	10
PUNTUACIÓ	100%	4,1	6,2	6,6	5,45	5,55

Taula 7-C. Matriu de selecció (font pròpia)

La bomba de calor geotèrmica (alternativa B.2) és l'alternativa que major puntua: 6,6 sobre 10. L'estudi es decantarà per la implementació d'un **sistema de climatització geotèrmic**.

7.3. Sistema d'emissió

Cal recordar que per poder aplicar el mètode de la matriu de decisió es necessita primer de tot una llista de les alternatives actuals que existeixen dins del sector de distribució de calefacció i refrigeració. En segon lloc, detallar els criteris que es tindran en compte i la importància de cada criteri i per últim aplicar la matriu amb l'escala de puntuació del 1 al 5. Les alternatives són les unitats terminals descrites en l'apartat 6:

- Alternativa A: Radiadors d'aigua
- Alternativa B: Fan coils
- Alternativa C: Terra radiant

Cal destacar que l'alternativa A no té la possibilitat de refrigerar i en canvi les altres dues sí. Però també és important fer esment que la BCG té refrigeració passiva, ja que com s'ha anat demostrant al llarg de l'estudi, la demanda de refrigeració és molt més inferior a la de calefacció. Per tant, es pot dir que, en aquest apartat, es selecciona un sistema per l'emissió de calefacció i no de climatització. Cal afegir, també, que la masia no disposa de cap sistema de distribució de calor, ja que actualment utilitzar el sistema tradicional de llar de foc i estufes de llenya. Els criteris de selecció són els següents:

criteri 1. Cost de la instal·lació (pes **25%**) es considera criteri important com la resta de seleccions que s'han fet anteriorment.

criteri 2. Dificultat d'execució de la instal·lació (pes **20%**) considerant que no es tracta d'una obra nova sinó d'una masia de finals del segle XIX, antiga i delicada. Aquest criteri és rellevant per veure cada unitat terminal si és factible a nivell estructural.

criteri 3. Confort general (pes **15%**) s'engloben els confortos tant tèrmics com acústics però també l'impacte visual i estètic de cada unitat terminal.

criteri 4. Manteniment (pes **15%**) criteri determinant que s'ha tingut en compte l'experiència d'instal·ladors del sector.

criteri 5. Salt tèrmic (pes **15%**) una de les mesures per estalviar energia en els sistemes d'emissió tèrmica és reduint el seu salt tèrmic, és a dir, reduir la diferència entre la temperatura del fluid emissor i l'ambient.

criteri 6. Impacte ambiental (pes **10%**) s'incorpora aquest criteri nou, ja que seguint la línia del sistema de captació renovable també es vol seguir amb un sistema d'emissió al mínim contaminant en l'àmbit de materials i accessoris.

A continuació s'adjunta la matriu de decisió calculada sobre 5.

	PES	Alternativa A Radiadors	Alternativa B Fancoils	Alternativa C Terra radiant
Criteri 1. <i>Cost de la instal·lació</i>	25%	3	3	2
Criteri 2. <i>Dificultat de l'execució</i>	20%	4	4	2
Criteri 3. <i>Confort general</i>	15%	3	2	5
Criteri 4. <i>Manteniment</i>	15%	3	2	2
Criteri 5. <i>Salt tèrmic</i>	15%	3	2	4
Criteri 6. <i>Impacte ambiental</i>	10%	3	2	2
PUNTUACIÓ sobre 5	100%	3,2	2,65	2,75

Taula 7-D. Matriu de decisió del sistema d'emissió (font pròpia)

Observant la puntuació final sobre 5, s'opta per instal·lar un sistema d'emissió amb **radiadors de baixa temperatura**.

8. Climatització geotèrmica

En aquest apartat es detalla d'una manera teòrica el sistema de climatització seleccionat per cobrir les necessitats de la masia d'*El Verdaguer*.

La climatització geotèrmica utilitza l'energia geotèrmica de molt baixa temperatura, també anomenada energia geotèrmica superficial. Com s'ha descrit anteriorment, és aquell tipus d'energia geotèrmica inferior a 30°C que es troba emmagatzemada als primers centenars de metres del subsol. És una energia renovable, neta i altament eficient. S'utilitza principalment com a intercanviador tèrmic en sistemes de climatització i escalfament d'ACS mitjançant l'ús de bescanviadors intercanvi tèrmic amb el subsol i acompanyat sempre d'una bomba de calor geotèrmica. També es pot utilitzar per a l'emmagatzematge estacional d'energia en el subsol, per exemple, per emmagatzemar energia durant l'estiu en el subsol i recuperar-la durant l'hivern. Aquesta energia pot ser utilitzada tant en espais com habitatges, com qualsevol tipus d'edifici del sector terciari de forma única o hibriditzada amb altres energies renovables, també per climatitzar piscines.

8.1. Tipus de captació geotèrmica

En la climatització geotèrmica, la font de captació és el terreny que s'encarrega d'entregar l'energia captada als espais habitables. La captació es duu a terme mitjançant uns intercanviadors d'energia o col·lectors per on hi circula en l'interior un fluid que en contacte amb el subsol capta o cedeix energia a conseqüència del salt tèrmic entre el terreny i el mateix fluid. També és possible extreure energia de les aigües subterrànies i aprofitar la seva temperatura però l'inconvenient és que es necessita una autorització de les administracions públiques. Així que les característiques del terreny i la presència d'aigua subterrània són factors clau que determinen el dimensionament del sistema de captació i l'eficiència del sistema [17].

Aquests captadors poden ser classificats en deus tipologies principals: en sistemes oberts i en sistemes tancats. A la vegada cada un inclou diferents subtipus.

8.1.1. Sistemes oberts

Es caracteritzen perquè el portador de la calor, en aquest cas l'aigua subterrània, flueix lliurement en el subsol i actua, a part de font de calor, com a mitjà d'intercanvi de calor. Es pot veure aplicat en zones amb aquífers, llacs o rius. En la majoria dels casos, és necessari fer dos sondejos un per extraure l'aigua subterrània i l'altra per retornar-la al mateix aquífer una vegada ha sigut intercanviada amb la bomba de calor geotèrmica. Per tal d'evitar el refredament continu de l'aigua subterrània, aquests dos sondejos d'extracció i retorn s'han de

situar, respectivament, en aigües amunt i aigües avall del flux subterrani, d'acord amb els models de transmissió de calor.

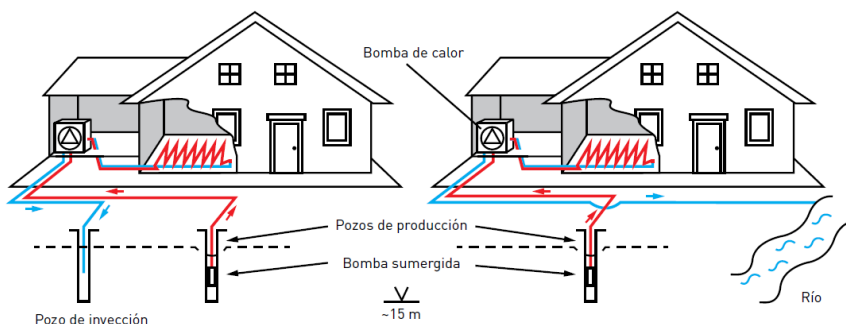


Figura 8.1. Sistema de captació obert (font [17])

Dels sistemes oberts verticals, com pous, es poden extreure una gran quantitat d'energia tèrmica molt més elevada que la que s'obté per un sistema basat en un circuit tancat. Així doncs la captació d'aigües freàtiques és el que millor rendiment energètic obté de la BCG quan capta directament aigua del terreny, ja que l'aigua entra amb una major temperatura a l'evaporador respecte a altres sistemes de captació. Però l'aplicació d'aquests sistemes requereix una permeabilitat suficientment elevada del terreny i una bona qualitat de l'aigua subterrània fet que exigeix un control exhaustiu d'alguns paràmetres per tal que a llarg termini no afecti el funcionament de la instal·lació.

Aquests sistemes són senzills, amb baixos costos d'inversió, però tenen un elevat manteniment i un rendiment condicionat per les característiques hidrològiques del terreny o la quantitat d'aigua.

8.1.2. Sistemes tancats

Són aquells que utilitzen intercanviadors enterrats, amb un fluid captador en el seu interior – bàsicament aigua amb alguna substància anticongelant com la glicolada – per tal d'extreure la calor existent a poca profunditat del terra. Aquests sistemes ofereixen la possibilitat d'aprofitar la calor acumulada en els materials dels nivells més externs de l'escorça terrestre, on la impermeabilitat del terreny o la profunditat dels nivells no permet explotar l'energia de les aigües del subsol. Existeixen dos tipus, horitzontal i verticals, en funció de com estan situats els intercanviadors de calor.

a) Captació en horitzontal

Consisteix en la disposició horitzontal d'uns tubs, normalment de polietilè d'entre 25 a 40 mm de diàmetre, que s'utilitzen com a intercanviadors amb el terreny i són enterrats entre 0,5 fins a 2 metres. Com que aquests captadors estan poc enterrats en comparació amb la resta de sistemes, s'ha de tenir en compte la gran influència climàtica que tindran els captadors ja sigui

per la temperatura de l'aire que modifica la temperatura superficial del terreny com per la radiació solar captada.

La superfície que ocupa aquest sistema és equivalent aproximadament al doble de la superfície de terreny utilitzada per l'habitatge. Una vegada són instal·lats els m² de captadors, aquell terreny ja no se li pot donar cap altre ús per no interferir en la captació, és a dir, la plantació de vegetació amb profundes arrels podria trencar en futur els captadors, ara bé, sí que hi ha la possibilitat de planar vegetació amb arrels de poca profunditat per poder fomentar l'estabilitat de la temperatura i la humitat del terra. Igualment, tampoc no es recomana la construcció de plataformes o soleres que dificultin l'accés a una possible reparació de la instal·lació [17].

Un dels seus principals avantatges, però, és que és un dels sistemes de captació més fàcils d'instal·lar i en conseqüència dels més econòmics d'energia geotèrmica. Bàsicament només s'aplica en necessitats de baixa potència com cases unifamiliars aïllades que disposen d'un ampli terreny exterior.

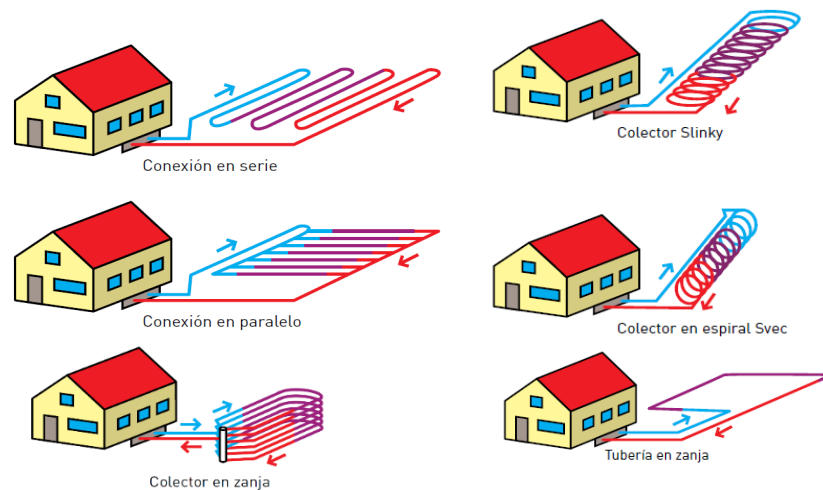


Figura 8.2. Sistema tancat en horitzontal (font [17])

b) Captació en vertical

El sistema de captació en vertical consisteix en l'execució d'una o varies perforacions de sondejos de profunditat variable – normalment, entre 50 i 200 metres – i de diàmetre petit – de 10 a 15 cm – on s'introdueixen les sondes o captadors d'energia normalment de polietilè o polipropilè amb un diàmetre que varia entre els 25 mm i els 63 mm depenen de la longitud del circuit i del cabal que hi circula. Aquestes perforacions després d'introduir les sondes són reomplerts d'un tipus de morter especial que millora la conductivitat. Aquests dispositius verticals són anomenats sondes geotèrmiques i és l'aplicació més comuna, ja que té l'avantatge que la instal·lació no requereix tanta superfície i garanteix una gran estabilitat de les temperatures. Per contra, es necessita una gran inversió a l'inici.

Pel disseny d'una sonda geotèrmica es requereix un coneixement exhaustiu previ de la conductivitat tèrmica del terreny, la humitat natural del terra, la presència o no d'aigües subterrànies i el tipus de prestacions de la instal·lació prevista.

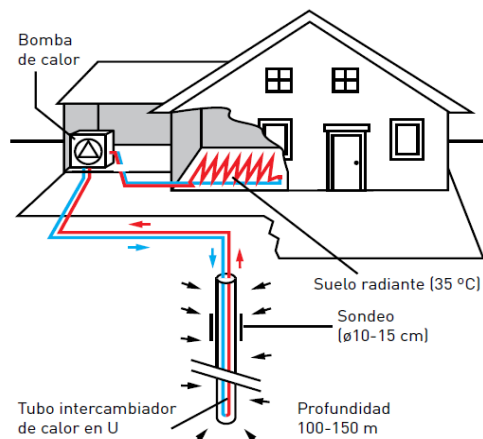


Figura 8.3. Sistema tancat en vertical (font [17])

Els tubs captadors poden instal·lar-se de diverses maneres a l'interior del sondeig. Els dos tipus més bàsics d'intercanvi vertical són:

- **Amb tubs en U:** consisteix a unir un parell de tubs a partir d'un colze de 180°. Depenent del diàmetre del sondeig es podran instal·lar fins a quatre d'aquest parell de tubs en U. Són els més utilitzats a Europa, ja que un dels seus avantatges d'aquesta configuració és el baix cost de material de tubs.

- **Amb tubs coaxials:** la configuració més simple consta de dos tubs concèntrics de diferent diàmetre. També existeixen configuracions més complexes que contenen un major nombre de tubs col·lectors.

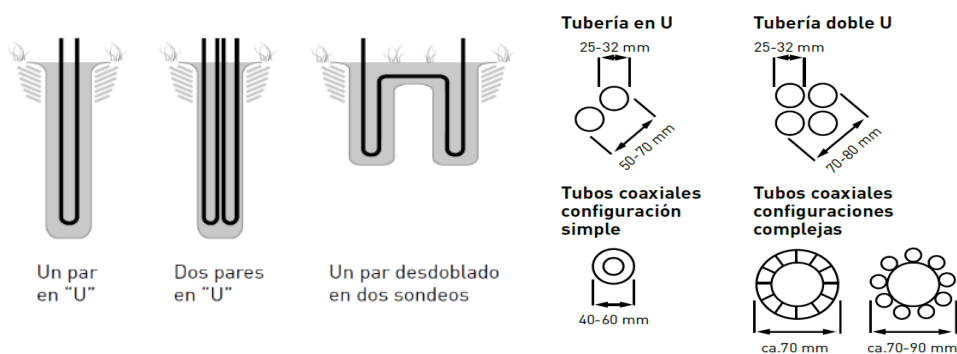


Figura 8.4. Diferents tipus de tubs captadors verticals (font [17])

9. Simulació energètica de la masia

En aquest apartat es fa la modelització tèrmica de la masia d'estudi utilitzant els programes de simulació energètica com *EnergyPlusTM* i *OpenStudio[®]* per tal de determinar el comportament tèrmic de la masia en estat passiu (*Floating Loads*) i el càlcul de les càrregues tèrmiques màximes i la seva demanda energètica anual (*Ideal Loads*). Posteriorment es continuen els càlculs de disseny de potència de la bomba amb el programa de full de càlcul de *Microsoft Excel* seguint un model energètic de la bomba de calor geotèrmica del Ministeri de Recursos Naturals del Canadà [18].

9.1. Programes utilitzats

EnergyPlusTM (E+) és un programa de simulació energètica d'edificis del Departament d'Energia dels Estats Units amb llicència gratuïta que s'utilitza per modelar tant el consum energètic per la calefacció, la refrigeració, la ventilació, la il·luminació i les càrregues dels endolls, com també l'ús d'aigua en els edificis. Aquest software més endavant va introduir un plug-in per al software de modelatge gràfic de *SketchUp* conegut com a *OpenStudio[®]*.

OpenStudio[®] (OS) és un conjunt d'aplicacions que permeten desenvolupar un modelatge de l'habitatge a través d'una interfície gràfica, una de les mancances de *EnergyPlusTM*. Aquesta plataforma es considera com una eina de simulació potent de llicència també gratuïta disponible per a calcular i modificar el consum d'energia dels habitatges. De tot el ventall d'aplicacions d'OS s'han utilitzat els següents (col·locats en l'ordre d'ús):

1. *OpenStudio SketchUp (Skp) Plug-in*: a partir d'aquest *plugin* s'ha aprofitat per generar la geometria 3D amb *SketchUp*, programa de modelatge d'edificis que ha permès introduir la geometria de la masia de forma senzilla i fiable. S'han creat els espais i els tancaments i forats de superfícies.
2. *OpenStudio Application*: és la interfície gràfica que permet introduir les propietats de l'habitatge per poder simular: dades climàtiques, els models de construcció, els seus materials de l'envolupant tèrmica, les càrregues internes, l'ocupació, la il·luminació de cada espai, els horaris, etc.
3. *Parametric Analysis tool*: permet automatitzar les simulacions i veure com varia el comportament tèrmic de l'habitatge per cada paràmetre. D'aquesta manera es pot seleccionar les millors mesures d'estalvi energètic.
4. *EnergyPlusTM*: és l'últim pas del procés i és el que s'encarrega de simular l'edifici a partir de totes les dades introduïdes, la geometria i els fitxers climatològics.

5. **Dview**: és el nou visor de resultats que permet realitzar una anàlisi virtual de tots els resultats generats per **EnergyPlus™**.

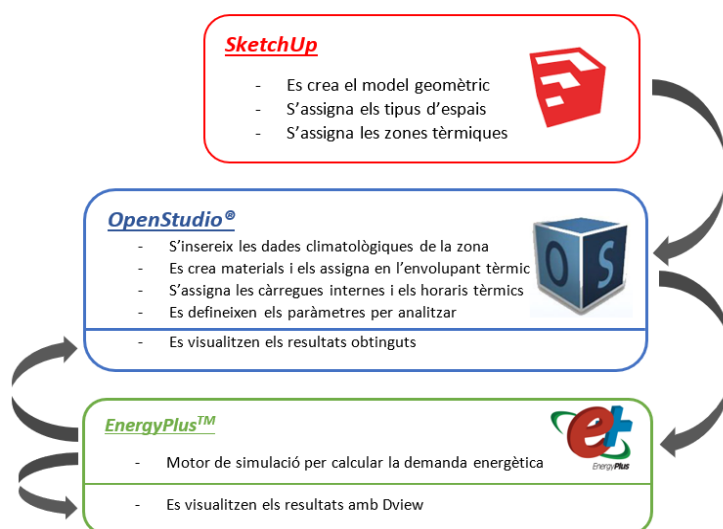


Figura 9.1. Diagrama pel procés de modelar i simular l'habitatge (font: adaptació [19])

9.2. Modelització geomètrica

S'ha utilitzat **SketchUp** per definir la geometria de la masia. Primer de tot s'han dissenyat els sis espais, tres definits com a espais habitables i els altres tres no habitables amb una àrea de superfície total de 503,89 m², veure Figura 8.2.

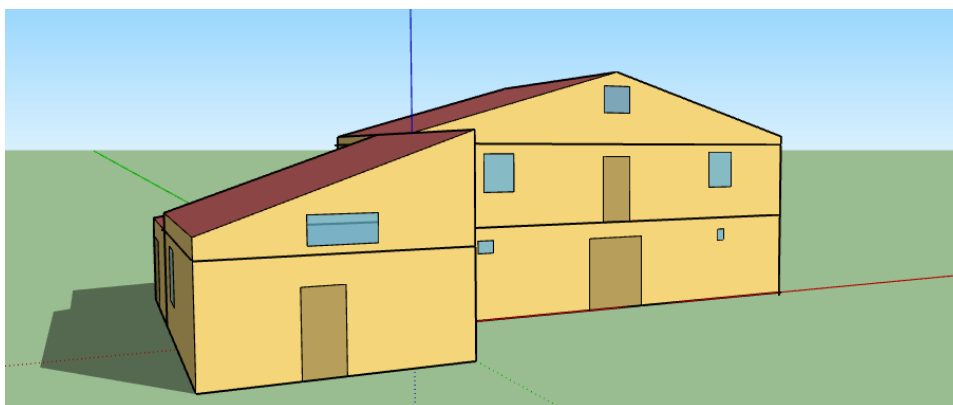


Figura 9.2. Model gràfic de la masia (font pròpia)

Les particions interiors de cada espai no s'han dissenyat, ja que la masia està construïda amb unes parets interiors molt fines i simples considerant cada planta com un sol espai. Per aquesta raó, s'ha pres la decisió d'unificar totes les habitacions de cada planta i fer-ne l'estudi de tres grans espais (P0, P1 i P2). Les tres plantes tenen una superfície total de 364,35 m². Cal afegir, però, que es tindran en compte les particions interiors en el disseny del sistema d'emissió de l'habitatge segons l'ús i la superfície de cada espai interior.

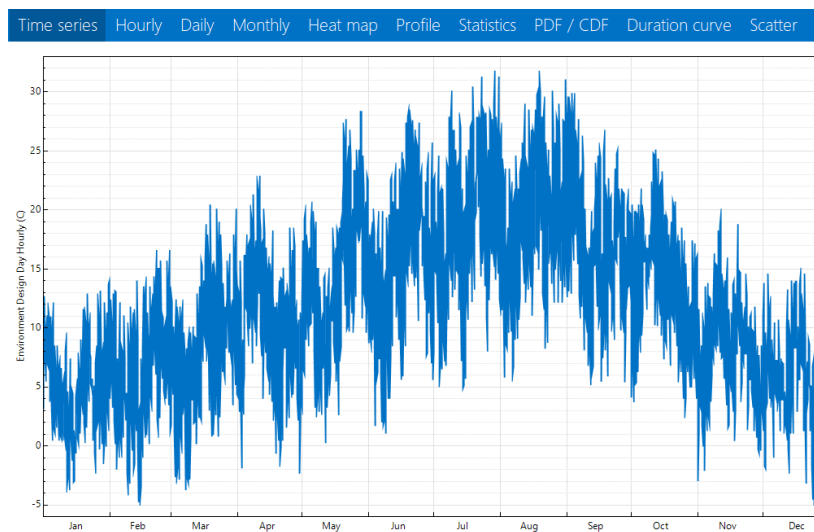
S'han dissenyat els forats (finestres i portes) de cada espai. El percentatge de finestres a les façanes de la zona habitable de la masia és un 4%, distribuïdes en 8,41%, 1,18%, 1,69%, 3,46% en Sud, Est, Nord i Oest, respectivament. Per poder efectuar la modelització tèrmica de l'habitatge s'han definit les zones tèrmiques, definint aquelles superfícies exposades a l'exterior i aquelles superfícies a l'interior.

9.3. Modelització energètica

Una vegada està definida la geometria de l'habitatge, els tipus d'espais i les zones tèrmiques, es passa a treballar amb el software d'*OpenStudio Application* per tal de definir tots els paràmetres i condicions que té la masia abans de fer córrer la simulació.

Primer de tot, s'insereix un fitxer de dades climatològiques OS proporciona la web de *E+* per descarregar-te els fitxers climàtics en format .epw, però només proporcionava fitxers climàtics de les capitals de província de cada regió. Les primeres simulacions es van fer amb el fitxer de Barcelona i Girona però no eren dades climatològiques semblants a la de l'objecte estudi. Més endavant es van poder obtenir fitxers climàtics en format .epw de la zona climàtica d'estudi (zona D1). Aquest fitxer, obtingut a partir del CTE, conté tots els paràmetres (temperatura, humitat, radiació, etc) que s'han pres cada hora durant tot un any concret.

A partir d'aquest fitxer de dades climàtiques, s'observa les temperatures preses cada hora durant tot l'any al visualitzador *Dview* (veure *Gràfic 9-1*). En general, s'observa unes temperatures generalment fredes, fins i tot en els períodes d'estiu. Durant les hores d'absència solar, les temperatures poden arribar als 2-5°C. Aquest fet pot preveure que la demanda de calefacció anual serà molt més elevada que la de refrigeració. I que fins hi tot la masia tindrà demanda de calefacció en períodes normalment classificats com períodes calorosos.



Gràfic 9-1. Visualitzador, *Dview*, amb les temperatures horàries de la zona D1 al llarg de tot l'any (font pròpia)

A partir d'aquest fitxer climàtic s'exporten en un full d'Excel per obtenir la temperatura mitjana, màxima i mínima exterior. En la següent taula es recull les condicions exteriors:

Zona Climàtica D1	Valor
T Mitjana	12°C
T Màxima (H relativa coincident)	31,10°C (21%)
T Mínima (H relativa coincident)	-4,40°C (75%)

Taula 9-A. Valors de les condicions exteriors de la Zona D1 (font pròpia)

Seguidament, s'han tingut en compte una sèrie de paràmetres i condicions preses de la normativa del DB-HE del CTE: s'ha definit el rang de temperatures que es desitja en l'interior de l'habitatge, el nivell d'ocupació, les càrregues internes, les infiltracions i la ventilació de l'habitatge definits en el marc normatiu de l'habitatge del CTE.

Paràmetre	Valor
Temperatura confort de la masia*	22°C - 24°C
Humitat relativa interior constant	50%
Nombre de persones	40 m ² /persona
Activitat d'ocupació	70W/persona
Càrregues d'il·luminació	4,4W/m ²
Càrregues d'equips	4,4W/m ²
Infiltració constant	0,2 ACH

*segons el RITE

Taula 9-B. Paràmetres que es defineixen per la simulació (font pròpia)

Seguint el DB-HE s'han aplicat els perfils d'ús d'aquestes càrregues internes i l'ocupació de l'habitatge. L'ocupació de la masia es suposa entre vuit i nou persones vivint com a primera residència, fent-ne un ús constant. La temperatura consigna de confort de la masia s'ha definit entre els 22°C i els 24°C, considerada el rang de temperatures de confort segons el RITE, però s'ha definit sense discriminació horària però sí estacional.

Sobre les renovacions d'aire, cal remarcar que segons el DB-HE es suposa una ventilació extra durant els mesos d'estiu originada per l'obertura de les finestres durant la nit que per aquest cas no s'ha tingut en compte. S'ha pres aquesta decisió, ja que com bé queda palès en la simulació, es considera que durant el període d'estiu, les temperatures en la nocturnitat no són caloroses com per l'obertura de les finestres durant la nit.

També s'han assignat les característiques constructives actuals dels tancaments i els forats definint les capes de materials amb l'espessor i la seva conductivitat tèrmica detallats en l'annex D. I posteriorment s'han fet simulacions amb les noves millores d'aïllament per tal

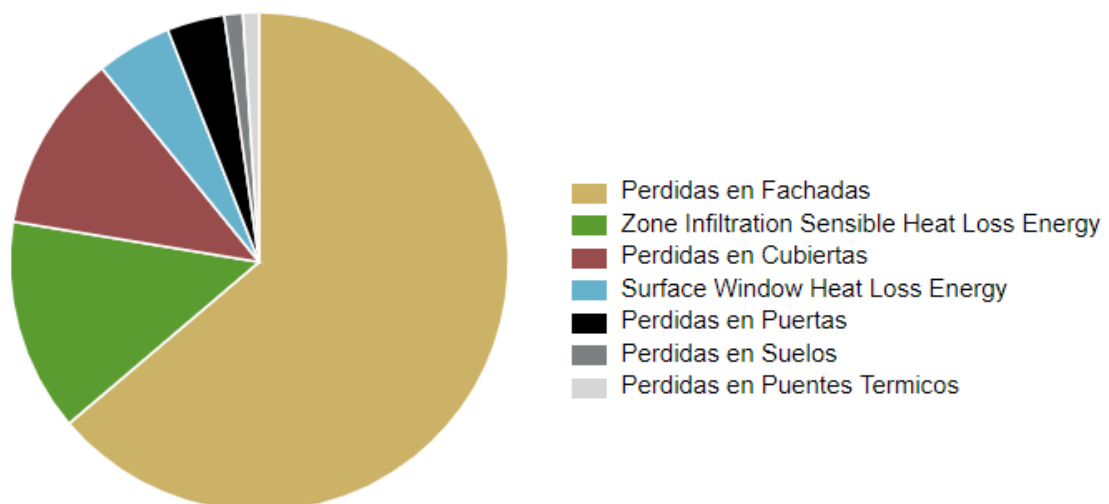
d'analitzar els seus resultats. Primer de tot, doncs, es fa una primera simulació amb els materials actuals i posteriorment es repeteix el procés afegint els aïllaments seleccionats en l'apartat 7.1.

9.4. Necessitats tèrmiques

Un cop s'han definit i assignat tots els paràmetres per tal de fer una correcta simulació energètica, en aquest apartat, es duu a terme l'execució dels càlculs desitjats. A continuació, es fa un recull de les dades més rellevants per comentar i argumentar les posteriors conclusions.

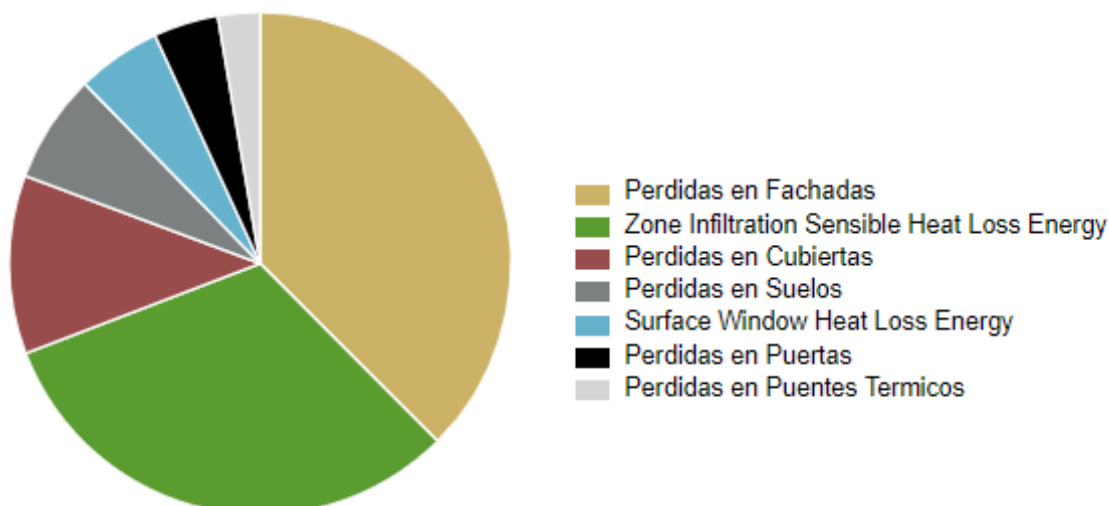
9.4.1. Càlcul passiu

Es fa una simulació de flotació lliure (*Floating Load*) per veure el comportament de l'habitatge en el seu estat passiu, és a dir, sense cap sistema de calefacció aplicat ni càrregues d'infiltració d'ocupació aplicades.



Gràfic 9-II. Pèrdues en els tancaments tèrmics de la masia en l'estat actual (font pròpia)

La major pèrdua dels tancaments tèrmics al llarg de l'any, concretament amb 64% (32044kWh), es produeixen en les façanes de la masia (veure *Gràfic 9-II*), especialment a les zones no habitables i la planta 0. Això corrobora la necessitat de prendre mesures passives en la millora de l'aïllament de les façanes de les zones habitables de la masia. Per això, es decideix fer una segona simulació de flotació lliure afegint la proposta d'aïllament que s'ha fet en l'apartat 7.1. S'observa el següent gràfic:



Gràfic 9-III. Pèrdues en els tancaments tèrmics de la masia amb nous aillants (font pròpia)

Es pot detectar una disminució en les pèrdues per les façanes. Ha passat de ser un 64% de totes les pèrdues a un 37% (12.454kWh). Malgrat que ara el percentatge de pèrdues en el terra ha augmentat, ja que les mesures passives que s’han aplicat han estat en les façanes, la coberta i les finestres i no en el terra. En l’annex C, es presenta l’informe dels tancaments tèrmic actual i el millorat. A continuació, també es compara la demanda energètica entre els dos estats tèrmics.

9.4.2. Càlcul de la demanda energètica

Per dimensionar la potència de la bomba de calor necessària de la instal·lació s’ha calculat la calor màxima total necessària a extreure (refrigeració) i a subministrar (calefacció) en el cas ideal de la masia per tal de mantenir la temperatura i la humitat consigna d’aquest espai. I l’energia necessària durant un període anual. S’ha fet la simulació en els dos estats, l’estat actual de la masia i l’estat millorat a nivell de tancaments tèrmics. Seguidament s’adjunten els resultats en dues taules, una per cada estat, en taronja l’estat actual, i en verd l’estat millorat.

Demanda energètica	Refrigeració [W]	Calefacció [W]
Pic Horari	01-SET-17:19	15-FEB-06:00
Calefacció	0.00	17513.66
Refrigeració	3954.71	0.00
Demanda energètica anual	Refrigeració [kWh]	Calefacció [kWh]
Calefacció	0.00	64518.56
Refrigeració	253.81	0.00

Taula 9-C. Demanda i càrrega tèrmica de l'estat actual de la masia (font pròpia)

Demanda energètica		Refrigeració [W]	Calefacció [W]
Pic Horari		19-AGO-19:10	15-FEB-06:00
Calefacció		0.00	9165.31
Refrigeració		2973.59	0.00
Demanda energètica anual		Refrigeració [kWh]	Calefacció [kWh]
Calefacció		0.00	29652.84
Refrigeració		653.90	0.00

Taula 9-D. Demanda i càrrega tèrmica de l'estat millorat de la masia (font pròpia)

Ja es podia preveure que hi hauria una disminució de la càrrega tèrmica en millorar els tancaments tèrmics de la masia. Així que a partir d'aquí es segueix fent la simulació amb l'estat millorat. S'observa que tant la demanda energètica màxima puntual com el consum d'energia anual és més elevada per la calefacció que en la refrigeració.

Aquest fet ja s'havia previst en el moment que s'ha fet un gràfic de les temperatures exteriors al llarg de l'any en la zona d'estudi. Seguidament, s'adjunta les càrregues tèrmiques de cada zona tèrmica definida en la simulació on s'observa que la gran demanda es situa en la planta 0, ja que és la que està en contacte amb el terreny i la que menys radiació solar rep.

Demanda energètica		Calefacció [W]
Planta baixa	26-DES-07:00	3793.43
Planta primera	25-DES-07:00	2680.21
Planta sota coberta	15-FEB-07:00	2737.39

Taula 9-E. Demanda energètica per zones tèrmiques (font pròpia)

9.5. Càrregues tèrmiques

Pel càlcul de càrregues tèrmiques s'ha seguit el mètode d'ús energètic (*Energy Use Method*) [18], citat per Rodríguez en el seu treball acadèmic [20]. En aquest apartat, s'explica els requeriments previs al mètode d'ús energètic i els passos que s'han seguit. Tots els càlculs queden realitzats a partir del programa de full de càlculs d'Excel. (veure annex D)

9.5.1. Temperatures *bin*

Primer de tot, es parteix d'un mètode utilitzat àmpliament per estimar l'ús energètic en edificis: *bin method*. S'anomena així perquè es basa a fer agrupacions d'hores al llarg de tot l'any en funció d'interval de temperatura d'ocurrència exterior (*bins*). A continuació, es mostra la taula d'aquestes agrupacions d'hores on $T_{o,i}$ són les temperatures *bins* en °C i $h(T_{o,i})$ són el núm. hores d'ocurrència en un any.

$T_{o,i}$	$h(T_{o,i})$
-4	21
-3	34
-2	59
-1	80
0	48
1	165
2	269
[...]	[...]
16	445
26	113
27	95
28	77
29	36
30	8
31	14
TOTAL	8760

Taula 9-F. Temperatures bin de la zona D1 (font pròpia)

A partir d'aquest mètode es desenvolupa un mètode més refinat i especialitzat pel disseny de sistema de bomba de calor geotèrmica en edificis que permet anar més enllà en el càlcul del disseny utilitzant aproximacions de càrregues diversificades en lloc de valors de càrrega màxima per tal d'establir la càrrega de l'habitatge en funció de la temperatura exterior. És des d'aquí des d'on es procedeix a l'aplicació d'un nou mètode anomenat Mètode d'Ús Energètic (*Energy Use Method*), basat amb aquest mètode més refinat [18].

9.5.2. Mètode d'ús energètic

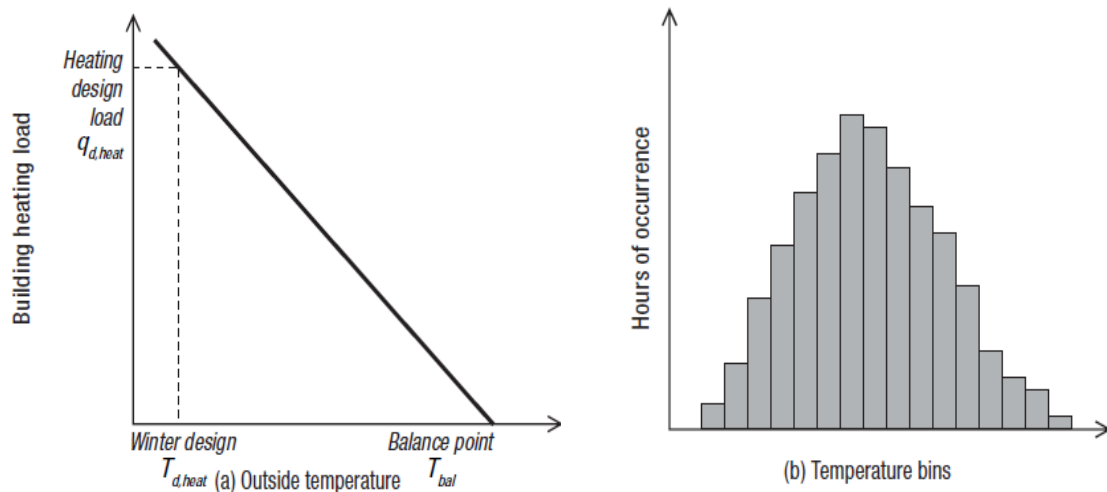
Aquest mètode (*Energy Use Method*) es basa en la principal idea que la càrrega total de calefacció ($q_{tot,H}$) o refrigeració ($q_{tot,C}$) és funció de la temperatura seca de l'exterior (T_o).

Una vegada s'han classificat les temperatures bins en nombre d'hores d'ocurrència (veure *Gràfic 9-IVa*), es pot calcular la càrrega necessària per a cada temperatura bin (veure *Gràfic 9-IV.b*) definit per les dues temperatures de disseny, segons si és calefacció o refrigeració.

A partir d'aquesta idea la càrrega total és expressada com un polinomi de primer ordre en la següent equació (eq.9.1).

$$q_{tot} \stackrel{\text{def}}{=} c_0 + c_1 \cdot T_o \quad \text{eq. (9.1)}$$

On c_0 i c_1 són dos coeficients polinòmics derivats de les característiques físiques de l'edifici.



Gràfic 9-IV. Mètode d'ús energètic (font: [18])

Com a dades d'entrada al mètode s'utilitzen el fitxer climàtic i les necessitats tèrmiques calculades en l'apartat anterior. S'agrupen a la següent taula:

DADES D'ENTRADA (INPUT DATA)	
Càrrega disseny calefacció ($q_{d,H}$)	9,165 kW
Càrrega disseny refrigeració ($q_{d,C}$)	2,974 kW
Energia anual calefacció ($Q_{tot,H}$)	29652,84 kWh
Energia anual refrigeració ($Q_{tot,C}$)	653,90 kWh
Temperatura de disseny de calefacció ($T_{d,H}$)	-4,40 °C
Temperatura de disseny de refrigeració ($T_{d,C}$)	31,10 °C

Taula 9-G. Dades d'entrada (font pròpia)

Per determinar aquests dos coeficients, ja sigui en la calefacció com refrigeració, és necessari doncs tenir dues equacions. A continuació, s'explica pel cas de calefacció però seria el mateix pel de refrigeració.

Càrrega de calefacció: q_H

Primer, s'aplica a l'equació (9.1) la càrrega de disseny de calefacció, $q_{d,H}$, i la temperatura de disseny de calefacció, $T_{d,H}$ (veure Taula 9-G):.

$$q_{d,H} = c_0 + c_1 T_{d,H} \quad \text{eq. (9.2)}$$

Després s'integra l'equació (9.2) a partir de la distribució de temperatures d'ocurrència (veure Taula 9-F) i s'igualava a l'energia anual de calefacció en kWh, $Q_{tot,H}$:

$$Q_{tot,H} = \sum_{i=1}^p (c_0 + c_1 T_{o,i}) h(T_{o,i}) \quad eq. (9.3)$$

On $T_{o,i}$ és la temperatura exterior mitjana de cada una de les p bins de dins del model ($1 \leq i \leq p$), i $h(T_{o,i})$ és el nombre d'hores d'ocurrència de la temperatura exterior, $T_{o,i}$. Amb aquestes dues equacions es poden determinar les dues incògnites, c_0 i c_1 .

$$c_0 = \left[\frac{q_{d,H} \cdot \sum_{i=1}^p T_{o,i} h(T_{o,i}) - Q_{tot,H} \cdot T_{d,H}}{\sum_{i=1}^p T_{o,i} h(T_{o,i}) - T_{d,H} \cdot \sum_{i=1}^p h(T_{o,i})} \right] \quad eq. (9.4)$$

$$c_1 = \left[\frac{Q_{tot,H} - q_{d,H} \cdot \sum_{i=1}^p h(T_{o,i})}{\sum_{i=1}^p T_{o,i} h(T_{o,i}) - T_{d,H} \cdot \sum_{i=1}^p h(T_{o,i})} \right] \quad eq. (9.5)$$

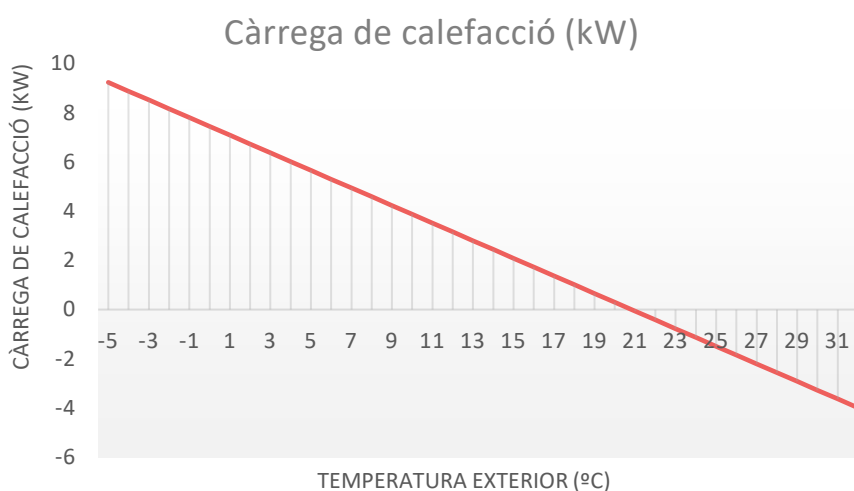
Per obtenir aquests dos coeficients, només s'han de tenir en compte les temperatures p bins corresponents a la càrrega de calefacció. Aquestes bins són totes aquelles temperatures per sota de la temperatura d'equilibri tèrmic, anomenada temperatura de balanç, T_{bal} .

$$T_{bal,H} = \frac{-c_0}{c_1} \quad eq. (9.6)$$

S'aplica l'equació (9.6) amb els coeficients obtinguts de les equacions (9.4) i (9.5) permet delimitar les bins utilitzades pel càlcul. Això, a la vegada, modifica els coeficients, donant lloc a un procediment de solució iterativa.

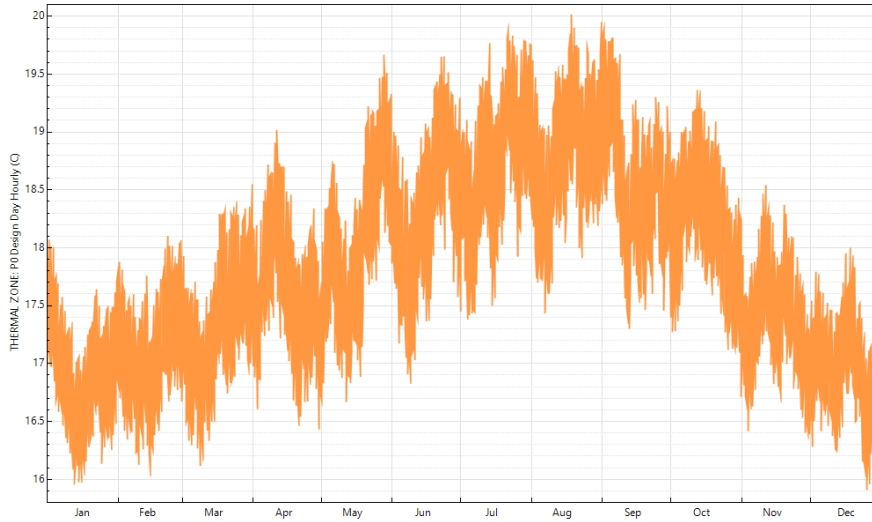
Es resol l'equació inicial (9.1) pel cas de la calefacció amb els dos coeficients calculats i per a cada una de les temperatures bins. En el gràfic següent s'observa la càrrega de calefacció per a cada increment de temperatura, $T_{o,i}$ amb els coeficients i la temperatura de balanç següent:

$$\begin{aligned} c_0 &= 7,5749 \\ c_1 &= -0,3614 \\ T_{bal,H} &= 20,96^\circ\text{C} \end{aligned}$$



Gràfic 9-V. Càrrega de calefacció, q_h , en funció de la temperatura exterior (font pròpia)

S'observa que el punt on l'equació talla amb l'eix d'abscisses, és a dir, la temperatura balanç, és bastant elevat (veure *Gràfic 9-V*). Que hi hagi càrrega de calefacció quan la temperatura exterior tan elevada (20°C) pot ser degut a la zona tèrmica de la planta baixa, ja que s'observa que és la planta amb la temperatura operativa més baixa al llarg de tot l'any (veure *Gràfic 8.5*) i que segons la temperatura consigna establerta en la simulació (22°C) fins hi tot en períodes més calorosos aquesta planta té una temperatura per sota de la consigna com s'observa en el *Gràfic 9-VI*.



Gràfic 9-VI. Temperatures horàries de la planta baixa en tot l'any (font pròpia)

Càrrega de refrigeració: q_c

El procediment és el mateix però per trobar els coeficients de refrigeració ara s'aplica amb les dades d'entrada de refrigeració de la *Taula 9-G*. ($q_{d,c}$, $Q_{tot,c}$, $T_{d,c}$). En aquest cas, però, la T_{bal} ha de ser inferior a les temperatures *bins* utilitzades.

$$q_{d,c} = c_2 + c_3 T_{d,c} \quad \text{eq. (9.7)}$$

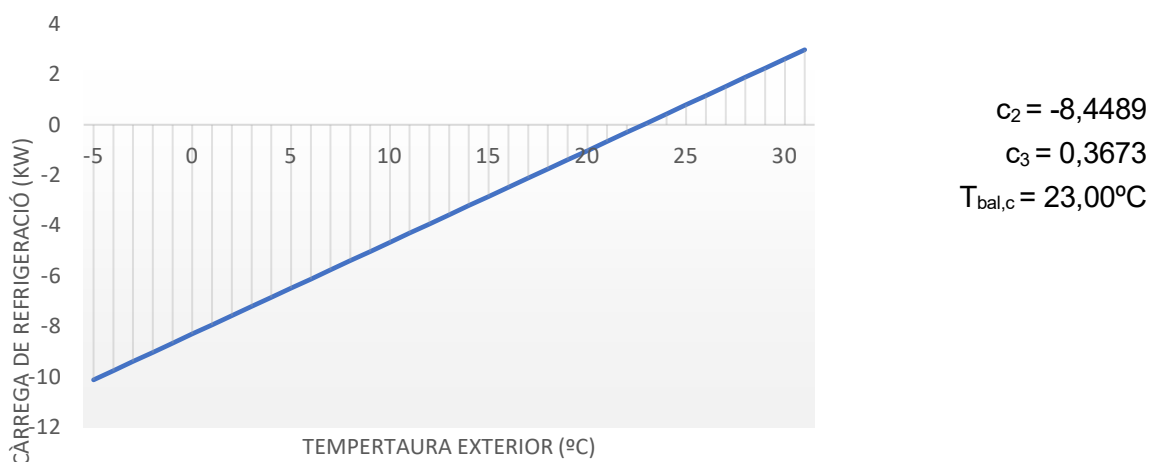
$$Q_{tot,c} = \sum_{i=1}^p (c_2 + c_3 T_{o,i}) h(T_{o,i}) \quad \text{eq. (9.8)}$$

$$c_2 = \left[\frac{q_{d,c} \cdot \sum_{i=1}^p T_{o,i} h(T_{o,i}) - Q_{tot,c} \cdot T_{d,c}}{\sum_{i=1}^p T_{o,i} h(T_{o,i}) - T_{d,c} \sum_{i=1}^p h(T_{o,i})} \right] \quad \text{eq. (9.9)}$$

$$c_3 = \left[\frac{Q_{tot,c} - q_{d,c} \cdot \sum_{i=1}^p h(T_{o,i})}{\sum_{i=1}^p T_{o,i} h(T_{o,i}) - T_{d,c} \cdot \sum_{i=1}^p h(T_{o,i})} \right] \quad \text{eq. (9.10)}$$

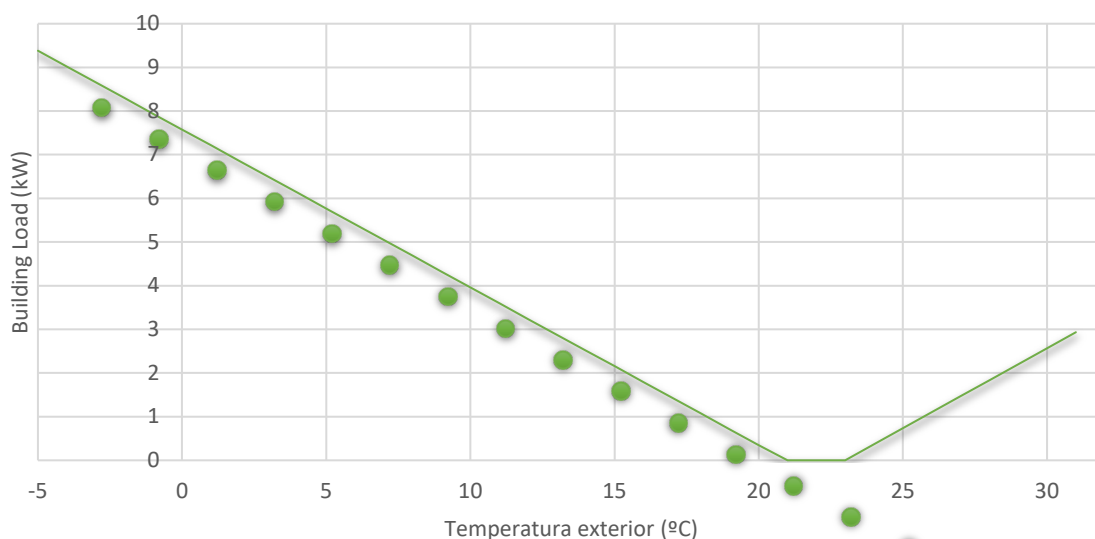
$$T_{bal,c} = \frac{-c_2}{c_3} \quad \text{eq. (9.11)}$$

Seguidament, s'adjunta el gràfic de la càrrega de refrigeració amb els coeficients i la temperatura balanç calculats. (veure Gràfic 9-VII)



Gràfic 9-VII. Càrrega de refrigeració, q_c , en funció de la temperatura exterior (font pròpia)

Una vegada trobats els dos conjunts de coeficients (els de calefacció i refrigeració) es calcula la càrrega global per a cada interval de temperatura. A continuació, s'adjunta la taula teòrica de la potència necessària per a cada grau de temperatura exterior.



Gràfic 9-VIII. Càrrega global de la masia (font pròpia)

S'observa que entre 21 i 23 graus no hi ha càrrega energètica. Com s'ha comentat anteriorment això passa tenint en compte que la temperatura consigna de 22°C-24°C per satisfer el confort tèrmic de manera anual. Més endavant, dependrà de la màquina i la potència mínima que pugui treballar.

10. Selecció de l'equipament geotèrmic

En aquest apartat es duu a terme la selecció general de la instal·lació, és a dir, tot l'equip necessari per proporcionar la climatització de l'habitatge: la bomba de calor geotèrmica (BCG) i el seu equipament: el fluid que circularà, el tipus de canonades, la seva configuració, etc.

10.1. Bomba de Calor Geotèrmica

Per escollir la marca i el model de la BCG primer s'ha fet una recerca de les diferents cases comercials dins del sector veient quines són les que compleixen més els criteris fixats i s'ha seleccionat tres fabricants. Després amb aquestes tres marques s'ha pres la decisió final utilitzant l'eina de matrius de decisió per escollir el sistema de climatització.

10.1.1. Alternatives

Actualment hi ha moltes empreses de climatització que fabriquen BCG amb prestacions molt semblants. Per aquest estudi, però, s'han fixat alguns requisits principals per fer un primer filtratge. Aquests requisits són: que la casa comercial sigui de les líders en el sector, que fabriqui pel sector residencial, i que la bomba sigui del tipus aigua-aigua i el fabriqui amb tecnologia *Inverter*. Mirant quines cases comercials compleixen la majoria d'aquests requisits i parlant amb professionals en el sector, la selecció final es fa entre tres grans fabricants:



Figura 10.1. L'Empresa sueca NIBE™, l'Empresa espanyola ecoFOREST i l'Empresa alemanya Vaillant

10.1.2. Criteris de selecció

Criteri 1. Servei tècnic: (pes **25%**) la qualitat del servei tècnic és important a l'hora d'escollir una marca o una altra. A vegades és el criteri que més es diferencia entre fabricants. És important també, ja que és qui farà el manteniment o el seguiment un cop estigui instal·lat el producte.

Criteri 2. Tecnologia *Inverter* + compressor *Scroll*: (pes **30%**) la tecnologia *Inverter* permet ajustar la potència generada per la bomba de calor i la potència necessària de l'habitatge en cada moment. Els compressors *Scroll* són que treballen amb aquesta tecnologia, ja que no són compressors de revolucions fixes.




Criteri 3. Cost de la màquina: (pes **20%**) està clar que qualsevol BCG tindrà un cost elevat, però entre aquestes tres marques existeixen costos bastants diferenciats.

Criteri 4. Ergonomia per l'usuari: (pes **10%**) la interacció que tindrà l'usuari amb la màquina es poca ja que són sistemes molt autònoms però la mínima interacció que poden tenir al llarg de l'any es considera que ha de ser clara i senzilla per part de l'usuari.

Criteri 5. Opinió del personal del sector: (pes **15%**) l'experiència dins del sector també és important a l'hora d'escollir una marca o una altra. S'ha preguntat a instal·ladors i a usuaris per saber una valoració general d'aquestes tres marques.

10.1.3. Matriu de selecció

Una vegada descrits els criteris més rellevants a l'hora de seleccionar un fabricant o un altre, es procedeix a la realització de la matriu. Per aquest cas, es puntua amb una escala del 1 al 5, considerant 1 com que no compleix i 5 sí que compleix. Després aquesta puntuació és pondera amb cada criteri i es fa la suma, per escollir l'alternativa amb la puntuació més alta.

	PES	Alternativa A 	Alternativa B 	Alternativa C 
Criteri 1. <i>Servei tècnic</i>	25%	2	4	3
Criteri 2. <i>Tecnologia Inverter</i>	30%	5	5	1
Criteri 3. <i>Cost de la màquina</i>	20%	2	3	3
Criteri 4. <i>Ergonomia</i>	10%	3	4	4
Criteri 5. <i>Opinió del personal del sector</i>	15%	3	4	3
PUNTUACIÓ	100%	3,15	4,1	2,5

Taula 10-A. Matriu de decisió de la marca de BCG (font pròpia)

Definitivament, s'aposta per la casa comercial espanyola ecoFOREST. A partir d'aquí, es consulta el seu catàleg per escollir el model més adient, aquell que la potència calorífica cobreixi la demanda energètica però que alhora no superi en excés, que tingui un COP elevat, etc. Per això s'opta pel model **ecoGEO 1-9 Basic B2**, a continuació s'explica les prestacions.

10.1.4. Alternativa seleccionada

El model seleccionat: *ecoGEO 1-9kW Basic B2* presenta les següents especificacions [22]:

La gamma *ecoGEO B* es caracteritza per la seva mida reduïda. No disposa d'un dipòsit d'aigua calenta sanitària (ACS) integrat però si es vol produir també ACS és necessària la connexió a un dipòsit extern. Aquest model B2, es distingeix de la resta per l'opció que ofereix de refrigeració passiva (*free-cooling*), ja que la demanda de refrigeració és baixa.

EcoForest és el primer fabricant que incorpora la tecnologia *Inverter Copeland*. La capacitat del compressor s'adapta a les necessitats de calor proporcionant un ampli rang de potències. La incorporació d'aquesta tecnologia proporciona rendiments insuperables i les seves instal·lacions són més compactes i econòmiques, ja que es pot prescindir dels dipòsits d'inèrcia i menys consum elèctric que les bombes de calor tradicionals. El compressor que proporciona aquesta innovadora tecnologia és el compressor *Scroll*, actualment el millor del mercat, on el seu rang de modulació és de 20 a 100%.

També gràcies a aquesta tecnologia *Inverter*, les bombes de circulació adapten la seva velocitat a la demanda de calefacció o de refrigeració. El rang de potència calorífica és d'1,3 a 11 kW amb les condicions de B0W35 que significa que el fluid captador és de temperatura 0°C i l'aigua d'emissora de calefacció és de 35°C. Aquest model té un COP de 4,5 segons la normativa UNE-EN 14511, incloent-hi el consum de les bombes de circulació i el sistema del compressor. El rang de potència frigorífica és d'1,4 a 11 kW amb les condicions de B35W7 (fluid captador és de temperatura 35°C i l'aigua d'emissora de refrigeració és de 7°C un EER de 5,2 també segons la normativa UNE-EN 14511, incloent-hi el consum de les bombes de circulació i el sistema del compressor. També té la possibilitat d'afegir un dipòsit extern d'ACS, i pot oferir un sistema integrat de recuperació d'alta temperatura, HTR. Tant el compressor com l'evaporador són intercanviadors de plaques *Alfa Laval*. En l'annex C s'adjunta la informació tècnica de la bomba.



Figura 10.2. Bomba de calor geotèrmica ECOFOREST model *ecoGEO B2* (font: [22])

10.2. Tipus de captació

La configuració del sistema de captació per aquest estudi és un circuit tancat amb intercanviadors geotèrmics verticals. Requereix poca superfície per a la seva instal·lació i es necessita una menor longitud de tub en considerar-se major la transferència de calor per metre lineal de sonda. És un sistema de captació amb un elevat cost per la necessitat de realitzar les perforacions, però com bé s'ha comentat, a partir de 15 metres de profunditat aproximadament, la temperatura es manté constant al llarg de l'any i consegüentment el consum de la bomba és més regular.

El circuit tancat és configurat en paral·lel segons la trajectòria del fluid i les sondes són tubs en forma de U-simple. Pel posterior dimensionament de l'intercanviador s'ha de tenir en compte: la profunditat de cada perforació, el nombre de perforacions i la distància entre perforacions. Segons [23], es recomana que aquesta distància no sigui menor als 6 metres per evitar interferències tèrmiques entre les perforacions.

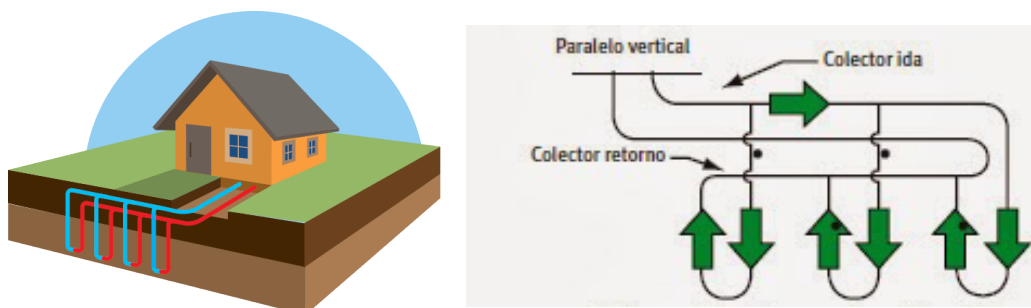


Figura 10.3 Circuit de captació geotèrmic (font: [21])

10.3. Tubs captadors

Una vegada decidit la configuració dels intercanviadors i el tipus de tubs (U-simple), cal decidir el material i el diàmetre d'aquests. Els materials més comuns en intercanviadors de calor enterrats són el polietilè (PE) i el polibutilè (PB). Són flexibles i a la vegada resistents i s'uneixen mitjançant la fusió per calor per formar unions més fortes que el mateix tub. En el moment de seleccionar el diàmetre de les canonades, s'ha tingut present que el diàmetre interior dels tubs sigui prou gran per produir una pèrdua de càrrega petita i d'aquesta manera necessitar menys potència per bombejar, però a la vegada el diàmetre s'ha escollit prou petit per assegurar altes velocitats i garantir així la turbulència del fluid dins del tub per tal que afavoreixi en el traspàs tèrmic entre el fluid i la paret. Aquesta condició de turbulència l'assegura el nombre de Reynolds (Re) i és superior a 2300.



Figura 10.4. Sonda geotèrmica Muovi-Tech

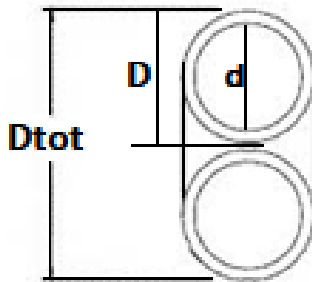


Figura 10.5. Disseny dels tubs

En aquest estudi, doncs, s'ha optat per tubs en U-simple de polietilè d'alta densitat, PE-100, de la casa comercial *MuoviTech*® amb una resistència nominal de 16 bar. Els diàmetres són els següents:

- Diàmetre de sonda $D_{tot} = 118$ mm
- Diàmetre exterior de cada tub $D = 40$ mm
- Diàmetre interior de cada tub $d = 36,3$ mm

Aquests tubs posseeixen un excel·lent coeficient de conductivitat tèrmica ($\lambda_p = 0,43$ W/mK) i una gran resistència als impactes que es podrien provocar en la introducció en les perforacions.

Característiques del polietilè d'alta densitat (PE-100)

- Suporta temperatures habituals de treball de 45°C i puntuals de fins a 80°C
- Resistència a pressions elevades
- Llarga duració
- No l'afecta la corrosió ni l'erosió
- Lleugeresa i flexibilitat
- Mínimes pèrdues de càrrega
- No es produeixen adherències ni incrustacions
- Màxima estanqueïtat i impermeabilització
- Suporta aigua glicolada

10.4. Fluid circulant

El fluid que circula per l'intercanviador de calor és aigua amb anticongelant, ja que així es redueix el risc de congelació en períodes freds. Concretament, conté aigua amb propilenglicol 30%. Seguidament s'adjunta una taula amb les seves propietats:

Propietats a 5°C	Valor
Punt de congelació	-12,9 °C
Densitat (ρ)	1029 kg/m ³
Viscositat dinàmica (μ)	0,002297 Pa·s
Calor específic (C_p)	3847 J/kg·K
Conductivitat tèrmica (λ)	0,457 W/mK

Taula 10-B propietats del fluid circulant (font: [24])

11. Sistema de captació

En aquest apartat, primer de tot, es fa el dimensionament de la instal·lació a partir de les característiques tècniques de la bomba de calor seleccionada en l'apartat anterior i posteriorment es fa una valoració del seu rendiment. Tal com s'ha decidit anteriorment, el sistema de captació que s'ha dissenyat és un circuit tancat amb intercanviadors verticals així doncs, cal conèixer les característiques tèrmiques del terreny per poder fer un correcte dimensionament.

11.1. Descripció tèrmica del terreny

En el dimensionament del sondeig vertical geotèrmic és imprescindible conèixer les propietats tèrmiques del terreny: la conductivitat, la capacitat tèrmica i la seva difusivitat. Cal recordar que la tipologia del terreny de l'objecte d'estudi són llims sorrencs amb fauna, descrit en l'apartat 6.2. Aquestes propietats tèrmiques es defineixen així [23]:

11.1.1. Conductivitat tèrmica

La conductivitat tèrmica és la capacitat de conduir la calor i depèn de cada material. Es pot expressar segons la Llei de Fourier com la calor que travessa en la direcció x un gruix d'1 metre del material a conseqüència de la diferència d'1 grau entre els extrems oposats. Es pot expressar en $W/m^{\circ}C$ o en W/mK .

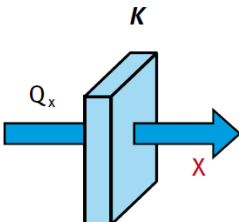
$$Q_x = -kA \frac{dT}{dx} \quad \text{eq. (11.1)}$$


Figura 11.1. Definició de conductivitat tèrmica (font: [23])

On k és la conductivitat tèrmica, Q_x és la calor difosa per unitat de temps, A l'àrea de la superfície a través hi ha la transmissió de calor, i dT entre dx representa el gradient de temperatura.

Normalment, pel disseny d'un sistema de bomba de calor geotèrmica el càlcul de la conductivitat tèrmica es pot fer de tres maneres diferents. La manera més fiable i recomanada per un bon dimensionament d'instal·lacions mitjanes o grans, és realitzant un test de resposta tèrmica del terreny (*Thermal Response Test*, TRT). També hi ha la possibilitat de recollir una

part del terreny i mesurar en un laboratori mitjançant proves de conductivitat. Per últim, es pot aproximar a partir de taules (veure *Taula 11-A*). Aquest últim és la que s'utilitzarà per a aquest estudi, ja que no és viable fer un TRT i la instal·lació d'una BCG per climatització d'un habitatge es considera una instal·lació petita.

11.1.2. Capacitat tèrmica

S'anomena capacitat tèrmica o també calorífica al quocient entre la calor que se subministra a un sistema i la variació de temperatura provocada [J/m³K.]:

$$C = \frac{dQ}{dT} \quad \text{eq. (11.2)}$$

La capacitat tèrmica (C) del terreny expressa la calor que és capaç d'emmagatzemar un volum de terreny en incrementar-se la seva temperatura. Com major sigui aquesta capacitat major haurà de ser la calor subministrada per tal d'aconseguir la mateixa variació de temperatura.

Tipo de roca	Conductividad térmica (W/mK)			Capacidad térmica volumétrica
	Mín.	Valor típico	Máx.	(MJ/m ³ K)
Rocas no consolidadas				
Grava, seca	0,4	0,4	0,5	1,4-1,6
Grava, saturada de agua		aprox. 1,8		aprox. 2,4
Arena, seca	0,3	0,4	0,8	1,3-1,6
Arena, saturada de agua	1,7	2,4	5	2,2-2,9
Arcilla/limo, seco	0,4	0,5	1	1,5-1,6
Arcilla/limo, saturado de agua	0,9	1,7	2,3	1,6-3,4
Turba	0,2	0,4	0,7	0,5-3,8

Taula 11-A. Valors de conductivitat i capacitat tèrmica per diferents tipus de materials (font: [19])

11.1.3. Difusivitat tèrmica

S'anomena difusivitat tèrmica a la relació entre la conductivitat tèrmica i la capacitat tèrmica d'aquest terreny [m²/s]:

$$\alpha = \frac{\lambda}{C} \quad \text{eq. (11.3)}$$

Per llims sorrencs amb fauna s'agafen el valor típic de sorra i argila/llim saturats d'aigua i se'n fa la mitjana d'aquestes propietats. Si recopilem les propietats tèrmiques de cada material i se'n fa el valor mitjà queda:

Sorra saturada d'aigua		Llims saturat d'aigua	
Conductivitat tèrmica (λ)	2,4 W/mK	Conductivitat tèrmica (λ)	1,7 W/mK
Capacitat tèrmica volumètrica (C)	2,55 MJ/m ³ K	Capacitat tèrmica volumètrica (C)	2,5 MJ/m ³ K
Difusivitat tèrmica (α)	0,94E-6 m ² /s	Difusivitat tèrmica (α)	0,68E-6 m ² /s
Mitjana de les propietats tèrmiques			
Conductivitat tèrmica (λ)	2,05 W/mK		
Capacitat tèrmica volumètrica (C)	2,53 MJ/m ³ K		
Difusivitat (α)	0,81E-6 m ² /s		

Taula 11-B. Valors mitjans de les propietats tèrmiques (font pròpia)

11.1.4. Temperatura del terreny

Una vegada s'han definit les propietats tèrmiques del terreny de la zona, es pot determinar l'evolució de temperatura del terreny. Suposant un sòl homogeni amb propietats tèrmiques constants, la temperatura a qualsevol profunditat (z) es pot calcular a partir de la següent expressió [23]:

$$T(z, t) = T_m - A_s e^{-z \sqrt{\frac{\pi}{365\alpha}}} \cos \left[\frac{2\pi}{365} \left(t - t_0 - \frac{z}{2} \sqrt{\frac{365}{\pi\alpha}} \right) \right] \quad \text{eq. (11.4)}$$

On:

T(z,t): temperatura del sòl en el temps t i a una profunditat z [°C]

T_m: Temperatura mitjana anual del sòl [°C]

A_s: és la oscil·lació de la temperatura superficial [°C]

t: temps [dies]

t₀: el desfasament en dies del desplaçament de la temperatura superficial amb la profunditat.³

α : difusivitat tèrmica del sòl [m²/dia]

³ El valor que s'acostuma agafar de desfasament és 35 ±10 dies segons l'anàlisi de Kusuda

A partir d'aquesta equació i mitjançant les dades de la zona climàtica D1 proporcionades pel CTE DB-HE, es pot obtenir l'evolució del terreny de la zona d'estudi. Per poder aplicar l'equació, s'han tingut en compte els següents paràmetres:

t : s'ha considerat el dia 1 de gener com el dia de referència de valor 1 i així s'han anat avaluant cada primer dia de mes.

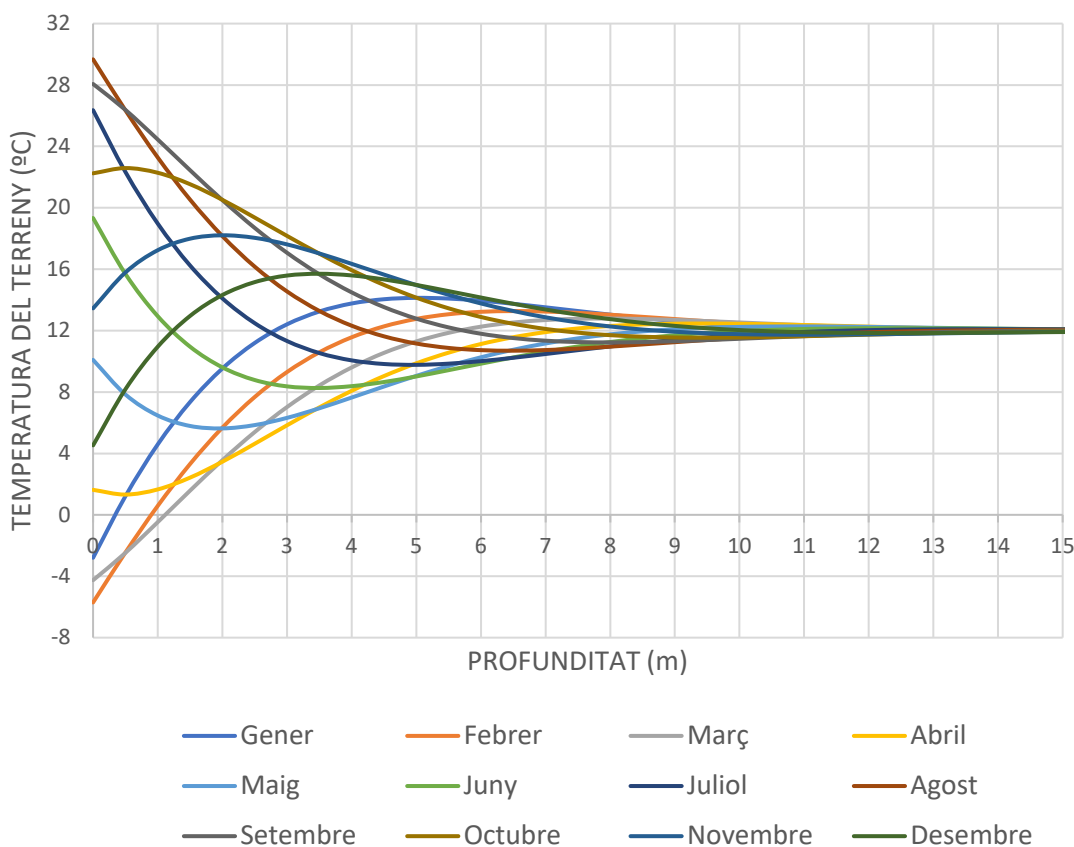
T_m : la temperatura mitjana anual, és de 12 °C.

A_s : s'ha pres la mitjana entre la màxima i la mínima temperatura anual sent 17,75°C.

t_0 : el desfasament s'ha pres segons l'anàlisi de Kusuda 35 dies.

α : la difusivitat tèrmica s'ha utilitzat la trobada anteriorment 0,81E-6 m²/s

A partir d'un Excel amb les dades climàtiques D1, s'aplica l'equació (11.4) per cada primer dia de cada mes i es fa variar la profunditat cada 0,5 metres. En el gràfic següent, s'observa l'evolució de la temperatura del terreny segons la profunditat i el mes de l'any i es pot confirmar que a partir dels 15 m la temperatura del terreny es manté constant a 12°C al llarg de l'any.



Gràfic 11-I. Evolució de la temperatura del terreny (font pròpia)

11.2. Dimensionament de l'intercanviador de calor

El mètode de càlcul que s'ha desenvolupat en aquest apartat [23] es basa en la *International Ground Source Heat Pump Association* (IGSHPA).

Aquest mètode s'estableix, segons [23], a partir de la teoria de la font de calor en forma lineal infinita (*Kelvin Line Source Theory*) desenvolupat per *Ingersoll i Plass*. Segons aquesta teoria un intercanviador de calor que cedeix calor al terreny es comporta com una font de calor amb un gruix petit i una longitud infinita, i per tant només cedeix calor en direcció radial. És un mètode de càlcul estàtic que assumeix que el sistema funciona durant un temps determinat a una càrrega constant i amb el terreny a la temperatura més desfavorable i amb una temperatura del fluid circulant fixa.

L'intercanviador de calor està directament fixat per la diferència de temperatures entre el terreny i el fluid que circula per l'intercanviador. Per aquest estudi en concret, es fa el disseny pel període de calefacció, ja que la càrrega tèrmica calculada en les simulacions de l'apartat 6 és més elevada en calefacció que en refrigeració i es considera que el dimensionament per calefacció cobrirà també la situació de refrigeració. Així doncs les temperatures extremes seran les del període d'hivern, és a dir, la mínima del terreny i la mínima del fluid. A continuació, es determina tots els paràmetres necessaris per al càlcul corresponent.

11.2.1. Temperatura mínima del terreny

A partir de l'equació (11.4) es calcula la temperatura mínima (T_L) del terreny que ocorre durant el cicle anual per a qualsevol profunditat (z).

$$T_L(z) = T_m - A_s e^{\left(-z \sqrt{\frac{\pi}{365\alpha}}\right)} \quad \text{eq. (11.5)}$$

En sistemes de captació vertical, l'oscil·lació de la temperatura (A_s) es pot considerar nul·la perquè, tal com s'ha demostrat, la variació de la temperatura exterior deixa d'influir a partir de 15 metres de profunditat.

Per aquest fet, la temperatura mínima del terreny s'assumeix que és la temperatura seca mitjana anual calculada a partir del fitxer de dades climàtiques: $T_L = T_m = 12^\circ\text{C}$.

11.2.2. Temperatura mínima i màxima del fluid captador

El fluid captador que circula per l'intercanviador vertical (sondes) intercanvia calor amb el terreny i també, si és en mode calefacció, intercanvia calor amb l'evaporador de la bomba. És per això que la temperatura del fluid captador és un paràmetre clau en el disseny de

l'intercanviador. Per determinar la T_{MIN} es fa el següent balanç tèrmic.

$$T_{swt,h} = T_{ewt,h} - \frac{1000 \cdot P_H \cdot \frac{COP - 1}{COP}}{c_p \cdot \left(\frac{\dot{m}}{3600}\right)} \quad \text{eq. (11.6)}$$

$$T_{MIN} = \frac{T_{swt,h} + T_{ewt,h}}{2} \quad \text{eq. (11.7)}$$

On les dades inicials venen marcades per les característiques de la BCG ecoGEO B2:

Paràmetre		Valor
$T_{ewt,h}$	temperatura entrada de l'intercanviador període calefacció	5 °C
P_H	potència calorífica de la BCG	11 kW
COP	coeficient of performance de la BCG	4,5
\dot{m}	Cabal de la BCG	3049 l/h
c_p	Calor específica de l'aigua	4185 J/kg·K

Taula 11-C. Dades inicials del model de BCG (font pròpia)

Aplicant les equacions descrites, s'obté els següents resultats:

$T_{swt,h}$	temperatura sortida de l'intercanviador període calefacció	2,5850 °C
T_{MIN}	temperatura mínima d'entrada a l'intercanviador calefacció	3,7925 °C

Taula 11-D. Resultats de temperatures de l'intercanviador (font pròpia)

11.2.3. Resistència dels tubs R_p

La resistència tèrmica de les canonades de l'intercanviador ve determinada un cop s'ha escollit el tipus de material dels tubs i els seus diàmetres interior i exterior. Es calcula amb la següent fórmula:

$$R_p = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_p} \cdot \ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right) \quad \text{eq. (11.8)}$$

On:

Paràmetre		Valor
D_o	Diàmetre exterior del tub	0,040m
D_i	Diàmetre interior del tub	0,0363m
λ_p	Conductivitat tèrmica del tub	0,43 W/mK

Taula 11-E. Dades pel càlcul de la resistència dels tubs (font pròpia)

Aplicant la fórmula s'obté una resistència: $R_p = 0,0359 \text{ mK/W}$

11.2.4. Resistència de la terra R_s

La resistència de la terra és la inversa de la conductivitat tèrmica del terreny. En la descripció tèrmica (apartat 11.1.), s'ha fet la conductivitat tèrmica mitjana entre els llims i la sorra d'un valor: $\lambda_s = 2,05 \text{ W/mK}$

$$R_s = \frac{1}{\lambda_s} = 0,4878 \text{ mK/W} \quad \text{eq. (11.9)}$$

11.2.5. Factor de càrrega

El factor de càrrega és el quocient entre la demanda tèrmica de l'edifici durant una estació (calefacció o refrigeració) dividit per la potència de la bomba de calor. Dit d'una altra manera, és la fracció de temps que la BCG està en funcionament. Aquest factor, doncs, és avaluat en els mesos més desfavorables, ja sigui per calefacció com per refrigeració. Com que en aquest cas d'estudi es fa només en mode calefacció s'agafa el mes més desfavorable durant l'hivern, el mes de gener.

Aprofitant la relació ja calculada en l'apartat 9.5 de la càrrega tèrmica necessària per a cada temperatura bins, es calcula el factor de càrrega per a cada temperatura bin, dividint com bé s'ha comentat, la càrrega tèrmica de cada rang de temperatures entre la potència de la bomba. Aquesta fracció és multiplicada per les hores d'ocurrència del mes de disseny (gener). Es fa un sumatori de totes les hores de funcionament del mes de gener i es divideix pel nombre total d'hores que té el mes.

$$F_{ON,i} = \frac{q_i}{Q_{BCG}} \quad \text{eq. (11.10)}$$

$$h_{ON,i} = F_i \cdot h_{G,i} \quad \text{eq. (11.11)}$$

$$F_H = \frac{\sum_{i=1}^p h_{ON,i}}{\sum_{i=1}^p h_{G,i}} \quad \text{eq. (11.12)}$$

$$F_H = \frac{\sum_{i=1}^p h_{ON,i}}{\sum_{i=1}^p h_{G,i}} = \frac{393,570184}{744} = 0,5290 \quad \text{eq. (11.13)}$$

11.2.6. Càlcul de la longitud de l'intercanviador

Un cop determinats tots els paràmetres necessaris per al dimensionament de la instal·lació s'adjunten en la *Taula 11-F*, es calcula la longitud de l'intercanviador de calor enterrat amb la següent expressió (11.14) extreta de la guia IDAE [23]:

$$L_{INTERCANVIADOR} = \frac{P_H \cdot \frac{COP - 1}{COP} \cdot (R_P + R_S \cdot F_H)}{T_L - T_{MIN}} \quad \text{eq.(11.14)}$$

Paràmetre	Valor
P _H	11.000 W
COP	4,5
R _P	0,0359 mK/W
R _S	0,4878 mK/W
F _H	0,5290
T _L	12°C
T _{MIN}	3,7925°C

Taula 11-F. Recopilació dels paràmetres calculats pel dimensionament de l'intercanviador (font pròpia)

La longitud total de l'intercanviador de calor geotèrmic és 306,47 metres. La profunditat enterrada de les sondes verticals és la meitat de la longitud total de l'intercanviador, ja que els tubs de simple U són conductes d'anada i tornada per la mateixa sonda. Per tant, la profunditat real enterrada és de 153,23 metres, que es reparteixen en dues perforacions de 76,616 metres. Es decideix arrodonir a fer **2 pous de 80 metres** cada un. Aquests dos pous estaran separats com a mínim 6 metres entre ells per tal que la captació de calor no interfereixin entre ells i a 3 metres de la masia. Cal recordar que el circuit tancat de l'intercanviador és en format paral·lel com s'ha explicat anteriorment. En l'annex A s'adjunta el plànol de la instal·lació.

11.3. Rendiment de la BCG

En aquest apartat s'estudia si és rendible el model de bomba de calor. Per tal de saber si és una bomba idònia per a les condicions de càrrega de la masia. Per tant, es fa una comparativa entre la potència de la bomba i la càrrega tèrmica de la masia, per veure la capacitat de la bomba. També en aquesta secció es valora la quantitat de calor que s'extreu o s'injecta al subsol. Per dur a terme aquest apartat, s'ha seguit el procediment d'estudi [18]: primer s'estudia la temperatura de l'aigua per cada temperatura exterior i després s'avalua el COP en funció d'aquesta temperatura i la seva capacitat, com han seguit els treballs acadèmics [20] i [21].

11.3.1. Temperatura d'entrada de l'aigua

Per avaluar el COP de la bomba i la seva capacitat per cada temperatura bin, IGSHPA (1988)

ha desenvolupat un mètode lineal d'interpolació. Per cada temperatura bin, la temperatura de l'aigua d'entrada, $T_{ewt,i}$, a la BCG s'expressa en l'equació (11.15):

$$T_{ewt,i} = T_{MIN} + \left(\frac{T_{ewt,max} - T_{ewt,min}}{T_{d,c} - T_{d,h}} \right) \cdot (T_{bin,i} - T_{d,h}) \quad \text{eq. (11.15)}$$

Paràmetre		Valor
T_{MIN}	temperatura mínima del fluid captador	3,79 °C
$T_{ewt,max}$	temperatura entrada màxima nominal del fluid	30,0
$T_{ewt,min}$	temperatura entrada mínima nominal del fluid	5,0
$T_{d,c}$	temperatura de disseny període refrigeració	31,10
$T_{d,h}$	temperatura de disseny període calefacció	-4,40

Taula 11-G. Recopilació de les temperatures per aplicar l'equació 11.15 (font pròpia)

En l'annex D hi ha la taula d'Excel amb la temperatura de l'aigua de la bomba de calor geotèrmica per cada temperatura bin exterior.

11.3.2. COP i capacitat de la bomba

Segons [18], el *coefficient of performance (COP)* d'un sistema de bomba de calor és funció de la temperatura d'entrada del fluid. Aquest model que correlaciona el COP de qualsevol bomba de calor amb la temperatura d'entrada del fluid està inspirat per l'aproximació que va utilitzar *Tarnawski (1990)*.

Així doncs, amb les dades de temperatura de l'aigua calculades en l'apartat anterior, es procedeix a modelar el COP i la capacitat de la BCG amb la correlació polinòmica quadràtica següent:

$$\begin{array}{l} \text{Mode} \\ \text{calefacció:} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} COP_{actual,i} = COP_{nominal} \cdot (k_0 + k_1 \cdot T_{ewt,h} + k_2 \cdot T_{ewt,i}^2) \quad \text{eq. (11.16)} \\ q_{H,i} = \chi \cdot (\lambda_0 + \lambda_1 \cdot T_{ewt,i} + \lambda_2 \cdot T_{ewt,i}^2) \quad \text{eq. (11.17)} \end{array} \right.$$

$$\begin{array}{l} \text{Mode} \\ \text{refrigeració:} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} EER_{actual,i} = EER_{nominal} \cdot (k_0 + k_1 \cdot T_{ewt,i} + k_2 \cdot T_{ewt,i}^2) \quad \text{eq. (11.18)} \\ q_{C,i} = \chi \cdot (\lambda_0 + \lambda_1 \cdot T_{ewt,i} + \lambda_2 \cdot T_{ewt,i}^2) \quad \text{eq. (11.19)} \end{array} \right.$$

On $COP_{actual,i}/EER_{actual,i}$ és l'actual coeficient de la BCG per cada bin i i $COP_{nominal,i}/EER_{nominal,i}$ és el valor nominal que presenta el fabricant de la BCG. $q_{H,i}/q_{C,i}$ és la capacitat de la BCG per calefacció i refrigeració i els k_i i λ_i són els coeficients de correlació adjuntats a la taula següent. Finalment, χ és el multiplicador de capacitat expressat en les equacions (11.20) i (11.21).

Correlation Coefficients		Cooling	Heating
COP	k_0	1.53105836E+00	1.00000000E+00
	k_1	-2.29609500E - 02	1.55970900E - 02
	k_2	6.87440000E - 05	-1.59310000E - 04
Capacity	λ_0	1.41186164E+00	6.67872140E - 01
	λ_1	-2.56202000E - 03	2.79889800E - 02
	λ_2	-7.24820000E - 05	-1.06360000E - 04

Taula 11-H. Coeficients de correlació quadràtica polinòmica (font [15])

Mode calefacció:
$$\chi = \frac{q_{d,H}}{\lambda_0 + \lambda_1 \cdot T_{ewt,min} + \lambda_2 \cdot T_{ewt,min}^2} \quad \text{eq.(11.20)}$$

Mode refrigeració:
$$\chi = \frac{q_{d,C}}{\lambda_0 + \lambda_1 \cdot T_{ewt,max} + \lambda_2 \cdot T_{ewt,max}^2} \quad \text{eq.(11.21)}$$

Per relacionar la càrrega d'extracció i injecció de l'intercanviador de calor geotèrmica amb la capacitat de la bomba de calor es fa amb les següents expressions:

Per calefacció:

$$q_H = q_{he,H} \cdot \frac{COP}{COP - 1} \quad \left\{ \begin{array}{l} q_H \text{ capacitat del condensador de la BCG} \\ q_{he,H} \text{ calor de l'evaporador de la BCG extreta del terreny} \\ COP \text{ coeficient d'eficiència energètica} \end{array} \right. \quad \text{eq. (11.22)}$$

Per refrigeració:

$$q_C = q_{he,C} \cdot \frac{EER}{EER + 1} \quad \left\{ \begin{array}{l} q_C \text{ capacitat de l'evaporador de la BCG} \\ q_{he,C} \text{ calor del condensador de la BCG injectada al terreny} \\ EER \text{ coeficient d'eficiència energètica} \end{array} \right. \quad \text{eq. (11.23)}$$

Aplicant aquestes fórmules en el full d'Excel (veure annex D) i fent els corresponents càlculs es pot fer una valoració de si la bomba té capacitat per climatitzar tant a l'hivern com l'estiu la masia d'estudi. En la següent taula es mostra la mitjana del COP i la mitjana de la capacitat que té la bomba després d'aplicar els càlculs:

Paràmetres	Valor
COP mitjà	5,23
Capacitat mitjana d'escalfar (kW)	11,27

Taula 11-I. Capacitat i rendiment de la BCG (font pròpia)

Cal recordar les necessitats tèrmiques de la masia calculades en l'apartat 9 i les limitacions de la BCG:

<i>Necessitats i càrregues tèrmiques</i>	<i>Valor</i>
Càrrega de calefacció	9,165 kW
Càrrega de refrigeració	2,974 kW
Demanda total de calefacció	29652,84 kWh
Demanda total de refrigeració	653,90 kWh
<i>Especificacions de la BCG</i>	<i>Valor</i>
Potència calefacció	11 kW
Potència refrigeració	11 kW
Cabal de calefacció	3048,86 l/h
Cabal de refrigeració	1829 l/h

Taula 11-J. Necessitats tèrmiques i especificacions de la BCG (font pròpia)

Es pot afirmar que el sondeig té la suficient capacitat per climatitzar tant en els mesos d'hivern com d'estiu. Seguidament, s'adjunta un esquema de funcionament de la BCG amb els valors mitjans calculats de la capacitat d'extracció del subsol i la capacitat que té d'emetre aquesta calor en l'habitatge.

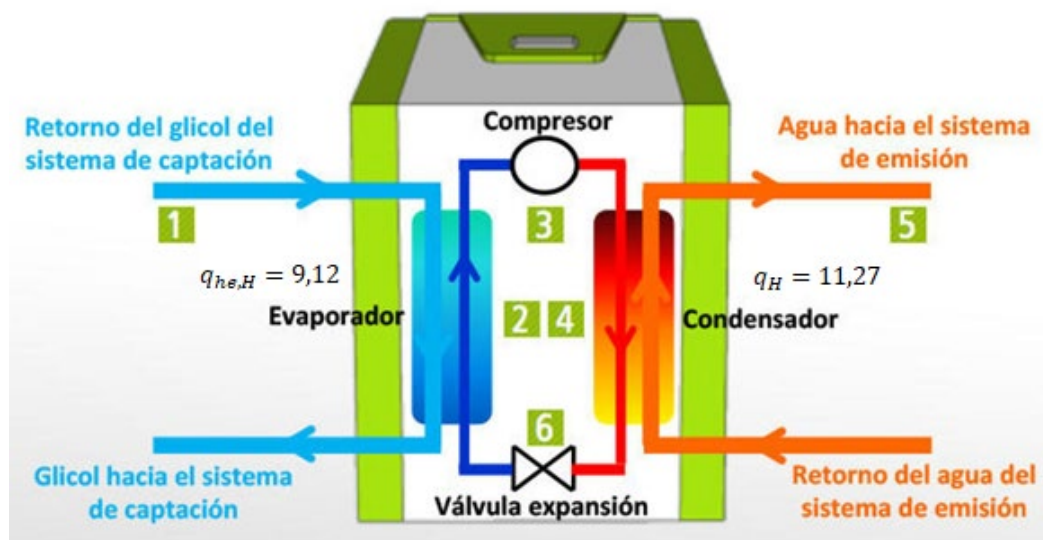


Figura 11.2. Esquema de la BCG amb valors mitjans en kilowatts del mode calefacció (font [25])

12. Sistema d'emissió

En aquest apartat es fa una descripció exhaustiva del sistema d'emissió, es proposa una possible distribució de les unitats terminals segons les necessitats de cada espai tèrmic, tot adjuntant els plànols de la distribució en l'Annex A.

12.1. Radiadors de baixa temperatura

Els radiadors d'aigua són els sistemes més utilitzats i comercialitzats en el mercat, però a la vegada l'alternativa menys eficient de les tres detallades en l'apartat anterior. Des de la seva incorporació en habitatges, aquests emissors han anat evolucionant paral·lelament als habitatges, encara que en realitat, actualment, segueixen coexistint pràcticament tots ells. Però sí que es pot observar una tendència històrica cap als radiadors de menor massa i una nova tendència cap a sistemes més dinàmics.

Els nous radiadors intel·ligents, que permeten un arrencament dinàmic en els moments on es necessita màxima potència de l'emissor, ofereix una important reducció del consum en l'aconseguir de l'emissor la màxima eficiència, però quan es necessita mantenir la temperatura, funciona en mode estàtic, entregant la calor de forma molt més suau i el confort és més estable. Com s'ha explicat anteriorment en l'apartat 5.4, existeixen els innovadors radiadors de baixa temperatura. La principal diferència respecte als radiadors convencionals és que l'aigua que circula ho fa a menor temperatura. Mentre que en un radiador convencional l'aigua entra a una temperatura de 75°C i surt a uns 65°C, aquests tipus de radiadors associats a sistemes com l'aerotèrmia, calderes de condensació o la geotèrmia, l'aigua circula a una temperatura entre 50 i 55°C. Així doncs, es decideix instal·lar aquest model de radiadors de baixa temperatura per tal de millorar l'eficiència.

S'ha escollit el fabricant JAGA per la instal·lació de radiadors de baixa temperatura, concretament el model de radiador: *Low-H₂O Jaga*, considerat segons Institut KIWA holandès el radiador amb màxim rendiment d'emissió. Aquests radiadors Low-H₂O són els més eficients amb totes les temperatures d'aigua, siguin altes o baixes. Així que és classificat com el més econòmic i ecològic actualment dins del sector.



Figura 12.1. Radiador de baixa temperatura de la marca JAGA model Low-H₂O (font [26])

12.2. Distribució de la instal·lació dels radiadors

Per la distribució i la quantificació de radiadors s'ha utilitzat el criteri d'ocupació de cada espai tèrmic i l'ús en cada subespai. Cal tenir en compte que normalment es col·loquen sota finestres com s'ha detallat anteriorment o si l'habitació és suficientment gran, se'n col·loquen més d'un distribuït en cantonades oposades de l'espai.

A partir de les necessitats tèrmiques de cada planta calculades en la simulació, s'ha dividit entre la superfície total per planta i s'ha quantificat el nombre de radiadors per habitació segons la potència dels radiadors (veure annex D). Cal comentar que el magatzem de la planta baixa, que actualment s'emmagatzema la llenya, no s'instal·larà cap radiador, ja que l'ús d'aquest espai no és del tot habitable. Si més endavant es canvia l'ús, seria factible instal·lar un radiador, ja que durant tot l'estudi s'ha considerat un espai habitable.

En total s'instal·len 16 radiadors distribuïts per tota la masia, els models de cada espai són diferents de potència i de mides.

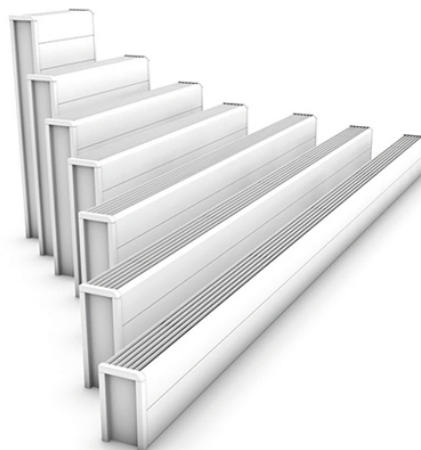


Figura 11.2. Diferents dimensions del model de radiadors Tempo de la marca Jaga (font [26])

En l'annex C s'adjunten els models de radiadors amb les especificacions, i els plànols de tota la instal·lació queden adjuntats en l'annex A.

13. Estudi econòmic

En aquesta secció, primer de tot es fa el càlcul del pressupost orientatiu dels costos totals per a la instal·lació del sistema de climatització geotèrmica. En segon lloc, es comparen els costos anuals respecte a altres sistemes de calefacció: el sistema actual que disposa la masia però també es proposa fer una comparació amb altres sistemes possibles de solucionar el sistema ineficient actual, com la caldera de Biomassa i la caldera de Gas Natural.

13.1. Pressupost

A continuació s'adjunta la taula resum de tots els costos del projecte. (veure Annex B.1)

Capítol	Instal·lació/Producte	Total activitat	Total capítol
0. Cost de l'estudi	Salari del projectista	2.400,00 €	2.400,00 €
1. Captació geotèrmica	1.1. Transport, muntatge i desmuntatge del sondeig	1.122,00 €	5.767,93 €
	1.2. Canonada de distribució	432,45 €	
	1.3. Arqueta	291,58 €	
	1.4. Sondes geotèrmiques	3.921,90 €	
2. BCG	BCG ECOFOREST ecoGEO Basic B2	10.502,38 €	10.502,38 €
3. Instal·lació de radiadors	3.1. Grup hidràulic pel circuit de calefacció	2.134,66 €	5.444,60 €
	3.2. Radiadors	3.309,94 €	
		TOTAL INSTAL·LACIÓ	24.114,91 €
4. Millora tèrmica dels tancaments	4.1. Aïllament façanes	11.004,51 €	16.042,48 €
	4.2. Aïllament coberta	1.975,71 €	
	4.3. Canvi de finestres	3.062,26 €	
		TOTAL MILLORA TÈRMICA	16.042,48 €
SUBTOTAL.....			40.157,39 €
21 % IVA.....			8.433,05 €
TOTAL.....			48.590,44 €

Taula 13-A. Pressupost de tota la proposta d'eficiència energètica (font pròpia)

13.2. Estalvi energètic respecte altres sistemes

Per veure si la bomba de calor geotèrmica és viable econòmicament es proposa fer una comparativa amb altres sistemes per escalfar la masia. Concretament, es proposa comparar la BCG amb el sistema actual de calefacció que disposa la masia. Cal tenir en compte que el sistema actual que disposa la masia només escalfa la planta primera amb una llar de foc a la cuina i estufes de llenya als dormitoris i la resta de plantes són escalfades amb estufes elèctriques o en situacions de temperatura extrema amb estufes de gas. Ja d'entrada és un sistema ineficient i no cobreix la demanda energètica actual calculada, però igualment es decideix estudiar l'estalvi econòmic.

A part de comparar-ho amb el sistema actual, també es fa una comparació amb un altre sistema renovable com és la caldera de pellets (biomassa) i amb un sistema convencional de combustió bastant utilitzat com és la caldera de gas natural. Per fer una bona anàlisi de viabilitat econòmica s'han de tenir en compte els següents paràmetres:

- Energia necessària anual de la masia
- Inversió inicial per la instal·lació de cada sistema de calefacció
- Cost energètic (preu del kilowatt) per cada sistema de calefacció

a) Energia necessària: es mostra, en la següent taula, l'energia necessària anual segons si és en mode calefacció o refrigeració extreta de la simulació:

	Mode Calefacció	Mode refrigeració
Energia anual (kWh)	29.652,84	653,90

Taula 13-B. Energia anual necessària (font pròpia: annex B2)

b) Inversió inicial: En aquesta taula es sumen tots els costos que necessita la masia per satisfer la demanda energètica. (s'assignen colors per cada cas per facilitar la lectura visual)

	Cost de l'estudi	Cost de la instal·lació	Millora de tancaments tèrmics	Sistema d'emissió de radiadors	Inversió total (sense IVA)	Inversió total (amb IVA)
BCG		16.270,31€			40.157,39€	48.590,44€
Caldera de biomassa	2.400€	3.800€	16.042,48€	5.444,60€	27.687,08€	33.501,37€
Caldera de Gas Natural		1.700€			25.587,08 €	30.960,37€

Taula 13-C. Inversió necessària per cada cas (font pròpia: annex B2)

A part dels costos de la instal·lació específica (BCG, Caldera Biomassa, Caldera de Gas Natural) es tindran també en compte els costos generals que necessita la masia prèviament abans d'instal·lar un sistema de calefacció: els costos de millora dels tancaments tèrmics (ja calculats en l'apartat de pressupost) i el cost del sistema d'emissió de radiadors, ja que actualment la masia no disposa de cap.

c) **Cost energètic anual:** aquí s'avalua el consum de cada sistema i el cost del kilowatt i extres. D'aquesta manera es calcula la diferència entre cada sistema.

$$\text{Consum}_{\text{anual real}} = \frac{\text{Energia necessària}_{\text{anual}}}{\text{Rendiment del sistema}} \quad \text{eq. (13.1)}$$

Tenint l'energia anual de la masia en mode calefacció es divideix pel rendiment de cada sistema i s'obté el consum anual per cada sistema (veure equació 13.1). Per tant, primer cal conèixer els rendiments de cada sistema:

- Situació actual (llar de foc i estufes de llenya antigues): 15% i 50% respectivament
- Caldera de biomassa (pèl·lets): 93%
- Caldera de Gas Natural: 95 %
- Bomba de Calor Geotèrmica: COP de 4 – 6 (és a dir, entre 400% i un 600%)

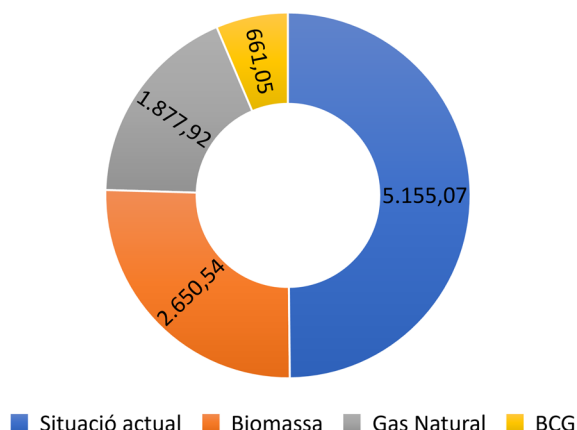
El sistema actual que és un conjunt entre la llar de foc oberta i les estufes de llenya (antigues) s'ha fet una aproximació entre els dos rangs de rendiments. S'ha considerat un rendiment global del 30%. I pel cas de la BCG s'agafa la mitjana del COP calculat en l'apartat 11.3.

A continuació, s'adjunta una taula resum dels costos anuals de cada sistema i un gràfic circular. A l'annex B.2. es mostren els consums i els costos desglossats per cada cas.

Situació actual (llar de foc i estufes de llenya)	5.155,07 €/any
Caldera de Biomassa	2.650,54 €/any
Caldera de Gas Natural	1.877,92 €/any
Bomba de Calor Geotèrmica	661,05 €/any

Taula 13-D. Resum dels costos anuals de cada sistema (font pròpia)

Costos anuals [€/any]



Gràfic 13-I. Comparació visual de les despeses anuals de cada sistema (font pròpia)

S'observa que la situació actual de la masia és el sistema que té més despeses amb una gran diferència. En canvi, la BCG és el sistema amb menys despeses, quasi representa el 12% dels costos de la situació actual. Així doncs es pot calcular l'estalvi econòmic que suposa anualment cada sistema solució respecte al sistema actual.

	€/any	% d'estalvi
Bomba de Calor Geotèrmica	4.494,02 €	87 %
Caldera de Biomassa	2.504,53 €	49%
Caldera de Gas Natural	3.277,14€	64%

Taula 13-E. Estalvi econòmic de cada possible solució respecte el sistema actual (font pròpia: annex B2)

13.3. Estudi de rendibilitat

En aquest apartat es proposa calcular el valor actual net (VAN) per cada possible sistema solució: el proposat en aquest estudi (BCG), la caldera de Biomassa i la de Gas Natural per tal de poder avaluar si són rendibles econòmicament cada proposta, és a dir, una vegada definit un horitzó de projecte els VAN per cada cas siguin positius al final d'aquest horitzó. El VAN té la següent expressió:

$$VAN = -I_o + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} \quad \text{eq.(13.2)}$$

On:

F_t : representa els fluxos de caixa per cada període t

I_0 : és el valor de la inversió inicial ($t = 0$)

n : és el número de períodes de temps (horitzó del projecte)

k : és el tipus d'interès

La inversió inicial ja calculada amb IVA inclòs per cada cas es troben en la *taula 13-C*. La taxa d'interès es considera 3% i l'horitzó de l'estudi es decideix que sigui 20 anys. Pel que fa al flux de caixa, és l'estalvi anual entre el sistema actual i els diferents possibles sistemes solució que s'estan analitzant en aquest apartat, és un flux constant cada any. A continuació, doncs, es proposa fer el càlcul del VAN comparant-ho amb aquests sistemes solució per veure si la decisió que s'ha pres per instal·lar aquest sistema geotèrmic en lloc d'altres és la instal·lació més idònia per aquest estudi.

Respecte la BCG: s'obté un període de retorn de 14 anys.

$$VAN = -48.590,44 + \sum_{t=1}^{20} \frac{4.494,02}{(1 + 0.03)^t} = 18.269,25\text{€} \quad \text{eq. (13.3)}$$

Respecte la caldera de Biomassa: s'obté un període de retorn de 18 anys.

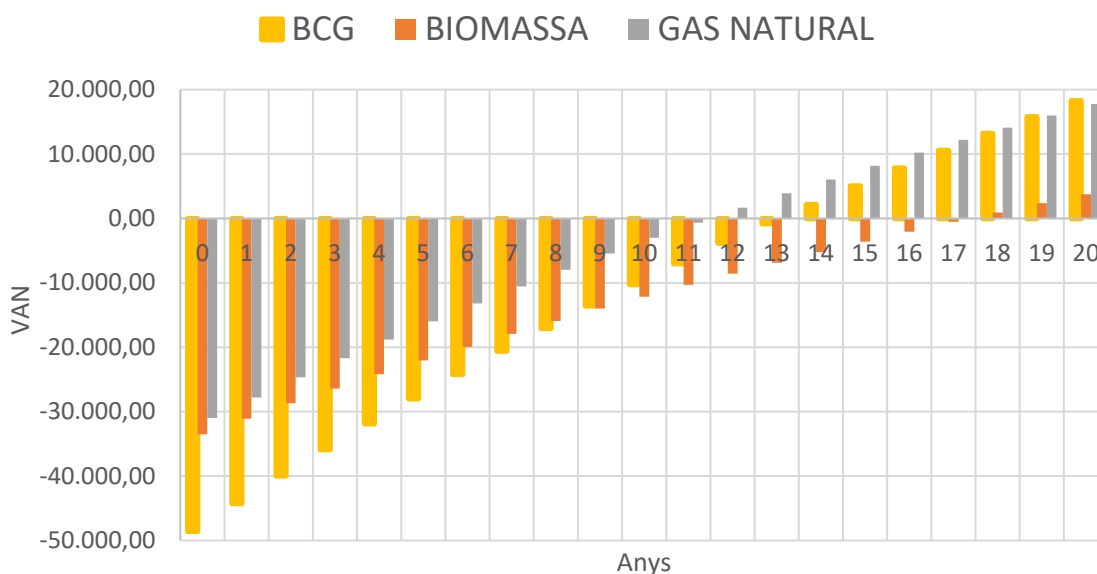
$$VAN = -33.501,37 + \sum_{t=1}^{20} \frac{2.504,53}{(1 + 0.03)^t} = 3.759,70\text{€} \quad \text{eq. (13.4)}$$

Respecte la caldera de Gas Natural: s'obté un període de retorn de 12 anys.

$$VAN = -30.960,37 + \sum_{t=1}^{20} \frac{3.277,14}{(1 + 0.03)^t} = 17.795,27\text{€} \quad \text{eq. (13.5)}$$

Es pot corroborar que instal·lant qualsevol dels tres possibles sistemes solució es pot amortitzar la inversió inicial en un període de retorn d'entre 12 i 18 anys. Es pot observar que és rendible fer aquest tipus d'inversió amb la situació actual del cas d'aquesta masia. Ja que les despeses anuals de la llar de foc i estufes de llenya són molt elevades comparat amb la del sistema que es proposa en aquest estudi.

A l'hora d'instal·lar un sistema de calefacció o un altre per tal que millori la situació actual d'aquesta masia a nivell tèrmic, es pot observar que instal·lant la BCG s'obté un benefici econòmic molt més elevat que amb la caldera de biomassa. Però cal destacar que la caldera de Gas Natural s'obté un valor econòmic semblant a la bomba però es recorda que és una solució contaminant i no renovable. A continuació, es mostra un gràfic amb l'evolució VAN per cada sistema.



Gràfic 13-II. . Evolució econòmica de la inversió en la BCG comparat amb els altres sistemes (font pròpia)

En el gràfic 13-II, es pot observar que el sistema que recupera més ràpidament la inversió inicial és el cas del Gas Natural, fet que era d'esperar, ja que les renovables són les que tenen una resposta d'amortització més lenta. La inversió feta amb la BCG (superior a les altres inversions de la caldera de Biomassa i la de Gas Natural) en el gràfic s'observa que a partir del catorzè any ja supera l'estalvi que s'hauria fet amb la Biomassa i a partir del vintè any supera l'estalvi que s'hauria fet amb Gas Natural.

13.4. Ajuts i subvencions

A nivell espanyol existeixen diversos programes d'ajudes i subvencions en la rehabilitació i la millora de l'eficiència energètica d'habitatges. Des de IDAE, concretament, existeix actualment el programa PAREER-II, un programa d'ajudes per a la rehabilitació energètica d'edificis existents on la tipologia de les actuacions objecte a les ajudes que s'inclouen en aquest programa són la millora de l'eficiència energètica de l'envolupant tèrmica, de les instal·lacions tèrmiques o d'il·luminació i també si es substitueix l'energia convencional per energia solar tèrmica o per energia geotèrmica. Així que per aquest estudi es podria arribar a subvencionar un 30% de les despeses en la millora dels tancaments tèrmics i també un 30% més en la substitució d'energia convencional per energia geotèrmica [27]. A nivell del territori català, l'Institut Català de l'Energia també promou juntament amb l'Agència de l'Habitatge de Catalunya ajuts a la rehabilitació d'edificis de tipologia residencial fomentant la millora de l'eficiència energètica i sostenibilitat [28]. Es pot concloure que amb l'existència d'aquests ajuts i subvencions el projecte és totalment viable i rendible a nivell econòmic ja que s'ha observat que la instal·lació geotèrmica sense aquests ajuts ja és amortitzada a menys de 15 anys.

14. Impacte ambiental

En aquest apartat es tracta de fer una valoració a nivell ambiental dels components del medi ambient que es veuen alterats en la instal·lació del sistema geotèrmic, també assenyalar les causes que provoquen aquesta alteració. Posteriorment, es fa una valoració i comparació a nivell energètic de l'abans i el després de la millora de la masia d'estudi, aplicant el programa de certificat energètic CE3X.

14.1. Efectes ambientals de l'energia geotèrmica

Segons l'Agència de Protecció Ambiental (EPA) d'EE.UU., les bombes de calor geotèrmiques són el sistema de climatització més eficient, menys contaminant i econòmicament viable. Un dels avantatges és l'absència d'emissions una vegada feta la instal·lació, ja que tan sols mou l'energia tèrmica de la terra d'un lloc en un altre a través de la circulació d'un fluid refrigerant, tot sense cremar cap combustible fòssil. Les úniques emissions de gasos d'efecte hivernacle es produeixen en el moment de la generació d'electricitat que necessita el compressor de la bomba. Per tant, aquestes emissions depenen de la combinació d'energies que adopti el país. També podria haver-hi un impacte potencialment significatiu com és la fuga de refrigerant de la bomba de calor i l'emissió de gasos d'efecte hivernacle per aquest tipus de fuites. A més, també cal tenir en compte els efectes que es produeixen durant la instal·lació com és la destrucció d'àrees naturals per a la construcció d'accesos per a la maquinària i la mateix perforació del terreny. Tots aquests efectes són compensats àmpliament pels factors positius que presenta comparat amb altres fonts de generació d'energia.

Cal afegir que aquesta dependència d'electricitat que necessita la bomba podria ser neutralitzada amb la instal·lació de generadors d'electricitat com són les plaques fotovoltaïques.

14.2. Certificat energètic

En aquest apartat es fa una comparació de qualificació energètica entre l'estat actual i el que es proposa en aquest estudi. S'ha utilitzat el programa CE3X per generar el certificat energètic de cada cas. Es compara les emissions, el consum d'energia primària no renovable i la demanda energètica de calefacció, refrigeració i ACS sense tenir en compte l'energia per il·luminació, ja que el programa exclou la il·luminació per edificis residencials. Cal recordar que com bé s'ha dit al llarg del projecte, la masia disposa d'una necessitat de refrigeració molt petita i no es té en compte en el certificat, per això el seu efecte és nul.

Actualment, la masia té una qualificació energètica global següent:

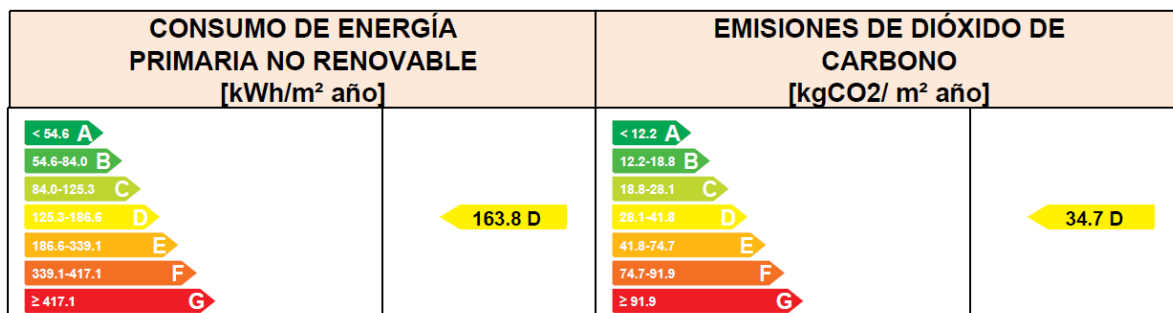


Figura 14.1. Qualificació energètica del consum i de les emissions en l'estat actual de la masia (font pròpia: programa CE3X)

S'observa en la *Figura 14.1* una qualificació tant de consum d'energia primària no renovable com d'emissions de diòxid de carboni de classe D tenint en compte que actualment la masia només disposa d'una caldera de gas natural per l'ACS i per la calefacció no té cap sistema instal·lat, ja que com s'ha anat comentant al llarg de l'estudi, funciona amb llar de foc i estufes de llenya, i per la simulació del certificat energètic no es podia considerar un sistema de calefacció.

Després de fer l'estudi, amb la proposta estudiada i detallada al llarg de tot el projecte, es procedeix a executar el programa per obtenir la qualificació energètica global amb la proposta de climatització geotèrmica, la classificació és la següent:

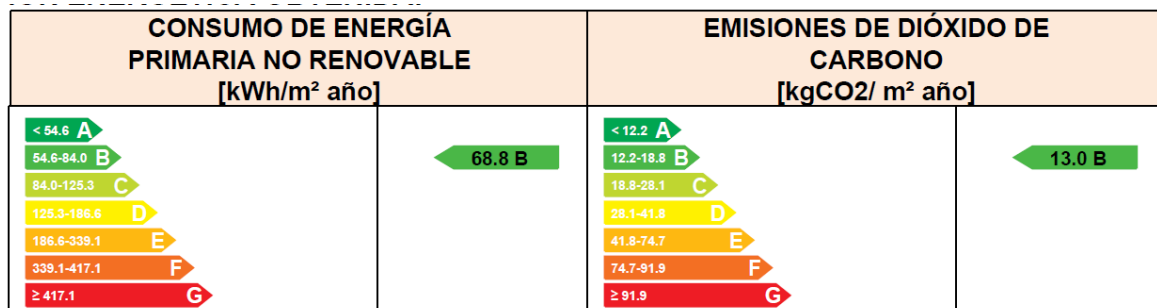


Figura 14.2. Qualificació energètica del consum i de les emissions en l'estat millorat de la masia (font pròpia: programa CE3X)

Una de les motivacions inicials del projecte era justament que davant la situació de voler satisfer la necessitat de climatitzar la masia es fes una proposta a partir d'una font renovable per tal que el certificat energètic augmentés de classe. S'observa en les dues, *Figura 14.1* i *Figura 14.2*, que tant en consum com en emissions, s'augmenta a nivell global de la classe D a la B. També cal afegir que aquesta millora només succeeix en la calefacció i no en l'ACS, però seria fàcilment adaptable a millorar l'ACS amb l'extensió que té la BCG ecoFOREST. En resum, es pot dir que aquesta instal·lació renovable té un consum elèctric de 600 €/any calculat en l'estudi econòmic (apartat 13) que fa que no pugui ser una instal·lació 100 % renovable, i llavors que la màxima classe que es pot assolir és la classe B. En l'annex C s'adjunta el certificat energètic dels dos estats.

15. Marc normatiu

L'any 2008 la Unió Europea (UE) va aprovar el primer paquet de mesures sobre el clima i l'energia, entre els quals hi havia els objectius 20/20/20⁴. L'any 2014, es va presentar un Marc estratègic en matèria també de clima i energia més ambiciós pel període de 2020-2030, on s'estableix un objectiu de com a mínim un 27% en estalvi energètic i generació amb energies renovables [29].

Per dur a terme el projecte tècnic de l'objecte estudi s'ha tingut en compte la normativa d'edificació espanyola, especialment el Codi Tècnic de l'Edificació (CTE) que estableix les exigències que han de complir els edificis en relació amb els requisits bàsics de seguretat habitabilitat establerts en la Llei d'Ordenació de l'Edificació (LOE).

El CTE estableix aquestes exigències bàsiques per cada un dels requisits bàsics i són configurats en documents bàsics (DB): Seguretat estructural (SE), Seguretat en cas d'incendi (SI), Seguretat d'utilització i accessibilitat (SUA), Protecció contra el soroll (HR), Salubritat (HS) i per últim Estalvi d'energia i aïllament tèrmic (HE).

Per aquest estudi, s'ha tingut en compte els següents documents:

a) CTE Document Bàsic: Estalvi d'energia (HE) [15]

És el document bàsic d'estalvi d'energia del CTE aprovat el juny 2018. Del document bàsic s'han tingut en compte les següents seccions:

- HE 0 Limitació del consum energètic
- HE 1 Limitació de la demanda energètica
- HE 2 Rendiment de les instal·lacions tèrmiques: actualment descrit en el Reglament d'instal·lacions Tèrmiques en els Edificis (RITE).

Cal afegir que aquestes limitacions tant de consum energètic com de demanda s'han tingut en compte malgrat que són obligatoris per obra nova i no pel cas propi d'estudi. Aquest document també conté uns documents de suport (DA) com per exemple el fitxer climàtic de la zona D1.

b) Guies tècniques d'estalvi i eficiència energètica en climatització de *l'Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía* (IDAE)

c) Normativa alemanya sobre la utilització tèrmica del subsol (VDI 4640) [30]

⁴ La unió europea es va fixar pel 2020 tres objectius: reducció d'emissions d'efecte hivernacle (20%), quota d'energies renovables (20%) i millora de l'eficiència energètica (20%).

Conclusions

Davant l'actual situació d'emergència climàtica que estem vivint, és indubtable la necessitat de promoure solucions que incloguin la participació de les energies renovables en qualsevol àmbit. En el sector de l'edificació, i sobretot en el residencial, s'observa una mancança en la integració de fonts renovables en sistemes de climatització i aigua calenta sanitària. A més, s'ha comprovat que aquest sector té un pes important en l'estructura del consum energètic espanyol i per això cal incorporar mesures d'eficiència i estalvi energètic, no només en habitatges d'obra nova sinó també en habitatges ja existents per tal de reduir la demanda energètica i poder contribuir en la preservació del medi ambient.

Respecte a l'objecte d'estudi, cal destacar que el fet que *El Verdguer* no disposi actualment d'un bon condicionament tèrmic, ha obligat a fer un pas previ abans de proposar un sistema de climatització renovable: la millora de l'aïllament tèrmic per poder fer minvar la seva elevada demanda energètica. Aquesta decisió ha afectat a nivell econòmic ja que ha suposat gairebé el mateix cost que la mateixa instal·lació geotèrmica. Alhora, ha posat de manifest la necessitat de prendre mesures passives d'eficiència energètica prèviament a realitzar-ne d'actives com és l'aplicació d'instal·lacions.

Pel que fa al càlcul de les necessitats tèrmiques de la masia, s'ha corroborat el desmesurat desequilibri energètic que conserven aquest tipus d'habitatges de l'època, és a dir, l'elevada demanda de calefacció i la poca necessitat de refrigerar els espais a causa dels grans murs de pedra de les façanes. A més, a partir de les dades climàtiques de la zona, s'observa l'absència d'amples franges horàries amb elevades temperatures durant els mesos més calorosos, excepte en hores puntuals. Això ajuda, doncs, a mantenir ferma la decisió de no prendre mesures actives de refrigeració però sí un sistema passiu de refrigeració que incorpora el mateix model de la bomba de calor geotèrmica.

El dimensionament de la instal·lació geotèrmica és la part de l'estudi que ha requerit més esforç i dedicació. S'ha observat un ampli desenvolupament teòric del sistema però a nivell pràctic s'ha copsat poca facilitat en l'accés a models o programes de càlcul pel sondeig geotèrmic i, en general, escassetat de projectes territorials referents. De totes maneres, cal remarcar que l'estudi s'ha pogut constatar amb projectes d'altres països més especialitzats i referents en el sector.

A nivell econòmic, la rehabilitació energètica de la masia té un cost força elevat: per una banda, la mateixa font renovable escollida ja implica una gran inversió; per altra banda, i com es comentava anteriorment, s'ha hagut de fer una millora dels tancaments tèrmics, fet que ha provocat un augment significatiu de la inversió prevista, sumant un total de 48.590 euros. Es preveu que aquesta elevada inversió global sigui amortitzada en un període de catorze anys.

No obstant, les polítiques energètiques i la gestió de les subvencions que aplica el Ministeri per a la Transició Ecològica l'any 2018 [27] podrien escurçar el temps i afavorir-ne l'amortització amb inversions en matèria d'energia geotèrmica i, en general, d'eficiència energètica d'habitatges, per exemple.

Pel que fa a l'impacte ambiental que suposa aquest estudi, s'ha comprovat que és mínim, tot i així cal considerar la possibilitat de neutralitzar del tot les emissions del sistema eliminant la dependència elèctrica amb ajut dels generadors fotovoltaics, així com la possibilitat d'incloure un dipòsit per l'aigua calenta sanitària dins del mateix sistema geotèrmic.

Tanmateix, la millora energètica que s'ha obtingut complau els objectius energètics plantejats d'inici i es pot dir que la part ambiental d'aquest estudi reafirma i justifica d'una manera concloent el motiu pel qual és necessari invertir en les energies renovables.

Agraïments

En primer lloc, voldria agrair a l'arquitecte tècnic, Josep Solé, per la seva dedicació i entrega durant la realització de les simulacions energètiques. Sense el seu coneixement i contingut didàctic específic del programa no hauria sigut possible.

En segon lloc, agrair a en Xevi Pou, professional del sector renovable, per la seva gran experiència en instal·lacions geotèrmiques i pels seus consells. També en Marc Corbella, per ajudar-me, als inicis del treball, a posar sobre la taula tots els passos necessaris a seguir per poder assolir els objectius plantejats. I també agrair en Toni Genís i la Mercè Tanyà per obrir-me les portes de la seva masia geotèrmica, Mas Tió.

M'agradaria agrair al meu entorn proper pel seu suport durant tots aquests mesos, en especial, a l'Helena i a la Clàudia, arquitectes de la família, per la seva ajuda en la part del treball que més coneixement arquitectònic necessitava. A la Berta per fer-ho més fàcil. I a en Pep, pel seu encoratjament mostrat al llarg del procés atesa la seva experiència professional.

Finalment, i en darrer lloc, agrair al meu tutor, Jordi Garcia, pel seu suport i orientació durant la realització d'aquest treball.

Bibliografia

Referències bibliogràfiques

- [1] MAURE, A.; BARAS, E. *La política energètica a Catalunya i la participació de les energies renovables*, Departament d'Economia i Finances, 2010. (online). [http://economia.gencat.cat/web/.content/documents/articles/arxiu/doc_71606688_1.pdf, 8 d'abril de 2020]
- [2] ROSAS, M.; MARTÍNEZ, J. *Energies renovables*. A: Carrera, E. i Segalàs, J. Catalunya. Càtedra UNESCO de Sostenibilitat, 2010. (online) [<https://tecnologiaisostenibilitat.cus.upc.edu/>, 9 d'abril del 2020]
- [3] INSTITUT CATALÀ DE L'ENERGIA, ICAEN., *Energies Renovables* [<http://icaen.gencat.cat/ca/energia/renovables/>, 19 de febrer del 2020]
- [4] ROSAS, M.; MARTÍNEZ, J. *Estalvi i eficiència energètica*. A: Carrera, E. i Segalàs, J. (ed.). *Tecnologia i Sostenibilitat* (online). Terrassa: Universitat Politècnica de Catalunya. Càtedra UNESCO de Sostenibilitat, 2010 [<http://tecnologiaisostenibilitat.cus.upc.edu/>, 12 d'abril 2020]
- [5] CAPDEVILA, I.; LINARES, E.; FOLCH, R. *Eficiència energètica en la rehabilitación de edificios*. Energía y medio ambiente 25, Fundación Gas Natural Fenosa, 2012
- [6] CAPDEVILA, I.; LINARES, E.; FOLCH, R. *Rehabilitació energètica d'edificis*, ICAEN, Col·lecció Quadern pràctic, num.10, pp.23-45, Oct, 2016. [<http://icaen.gencat.cat/ca/detalls/publicacio/Num.-10-Rehabilitacio-energetica-dedificis>, 20 d'abril 2020]
- [7] GLEN DIMPLEX DEUTSCHLAND GMBH, "Detalles técnicos: La Bomba de calor". (Internet). [<http://www.dimplex.de/es/profesional/detalles-tecnicos/bombas-de-calor.html>, abril 2020]
- [8] TAMAS, A. "Compare Green Energy Prices and Suppliers. GreenMatch". (Internet). [<https://www.greenmatch.co.uk/>, abril 2020]
- [9] ARKIPLUS. "Funcionamiento de una caldera de Biomasa". (Internet). [www.arkiplus.com, maig 2020]
- [10] EKIDOM, SA. "Funcionamiento de la energía solar térmica". (Internet). [<http://www.ekidom.com/funcionamiento-de-la-energia-solar-termica>, 2 maig 2020]

- [11] E-FICIENCIA, “¿Suelo radiante o Radiadores? Diferencias en confort, eficiencia, inercia térmica e inversión económica”. (Internet). [<https://e-eficiencia.com/suelo-radiante-o-radiadores/>, 16 abril 2020]
- [12] SAUNIER DUVAL. “Radiadores de baja temperatura para calefacción basada en aerotermia”. (Internet). [<https://re-magazine.saunierduval.es/2019-01-18/radiadores-de-baja-temperatura-para-calefaccion-basada-en-aerotermia>, maig 2020]
- [13] AIRZONE, “¿Que es un fan coil? Tipos de fan coils” (Internet). [<http://www.airzone.es/blog/climatizacion/que-es-un-fan-coil-y-como-funciona/> abril 2020]
- [14] INSTITUT CARTOGRÀFIC I GEOLÒGIC DE CATALUNYA, ICGC, “Visor de descàrregues”. (online). [<http://srv.icgc.cat/appdownloads/>, abril 2020]
- [15] MINISTERIO DE FOMENTO. *Código Técnico de la Edificación, CTE*. (RD 732/2019, 20 de diciembre 2019). Documento Básico HE: Ahorro de Energía. [www.codigotecnico.org, març - abril 2020]
- [16] ISCALTEC, “Ventana de madera ISCLATEC78” (Internet). [<https://www.iscletec.com/ventanas-madera-iscletec-78/es>, juny 2020]
- [17] TECNOLOGÍA Y RECURSOS DE LA TIERRA: SANCHEZ, J., SANZ, L., OCAÑA, L. *Evaluación del potencial de energía geotérmica. Estudio Técnico PER 2011-2020*. Instituto para la diversificación y el Ahorro de la Energía, IDAE, Madrid 2011, pp.54-60 [https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11227_e9_geotermia_A_db72_b0ac.pdf, abril 2020]
- [18] RETSCREEN INTERNATIONAL, “Ground-Source Heat Pump Project Analysis,” in *Clean Energy Project Analysis: RETScreen Engineering & Cases*, Minister of Natural Resources Canada, 3rd Edition, Sept 2005, pp.407-452. [Abril – Maig 2020]
- [19] ALGHOUL S.K, “A Comparative Study of Energy Consumption for Residential HVAC Systems Using EnergyPlus”, *Humanities and Social Sciences*, Vol.2, No.2, 2017, pp. 98-103, doi: 10.11648/j.ajmie.20170202.16
- [20] RODRÍGUEZ, A. “Cálculo de una instalación geotérmica,” Treball de fi de grau, Grau en Enginyeria Mecànica., Escola Politècnica Superior d’Enginyeria de Manresa (EPSEM)., Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)., Manresa, Gener 2018. pp. 18-26
- [21] LÓPEZ, A. “Estudi de la viabilitat de la construcció d’un pou d’energia geotèrmica per a l’aprofitament domèstic,” Treball de fi de grau, Grau en Enginyeria Minera., Escola

- Politécnica Superior d'Enginyeria de Manresa (EPSEM), Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Manresa, Juliol 2018. pp. 72-77
- [22] ECOFOREST, “Bomba de calor geotérmica doméstica con tecnología Inverter”. (Internet). [<https://www.ecoforest.com/es/bombas-calor/geotermica/geotermia/135-ecogeo-basic> , abril-maig 2020]
- [23] MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO. INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y EL AHORRO DE LA ENERGÍA, IDAE. *Guía técnica Diseño de sistemas de intercambio geotérmico de circuito cerrado* [<https://www.idae.es/publicaciones/guia-tecnica-diseno-de-sistemas-de-intercambio-geotermico-de-circuito-cerrado> , març i abril 2020]
- [24] CELSIUS, “Caracteristiques physiques des fluides thermiques”. (Internet). [www.celsius-process.com , abril 2020]
- [25] GEOSFERA, “Geotermia”. (Internet). [<http://www.geosfera.es/geotermia/>, juny 2020]
- [26] JAGA, “Radiadores de baja temperatura”. (Internet). [<https://jaga.info/blog/radiadores-de-baja-temperatura-como-funcionan-los-emisores-low-h2o/>, maig 2020]
- [27] MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO. INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y EL AHORRO DE LA ENERGÍA, IDAE. *Segunda convocatoria del programa de ayudas para la rehabilitación energética de edificios existentes (programa PAREER- II)* Abril 2020 [<https://www.idae.es/ayudas-y-financiacion/para-rehabilitacion-de-edificios-programa-pareer/segunda-convocatoria-del> juny 2020]
- [28] INSTITUT CATALÀ DE L'ENERGIA, ICAEN. “Agència de l'Habitatge de Catalunya: ajuts a la rehabilitació d'edificis de tipologia residencial”. Juny 2019 [<http://icaen.gencat.cat/ca/energia/ajuts/edificis/agencia-de-lhabitatge-de-catalunya-ajuts-a-la-rehabilitacio-dedificis-de-tipologia-residencial/> juny 2020]
- [29] EUROPEAN COMMISSION. “Energy efficiency”. (Internet). [https://ec.europa.eu/energy/topics/renewable-energy_en, juny 2020]
- [30] COLEGIO OFICIAL DE GRADUADOS EN INGENIEROS TÉCNICOS INDUSTRIALES DE MADRID (COGITIM), “VDI 4640, Parte2” Gener 2013, pp.17-26 [<http://www.coitim.es/coitim/Descarga.asp?idMenu=0&Tipo=2&Id=113&IdDoc=2>]

Bibliografia complementària

VILA, J. “La força del món - Què passa amb l’energia?”, *Mètode*, núm.73, Primavera, 2012 [<https://metode.cat/revistes-metode/monografics/que-passa-amb-energia.html>], 8 d’abril 2020]

PARIS, A. “La certificació d’eficiència energètica d’edificis”, *Cultura Energètica* Núm. 179, Institut Català de l’Energia (ICAEN), Barcelona Març 2012, [http://icaen.gencat.cat/web/.content/10_ICAEN/17_publicacions_informes/09_fons_documental/03_publicacio_periodica/cultura_energetica/arxius/179_certificacio_energetica_edificis.pdf], 8 d’abril de 2020]

SOLE, J. *OpenStudio y Energy Plus* [<http://www.josepsole.260mb.net/Energy.html>], març-abril 2020]

AUREA CONSULTING *Consultores energéticos* (online) [<https://ecoficiente.es/>], abril 2020]

QUIROA, M., *Energía renovable*, Economipedia, (online) [<https://economipedia.com/definiciones/energia-renovable.html>], 9 d’abril 2020]

MASON, M., “Renewable Energy: All you need to know” *Environmental Science* (online) [<https://www.environmentalscience.org/renewable-energy>], 9 abril 2020]

MOLINA, J.; HORN, M.; ROJAS, J.; ARANDA, A.; “*Modelación térmica de un módulo experimental de vivienda alto andina utilizando OpenStudio y Energyplus*”, Energía Solar en Edificaciones, trabajo de investigación, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ciencias de Lima, Perú, 2017, [29 abril 2020]

INSITUTO DE LA CONSTRUCCIÓN DE CASTILLA Y LEÓN; INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN EDUARDO TORROJA, *Código técnico de la edificación web* (online) [<http://cte-web.iccl.es/>], març – abril 2020]

Clasificación de suelos - Estructuras III - Apuntes, Apuntes de Estructuras y Materiales Universidad de Navarra (UNAV) (Internet) [<https://www.factorenergia.com/ca/blog/noticies/energies-renovables-caracteristiques-tipus-i-nous-reptes/>], abril 2020]