

## Treball final de grau

**Estudi:** Doble titulació GETI - ADE

**Títol:**

Projecte de renovació de climatització d'un habitatge unifamiliar a Corçà

**Document:** 1. Memòria i annexos

**Alumne:** Aleix Andreu Palahí

**Tutor:** Lino Montoro

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

**Àrea:** Màquines i motors tèrmics

**Convocatòria (mes/any)** Setembre 2020

## ÍNDEX

Índex .....	i
Índex de Figures .....	iii
Índex de Taules .....	v
Índex de Gràfics .....	vii
I. MEMÒRIA.....	1
1 INTRODUCCIÓ .....	1
1.1 Antecedents.....	1
1.2 Objecte del projecte.....	1
1.3 Especificacions i abast.....	1
2 DESCRIPCIÓ DE L'HABITATGE.....	3
2.1 Dades generals de l'habitatge .....	3
2.2 Dades de l'entorn .....	4
2.3 Dades tècniques .....	6
3 SUBSTITUCIÓ DELS RADIADORS.....	11
3.1 Radiadors actuals .....	11
3.2 Radiadors escollits .....	12
3.3 Circuits de calefacció.....	14
3.4 Característiques dels radiadors a baixa temperatura .....	14
4 DESCRIPCIÓ DE LES SOLUCIONS .....	17
4.1 Aerotèrmia .....	17
4.1.1 Funcionament.....	17
4.1.2 Avantatges i inconvenients de l'aerotèrmia.....	20
4.1.3 Classificacions dels tipus de bombes de calor aerotèrmiques.....	21
4.2 Geotèrmia.....	23
4.2.1 Funcionament.....	23
4.2.2 Avantatges i inconvenients de la geotèrmia .....	24
4.2.3 Classificacions segons els tipus de perforacions i bombes geotèrmiques .....	25

5	PROJECTE D'UNA INSTAL·LACIÓ AEROTÈRMICA.....	27
5.1	Característiques principals del model seleccionat.....	27
5.2	Components de la instal·lació.....	28
5.2.1	Unitat exterior.....	28
5.2.2	Unitat interior.....	29
5.2.3	Altres elements.....	31
5.3	Ubicació.....	32
6	PROJECTE D'UNA INSTAL·LACIÓ GEOTÈRMICA.....	33
6.1	Bomba de calor.....	33
6.2	Altres elements.....	34
6.3	Intercanviador de calor subterrani.....	34
6.4	Perforació.....	36
7	ANÀLISI COMPARATIU DE LES SOLUCIONS.....	39
7.1	Anàlisi de rendiment i consum.....	39
7.2	Anàlisi de despesa energètica econòmica.....	44
7.3	Anàlisi d'emissions.....	46
7.4	Certificació energètica.....	48
7.5	Anàlisi d'amortitzacions.....	54
7.6	Estudi d'un sistema fotovoltaic addicional.....	56
7.7	Anàlisi d'una possible solució combinada.....	60
8	CONCLUSIONS.....	63
9	BIBLIOGRAFIA.....	65
II.	ANNEXOS.....	67
	ANNEX A – DEMANDA ENERGÈTICA DE L'HABITATGE.....	67
	A.1 – Càlculs per a la demanda d'ACS.....	67
	A.2 – Càlculs per a la demanda de calefacció.....	71
	A.2.1 - Càrregues per transmissió.....	71
	A.2.2 - Càrregues per ventilació.....	83
	A.2.3 - Càrregues per radiació.....	85

A.2.4 - Altres càrregues .....	89
A.2.5 - Demanda energètica total.....	90
ANNEX B – CÀLCULS DELS RADIADORS DE BAIXA TEMPERATURA.....	93
ANNEX C– SISTEMA AEROTÈRMIC .....	95
C.1 - Dades tècniques Hitachi S 4 Combi.....	95
C.2 – Dimensionat del vas d'expansió per ACS .....	96
ANNEX D – SISTEMA GEOTÈRMIC .....	99
D.1 – Especificacions tècniques del model escollit.....	99
D.2 – Càlcul del perfil de temperatures del subsòl.....	100
D.3 – Càlcul del diàmetre i longitud de les sondes.....	104
ANNEX E – CÀLCULS D'EFICIÈNCIA I AMORTITZACIÓ .....	109
E.1 – Càlcul d'eficiència de les bombes de calor .....	109
E.2 – Càlcul del cost de l'electricitat mensual.....	114
E.3 – Flux de caixa respecte la caldera actual.....	115
ANNEX F – CÀLCULS GENERACIÓ FOTOVOLTAICA.....	119
F.1 – Producció anual dels panells.....	119
F.2 – Costos i estalvis anuals en totes les situacions .....	119

## ÍNDIX DE FIGURES

Figura 1. Situació. Font: Google Maps.....	3
Figura 2. Emplaçament. Font: Google Maps.....	3
Figura 3. Imatge exterior de l'habitatge. Font: Google Maps.....	3
Figura 4. Perfil dels murs .....	7
Figura 5. Certificació energètica actual amb caldera de gasoil. Font: Elaboració pròpia amb el programa Ce3x.....	9
Figura 6. Radiadors actuals. Font: Fotografia pròpia. ....	11
Figura 7. A dalt l'esquema d'un sistema de calefacció monotub, a baix l'esquema de funcionament bitub. Font: Sth Expert. ....	12
Figura 8. Imatge del radiador Ferroli Europa C. Font: Ferroli .....	14
Figura 9. Variació de les exigències del CTE. Font: Saneamientos Dimasa.....	15
Figura 10. Funcionament convecció/radiació en funció de la temperatura de treball. Font: Saneamientos Dimasa. ....	16

Figura 11. Distribució de l'escalfor i la temperatura dins una habitació col·locant els radiadors sota les finestres. Font: Saneamientos Dimasa. ....	16
Figura 12. Cicle termodinàmic d'una bomba de calor aerotèrmica. Font: Sanigrif. ....	18
Figura 13. Diagrama Ph. Font: Viquipèdia. ....	18
Figura 14. Cicle de la bomba de calor dins el diagrama de Ph. Font: Calor y frio. ....	19
Figura 15. A l'esquerra un sistema monobloc, a la dreta un sistema bibloc. Font: Klimafrio .....	22
Figura 16. Esquema de funcionament de la Geotèrmia. Font: Construible.es.....	24
Figura 17. Captació vertical. Font: Enertres. ....	26
Figura 18. Captació horitzontal. Font: Enertres. ....	26
Figura 19. Captació per circuit obert amb aigües subterrànies. Font: Enertres.....	26
Figura 20. Esquema de muntatge de la bomba de calor escollida. Font: Hitachi.....	28
Figura 21. Unitat exterior. Font: Hitachi.....	28
Figura 22. Esquema interior de la unitat interior. Font: Hitachi.....	29
Figura 23. Bomba Clausius Elite 3-15 H. Font: Clausius.....	33
Figura 24. Esquema interior de la bomba de calor Clausius 3-15 H. Font: Clausius. ....	34
Figura 25. Fases de la perforació. Font: Geotermia Vertical Instalaciones.....	37
Figura 26. Parts del sellatge de la sonda al terreny. Font: IDAE. Ministerio de Industria, Turismo y Fomento. ....	37
Figura 27. Introducció de la sonda al pou vertical mitjançant un desbobinador. Font: EDASU.....	38
Figura 28. Sellatge d'un pou vertical. Font:Aetess. ....	38
Figura 29. Factors d'emissió de CO <sub>2</sub> . Font: IDAE.....	47
Figura 30. Certificació energètica amb aerotèrmia. Font: Elaboració pròpia amb el programa ce3x. ....	49
Figura 31. Certificació energètica amb geotèrmia. Font: Elaboració pròpia amb el programa ce3x.....	50
Figura 32. Certificació energètica amb Gas Natural. Font: Elaboració pròpia amb el programa ce3x. ....	51
Figura 33. Certificació energètica amb el gas propà. Font: Elaboració pròpia amb el programa ce3x. ....	52
Figura 34. Certificació energètica amb biomassa. Font: Elaboració pròpia amb el programa ce3x.....	53
Figura 35. Annex F del document HE4. Font: Document bàsic DB-HE.....	67
Figura 36. Temperatura mitjana mensual de l'aigua provinent de la xarxa. Font: Document bàsic DB-HE. ....	68

Figura 37. Valors de les resistències tèrmiques Rse i Rsi segons el tipus de tancament. Font: Document bàsic DB-HE. ....	72
Figura 38. Factors correctors per les particions interiors. Font: Document bàsic DB-HE. ....	75
Figura 39. Situacions entre espais habitables i no habitables. Font: Document bàsic DB-HE. ....	76
Figura 40. Valors Rse i Rsi per a particions interiors. Font: Document bàsic DB-HE. ....	77
Figura 41. Cabals mínims de ventilació. Font: Document basic DB-HE.....	83
Figura 42. Factor ombra segons les mides del retranqueig i la finestra. Font: DDocument bàsic DB-HE. ....	86
Figura 43. Factors ombra segons les dimensions de la finestra. Font: Document bàsic DB-HE.....	86
Figura 44. Absortivitat en funció del color del marc. Font: Document bàsic DB-HE.....	87
Figura 45. Irradiació mitjana per mesos a Girona. Font: Atlas de radiació solar d'Espanya. ....	89
Figura 46. Fitxa tècnica dels radiadors Europa 700C. Font: Ferroli.....	93
Figura 47. Fitxa tècnica de la bomba de calor aerotèrmica. Font: Hitachi. ....	95
Figura 48. Fitxs tècnica de la bomba de calor geotèrmica. Font: Clausius. ....	99
Figura 49: Tipus de roca a diferents alçades. Font: IGME.....	100
Figura 50. Resum del tipus de roca. Font: IGME.....	100
Figura 51. Gràfic del tipus de roca. Font: IGME.....	101
Figura 52. Propietats tèrmiques dels dieferents terrenys. Font: IDAE. ....	101
Figura 53. Temperatures a Girona. Font: Climate Data.....	102
Figura 54. Extraccó tèrmica en funció del terreny i les hores. Font: FerroSystems .....	105
Figura 55. Propietats de diferents fluids intercanviadors. Font: IDAE.....	106
Figura 56. Sondes verticals Ferroplas. Font: FerroSystems.....	107
Figura 57. Propietats del PE-100. Font: FerroSystems. ....	107
Figura 58. Capacitat de producció de la bomba de calor Hitachi Combi S4. Font: Hitachi. ....	109
Figura 59. Taules amb els factors de ponderació i correcció. Font: RITE.....	112
Figura 60. Preu mitjà mensual del kWh 2018-2019. Font: Tarifas Gas Luz.....	114
Figura 61. Producció dels panells fotovoltaics proposats. Font: Elaboració pròpia amb el programa PVGIS.....	119

## ÍNDIX DE TAULES

Taula 1. Superfície de les estàncies de l'habitatge. Font:Elaboració propia.....	4
Taula 2. Zones climàtiques segons el document HE. Font: Document HE Bàsic d'Estalvi d'Energia.....	5

Taula 3. Temperatura mitjana mensual a Corçà. Font: Elaboració pròpia. ....	6
Taula 4. Finestres de l'habitatge. Font: Elaboració pròpia. ....	7
Taula 5. Potència necessària per a cada estància. Font: Elaboració pròpia. ....	13
Taula 6. Elements a col·locar a cada estància. Font: Elaboració pròpia. ....	13
Taula 7. Característiques del radiador Europa 700C. Font: Elaboració pròpia. ....	14
Taula 8. Característiques de la perforació i la sonda. Font: Elaboració pròpia. ....	36
Taula 9. Consum energètic de cada tipus de bomba. Font: Elaboració pròpia. ....	40
Taula 10. Consum de la caldera de gasoil. Font: Elaboració pròpia. ....	41
Taula 11. Consums d'una caldera de Gas Natural. Font: Elaboració pròpia. ....	42
Taula 12. Consums d'una caldera de gas propà. Font: Elaboració pròpia. ....	42
Taula 13. Consums d'una caldera de biomassa. Font: Elaboració pròpia. ....	43
Taula 14. Preus unitaris estimats dels diferents combustibles. Font: Elaboració pròpia. ..	44
Taula 15. Cost anual de la aerotèrmia i la geotèrmia. Font: Elaboració pròpia. ....	45
Taula 16. Cost anual dels diferents combustibles. Font: Elaboració pròpia. ....	45
Taula 17. Emissions de CO2. Font: Elaboració pròpia. ....	47
Taula 18. Consums elèctrics en les dues situacions. Font: Elaboració pròpia. ....	57
Taula 19. Consums corregits. Font: Elaboració pròpia. ....	58
Taula 20. Estudi de costos per a les diferents situacions. Font: Elaboració pròpia. ....	58
Taula 21. Consums i costos combinant els sistemes. Font: Elaboració pròpia. ....	62
Taula 22. Temperatura mitjana mensual corregida de l'aigua de la xarxa a Corçà. Font: Elaboració pròpia. ....	68
Taula 23. Demanda energètica per escalfar ACS. Font: Elaboració pròpia. ....	70
Taula 24. Transmissió tèrmica dels murs exteriors. Font: Elaboració pròpia. ....	73
Taula 25. Transmissió tèrmica del terra. Font: Elaboració pròpia. ....	74
Taula 26. Transmissió tèrmica de la teulada. Font: Elaboració pròpia. ....	74
Taula 27. Transmissió tèrmica de les particions interiors. Font: Elaboració pròpia. ....	77
Taula 28. Transmissió tèrmica de totes les finestres de l'habitatge. Font: Elaboració pròpia. ....	79
Taula 29. Pèrdues de calor al menjador el mes de gener. Font: Elaboració pròpia. ....	79
Taula 30. Pèrdues de calor a la cuina el mes de gener. Font: Elaboració pròpia. ....	79
Taula 31. Pèrdues de calor a l'habitació 1 el mes de gener. Font: Elaboració pròpia. ....	80
Taula 32. Pèrdues de calor a l'habitació 2 el mes de gener. Font: Elaboració pròpia. ....	80
Taula 33. Pèrdues de calor a l'habitació 3 el mes de gener. Font: Elaboració pròpia. ....	80
Taula 34. Pèrdues de calor al despatx el mes de gener. Font: Elaboració pròpia. ....	81
Taula 35. Pèrdues de calor el mes de gener al rebedor. Font: Elaboració pròpia. ....	81
Taula 36. Pèrdues de calor al passadís el mes de gener. Font: Elaboració pròpia. ....	81
Taula 37. Pèrdues de calor al bany el mes de gener. Font: Elaboració pròpia. ....	82

Taula 38. Pèrdues de calor de totes les habitacions cada mes. Font: Elaboració pròpia. ....	82
Taula 39. Pèrdues totals per ventilació. Font: Elaboració pròpia. ....	84
Taula 40. Factor ombra de les finestres amb retranqueig. Font: Elaboració pròpia. ....	86
Taula 41. Factor ombra de les finestres de l'habitatge. Font: Elaboració pròpia. ....	87
Taula 42. Absortivitat de les finestres. Font: Elaboració pròpia. ....	88
Taula 43. Factor corrector de les finestres de l'habitatge. Font: Elaboració pròpia. ....	88
Taula 44. Guanys mensuals totals per radiació solar. Font: Elaboració pròpia. ....	89
Taula 45. Potència necessària a cada habitació el mes de gener. Font: Elaboració pròpia. ....	91
Taula 46. Demanda energètica de l'habitatge per calefacció. Font: Elaboració pròpia. ....	91
Taula 47. Càlculs dels elements necessaris a cada radiador. Font: Elaboració pròpia. ....	94
Taula 48. Temperatures min-max al subsòl. Font: Elaboració pròpia. ....	103
Taula 49. COP de la bomba aerotèrmica en funció de la temperatura exterior i la temperatura de funcionament. Font: Elaboració pròpia. ....	110
Taula 50. COP de funcionament de la calefacció. Font: Elaboració pròpia. ....	111
Taula 51. COP de funcionament de l'ACS. Font: Elaboració pròpia. ....	111
Taula 52. Consum total aerotèrmia. Font: Elaboració pròpia. ....	113
Taula 53. Consum total geotèrmia. Font: Elaboració pròpia. ....	113
Taula 54. Cost anual de les bombes de calor. Font: Elaboració pròpia. ....	115
Taula 55. Evolució del cost total entre les diferents energies. Font: Elaboració pròpia. ....	116
Taula 56. Cost anual en la situació actual. Font: Elaboració pròpia. ....	119
Taula 57. Cost anual total amb aerotèrmia. Font: Elaboració pròpia. ....	120
Taula 58. Cost anual total amb geotèrmia. Font: Elaboració pròpia. ....	120
Taula 59. Costos i amortitzacions enfront les diferents situacions. Font: Elaboració pròpia. ....	121

## ÍNDIX DE GRÀFICS

Gràfic 1. Perfil de les temperatures màximes i mínimes del subsòl en funció de la profunditat. Font: Elaboració pròpia. ....	35
Gràfic 2. Rendiment de la bomba Yutaki Combi S4 en funció de la temperatura de funcionament i de la temperatura exterior. Font: Elaboració pròpia. ....	39
Gràfic 3. Consums en kWh dels diferents combustibles estudiats. Font: Elaboració pròpia. ....	44
Gràfic 4. Cost anual de tots els combustibles. Font: Elaboració pròpia. ....	45
Gràfic 5. Cost dels combustibles als 10 anys. Font: Elaboració pròpia. ....	46
Gràfic 6. Emissions de CO <sub>2</sub> anuals. Font: Elaboració pròpia. ....	48
Gràfic 7. Emissions de CO <sub>2</sub> als 10 anys. Font: Elaboració pròpia. ....	48
Gràfic 8. Flux econòmic. Font: Elaboració pròpia. ....	54



Gràfic 9. Evolució estalvi aerotèrmia vs geotèrmia. Font: Elaboració pròpia.....	55
Gràfic 10. Retorn de la inversió Aerotèrmia + FV. Font: Elaboració pròpia.....	59
Gràfic 11. Retorn de la inversió Geotèrmia + FV. Font: Elaboració pròpia.....	59
Gràfic 12. Comparació entre inversió, consum i cost en totes les situacions (combinant, aerotèrmia i geotèrmia d'esquerra a dreta). Font: Elaboració pròpia. ....	62
Gràfic 13. Perfil de temperatures min-max al subsòl. Font: Elaboració pròpia.....	103
Gràfic 14. COP de la bomba aerotèrmica en funció de la temperatura exteriors i la temperatura de funcionament. Font: Elaboració pròpia. ....	110
Gràfic 15. Retorn de la inversió Aerotèrmia. Font: Elaboració pròpia. ....	116
Gràfic 16. Retorn de la inversió Geotèrmia. Font: Elaboració pròpia. ....	117
Gràfic 17. Retorn de la inversió FV amb aerotèrmia. Font: Elaboració pròpia. ....	122
Gràfic 18. Retorn de la inversió FV amb geotèrmia. Font: Elaboració pròpia. ....	122
Gràfic 19. Retorn de la inversió total FV + Aerotèrmia. Font: Elaboració pròpia.....	123
Gràfic 20. Retorn inversió total FV + Geotèrmia. Font: Elaboració pròpia. ....	123

## **I. MEMÒRIA**

### **1 INTRODUCCIÓ**

#### **1.1 Antecedents**

Degut a la modernització dels sistemes de clima, la situació climàtica en la qual ens trobem a dia d'avui i el boom creixent de les energies renovables, es decideix plantejar una renovació del sistema de calefacció i d'ACS d'un habitatge unifamiliar al poble de Corçà. Els propietaris de l'habitatge han mostrat interès tant per a reduir les emissions de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera com per reduir les despeses econòmiques que els suposa l'actual caldera de gasoil de la qual disposen.

#### **1.2 Objecte del projecte**

L'objectiu d'aquest projecte és la de dissenyar un sistema de climatització que substitueixi l'actual caldera de gasoil que sigui eficient i basat en energies renovables, tant per contribuir a la sostenibilitat del nostre planeta reduint l'impacte mediambiental de l'habitatge com buscant un estalvi a mig/llarg termini per al client final.

Degut a l'impacte més aviat recent en l'àmbit domèstic dels sistemes d'aerotèrmia i geotèrmia el projecte busca estudiar quin dels dos sistemes resultaria una millor alternativa en un clima com el mediterrani. El projecte doncs proposarà les dues opcions com a sistemes de calefacció i de ACS i compararà a diferents nivells quin pot ser la millor opció mitjançant un estudi comparatiu. Les solucions proposades es compararan amb l'actual sistema i analitzarem el canvi de certificació energètica que suposa canviar a sistemes de climatització eficients i renovables. Degut a que l'habitatge actualment no compta amb sistema de refrigeració i que els clients busquen aprofitar els circuits de radiadors actuals modernitzant només els radiadors es plantejarà addicionalment un canvi de radiadors per a que treballin a baixa temperatura i no es plantejarà l'opció d'incorporar refrigeració a l'habitatge.

#### **1.3 Especificacions i abast**

Per a la realització d'aquest projecte caldrà definir l'estat actual de l'habitatge per a determinar-ne els consums tant de calefacció com d'ACS i a partir d'aquí dimensionar i dissenyar un sistema d'aerotèrmia i un de geotèrmia. Es dissenyaran dues solucions calculant-ne els components necessaris i els costos derivats de totes les operacions. El projecte inclou el canvi dels actuals radiadors d'alta temperatura de l'habitatge per radiadors de baixa temperatura per aprofitar més l'eficiència de les bombes de calor dels sistemes comentats a més de les dues propostes comentades.

El projecte inclourà un estudi final per a comparar els dos projectes en diversos àmbits juntament amb l'actual sistema i altres sistemes de climatització actuals.

Tot i que en un principi s'havia plantejat la opció d'afegir plaques fotovoltaïques o estudiar una instal·lació que combinés els dos sistemes (aerotèrmia i geotèrmia) i els activés en funció del rendiment puntual i el consum de cada un finalment els clients s'han decidit per estudiar només un canvi de radiadors i un canvi de la caldera de gasoil per un dels dos sistemes. La barreja dels dos sistemes d'entrada suposava un cost excessivament elevat per un habitatge tan petit, difícilment era amortitzable en un temps coherent. En quant a les plaques fotovoltaïques, tot i que en farem menció per a veure com podrien variar aproximadament els costos i els temps d'amortització, no s'ha considerat afegir-ho al projecte com a tal. En un futur possiblement s'afegiran com a complement de la opció escollida i s'estudiaran els costos derivats més endavant amb els preus actualitzats

## 2 DESCRIPCIÓ DE L'HABITATGE

### 2.1 Dades generals de l'habitatge

La instal·lació del sistema de climatització mitjançant bomba de calor es realitzarà a l'habitatge situat al carrer Empordà 8 del municipi de Corçà, al Baix Empordà. A continuació se'n mostren les dades significatives:

- Descripció: Habitatge unifamiliar de planta baixa
- Direcció: Carrer Empordà 8, Corçà 17121, Girona
- Coordenades: latitud 41.986308° i longitud 3.013743°.
- Referència cadastral: 1284104EG0418S0001HT



**Figura 1. Situació. Font: Google Maps**



**Figura 2. Emplaçament. Font: Google Maps.**

L'habitatge està format per una única planta baixa formada per un garatge, el qual no està climatitzat, una cuina, un menjador, un rebedor, un passadís, tres habitacions, un bany i un despatx. Totes les habitacions disposen de radiadors d'alta temperatura excepte, com he comentat, el garatge. A la Figura 3 es mostra una fotografia frontal de l'habitatge. Al document 2 s'hi pot veure el plànol de la planta de l'habitatge on es distingeixen les diferents estàncies i les seves superfícies, les quals veiem a la Taula 1.



**Figura 3. Imatge exterior de l'habitatge. Font: Google Maps.**

ESTÀNCIA	SUPERFÍCIE (m <sup>2</sup> )
Rebedor	4
Passadís	4
Cuina	17
Menjador	20
Habitació 1	14
Habitació 2	12
Habitació 3	10
Despatx	11
Bany	8

*Taula 1. Superfície de les estàncies de l'habitatge. Font:Elaboració pròpia.*

## 2.2 Dades de l'entorn

El poble de Corçà es troba situat al cor del Baix Empordà, el que implica que el clima de la regió és mediterrani suau. Aquest tipus de clima implica hiverns suaus i estius calorosos, amb precipitacions escasses i irregulars durant totes les èpoques de l'any. A priori l'aerotèrmia sembla ser un sistema adequat degut a que les temperatures hivernals són molt suaus.

Com el municipi es troba a una altitud de 43 metres respecte el nivell del mar, aquest es troba dins la zona climàtica C2 segons l'Annex B del document bàsic HE d'estalvi d'energia del CTE (codi tècnic d'edificació) tal i com es veu a la Taula 2. Aquesta classificació C2 s'utilitza alhora de calcular la certificació energètica d'un edifici, en funció d'aquesta els valors de transmitància tèrmica, de permeabilitat o de compacitat de diferents elements agafen uns valors o factors concrets. La nomenclatura per a cada tipus de clima té diferents aplicacions dins les normes en matèria d'estalvi energètic dels edificis, en funció de la zona climàtica les exigències i els mínims a complir són uns o altres. A la Taula 3 s'hi veu la temperatura ambient mitjana per a cada mes al municipi de Corçà.

Projecte de renovació de climatització d'un habitatge unifamiliar a Corçà

Provincia	Altitud sobre el nivell del mar (h)																										
	≤ 50 m	51 - 100 m	101 - 150 m	151 - 200 m	201 - 250 m	251 - 300 m	301 - 350 m	351 - 400 m	401 - 450 m	451 - 500 m	501 - 550 m	551 - 600 m	601 - 650 m	651 - 700 m	701 - 750 m	751 - 800 m	801 - 850 m	851 - 900 m	901 - 950 m	951 - 1000 m	1001 - 1050 m	1051 - 1100 m	1101 - 1150 m	1151 - 1200 m	1201 - 1250 m	1251 - 1300 m	≥ 1301 m
Albacete	C3										D3					E1											
Alicante/Alacant	B4					C3					D3																
Almeria	A4			B4			B3			C3				D3													
Araba/Àlava	D1										E1																
Asturias	C1	D1									E1																
Àvila	D2										D1					E1											
Badajoz	C4							C3			D3																
Balears, illes	B3					C3																					
Barcelona	C2					D2					D1					E1											
Bizkaia	C1					D1																					
Burgos	D1										E1																
Càceres	C4										D3					E1											
Cádiz	A3			B3					C3			C2			D2												
Cantabria	C1			D1										E1													
Castellón/Castelló	B3			C3					D3			D2					E1										
Ceuta	B3																										
Ciudad Real	C4							C3			D3																
Córdoba	B4			C4					D3																		
Coruña, A	C1					D1																					
Cuenca	D3										D2					E1											
Gipuzkoa	D1										E1																
Girona	C2			D2							E1																
Granada	A4			B4					C4			C3			D3					E1							
Guadalajara	D3										D2					E1											
Huelva	A4			B4			B3			C3				D3													
Huesca	C3					D3					D2					E1											
Jaén	B4										C4					D3					E1						
León	E1																										
Lleida	C3			D3							E1																
Lugo	D1										E1																
Madrid	C3										D3					D2					E1						
Málaga	A3			B3					C3					D3													
Meilla	A3																										
Murcia	B3			C3							D3																
Navarra	C2					D2					D1					E1											
Ourense	C3			C2			D2							E1													
Palencia	D1										E1																
Palmas, Las	a3					A2					B2					C2											
Pontevedra	C1					D1																					
Rioja, La	C2			D2							E1																
Salamanca	D2										E1																
Santa Cruz de Tenerife	a3					A2					B2					C2											
Segovia	D2										E1																
Sevilla	B4					C4																					
Soria	D2										D1			E1													
Tarragona	B3			C3							D3																
Teruel	C3							C2			D2					E1											
Toledo	C4										D3																
Valencia/València	B3			C3							D2					E1											
Valladolid	D2										E1																
Zamora	D2										E1																
Zaragoza	C3					D3										E1											
Provincia	≤ 50 m	51 - 100 m	101 - 150 m	151 - 200 m	201 - 250 m	251 - 300 m	301 - 350 m	351 - 400 m	401 - 450 m	451 - 500 m	501 - 550 m	551 - 600 m	601 - 650 m	651 - 700 m	701 - 750 m	751 - 800 m	801 - 850 m	851 - 900 m	901 - 950 m	951 - 1000 m	1001 - 1050 m	1051 - 1100 m	1101 - 1150 m	1151 - 1200 m	1201 - 1250 m	1251 - 1300 m	≥ 1301 m

Taula 2. Zones climàtiques segons el document HE. Font: Document HE Bàsic d'Estalvi d'Energia.

TEMPERATURA EXTERIOR MITJANA	°C
GEN	7,9
FEB	9,1
MAR	11,4
ABR	13,6
MAI	17
JUN	20,8
JUL	23,5
AGO	23,4
SET	20,9
OCT	16,5
NOV	11,9
DES	8,8

*Taula 3. Temperatura mitjana mensual a Corçà. Font: Elaboració pròpia.*

### 2.3 Dades tècniques

L'habitatge es va construir l'any 1975, això implica que la legislació emprada i la normativa vigent en quant a condicions tèrmiques que es va utilitzar al construir-la és anterior a la NBE-CT-79, la qual és la norma bàsica de l'edificació en sobre condicions tèrmiques als edificis que es va aprovar l'any 1979, la qual va establir com a obligatòries unes condicions tèrmiques mínims per als edificis construïts a partir de llavors. No està construïda en base a la normativa vigent del CTE i per tant actualment disposa d'una calefacció sobredimensionada respecte les necessitats reals.

La teulada de l'habitatge és a 3 aigües, està formada per dues vessants que miren a sud-est, dues que miren a sud-oest i una última que mira a nord-oest. Està formada per teules de ceràmica bàsiques, sense cap finestra ni sortida a l'exterior més enllà d'una xemeneia i dos sortides d'extractor, per lo que la fuga de calor a través de la teulada és el normal, no hi ha vidres ni altres materials que la facilitin. La superfície aproximada de la teulada és d'uns 100 metres quadrats.

Les façanes de l'edifici a dia d'avui estan formades per vàries capes de diferents materials, la constitució actual és:

- 1 cm de formigó remolinat
- 15 cm de totxo

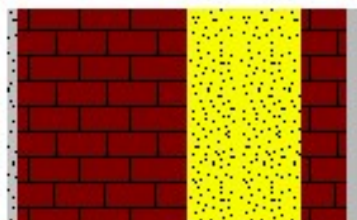
## Projecte de renovació de climatització d'un habitatge unifamiliar a Corçà

-10 cm de càmera d'aire no ventilada

-4 cm de maó buit

-1 cm de guix

El gruix total de la paret és doncs de 31 cm i la formació representada és tal i com es veu a la Figura 4:



**Figura 4. Perfil dels murs**

Totes les finestres i sortides a l'exterior formades per un vidre doble simple i marcs de fusta blanca (menys les finestres del menjador, del rebedor i del passadís que són de fusta marró). En el cas de les finestres algunes tenen una reculada de 30 cm per a evitar l'impacte directe de la llum del sol, una mesura per a aïllar tèrmicament una mica més les estàncies interiors de la temperatura exterior sobretot els estius. D'altres estan col·locades de manera que una part de paret superior les cobreix per fora la qual cosa evita també l'impacte directe del sol.

A la Taula 4 es poden veure les diferents finestres, les seves superfícies i les seves orientacions.

FINESTRA	Àrea (m2)	Orientació
MENJADOR	3,00	S-O
MENJADOR TERRASSA	3,00	S-E
CUINA TERRASSA	1,50	S-O
CUINA CARRER	1,50	S-E
HABITACIÓ 1	1,50	S-O
HABITACIÓ 2	1,00	S-O
HABITACIÓ 3	1,50	S-O
REBEDOR	1,00	S-E
PASSADÍS	0,30	N-O
DESPATX	1,50	N-O

**Taula 4. Finestres de l'habitatge. Font: Elaboració pròpia.**

En quant a la resta d'informació l'habitatge té una superfície habitable és de 100 metres quadrats i hi ha una paret que separa el garatge i com aquesta és una estància no habitable i no hi ha punt de calefacció cal tenir en compte aquesta paret de cares a les transmitàncies tèrmiques.



De cares al càlcul per a saber la demanda de calefacció cal tenir en compte els ponts tèrmics de l'habitatge. Degut a que és una planta baixa sense contacte amb altres cases, ni té estàncies soterrades, etc...es considera que els ponts tèrmics que afecten a la transmissió de calor són els contorns de les finestres, les caixes de les persianes i els contactes dels murs amb el terra i la teulada. Els clients utilitzen la calefacció unes 10 hores al dia els 6 mesos freds de l'any (novembre-abril), de cares a calcular la demanda total tindrem en compte aquest fet.

Finalment, com a última dada tècnica abans de saber la certificació energètica de l'habitatge, cal tenir en compte la instal·lació de clima actual. L'habitatge està format per una caldera de gasoil de 24 kW de potència nominal i un rendiment de combustió del 80%. Aquesta caldera alimenta tant el circuit de calefacció com l'ACS. El circuit de calefacció està format per 9 radiadors d'alta temperatura antics. A dia d'avui l'habitatge no disposa de sistemes de refrigeració ja que mai s'ha considerat necessari i per tant no es considerarà prioritat que els sistema de clima nou n'incorpori, ja que caldria incorporar transmissors de fred o canviar la instal·lació actual de radiadors de dalt a baix i de moment és un reforma no interessant pels clients.

A l'Annex A.2 s'hi han calculat totes les càrregues de l'habitatge per a determinar-ne la seva demanda energètica i així poder dimensionar la bomba de calor necessària. S'hi poden veure les pèrdues a través de tots els tancaments de totes les estàncies a més de la composició i dels materials de la teulada i el terra. També s'han tingut en compte les pèrdues degudes a la ventilació obligada de l'habitatge i els guanys degut a la radiació solar, els quals redueixen la demanda. La demanda final de l'habitatge és de 1672,83 kWh d'ACS i 6859,79 kWh de calefacció. És un habitatge amb una demanda petita, hi viuen 2 o 3 persones depenent de l'època i fan funcionar la calefacció 10 hores al dia els 6 mesos freds de l'any (de novembre a abril) per a una temperatura interior de confort de 21°C, el que suposa un total de 1810 hores de funcionament anual. Per al càlcul de l'ACS es considera la temperatura mínima de 60°C per eliminar la legionel·la, com la nova tecnologia busca incorporar un acumulador aquesta és la temperatura mínima que per llei ha d'agafar l'aigua dins l'acumulador.

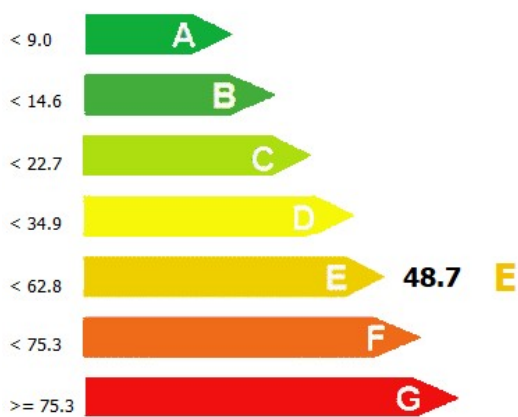
Per acabar, s'han entrat de manera estimada les dades de l'habitatge al programari CE3X i hem pogut comprovar com la certificació energètica a dia d'avui de l'habitatge és l'etiqueta E, la qual cosa ens confirma que l'habitatge és vell i energèticament no és molt eficient. Al funcionar amb gasoil amb un rendiment inferior a la unitat les emissions de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera també ajuden a aquesta certificació. Amb la reforma del sistema de climatització buscarem millorar aquesta certificació. Val a dir que la demanda de calefacció que ens marca la Figura 5 és diferent degut a que s'han entrat de forma molt resumida els tancaments i les característiques, com el que ens interessa és la millora de la certificació en sí no s'han entrat totes les dades tècniques al detall.

### Equipo mixto de calefacción y ACS

Nombre	Caldera ACS i calefacció		Zona	Edificio Objeto	
<i>Características</i>					
Tipo de generador	Caldera Estándar		<i>Demanda cubierta</i>		
Tipo de combustible	Gasóleo-C		Superficie (m <sup>2</sup> )	ACS: 100.0	Calefacción: 100.0
			Porcentaje (%)	100	100
<i>Rendimiento medio estacional</i>					
<b>Rendimiento estacional</b>	Estimado según Instalación		<i>Rendimiento medio estacional (ACS y Calefacción)</i>		67.2 %
Potencia nominal	24.0	kW			
Carga media real β <sub>cmb</sub>	0.2	?	Aislamiento de la caldera		Bien aislada y mantenida
Rendimiento de combustión	80.0	%			
<input type="checkbox"/> Con Acumulación					

### Calificación energética de edificios

Indicador kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>



### Edificio objeto

<b>Demanda de calefacción</b> (kWh/m <sup>2</sup> )	87.5	E
<b>Demanda de refrigeración</b> (kWh/m <sup>2</sup> )	3.8	A
<b>Emisiones de calefacción</b> (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	40.5	E
<b>Emisiones de refrigeración</b> (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	0.6	A
<b>Emisiones de ACS</b> (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	7.6	F

**Figura 5. Certifiació energètica actual amb caldera de gasoil. Font: Elaboració pròpia amb el programa Cezx**



### 3 SUBSTITUCIÓ DELS RADIADORS

#### 3.1 Radiadors actuals

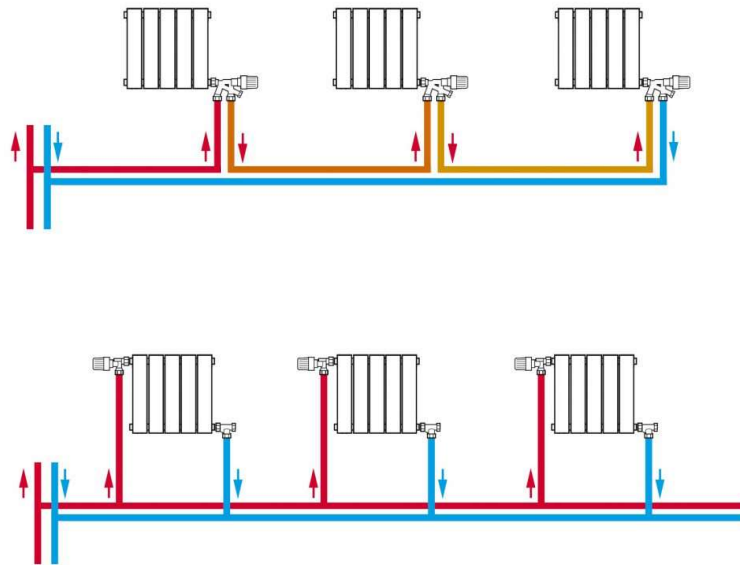
A dia d'avui, com he comentat a les dades tècniques de l'habitatge, els sistemes de calefacció dels quals disposa la casa són radiadors vells d'alta temperatura com els que es veuen a la Figura 6. Això significa que per a funcionar necessiten que l'aigua els hi arribi a una temperatura mínima de 70°C-80°C.



*Figura 6. Radiadors actuals. Font: Fotografia propia.*

Avui en dia, i amb la instal·lació d'una bomba de calor d'energia renovable, el mercat ofereix múltiples possibilitats de sistemes que en tenen prou amb l'aigua a 50°C-55°C per a funcionar i calefacter un habitatge, com és el cas dels radiadors a baixa temperatura. Si es plantejés una reforma molt més costosa o es construís una casa nova el terra radiant és una de les millors opcions ja que en té prou amb aigua a 30-35°C. Aquesta diferència de temperatura implica que l'energia necessària per a calefacter l'habitatge es veu molt reduïda i augmenta l'eficiència i l'estalvi.

La instal·lació actual, tot i ser amb radiadors a alta temperatura, està formada d'un sistema bitub. Els sistemes de calefacció amb radiadors poden ser bitub (com és el nostre cas) o monotub. En el cas del primer, el sistema està format generalment per dos tubs per dir-ho de manera senzilla: per una banda el tub amb aigua calenta que alimenta tots els radiadors al mateix temps, i per altra banda el tub d'aigua freda que és on va l'aigua provinent de tots els radiadors. Per altra banda un sistema monotub està format per un únic tub que comunica tots els radiadors d'un mateix circuit, els radiadors s'alimenten un rere l'altre i l'últim del circuit rep l'aigua més freda que els altres. A la Figura 7 es veuen els esquemes de funcionament d'aquests diferents sistemes.



**Figura 7.** A dalt l'esquema d'un sistema de calefacció monotub, a baix l'esquema de funcionament bitub. Font: Sth Expert.

En el cas dels radiadors de baixa temperatura, com l'aigua hi arriba a una temperatura baixa em comparació als tradicionals, és recomanable disposar d'una instal·lació bitub, sinó els últims radiadors del circuit rebrien l'aigua excessivament freda i no funcionarien correctament. En aquest aspecte la instal·lació actual és idònia per a realitzar el canvi de radiadors. Aquests radiadors comentats reben l'aigua a uns 55°C i en surt a uns 45°C, si la instal·lació no fos bitub el 5è radiador d'un mateix circuit rebria l'aigua tant freda que seria impossible que escalfés res, amb bitub tots reben a la mateixa i tots la tornen a la mateixa, requereix major instal·lació però és molt millor en aquest aspecte. En moltes instal·lacions, per a fer arribar l'aigua calenta a tots els radiadors al mateix temps, es disposa d'un col·lector des d'on es distribueix l'aigua cap a tots ells.

### 3.2 Radiadors escollits

Per a escollir els radiadors idonis cal tenir en compte la potència que necessita cadascuna de les habitacions. A l'Annex A.2 s'ha calculat la potència necessària a cada estància (Taula 5). Cal tenir en compte que al menjador s'hi troben dos radiadors.

	POTÈNCIA NECESSÀRIA (W)
MENJADOR	1139,90
CUINA	858,67
HABITACIÓ 1	703,80
HABITACIÓ 2	362,04
HABITACIÓ 3	501,63
DESPATX	661,47
REBEDOR	248,93
PASSADÍS	341,83
BANY	371,30

**Taula 5. Potència necessària per a cada estància. Font: Elaboració pròpia.**

D'entre els diferents fabricants coneguts d'aquest tipus de radiadors s'han escollit els de la casa Ferroli, un dels fabricants més coneguts d'aquest tipus de radiadors, optem per la gamma Europa C, un dels models més venuts i que millor rendiment i relació qualitat-preu ofereix en tot tipus d'habitatges. A més pot treballar amb increments de temperatura de 30°C, per tant ens permet treballar a baixa temperatura tal i com volem. Els radiadors a baixa temperatura, de forma genèrica, reben l'aigua a uns 55°C i la retornen a uns 45°C, llavors la temperatura mitjana del radiador és de 50°C, i com la temperatura ambient de confort és de 21°C a l'interior de l'habitatge l'increment de temperatura és  $\Delta T$  29°C, per a calcular amb més precisió la potència que ens ofereixen en aquestes condicions a l'Annex B s'ha aplicat l'equació del fabricant.

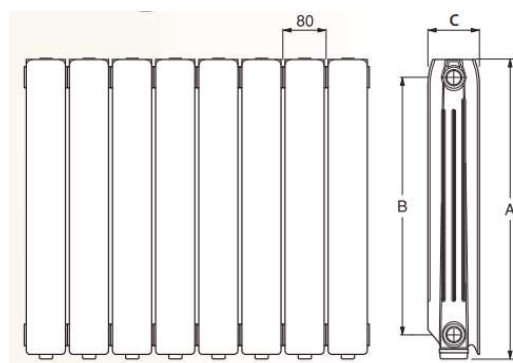
Decidim optar pel model Europa 700C principalment per poder cobrir la demanda de la cuina sense excedir els 14 elements que s'aconsella. Com ens interessa col·locar el mateix model a tot l'habitatge per estètica i funcionalitat ens decantem per aquest model d'entre els disponibles que podem veure a l'Annex B. Per a cada estància necessitem:

	Nº ELEMENTS	POTÈNCIA TOTAL(W)	LONGITUD TOTAL (m)
MENJADOR	18 (9 + 9)	1204,92	2 X 0,72
CUINA	13	870,22	1,04
HABITACIÓ 1	11	736,34	0,88
HABITACIÓ 2	6	401,64	0,48
HABITACIÓ 3	8	535,52	0,64
DESPATX	10	669,40	0,8
REBEDOR	4	267,76	0,32
PASSADÍS	6	401,64	0,48
BANY	6	401,64	0,48

**Taula 6. Elements a col·locar a cada estància. Font: Elaboració pròpia.**

Els radiadors Europa C de la marca Ferroli estan fets d'alumini i són altament resistents a la corrosió, la qual cosa els fa molt duraders a més presentar una estanqueïtat total indefinida

gràcies a les juntes elàstiques entre els diferents elements. Tot i que a l'annex B es disposa de la fitxa tècnica d'aquest model de radiador a continuació s'hi anoten les característiques més importants:



**Figura 8. Imatge del radiador Ferroli Europa C. Font: Ferroli**

<b>Contingut d'aigua</b>	0,45 litres
<b>Connexions</b>	1" de diàmetre
<b>Mida A</b>	681 mm
<b>Mida B</b>	600 mm
<b>Mida C</b>	100 mm

**Taula 7. Característiques del radiador Europa 700C. Font: Elaboració pròpia.**

### 3.3 Circuits de calefacció

Els circuits de calefacció que s'utilitzaran, com s'ha comentat, són els bitubs ja existents a l'habitatge i que actualment estan en ús. Actualment l'habitatge està format per dos circuits independents l'un de l'altre, un alimenta els radiadors de les habitacions, despatx, passadís i bany (6 radiadors) i l'altre els dos del menjador, cuina i rebedor (4 radiadors). Al document 2 s'hi pot veure l'esquema i el plànol d'aquests circuits. Estan formats per tubs de 1" de coure que s'ajusten perfectament amb els radiadors de baixa temperatura escollits.

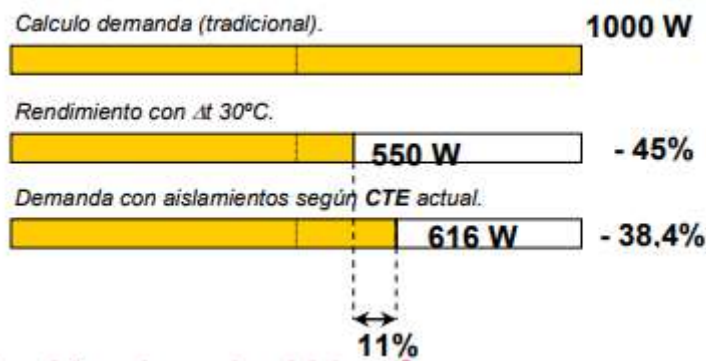
Per a assegurar un bon dimensionament de la bomba tindrem en compte les possibles pèrdues de càrrega que es donen a les toveres actuals, tot i que l'habitatge no és gran a tots els circuits existeixen pèrdues de càrregues. En el nostre cas, quan seleccionem la bomba de calor, tindrem en compte que la potència mínima haurà de ser un xic superior a la calculada per aquestes possibles pèrdues. Donades les potències que es troben al mercat no suposarà cap problema ja que les bombes contemplen rangs de potència molt amplis.

### 3.4 Característiques dels radiadors a baixa temperatura

Degut a l'augment de restriccions en quant als rendiments i a les baixes emissions als habitatges, l'ús dels radiadors de baixa temperatura s'ha incrementat molt i cada vegada són una eina més comuna davant de reformes d'habitatges. Tot i que el rendiment d'un terra radiant o d'un sistema amb splits i/o fancoils d'entrada és més eficient, quan parlem d'adaptar una casa antiga als nous sistemes aquests radiadors són una gran opció pel baix cost de la reforma.

Aquests radiadors quan treballen a baixa temperatura tenen menys emissió tèrmica, com poden treballar a altes i baixes temperatures el seu poder d'emissió tèrmic és més baix com més freda és la temperatura de treball i cal compensar-ho augmentant el nombre d'elements a

instal·lar, aquest seria un dels inconvenients. Per l'altra banda, el CTE, al document HE-1, va plantejar un canvi de normativa on a la pràctica s'ha vist que exigeix menys potència tèrmica als habitatges, així doncs, tot i que els radiadors són menys potents el CTE permet instal·lar menys calefacció i per tant compleixen i són eficients. Es calcula que amb el canvi de normativa del NBE-CT 79 al CTE les exigències en calefacció han baixat un 38,4%, anteriorment s'exigia molta més potència als habitatges i per això en alguns hi trobem calderes de més de 20kW quan amb una simple bomba de calor de 7,5 kW en farien prou. Sense anar més lluny és el que ens hem trobat al present habitatge, una caldera excessivament sobredimensionada donades les pèrdues i les necessitats calculades de l'habitatge.

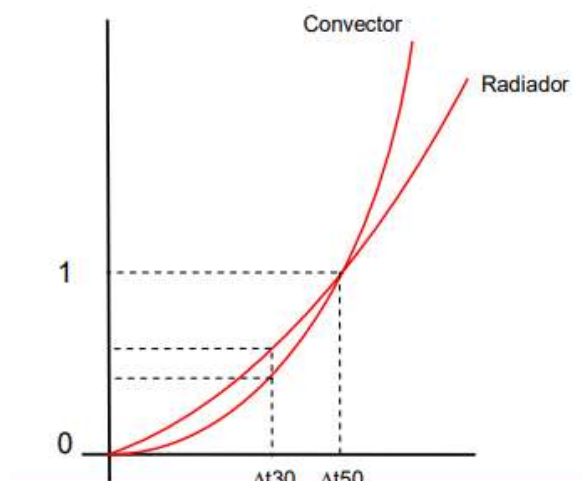


**Figura 9. Variació de les exigències del CTE. Font: Saneamientos Dimasa.**

Amb l'antiga normativa veiem com la instal·lació a baixa temperatura era excessivament descompensada donada la demanda mínima.

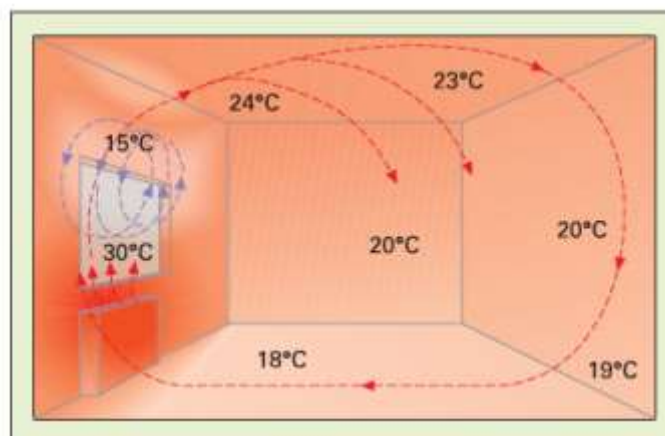
Una gran avantatge d'aquests radiadors es que treballen més per radiació que no pas els tradicionals, els quals escalfen molt per convecció. Això implica un augment de la sensació de confort, s'eviten corrents d'aires i es millora la sensació tèrmica. A la Figura 10 es veu el tipus la proporció del tipus d'escalfament segons la temperatura de treball.





**Figura 10. Funcionament convecció/radiació en funció de la temperatura de treball. Font: Saneamientos Dimasa.**

Els radiadors, tot i que òbviament aniran a la situació dels antics, aniran la majoria ubicats sota finestres, d'aquesta manera s'aconsegueix un major estalvi energètic, un guany de fins a 0,5°C de temperatura ambient i un major confort. És molt important fer-ho sempre així per evitar l'efecte anomenat paret freda.



**Figura 11. Distribució de l'escalfor i la temperatura dins una habitació col·locant els radiadors sota les finestres. Font: Saneamientos Dimasa.**

Apart de tot el comentat, aquest tipus de radiador generen que, sigui quin sigui l'equipament per escalfar l'aigua, el seu rendiment pugi en picat des del primer dia en part degut a la baixa inèrcia tèrmica que presenten. Apart de tot això les grans avantatges ja conegudes: reducció de les emissions, estalvi econòmic en llum i gas (en cas de tenir-ne), instal·lació senzilla i manteniment més que fàcil... En resum de tot podem concloure que per a reformar cases antigues amb radiadors d'alta temperatura és l'opció més econòmica.

## **4 DESCRIPCIÓ DE LES SOLUCIONS**

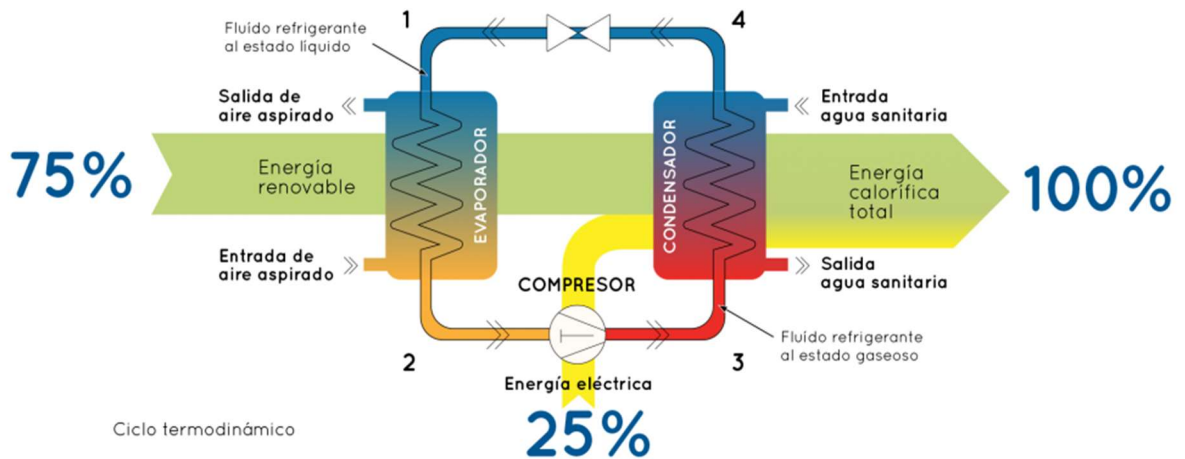
En les següents pàgines s'entrarà a conèixer les solucions de millora plantejades per a optimitzar la climatització de l'habitatge i millorar-ne el nivell energètic. Com s'ha explicat a la introducció les dues solucions proposades són l'aerotèrmia i la geotèrmia. Ambdós sistemes són fonts renovables de potència calorífica per a generar tant calefacció, com refrigeració com ACS a habitatges residencials i tots dos amb un creixent impacte a dia d'avui en aquest sector; molts dels habitatges d'obra nova que s'estan construint i desenvolupant avui en dia ja es dissenyen amb bombes de calor d'algun d'aquests dos sistemes.

### **4.1 Aerotèrmia**

Com a resum molt breu podem dir que l'aerotèrmia és un sistema de climatització basat en l'intercanvi de temperatura amb l'exterior mitjançant una bomba de calor, és a dir, s'aprofita de l'energia de l'aire exterior per a climatitzar els interiors. És considerat com a un sistema format per energia renovable degut a que per a generar aquest intercanvi l'energia elèctrica necessària representa només entre un 20% i un 30% de l'energia necessària, la resta és la que trobem a l'exterior, la qual és inesgotable.

#### **4.1.1 Funcionament**

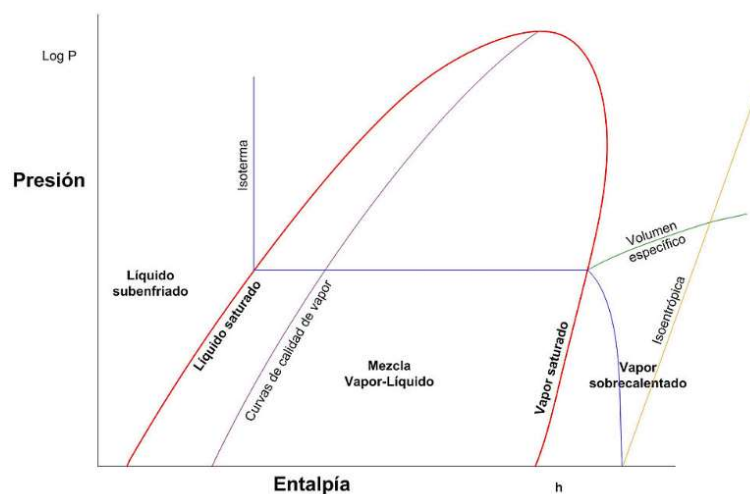
El principi de funcionament de l'aerotèrmia es troba a la bomba de calor. Una bomba de calor no és més que una màquina tèrmica que fa servir un gas refrigerant (com podrien ser l'R32 o l' R410A) en un cicle termodinàmic tancat per a moure la calor entre dos punts amb diferent temperatura. El que fan és transferir la calor en el sentit contrari al natural, és a dir, del focus fred al focus calent. A la Figura 12 es pot apreciar el cicle termodinàmic resumit.



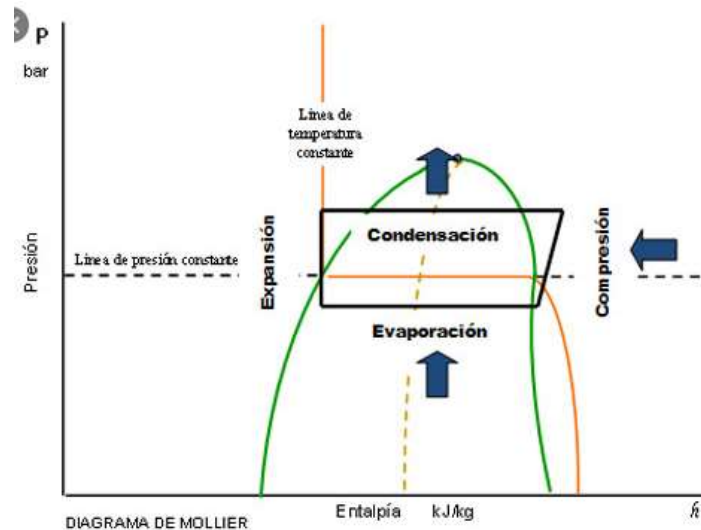
**Figura 12. Cicle termodinàmic d'una bomba de calor aerotèrmica. Font: Sanigrif.**

El gas refrigerant contingut dins el circuit transporta la calor d'un focus a altre mitjançant el cicle termodinàmic típic d'una bomba de calor. Aquest cicle es pot separar per quatre fases: evaporador, compressor, condensador i vàlvula d'expansió. Aquests són els 4 escenaris a través dels quals circula el gas refrigerant. El gràfic que representa el canvi d'estat del gas durant aquest cicle es pot veure a la Figura 13 i s'anomena "Diagrama de Mollier".

A la Figura 13 es veu el significat del diagrama de Mollier o diagrama ph. Degut al valor que tenen els eixos x i y del diagrama també se'l coneix com a diagrama Pressió-Entalpia. Aquest diagrama és la base de molts cicles de refrigeració, marca com evoluciona l'estat del gas refrigerant o líquid durant aquest cicle en cada una de les fases. En funció de la pressió, l'entalpia i la temperatura la substància es pot trobar en diferents estats: líquid subrefredat, líquid saturat, vapor saturat...El cicle habitual que segueixen les bombes de calor dins d'aquest diagrama és el que veiem a la Figura 14.



**Figura 13. Diagrama Ph. Font: Viquipèdia.**



**Figura 14. Cicle de la bomba de calor dins el diagrama de Ph. Font: Calor y frio.**

Fen un relació de la Figura 13 amb la Figura 14 podem veure a quina part del gràfic correspon cada fase del cicle:

-**Compensió:** Augmenta la temperatura i la pressió del refrigerant i se li dona l'impuls i energia necessària per a que circuli al llarg del circuit. El gas segueix essent vapor sobresaturat a l'entrada i sortida. L'encarregat de donar aquesta energia és el compressor. És el punt on és necessària l'energia elèctrica externa.

-**Condensació:** És on es produeix l'intercanvi de calor entre el gas i l'aigua que volem escalfar. El refrigerant es condensa i transmet la calor a l'aigua de l'habitatge. Això genera que el gas passi de l'estat de vapor sobreescalfat a líquid subrefredat, redueix l'entalpia i la temperatura però la pressió es manté constant.

- **Expansió:** L'encarregat de l'expansió és la vàlvula d'expansió com bé diu el seu nom. Aquest valvula el que fa es reduir tant la pressió com la temperatura del líquid procedent del condensador, el gas passa de líquid subrefredat a mescla entre líquid i vapor.

-**Evaporació:** És la part que té lloc dins la unitat exterior, el gas (que es troba amb mescla amb líquid) absorbeix la calor de l'ambient en un procés isobàric: augmenta l'entalpia i la temperatura però la pressió es manté constant. La mescla de líquid i vapor surt de l'evaporador en forma de gas sobresaturat.

Com a resum fixant-nos amb la Figura 14 i les explicacions donades el que cal entendre és que el gas refrigerant agafa energia de l'exterior a l'evaporador (energia renovable) i posteriorment n'agafa del compressor (energia elèctrica), i aquestes energies les entrega al condensador. Com major és la proporció de l'energia de l'evaporador en comparació a la del compressor més renovable resulta l'energia. El que més amunt havia comentat és que les bombes aerotèrmiques han aconseguit que la calor subministrada a través de l'energia elèctrica

del compressor sigui només un 25% del total de la necessària. És justament per això que és considerat un sistema de climatització renovable i per el que està creixent tant el seu ús tant en cases noves com en cases velles. El que ens permet saber aquesta relació de les energies és el COP de la bomba, que és una dada que depèn del fabricant i de la tecnologia de la bomba. El COP (Coefficient of Performance) indica la relació entre l'energia tèrmica que la bomba dona a l'habitatge respecte l'energia elèctrica consumida pel compressor. Moltes bombes aerotèrmiques tenen un COP al voltant de 3, això significa que per cada kWh elèctric consumit pel compressor l'aigua de l'habitatge rep 3 kWh tèrmics (en podem trobar amb COPs de fins a 5 i 6). Indirectament aquest COP està molt lligat a la temperatura a la qual escalfem l'aigua de l'habitatge, com més l'escalfem més calor necessitarà el gas, per tant més energia haurà d'usar el compressor i menor serà el COP. És per això que a dia d'avui interessa molt anar substituint els radiadors d'alta temperatura que necessiten aigua a 70°C-80°C per funcionar per terra radiant o radiadors de baixa temperatura que necessiten aigua a 35°C - 55°C.

Els sistemes d'aerotèrmia estan fets de tal manera que una part d'aquest circuit es troba a la unitat exterior i un altre a la unitat interior, tot i que en alguns casos pot ser que només hi hagi una unitat exterior.

#### **4.1.2 Avantatges i inconvenients de l'aerotèrmia**

La majoria d'avantatges de l'aerotèrmia indirectament els he anat comentant a mesura que n'explicava el seu funcionament:

- Energia renovable i inesgotable, la qual no emet cap tipus de fums i no depèn de combustibles fòssils que caldria anar eliminant de la nostra vida com el gas natural, el gasoil...
- Alta eficiència. Tal i com he comentat amb el COP, les bombes de calor aerotèrmiques ofereixen avui en dia uns valors de rendiment molt alts, el que implica també un gran estalvi econòmic.
- Un sol equip cobreix la demanda d'ACS i calefacció, inclús de refrigeració en el cas de les bombes que permeten invertir el circuit.
- Fàcil d'instal·lar i poc manteniment.
- Major seguretat enfront a les calderes que funcionen amb gas natural, gas butà, gas propà...

Per altra banda tot i que sembla que tot siguin coses bones cal tenir en compte algun aspecte negatiu. Tot i que pel meu parer tenen molt menys pes que les avantatges cal ser franc i destacar-ho tot:

- La inversió inicial, segons el tipus d'equipament, pot resultar elevada.

-Instal·lar aerotèrmia pot implicar augmentar l'electricitat contractada. Enfront a calderes de combustibles fòssils, les bombes de calor d'aerotèrmia consumeixen més electricitat. És per això que moltes cases d'obra nova busquen complementar la bomba de calor amb panells solars fotovoltaics, per obtenir de manera renovable l'energia elèctrica que la bomba consumeix. Tot això al final provoca un augment de la inversió inicial.

-En el cas de les bombes bibloc (explicat al següent apartat) degut a que l'equipament està format per una unitat exterior, una unitat interior i un acumulador d'ACS en cas que aquesta funcioni amb aerotèrmia, cal disposar del suficient espai.

-En cas d'adaptar-la a radiadors convencionals d'alta temperatura perd molta eficiència. És recomanable que funcioni juntament amb terra radiant o radiadors de baixa temperatura, en el cas de reformar una casa pot suposar o bé una ampliació de la inversió o bé que no sigui tant eficient com podria arribar a ser-ho. Una aerotèrmia amb radiadors d'alta temperatura implicaria una gran despesa elèctrica i tindria avantatges econòmics.

#### **4.1.3 Classificacions dels tipus de bombes de calor aerotèrmiques**

Al mercat hi trobem diferents tipus de bombes de calor i per tant de possibilitats alhora de dissenyar una instal·lació aerotèrmica. Segons el tipus d'habitatge, l'ús que s'hi vulgui donar...

Primer de tot, en un primer esglaó, segons la seva funció podem diferenciar entre:

**-Reversibles:** Permeten, com diu el seu nom, revertir el circuit de la bomba per d'aquesta manera escollir si generar fred o calor. Les bombes que tant poden servir d'aire condicionat com de calefacció són les reversibles.

**-No reversibles:** Són les que només generen calor, serveixen per generar calefacció i ACS.

En segon lloc, podem diferenciar entre les bombes que apart de calefacció i/o aire condicionat poden escalfar l'ACS i les que no. Trobem:

**-Bombes aire-aire:** Són les bombes que, per entendre-ho de forma fàcil, extreuen l'aire de l'exterior i el converteixen en aire a l'interior (aire-aire). No permeten l'escalfament d'ACS, estan formades únicament d'una unitat exterior que canvia la temperatura de l'aire i prou.

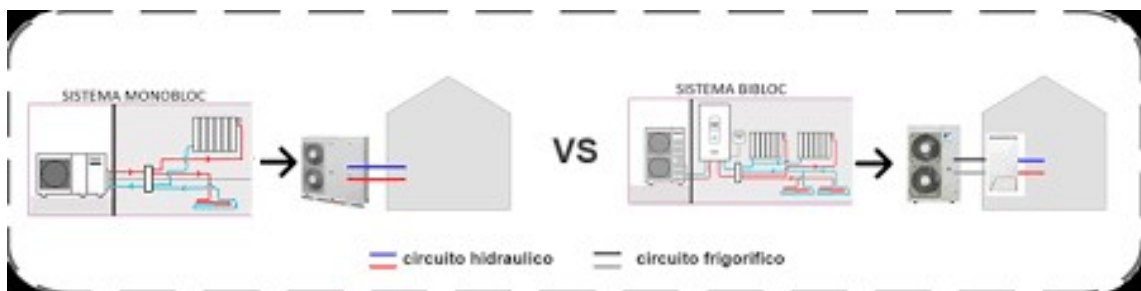
**-Bombes aire-aigua:** Són el tipus de bomba més habitual i utilitzat (el que caldrà per al nostre projecte). Aquestes bombes transmeten la calor de l'aire extern a l'aigua interior (d'aquí el nom). La calor a l'habitatge es transmet posteriorment a través d'aquesta aigua que ha absorbit la calor ambient.

Finalment, en el cas de les bombes aire-aigua existeixen principalment dos tipus de bombes segons el tipus de components:

**-Bombes monobloc:** Tots els Components es troben a l'exterior de l'habitatge formant un únic bloc, cal instal·lar uns tubs de calefacció per poder fer arribar la calefacció a l'interior de l'habitatge.

**-Bombes bibloc:** Les dues parts de la bomba (evaporador i condensador) es troben separades i són dos elements ben diferents i separats. L'evaporador es troba a l'exterior i el condensador a l'interior. En el cas de les bombes bibloc ens trobem després alguns models on el dipòsit per a l'ACS es troba incorporat dins el mateix condensador o unitat interior i els models on el dipòsit és independent i és només necessari en cas de voler utilitzar l'aerotermia per a escalfar també l'ACS apart de per la climatització.

A la Figura 15 es pot veure la diferència física entre un sistema monobloc i un sistema bibloc.



**Figura 15.** A l'esquerra un sistema monobloc, a la dreta un sistema bibloc. Font: Klimafrio

## 4.2 Geotèrmia

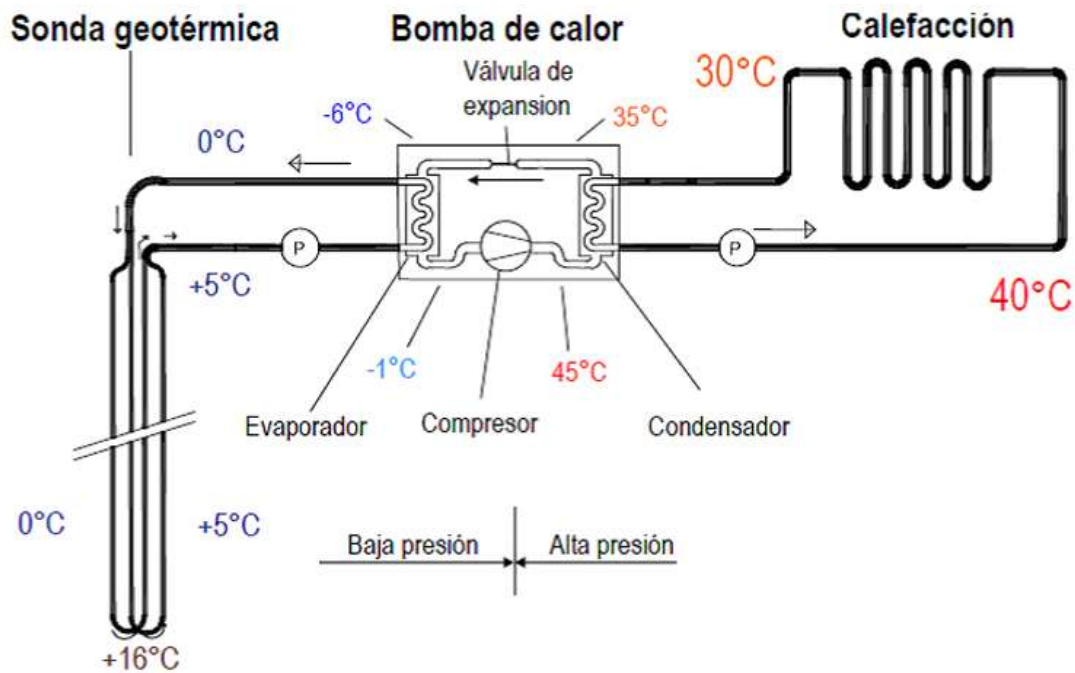
Havent explicat anteriorment el funcionament i els components de l'aerotèrmia explicar la geotèrmia serà molt més ràpid degut a la gran semblança. Podem dir que és un sistema idèntic a l'aerotèrmia però en comptes d'agafar l'energia de l'aire exterior agafa l'energia del subsol, el qual es troba sempre a una temperatura constant d'uns 15°C aproximadament i segons el tipus de terreny, temperatures exteriors... Igual que l'aerotèrmia és una energia renovable i inesgotable, la calor compresa dins el subsol no s'acaba mai. Igual que amb les bombes aerotèrmiques l'energia elèctrica necessària és mínima, les bombes d'aquest estil poden arribar a oferir un COP de 4-5 a dia d'avui.



### 4.2.1 Funcionament

El principi de funcionament, igual que amb l'aerotèrmia, consisteix en una bomba de calor. En aquest cas l'energia renovable prové com he dit del subsol, i aquest fet fa que d'entrada hi hagi un circuit més. En aquest cas és necessari un circuit, que funciona habitualment amb una solució salina o aigua amb anticongelant, que s'encarrega d'absorbir la calor subterrània i transmetre-la a un segon circuit que funciona amb un refrigerant com en l'aerotèrmia que llavors sí que aquest transmet la calor a l'interior de l'habitatge. És a dir, en l'aerotèrmia hi ha l'existència del condensador que mitjançant l'aire ambient escalfa el gas refrigerant (el canvia d'estat) per a que aquest escalfi l'habitatge llavors a través del condensador. Ara, en la geotèrmia, existeix un circuit format per una sonda subterrània plena d'una solució salina que fa la mateixa funció que feia l'aire i a l'evaporador s'hi fa l'intercanvi. A la Figura 16 es veu de manera resumida el que intento explicar:





**Figura 16. Esquema de funcionament de la Geotèrmia. Font: Construible.es**

La sonda recull la calor del terra mitjançant una solució salina que oscil·la durant el cicle entre 0°C i 5°C segons va o torna de la bomba de calor, a l'evaporador ja dins la bomba de calor transmet la potència al refrigerant, el qual augmenta notablement de temperatura i canvia d'estat quan passa pel compressor i la transmet a l'habitatge. La única diferència és la composició del circuit primari, un cop es fa l'intercanvi dins la bomba de calor és un sistema idèntic al comentat anteriorment. El cicle del gas refrigerant és també idèntic, passa per les mateixes 4 fases i els components són els mateixos, la bomba però aquest cop és aigua-aigua, quan a l'aerotèrmia (la més típica) és l'aire-aigua.

Amb un equip com aquest, a diferència de l'aerotèrmia, no hi ha cap element a l'exterior que sigui visible. Les sondes comuniquen de forma subterrània amb la bomba de calor que es troba íntegrament dins l'habitatge. En aquest cas el circuit refrigerant es troba dins la mateixa bomba. Només cal enllaçar les sondes amb l'interior.

#### **4.2.2 Avantatges i inconvenients de la geotèrmia**

Com en el cas del funcionament, ahora de parlar d'avantatges i inconvenients molts seran iguals. En el cas de les avantatges:

- Energia altament eficient, a dia d'avui al mercat podem trobar bombes amb valors de COP al voltant de 4-5 el que implica que l'energia calorífica obtinguda pot arribar a ser 4 vegades superior a l'energia elèctrica requerida.
- Estalvi tant energètic com econòmic.

Projecte de renovació de climatització d'un habitatge unifamiliar a Corçà

-Costos de manteniment mínims.

-Energia renovable. La calor del subsol és inesgotable.

-Funcionament estable degut a la constant temperatura del subsol i disponible totes les hores de l'any.

-Estèticament no té afectacions.

Per altra banda alguns dels inconvenients que podem trobar són:

-Inversió inicial elevada, en aquest cas força major que l'aerotèrmia degut a la necessitat de perforar per a realitzar un pou de captació, això implica que tot i que l'estalvi és notable, el període d'amortització és llarg. Si el rendiment entre un sistema i altra és semblant el temps d'amortització de la geotèrmia es pot allargar força en comparació a l'aerotèrmia.

-Depèn de l'estat del subsol, tot i que en la majoria de casos no suposa un problema, la realitat és que existeix la possibilitat que el subsol de l'habitatge estigui o bé ocupat per altres canalitzacions o que el tipus de terra (duresa, temperatura...) no sigui vàlid.

#### **4.2.3 Classificacions segons els tipus de perforacions i bombes geotèrmiques**

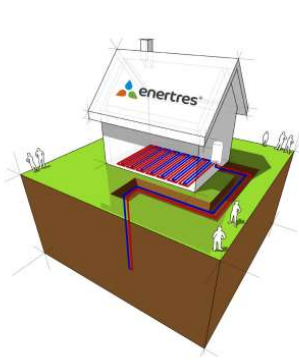
Segons les necessitats de l'habitatge o les condicions de l'entorn existeixen diferents tipus de perforacions:

**-Perforacions verticals:** Com diu el seu nom són aquells pous que d'alta profunditat però ocupant poca superfície, és ideal pels habitatges amb poc espai disponible. Obtenen un rendiment major que les perforacions horitzontals, com més profunditat més estable és la temperatura del subsol i per tant més constant és el rendiment, tot això independentment del clima exterior. Resulta més car realitzar una perforació vertical que una d'horitzontal, moltes vegades a més, segons el tipus de sonda que s'utilitzi, fan falta més d'un pou per a poder abastir la potència necessària.

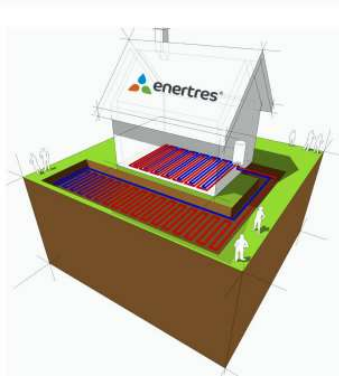
**-Perforacions horitzontals:** Són aquelles que estan a baixa profunditat però que ocupen una major superfície de terreny. La profunditat pot ser menor a un metre però cal ocupar un gran espai per a disposar de la longitud suficient de sonda i que els tubs compleixen amb la seva separació mínima. La instal·lació/perforació amb aquest sistema resulta més econòmica i és una bona alternativa quan el terreny no ens permet perforar a grans profunditats. Per altra banda però, té un rendiment inferior, no permet futures pavimentacions i cal executar-ho en un terreny amb poc pendent.

El tipus de sonda encarregades de captar la calor del subsol són diferents en una i altra situació.

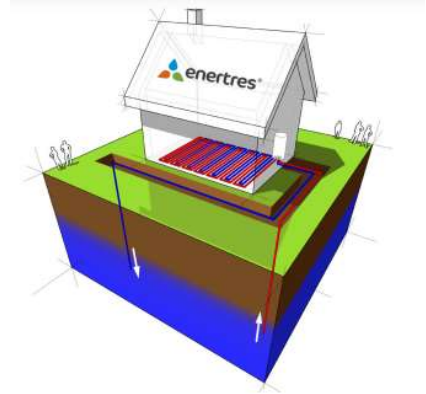
Per altra banda, podem diferenciar també segons d'on s'aprofita l'energia. També es poden generar perforacions per intercanviar la calor amb rius subterranis o inclús es poden aprofitar pous existents i extreure la temperatura de la seva aigua mitjançant una sonda. A les figures adjuntes es veuen diferents exemples dels comentats.



**Figura 17. Captació vertical. Font: Enertres.**



**Figura 18. Captació horitzontal. Font: Enertres.**



**Figura 19. Captació per circuit obert amb aigües subterrànies. Font: Enertres.**

## **5 PROJECTE D'UNA INSTAL·LACIÓ AEROTÈRMICA**

### **5.1 Característiques principals del model seleccionat**

Entre les diferents marques de mercat disponibles s'ha decidit optar per una bomba de calor de la marca Hitachi, de la seva gamma de productes dedicats a l'aerotermita Hitachi Yutaki.

La gamma Yutaki ens ofereix diferents possibilitats tant a nivell de potència com de tipus de bomba, donades les necessitats de l'habitatge. Com aquest requereix només de calefacció i ACS i una potència de 11,22 kW es selecciona el model Yutaki S Combi. Aquesta gamma conté una selecció de sistemes amb potències d'entre 1,85 kW i 17,80 kW en calefacció, la temperatura màxima de producció d'aquest model és de 60°C i pot generar calefacció en situacions externes de fins a -25°C.

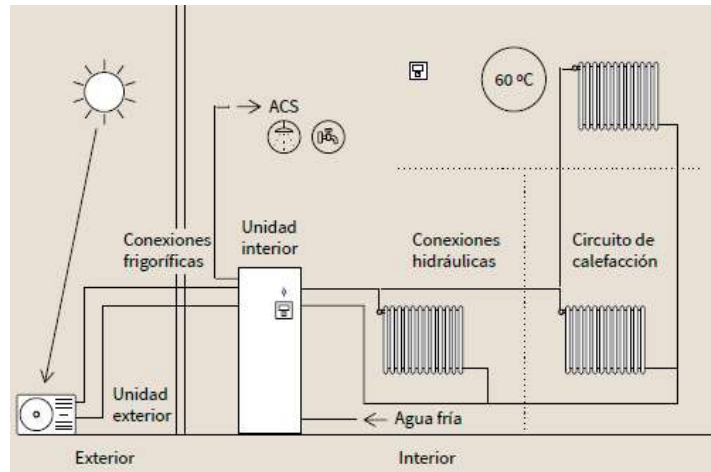
La característica principal d'aquest model és que la unitat interior de la bomba és un sistema compacte d'acer inoxidable de només 600mm d'ample que porta incorporat el dipòsit d'ACS necessari (que poden ser de 200L o 260L), d'aquesta manera s'aconsegueix un estalvi d'espai molt important, la mida i disposició d'aquesta bomba pot comportar una reducció de fins el 70% respecte altres sistemes similars. El fet de que sigui compacta genera també que la instal·lació resulti molt senzilla, tots els components hidràulics necessaris es troben inclosos dins la unitat interior i tant les tuberes de refrigerant com les d'aigua que entren a l'habitatge es troben a la part superior d'aquesta unitat. Tot això simplifica la instal·lació en quant a dificultat i en quant a cost.

Un altra avantatge d'aquest sistema és l'ús del refrigerant R410A, aquest és un gas que no conté cap substància que pugui malmetre la capa d'ozó ja que no conté clor com altres gasos a més de ser altament eficient. Aquest gas, al trobar-se en un sistema tancat, amb un bon manteniment que eviti les fugues potser que no s'hagi de canviar.

D'entre els diferents models de la gamma Yutaki Combi S utilitzarem el conjunt Yutaki S4 Combi monofàsica amb una potència nominal de 11 kW. Donada la demanda energètica s'ha decidit escollir un model que assegurí potència en moltes possibles situacions desfavorables per no quedar-nos curts en cas de seleccionar la que queda per sota en quant a potència, tot i que el més segur és que ja fos suficient optem per un punt més de potència.

El compressor d'aquesta unitat d'aquesta bomba necessita 2,20 kW de la xarxa elèctrica i en cas d'estar funcionant en condicions normals (en la seva capacitat nominal) el COP és de 5, el que significa que per a cada kW de la xarxa elèctrica en genera 5 de calorífics. Segons les condicions de funcionament en les que es troba el COP varia, aquest depèn de la temperatura exterior i de la temperatura de funcionament dels radiadors. A l'Annex D.2 es poden veure totes les característiques tècniques tant de la unitat exterior com de la unitat interior d'aquesta bomba de calor.

L'esquema de muntatge del sistema seleccionat es pot veure a la Figura 20, es pot veure com la unitat exterior es comunica amb la interior a través de les connexions frigorífiques corresponents i aquesta realitza les corresponents connexions hidràuliques amb el circuit d'ACS i amb els diferents circuits de calefacció. Al document 2, s'hi troba el plànol amb l'esquema de la nostra instal·lació, on es veuen tots els elements col·locats i els circuits actuals. Aquest és només per entendre la col·locació.



**Figura 20. Esquema de muntatge de la bomba de calor escollida. Font: Hitachi.**

## 5.2 Components de la instal·lació

### 5.2.1 Unitat exterior

La unitat exterior del sistema és el model RAS-4WHVNP de 11kW nominals. Aquesta unitat com he dit té una potència calorífica de fins a 15,20 kW amb un COP en condicions nominals de 5. A més a més de tenir la classe energètica A+++ per les seves baixes emissions i consum, és un model molt silenciós amb una potència sonora de 63 dB. Com les seves dimensions són petites resulta senzill de col·locar i integrar amb l'habitatge.

El compressor que utilitzar és l'anomenat Scroll DC Inverter, encara que el projecte no ho inclogui la bomba de calor està preparada per a generar fred també. Aquest compressor ha estat dissenyat per augmentar el rendiment estacional i la fiabilitat, ofereix un alt rendiment en cargues parcialment baixes. A continuació s'hi mostren les principals característiques.



**Figura 21. Unitat exterior. Font: Hitachi.**

### 5.2.2 Unitat interior

La unitat interior del sistema és el model RWD-4.0NW(S)E i és l'encarregada d'aprofitar la calor que transporta el refrigerant R410A i subministrar-la a l'aigua corrent de l'habitatge ja sigui per ACS o per calefacció. Aquesta unitat a més conté el dipòsit d'aigua calenta integrat de 200 litres.

Aquesta unitat disposa de tots els elements necessaris per al bon funcionament de la instal·lació (vàlvules de seguretat, de purga, bomba, recipient d'expansió...). A la Figura 22 esquema es veu el seu interior amb tots els elements necessaris.

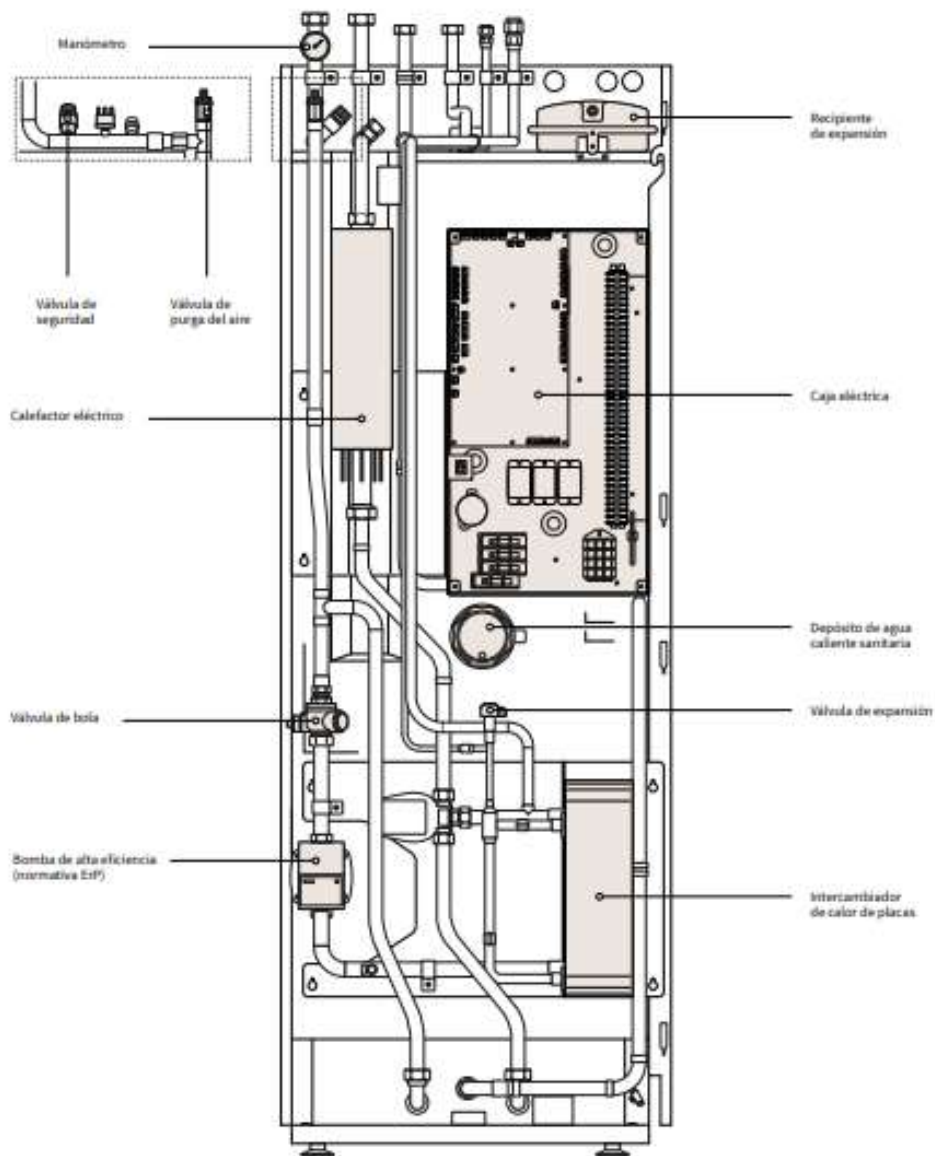


Figura 22. Esquema interior de la unitat interior. Font: Hitachi.

Els elements principals dels quals disposa la unitat dins el seu interior i que per tant ja no ens caldrà afegir són:

**-Vas d'expansió:** És un dipòsit que la majoria d'instal·lacions calefactores cal instal·lar de manera independent, en aquest cas ve integrat i dimensionat dins la mateixa unitat interior. La seva funció és absorbir les variacions de volum de l'aigua de la calefacció degut a les variacions de temperatura. Quan l'aigua s'escalfa i refreda el seu volum va canviant i aquest vas s'encarrega de gestionar aquestes variacions i mantenir la pressió constant per que el flux a les toveres no es vegi modificat. Sense un vas d'expansió correctament dimensionat, podria arribar-se a donar el cas que les toveres d'una instal·lació explotessin per l'augment de volum no suportable.

**-Dipòsit d'aigua sanitària:** És el dipòsit d'ACS integrat a la unitat, en el nostre cas deguda la demanda d'ACS calculada a l'annex s'ha seleccionat un dipòsit de 200 litres. Està fet d'acer inoxidable i a més a més conta amb una resistència de suport en cas que fos necessari una potència addicional per a poder fer front a la demanda d'un moment puntual.

**-Vàlvula d'expansió:** És la vàlvula d'expansió del circuit refrigerant, s'encarrega d'impulsar el refrigerant R410 de tornada a l'evaporador a la unitat exterior rebaixant-ne la temperatura i la pressió.

**-Vàlvula de bola:** Les vàlvules de bola no tenen altra funció que deixar passar o parar el flux de líquid per una tovera. Permeten parar-ne el pas en cas de manteniment o qualsevol altra necessitat.

**-Bomba d'alta eficiència:** No és més que una bomba que impulsa l'aigua cap els circuits calefactores per a reduir al màxim les pèrdues de càrrega del circuit. Totes les instal·lacions d'aquest estil disposen d'una bomba d'impulsió.

**-Intercanviador de calor de plaques:** És el condensador de la bomba de calor, és on coincideixen el refrigerant R410A amb l'aigua de l'habitatge i on es produeix l'intercanvi de calor.

**-Caixa elèctrica:** On es troba tota la part elèctrica de la unitat, els circuits electrònics, recopilació de dades...

**-Vàlvula de seguretat:** Protegeix el circuit contra possible sobrepressions. Quan detecta que hi ha una pressió superior a un rang predeterminat de bon funcionament s'obra i expulsa l'excés d'aigua.

**-Vàlvula de purga d'aire:** Durant el funcionament de tot el sistema, és possible que a l'interior del circuit s'hi generin petits cabals d'aire, sobretot degut a les bombolles que genera l'aigua enfront certs canvis de temperatura. Aquesta vàlvula és manual i cal accionar-la

justament per a extreure aquest aire de dins el circuit quan aquets és tant elevat que perjudica el bon funcionament de la calefacció.

### 5.2.3 *Altres elements*

Apart de tots els elements ja inclosos a la unitat interior, per a assegurar un bon funcionament o perquè són necessaris, afegirem a la instal·lació existent de forma independent:

**-Dipòsit d'inèrcia:** Tot i no formar part a la instal·lació existent i que en moltes instal·lacions no es fa servir, s'ha optat a la col·locació d'un a l'entrada i a la sortida del circuit de calefacció. En aquest tipus d'instal·lacions es generen reduccions de volum de l'aigua del circuit i una reducció excessiva generaria que la unitat interior s'apagués i encengués amb massa facilitat mentre funciona. Aquestes arrancades i parades mai són bones per al sistema, implica desgast de materials i possibles averies. Aquest dipòsit es col·loca connectat tant a la sortida com a l'entrada de l'aigua de la calefacció i completen el volum d'aigua mínim del circuit. De forma estimada, en instal·lacions com aquesta, de consum baixos i volums petits, es col·loquen els dipòsits multiplicant els kW de potència de la bomba per 4/5 litres de volum. En el nostre cas, i havent vist les diferents mides del mercat, ens decantarem pel de 30 litres ja que produint només calefacció, com hem vist, ens movem entre els 5-8 kW tenint en compte possibles pèrdues, i per tant amb 30 litres en farà suficient el circuit; posar-lo més gran seria sobredimensionar-lo.

**-Vas expansió ACS:** La instal·lació actual no disposa de vasos d'expansió, la unitat interior com s'ha vist n'incorpora un per al sistema de calefacció però a més a més en col·locarem un de 5 litres al circuit d'ACS, calculat segona la norma UNE 100155 a l'Annex. Es col·locarà a l'entrada de l'aigua de la xarxa per a que absorbeixi possibles variacions de volum dins el circuit d'ACS degut a les diferències de temperatures. D'aquesta manera la instal·lació serà més segura.

**-Vàlvules de bola addicionals:** Per completar el circuit es col·locaran vàlvules de boles a totes les entrades i sortides de la unitat interior. Tal i com es veu a la figura Figura 22 no venen incorporades i són necessàries per tancar el pas de l'aigua en cas d'avaries o qualsevol altre imprevist.

**-Tub frigorífic:** Són els tubs que connectes les unitats interiors i exteriors entre elles i pels quals circula el refrigerant R410A. Tal i com indica la fitxa tècnica el diàmetre d'aquest és de 3/8" per líquid (la tornada de l'interior cap a l'exterior) i de 5/8" pel gas (quan va cap a l'interior).



**-Esmorteïdors màquines:** Es col·loquen a la unitat interior per a esmorteir-la de possibles vibracions i que no pateixi cap tipus de possible contacte. No van inclosos ja que no són necessaris però es col·locaran.

**-Sonda de temperatura:** S'afegirà de manera independent una sonda de temperatura per tenir un control de la temperatura i que comunica amb el termòstat el qual s'aprofitarà l'actual del que disposa l'habitatge.

### **5.3 Ubicació**

Al document 2, amb els plànols, es pot apreciar quina serà la ubicació de la unitat exterior i la de la unitat interior. Es col·locaran respectant les longituds límit del fabricant, ja que les connexions frigorífiques han de ser d'entre 5 i 50 metres i han de tenir un desnivell màxim de 30 metres. La unitat interior es col·locarà al garatge, on es troba l'actual caldera de gasoil, és on es troben totes les connexions de calefacció i aigua amb la caldera i com és una zona no habitable les màquines no molestaran ni per espai ni per la poca fressa que generen. La unitat exterior anirà col·locada enganxada a la paret per la part de fora del despatx, just a sobre de la finestra. Donarà al jardí de la casa just a la cantonada, on no molestarà ni visualment ni funcionalment.

## 6 PROJECTE D'UNA INSTAL·LACIÓ GEOTÈRMICA

### 6.1 Bomba de calor

El mercat geotèrmic es notòriament més petit que el mercat de l'aerotèrmia, mentre que en l'altre cas tenim opcions per triar i remenar en aquest cas les opcions factibles i interessants s'acaben veient reduïdes. Donades les necessitats de calefacció i ACS de l'habitatge es selecciona un model d'acord les necessitats. Hem decidit optar per la marca que treballa a Galícia anomenada "Clausius" i el seu model H 3-15. A l'Annex D.1 s'hi troba la fitxa tècnica amb tota la informació específica de la bomba. Les seves característiques principals les veiem a la Taula 8. La marca Clausius és una empresa formada a la Universitat de Vigo que des del 2014 treballen fabricant bombes de calor geotèrmiques de gran prestació i amb els millors materials del mercat: treballen en tots els seus models amb proveïdors de primer nivell. El model escollit entre altres avantatges presenta un nivell sonor mínim, permet refredar amb fred passiu (tot i que en el nostre cas no s'utilitzarà ara per ara), permet escalfar ACS fins a 80/85°C (poques bombes al mercat ho permeten), funciona també amb el refrigerant R410A (amb totes les avantatges que això implica), vàlvula d'expansió electrònica dins el circuit frigorífic...



**Figura 23. Bomba Clausius Elite 3-15 H.**  
*Font: Clausius.*

<b>POTÈNCIA CALORÍFICA (kW)</b>	3-15 kW
<b>POTÈNCIA NOMINAL (kW)</b>	14 kW
<b>COP</b>	4,61
<b>REFRIGERANT</b>	R410 A
<b>VOLUM ACUMULADOR (l)</b>	200

**Taula 8. Característiques principals de la bomba de calor seleccionada.** *Font: Elaboració pròpia.*

La bomba de calor escollida, com en el cas del model escollit amb aerotèrmia, porta inclòs a la unitat un dipòsit d'ACS d'acer inoxidable, el seu volum és també de 200 litres. Una de les grans avantatges d'aquest model és que porta integrats dins la gran majoria de components

necessaris, el mateix que amb el model escollit en aerotèrmia (vasos d'expansió, vàlvula de 3 vies ACS/calefacció, vàlvules de seguretat, bombes de circulació...). A la Figura 24 es veu la composició d'aquesta unitat i el seu interior. Com anteriorment ja he comentat la funció de tots aquests elements interns en aquest cas ens les estalviarem.



**Figura 24. Esquema interior de la bomba de calor Clausius 3-15 H. Font: Clausius.**

## 6.2 Altres elements

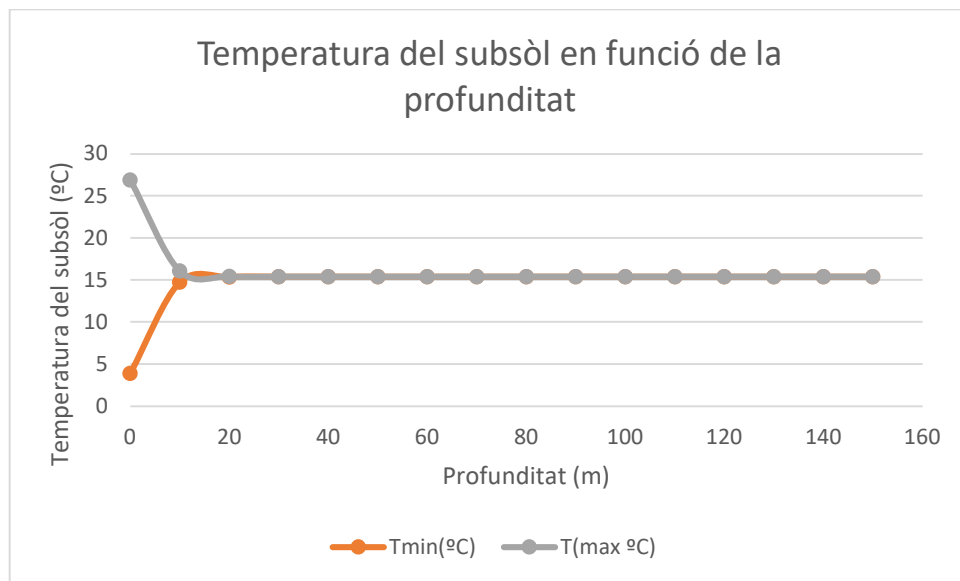
Com en el cas de la proposta aerotèrmica, hi afegim també una sèrie d'elements importants en aquestes instal·lacions. Ens caldrà també el dipòsit d'inèrcia per a la calefacció, vàlvules de bola, els esmorteïdors i la sonda de temperatura. L'únic que no hi posem en aquest cas és el vas d'expansió per a l'ACS, ja que tal i com es veu a la Figura 24 aquesta bomba ja incorpora els dos vasos d'expansió degudament dimensionats.

## 6.3 Intercanviador de calor subterrani

La gran diferència amb l'aerotèrmia com s'ha anat comentant és l'existència d'un circuit dins el subsol que s'encarrega d'agafar-ne la calor per a entrar-la a l'habitatge fins a l'evaporador.

Degut a les característiques de l'habitatge i del jardí es decideix utilitzar un pou vertical tancat. Vertical per la falta d'espai i tancat perquè agafarem l'energia directament del terreny i no d'aigües subterrànies o algun pou.

El terreny on ens trobem està format per format per roques calcàries i argiles sobretot (Annex D.2), a més de tractar-se d'un terreny amb una entalpia molt baixa, que és lo normal donada aquesta ubicació. Els llocs amb aigües termals, per exemple, són els que presenten una entalpia molt alta. Sabent aquesta informació i amb uns càlculs addicionals podem veure que el perfil de temperatures que tenim sota l'habitatge és el que veiem al Gràfic 1.



**Gràfic 1. Perfil de les temperatures màximes i mínimes del subsòl en funció de la profunditat.**  
**Font: Elaboració pròpia.**

Ens trobem a un terreny on, al llarg d'un any, la temperatura de la superfície mínima i màxima són diferents però a partir d'uns 15-20 metres de profunditat la temperatura es manté constant al voltant dels 15°C. Com ens interessa que l'intercanviador treballi a temperatura constant perforarem un pou superior a aquests 20 metres. Aquest perfil de temperatures s'ha calculat d'acord el tipus de terreny a l'Annex D.2.

Per a precisar més el dimensionament de la perforació i del sistema d'intercanvi, en base a una sèrie de càlculs (Annex D.3) , la perforació final serà segons es veu a la Taula 8.

<b>Nombre de perforacions</b>	1
<b>Profunditat de les perforacions (m)</b>	80
<b>Diàmetre interior de la sonda (mm)</b>	26,2
<b>Diàmetre exterior de la sonda (mm)</b>	32

*Taula 8. Característiques de la perforació i la sonda. Font: Elaboració pròpia.*

La sonda utilitzada és la sonda vertical doble de PE-100 de la marca Ferroterm. A l'Annex D.3 hi podem veure les propietats del material PE-100 (polietilè d'alta densitat). És un dels materials més utilitzats per aquest tipus d'instal·lacions. Pot treballar fins a 45°C, aguanta pressions elevades, és un material lleuger, flexible, no li afecta ni la corrosió ni l'erosió, presenta unes pèrdues de càrrega mínimes...En general podem resumir que és un material que presenta un gran rendiment en molts factors a la llarga.

Tal i com s'explica a l'Annex D.3, la solució utilitzada per al circuit de captació subterrani serà l'etilenglicol. És un líquid molt utilitzat en aquests casos i que presenta un molt bon rendiment i unes propietats adequades. A l'Annex D.3 hi consten totes les propietats.

La ubicació del pou a realitzar està definida als plànols del document 2 d'aquest projecte.

## 6.4 Perforació

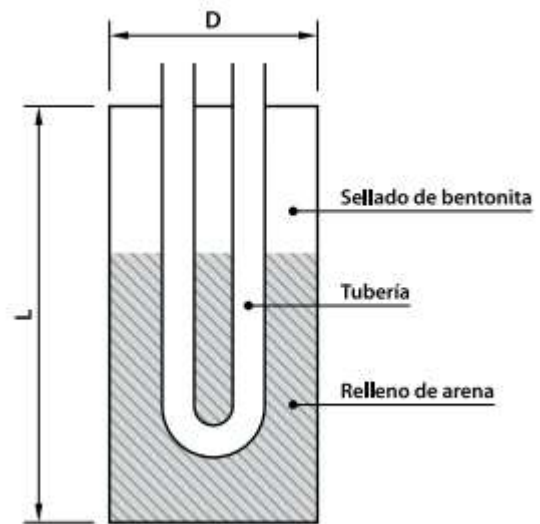
Per a la perforació del pou vertical cal utilitzar la tecnologia adequada per a cada terreny i se n'ha d'encarregar una empresa especialitzada en perforacions i pous que compleixi amb l'actual normativa del Codi Miner i la Llei de Mines entre altres. Cal tenir en compte l'accés a al finca de la maquinària necessària, a més de tenir en compte que el pou s'ha de situar com a mínim a 3 metres d'edificacions i a 1 metres de distància d'altres instal·lacions. Als document 2, on hi trobem els plànols, s'hi pot veure l'emplaçament que tindrà dins la nostra finca, complint amb les separacions i normes pertinents.

Per a realitzar la perforació del pou, donat el terreny estable de roca calcària, es farà servir un sistema de perforació rotativa. Per a una correcta perforació primer de tot es perfora amb el sistema escollit fins a la longitud calculada (100 metres) i s'extreu l'eina de perforació. Amb el forat realitzat, s'introduirà la sonda en doble U amb l'ajuda d'un pes acoblat i un element des bobinador per a que vagi baixant a poca a poca i en la bona direcció. Cal anar col·locant mentre es va introduint les corresponents peces que aguanten les sondes per a assegurar-ne la verticalitat durant tot el recorregut i perquè la separació entre elles sigui constant. La sonda

s'introduirà plena amb la solució salina per evitar possibles col·lapses per diferències de pressió entre l'interior i l'exterior. Finalment s'emplenarà el forat amb un sellatge de ciment o amb sorra i un sellatge bentonita mitjançant un tub. Cal tenir en compte que al principi de la perforació cal situar el que s'anomena una entovació auxiliar per així estabilitzar la primera capa de terreny i facilitar la resta de la perforació, cal que sigui curta per a que es pugui retirar convenientment.



**Figura 25. Fases de la perforació. Font: Geotermia Vertical Instalaciones**



**Figura 26. Parts del sellatge de la sonda al terreny. Font: IDAE. Ministerio de Industria, Turismo y Fomento.**

La cimentació realitzada al final per sellar les sondes cal fer-se amb molta cura, és molt important que les sondes quedin completament equilibrades i el terreny completament estabilitzat. Cal anar emplenant de ciment en direcció ascendent evitant que quedi aire o porus, això perjudicaria la conductivitat i la transmissió de calor. La part final consisteix en tapar la part de dalt i cal vigilar que no entrin contaminants dins les sondes.

Quan està completament cimentat cal realitzar les corresponents proves de pressió per assegurar que no existeixen fugues i garantir que el funcionament és correcte, d'aquesta manera ens assegurem que funcionarà durant anys correctament.

L'últim a tenir en compte és que caldrà realitzar les rases corresponents per a fer passar tota la instal·lació fins a l'interior. Per a realitzar-la correctament caldrà retirar tota la capa vegetal i enterrar els tubs netejant prèviament de pedres o elements que puguin malmetre les connexions. S'enterrarà amb cura aconseguint tanta espessor com sigui possible perquè quedi compacta.



**Figura 27. Introducció de la sonda al pou vertical mitjançant un desbobinador. Font: EDASU.**



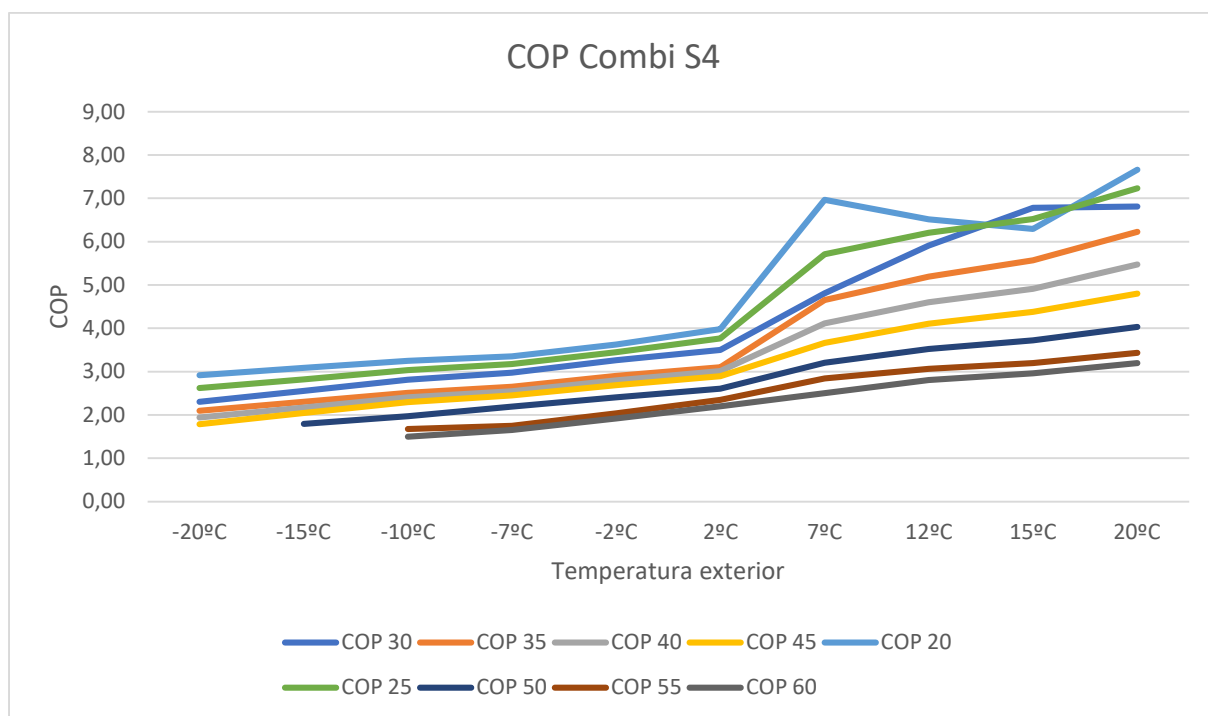
**Figura 28. Sellatge d'un pou vertical. Font:Aetess.**

## 7 ANÀLISI COMPARATIU DE LES SOLUCIONS

### 7.1 Anàlisi de rendiment i consum

Primer de tot ens centrarem en el rendiment que presenten una i altra bomba en les condicions de treball en que es troben mes a mes. Com la temperatura d'intercanvi és diferent cada mes i per a cada bomba de calor cal avaluar la seva eficiència en funció del seu rendiment estacional. D'aquesta manera, donada la demanda total de potència necessària podrem comprovar quin dels dos sistemes l'aconsegueix gastant menys electricitat.

En el cas de l'aerotèrmia el fabricant disposa de les dades de rendiment per a diferents situacions mitjançant assajos segons la norma UNE EN 14511 per tant podem agafar-les com a referència. Mitjançant la taula de capacitats i els càlculs corresponents que podem veure a l'Annex E, veiem que la potència que pot oferir i la potència elèctrica necessària varien en funció de la temperatura de funcionament i en funció de la temperatura exterior. Si entrem totes les dades les corbes de rendiment, podem extreure el Gràfic 2.



**Gràfic 2. Rendiment de la bomba Yutaki Combi S4 en funció de la temperatura de funcionament i de la temperatura exterior. Font: Elaboració pròpia.**

Ofereix un major rendiment quan major és la temperatura exterior i menor és la temperatura de funcionament. És per això que la millor opció en quant a eficiència i estalvi és entre altres el terra radiant, perquè pot funcionar a 30-35°C mentre que els radiadors de baixa temperatura a 55°C. Mentre en el nostre cas el COP rondarà entre 2 i 3 (COP habitual en aquests casos), en cas de tenir un sistema calefactor a 30°C el COP rondaria entre 4 i 5. En cas



de seguir amb radiadors vells d'alta temperatura aquest bomba en concret no hi seria compatible, caldria seleccionar un model que permetés calefactar fins a 80°C. L'eficiència però seria excessivament baixa.

A continuació busquem aquestes mateixes dades per la bomba geotèrmica. En aquest cas però, la marca Clausius no dona tanta informació en quant al rendiment, sabem el COP nominal segons la norma UNE EN14511 (que implica que les condicions d'assaig per aquest COP són de 35°C la temperatura de funcionament i 0/-3°C la temperatura de l'etilenglicol quan aquest torna a entrar al subsol) és de 4,61. La temperatura de tornada de la solució salina a l'interior del terra sol estar entre aquests valors, i la de sortida sol rondar els 5°C-15°C. Quan només tenim aquesta dada és necessari utilitzar uns factors correctors que depenen de la zona climàtica on ens trobem i de la temperatura de funcionament. Aquests factors es poden utilitzar quan sabem el COP nominal segons normes com la UNE EN14511, la UNE EN15316 o la UNE EN16147 entre altres.

Aplicant els factors corresponents (Annex E.1) el COP de la bomba geotèrmica és de 3,32 quan produeix calefacció i 2,99 quan produeix ACS. En aquest cas el COP és constant al llarg de l'any ja que les temperatures del subsol i de l'etilenglicol tant a l'entrada com a la sortida del subsol també. La font d'intercanvi està sempre a la mateixa temperatura. D'entrada veiem un COP més elevat amb la geotèrmia, és un fet normal donat que no té variacions i que l'extracció del subsol ofereix un major rendiment que l'extracció de calor de l'ambient.

Tenint en compte la demanda energètica de l'habitatge calculada anteriorment, tant per produir ACS com per calefacció, i els COP de cada tecnologia podem calcular la quantitat d'energia elèctrica necessària en cada cas.

	AEROTÈRMIA		GEOTÈRMIA		Demanda calefacció (kWh)	Demanda ACS (kWh)	Consum total Aerotèrmia (kWh)	Consum total Geotèrmia (kWh)
	COP Calefacció	COP ACS	COP Calefacció	COP ACS				
<b>GENER</b>	2,88	2,55	3,32	2,99	1608,76	156,9	620,13	537,04
<b>FEBRER</b>	2,93	2,63	3,32	2,99	1226,13	138,99	471,32	415,80
<b>MARÇ</b>	3,03	2,76	3,32	2,99	945,48	150,85	366,70	335,23
<b>ABRIL</b>	3,13	2,89	3,32	2,99	566,06	143,32	230,44	218,43
<b>MAIG</b>	-	3,06	3,32	2,99	-	139,01	45,43	46,49
<b>JUNY</b>	-	3,24	3,32	2,99	-	128,67	39,71	43,03
<b>JULIOL</b>	-	3,37	3,32	2,99	-	123,87	36,76	41,43
<b>AGOST</b>	-	3,36	3,32	2,99	-	126,9	37,77	42,44
<b>SETEMBRE</b>	-	3,24	3,32	2,99	-	125,73	38,81	42,05
<b>OCTUBRE</b>	-	3,03	3,32	2,99	-	138,74	45,79	46,40
<b>NOVEMBRE</b>	3,06	2,79	3,32	2,99	997,97	145,98	378,46	349,42
<b>DESEMBRE</b>	2,92	2,61	3,32	2,99	1515,38	153,88	577,92	507,90
							<b>2889,23</b>	<b>2625,68</b>

**Taula 9. Consum energètic de cada tipus de bomba. Font: Elaboració pròpia.**

## Projecte de renovació de climatització d'un habitatge unifamiliar a Corçà

En cas d'instal·lar aerotèrmia el consum anual serà de 2889,23 kWh i en el cas d'instal·lar geotèrmia serà de 2625,68 kWh. Com la geotèrmia presenta un major rendiment consumirà menys electricitat. Cal destacar que a l'estiu, per a la producció d'ACS, l'aerotèrmia resulta més eficient pel fet que la temperatura exterior a l'estiu és més elevada que la del subsol i per tant, en el cas de dues bombes de semblants prestacions, la potència necessària és menor.

Tot i que en el cas d'aquest habitatge no sigui d'aplicació perquè el consum d'ACS és menor a 100 litres diaris, el document bàsic d'estalvi energètic obliga als habitatges amb un consum més elevat del comentat a que el rendiment mínim de la generació d'ACS ha de ser superior a 2,5, el que significa que de cada 100kW per escalfar ACS com a mínim 60kW han de ser d'origen renovable i com a molt 40kW poden provenir de fonts no renovables (del compressor). Fixant-nos amb la Taula 9, tant un sistema com l'altre complirien amb aquesta norma tots els mesos de l'any. Aquesta normativa és d'obligat per a tots els sistemes de producció d'ACS que s'instal·lin nous, ja sigui amb plaques solars tèrmiques o amb bombes de calor.

Per veure fins a quin punt millora l'habitatge en reducció de consums analitzem quin és el consum aproximat amb la caldera actual de gasoil tenint en compte el seu rendiment. La caldera que hi ha a dia d'avui és una de gasoil i un rendiment global del 80%, el qual considerem constant per a totes les situacions, tant per ACS com per calefacció. En aquest cas, cal tenir en compte el consum d'energia de gasoil necessari, sabent que aquest té un poder calorífic de 10 kWh/L.

GASOIL	RENDIMENT	Demanda calefacció (kWh)	Demanda ACS (kWh)	Poder calorífic (kWh/L)	Consum total GASOIL (kWh)	Consum total GASOIL (L)
GENER	0,8	1608,76	156,9	10	2207,08	220,71
FEBRER	0,8	1226,13	138,99	10	1706,40	170,64
MARÇ	0,8	945,48	150,85	10	1370,41	137,04
ABRIL	0,8	566,06	143,32	10	886,73	88,67
MAIG	0,8	-	139,01	10	173,76	17,38
JUNY	0,8	-	128,67	10	160,84	16,08
JULIOL	0,8	-	123,87	10	154,84	15,48
AGOST	0,8	-	126,9	10	158,63	15,86
SETEMBRE	0,8	-	125,73	10	157,16	15,72
OCTUBRE	0,8	-	138,74	10	173,43	17,34
NOVEMBRE	0,8	997,97	145,98	10	1429,94	142,99
DESEMBRE	0,8	1515,38	153,88	10	2086,58	208,66
					<b>10665,78</b>	<b>1066,58</b>

*Taula 10. Consum de la caldera de gasoil. Font: Elaboració pròpia.*

El consum energètic es pot veure reduït entre 7000 i 8000 kWh anuals amb el canvi de sistema.

Per altra banda podem realitzar la mateixa comparació respecte altres sistemes habituals que trobem als habitatges amb combustibles fòssils, com poden ser per exemple el gas natural o les calderes de gas propà. A dia d'avui, una caldera de gas natural convencional presenta uns rendiments al voltant del 90% també en funció del model, de la potència, etc... Per altra banda les calderes de gas propà presenten uns rendiments nominals al voltant del 90% també, com el gas natural. Cal tenir en compte que el seu poder calorífic és de 12,86kWh/ kg. Sabent això els consums amb aquestes combustibles seria el que veiem a la Taula 11 i a la Taula 12.

GAS NATURAL	RENDIMENT	Demanda calefacció (kWh)	Demanda ACS (kWh)	Consum total GAS NATURAL (kWh)
GENER	0,9	1608,76	156,9	1961,84
FEBRER	0,9	1226,13	138,99	1516,80
MARÇ	0,9	945,48	150,85	1218,14
ABRIL	0,9	566,06	143,32	788,20
MAIG	0,9	-	139,01	154,46
JUNY	0,9	-	128,67	142,97
JULIOL	0,9	-	123,87	137,63
AGOST	0,9	-	126,9	141,00
SETEMBRE	0,9	-	125,73	139,70
OCTUBRE	0,9	-	138,74	154,16
NOVEMBRE	0,9	997,97	145,98	1271,06
DESEMBRE	0,9	1515,38	153,88	1854,73
				<b>9480,69</b>

*Taula 11. Consums d'una caldera de Gas Natural. Font: Elaboració pròpia.*

PROPÀ	RENDIMENT	Demanda calefacció (kWh)	Demanda ACS (kWh)	Poder calorífic (kWh/kg)	Consum total PROPÀ (kWh)	Consum total PROPÀ (kg)
GENER	0,9	1608,76	156,9	12,86	1961,84	152,55
FEBRER	0,9	1226,13	138,99	12,86	1516,80	117,95
MARÇ	0,9	945,48	150,85	12,86	1218,14	94,72
ABRIL	0,9	566,06	143,32	12,86	788,20	61,29
MAIG	0,9	-	139,01	12,86	154,46	12,01
JUNY	0,9	-	128,67	12,86	142,97	11,12
JULIOL	0,9	-	123,87	12,86	137,63	10,70
AGOST	0,9	-	126,9	12,86	141,00	10,96
SETEMBRE	0,9	-	125,73	12,86	139,70	10,86
OCTUBRE	0,9	-	138,74	12,86	154,16	11,99
NOVEMBRE	0,9	997,97	145,98	12,86	1271,06	98,84
DESEMBRE	0,9	1515,38	153,88	12,86	1854,73	144,22
					<b>9480,69</b>	<b>737,22</b>

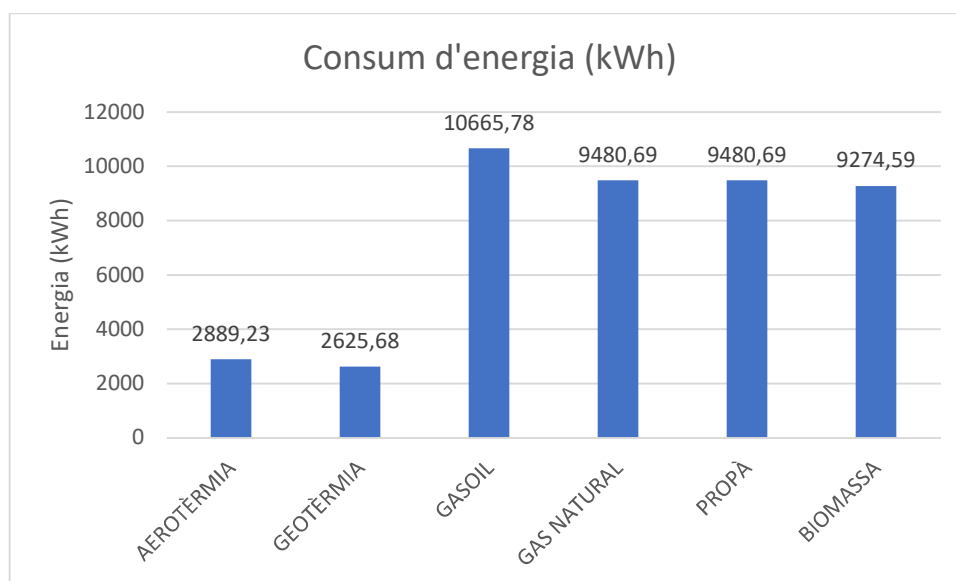
*Taula 12. Consums d'una caldera de gas propà. Font: Elaboració pròpia.*

Per últim, degut a l'augment del seu ús, podem revisar quin seria el consum d'una caldera de biomassa. Les calderes de biomassa presenten un rendiment aproximat d'un 92% i funcionen amb pellets. Tot i que el rendiment és semblant a les calderes de combustibles fòssils la gran avantatge que presenten és que funcionen amb energia renovable. Es calcula aproximadament que el poder calorífic d'aquests pellets és d'uns 5 kWh/kg. El consum amb una caldera d'aquest estil seria el de la Taula 13.

BIOMASSA	RENDIMENT	Demanda calefacció (kWh)	Demanda ACS (kWh)	Poder calorífic (kWh/kg)	Consum total PELLETS (kWh)	Consum total PELLETS (kg)
GENER	0,92	1608,76	156,9	5,00	1919,20	383,84
FEBRER	0,92	1226,13	138,99	5,00	1483,83	296,77
MARÇ	0,92	945,48	150,85	5,00	1191,66	238,33
ABRIL	0,92	566,06	143,32	5,00	771,07	154,21
MAIG	0,92	-	139,01	5,00	151,10	30,22
JUNY	0,92	-	128,67	5,00	139,86	27,97
JULIOL	0,92	-	123,87	5,00	134,64	26,93
AGOST	0,92	-	126,9	5,00	137,93	27,59
SETEMBRE	0,92	-	125,73	5,00	136,66	27,33
OCTUBRE	0,92	-	138,74	5,00	150,80	30,16
NOVEMBRE	0,92	997,97	145,98	5,00	1243,42	248,68
DESEMBRE	0,92	1515,38	153,88	5,00	1814,41	362,88
					<b>9274,59</b>	<b>1854,92</b>

*Taula 13. Consums d'una caldera de biomassa. Font: Elaboració pròpia.*

Podem veure que donada la demanda aproximada energètica de l'habitatge, en el cas d'utilitzar uns dels sistemes del projecte (geotèrmia o aerotèrmia), el consum necessari d'energia per a poder aconseguir la demanda és molt més baix.



**Gràfic 3. Consums en kWh dels diferents combustibles estudiats. Font: Elaboració pròpia.**

## 7.2 Anàlisi de despesa energètica econòmica

**Un altre factor a tenir en compte és el consum econòmic de les solucions estudiades. Hem analitzat el consum que comporta cada un però cal analitzar també que suposen aquests diferents consums per a la nostra economia. Els preus dels diferents combustibles (aproximat segons diferents cerques i companyies) són els de la**

Taula 14.

	<b>COST UNITARI</b>
<b>GASOIL</b>	0,87 €/L
<b>GAS NATURAL</b>	0,055 €/kWh
<b>PROPÀ</b>	1,2 €/kg
<b>BIOMASSA</b>	0,29 €/kg

**Taula 14. Preus unitaris estimats dels diferents combustibles. Font: Elaboració pròpia.**

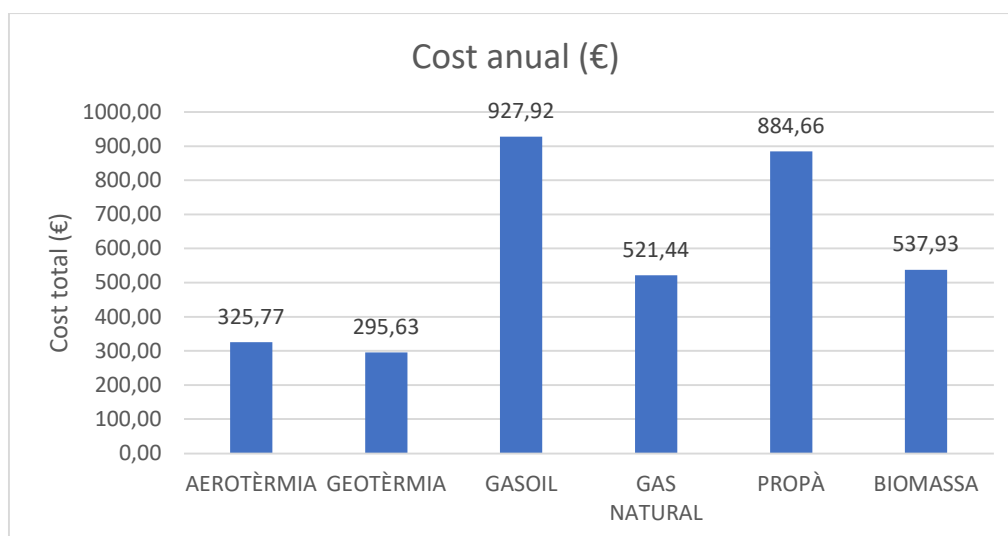
En quant a electricitat, els clients disposen de la tarifa PVPC (preu voluntari pel petit consumidor), de manera que el preu de la llum varia hora a hora cada dia i paguen segons el preu que té regulat el mercat en cada moment. El preu de la llum s'ha calculat segons l'Annex E.2 i es reflecteix a la Taula 15. Així doncs per una banda estimem el cost de l'electricitat segons els preus de mercat mitjans de l'any passat per una banda i per altra calculem els costos totals econòmics de tots els sistemes.

	Consum total Aerotèrmia (kWh)	Consum total Geotèrmia (kWh)	Cost kWh (€/kWh)	Cost Aerotèrmia (€)	Cost Geotèrmia (€)
<b>GENER</b>	620,13	537,04	0,1289	79,93	69,22
<b>FEBRER</b>	471,32	415,80	0,1194	56,28	49,65
<b>MARÇ</b>	366,70	335,23	0,1138	41,73	38,15
<b>ABRIL</b>	230,44	218,43	0,1153	26,57	25,19
<b>MAIG</b>	45,43	46,49	0,1109	5,04	5,16
<b>JUNY</b>	39,71	43,03	0,1084	4,30	4,66
<b>JULIOL</b>	36,76	41,43	0,1125	4,14	4,66
<b>AGOST</b>	37,77	42,44	0,1057	3,99	4,49
<b>SETEMBRE</b>	38,81	42,05	0,1018	3,95	4,28
<b>OCTUBRE</b>	45,79	46,40	0,1085	4,97	5,03
<b>NOVEMBRE</b>	378,46	349,42	0,1047	39,62	36,58
<b>DESEMBRE</b>	577,92	507,90	0,0956	55,25	48,56
	<b>2889,23</b>	<b>2625,68</b>		<b>325,77</b>	<b>295,63</b>

Taula 15. Cost anual de la aerotèrmia i la geotèrmia. Font: Elaboració pròpia.

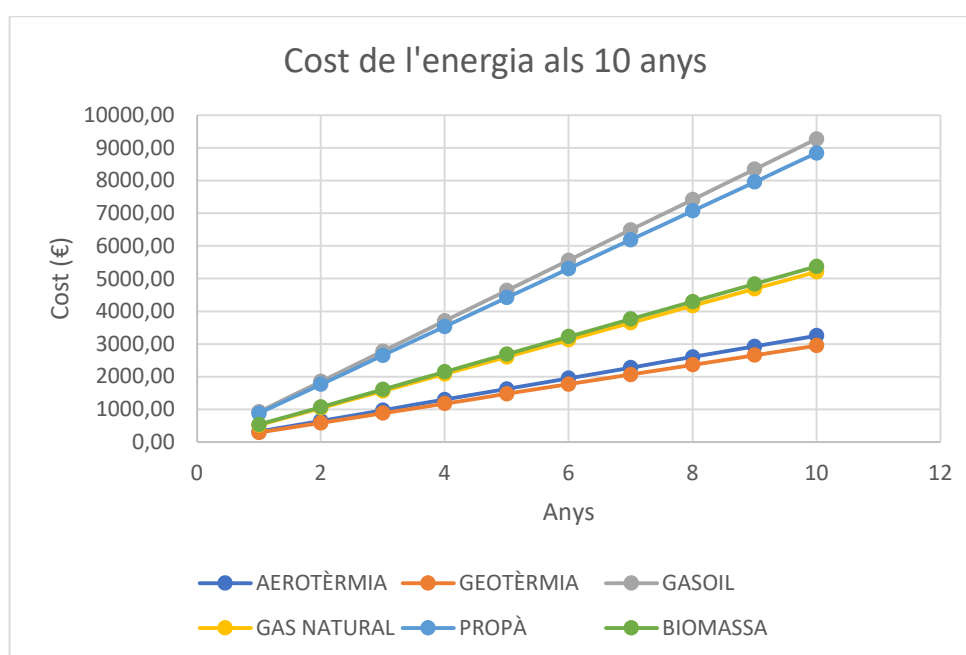
	CONSUM TOTAL	COST UNITARI	COST ANUAL (€)
<b>GASOIL</b>	1066,58 L	0,87 €/L	927,92
<b>GAS NATURAL</b>	9480,69 kWh	0,055 €/kWh	521,44
<b>PROPÀ</b>	737,22 kg	1,2 €/kg	884,66
<b>BIOMASSA</b>	1854,92 kg	0,29 €/kg	537,93

Taula 16. Cost anual dels diferents combustibles. Font: Elaboració pròpia.



Gràfic 4. Cost anual de tots els combustibles. Font: Elaboració pròpia.

Com es pot veure, cada any suposa un estalvi el fet de disposar d'una bomba de calor d'algun dels sistemes comentats. La diferència, per aquest habitatge, entre disposar d'una caldera de gasoil o d'una bomba de calor geotèrmica arribaria a ser de 630€ anuals aproximadament. Si portem aquesta comparació en un marge de 10 anys, per exemple, es pot veure l'estalvi acumulat que un sistema o altre representen. Suposant, òbviament, que els preus dels combustibles no varien tot i que ja es sap que és mentida. Caldria tenir-hi en compte les possibles variacions del cost del kWh elèctric, del kWh de gas natural, del gasoil...Apart dels costos fixos derivats de les diferents energies, en aquest cas comparem només els costos d'energia consumida.



**Gràfic 5. Cost dels combustibles als 10 anys. Font: Elaboració pròpia.**

### 7.3 Anàlisi d'emissions

Una altra comparativa interessant i sobretot a dia d'avui és l'emissió de contaminants a l'atmosfera. És molt important analitzar l'impacte mediambiental que tant una bomba com l'altra generen sobre el planeta. Per a estudiar les emissions en un i altre cas cal tenir en compte les emissions produïdes per l'energia consumida. Aquestes emissions es poden extreure directament de l'IDAE (Instituto para la Diversificación en el Ahorro de la Energía). L'IDAE proporciona els valors d'emissió de CO<sub>2</sub> de cada un dels diferents combustibles (Figura 29), d'aquesta manera sabent el consum de cada un d'ells podem calcular l'emissió de CO<sub>2</sub> que suposen.

Projecte de renovació de climatització d'un habitatge unifamiliar a Corçà

Factores de emisiones de CO2			
	Fuente	Valores aprobados	Valores previos (****)
		kg CO2 /kWh E. final	kg CO2 /kWh E. final
Electricidad convencional Nacional	(*)	0,357	
Electricidad convencional peninsular	(**)	0,331	0,649
Electricidad convencional extrapeninsular	(**)	0,833	0,981
Electricidad convencional Baleares	(**)	0,932	
Electricidad convencional Canarias	(**)	0,776	
Electricidad convencional Ceuta y Melilla	(**)	0,721	
Gasóleo calefacción	(***)	0,311	0,287
GLP	(***)	0,254	0,244
Gas natural	(***)	0,252	0,204
Carbón	(***)	0,472	0,347
Biomasa no densificada	(***)	0,018	neutro
Biomasa densificada (pelets)	(***)	0,018	neutro

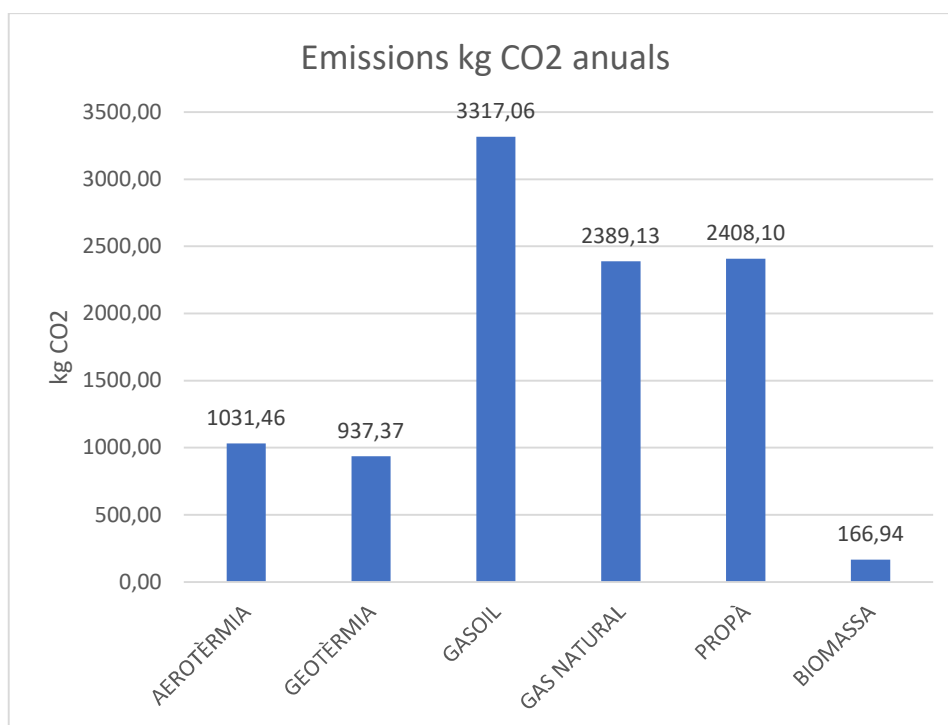
**Figura 29. Factors d'emissió de CO2. Font: IDAE.**

Les emissions totals de cada sistema es veuen a la Taula 17 , es pot veure com un sol any, el fet de canviar el gasoil per un sistema de geotèrmia o aerotèrmia pot suposar la reducció de més de 2.000 kg de CO2 a l'atmosfera. Això amb un sol any de consum, si mirem la diferència d'emissions al cap de 10 anys els números encara són més importants, ja que una reducció de més de 2.000 kg de CO2 anuals implica que als 10 anys s'hauran deixat d'emetre més de 20.000 kg de CO2 a l'atmosfera.

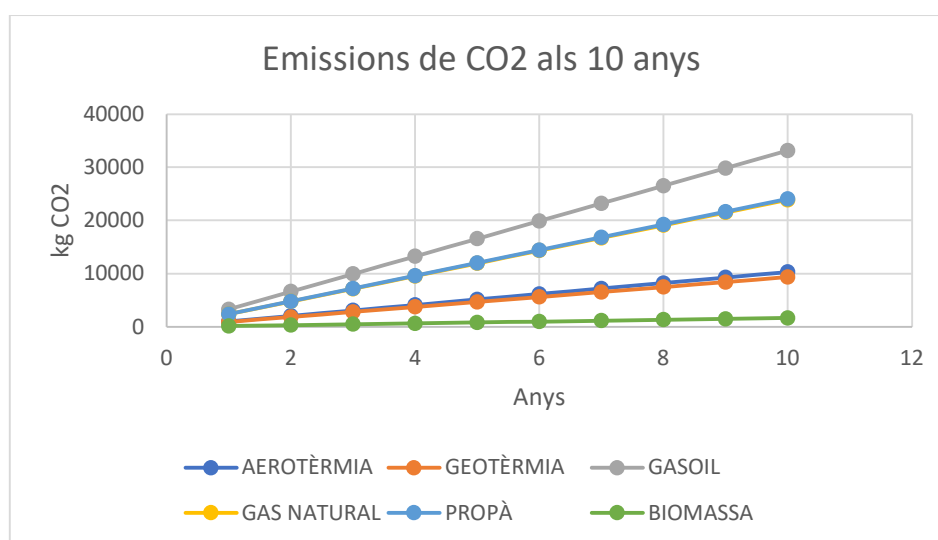
	kg CO2 / kWh	Consum (kWh)	Emissions totals anuals (kg CO2)
<b>AEROTÈRMIA</b>	0,357	2889,23	1031,46
<b>GEOTÈRMIA</b>	0,357	2625,68	937,37
<b>GASOIL</b>	0,311	10665,78	3317,06
<b>GAS NATURAL</b>	0,252	9480,69	2389,13
<b>PROPÀ</b>	0,254	9480,69	2408,10
<b>BIOMASSA</b>	0,018	9274,59	166,94

**Taula 17. Emissions de CO2. Font: Elaboració pròpia.**





**Gràfic 6. Emissions de CO2 anuals. Font: Elaboració pròpia.**



**Gràfic 7. Emissions de CO2 als 10 anys. Font: Elaboració pròpia.**

Val la pena destacar la gran reducció que s'aconseguiria amb una caldera de biomassa en quant a contaminació, és se'ns dubte la opció més ecològica i respectable amb el medi ambient de cares a climatitzar un habitatge.

#### 7.4 Certificació energètica

Una altra comparació que realitzarem dels diferents sistemes és la certificació energètica que suposen per l'habitatge. A l'apartat 2.3. d'aquesta memòria s'havia calculat la certificació energètica que l'habitatge tenia incorporant l'actual caldera de gasoil, la qual era la lletra E.

## Projecte de renovació de climatització d'un habitatge unifamiliar a Corçà

Si entrem les dades de les diferents calderes al mateix programa amb un habitatge idèntic les diferències que obtenim es poden veure a les figures a continuació.

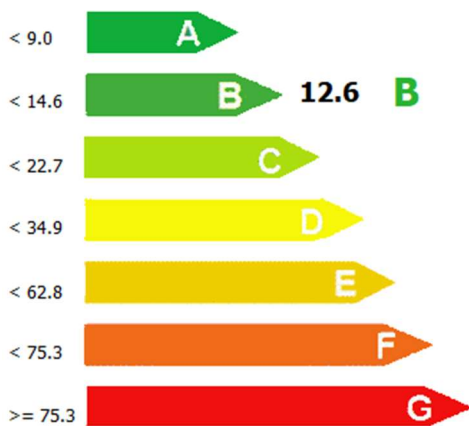
### -Aerotèrmia

#### Equipo mixto de calefacción y ACS

Nombre	Aerotèrmia		Zona	Edificio Objeto	
<b>Características</b>			<b>Demanda cubierta</b>		
Tipo de generador	Bomba de Calor		ACS	Calefacción	
Tipo de combustible	Electricidad		Superficie (m2)	100.0	100.0
			Porcentaje (%)	100	100
<b>Rendimiento medio estacional</b>					
Rendimiento estacional	Conocido (Ensayado/justificado)				
A.C.S	Rendimiento medio estacional	299	%		
Calefacción	Rendimiento medio estacional	296	%		
<input checked="" type="checkbox"/> Con Acumulación					
Valor UA	Por defecto		UA	5.2	W/K
Volumen de un depósito	200	l	Multiplicador	1	
			Tª alta	60	°C
			Tª baja	10	°C

#### Calificación energética de edificios

Indicador kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>



#### Edificio objeto

Demanda de calefacción (kWh/m <sup>2</sup> )	87.5	E
Demanda de refrigeración (kWh/m <sup>2</sup> )	3.8	A
Emisiones de calefacción (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	9.8	B
Emisiones de refrigeración (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	0.6	A
Emisiones de ACS (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	2.2	A

Figura 30. Certificació energètica amb aerotèrmia. Font: Elaboració pròpia amb el programa ce3x.

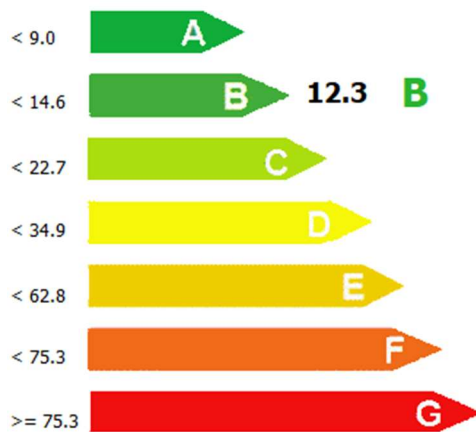
## -Geotèrmia

### Equipo mixto de calefacción y ACS

Nombre	Geotèrmia		Zona	Edificio Objeto	
<b>Características</b>			<b>Demanda cubierta</b>		
Tipo de generador	Bomba de Calor		ACS	Calefacción	
Tipo de combustible	Electricidad		Superficie (m2)	100.0	100.0
			Porcentaje (%)	100	100
<b>Rendimiento medio estacional</b>					
Rendimiento estacional	Conocido (Ensayado/justificado)				
A.C.S	Rendimiento medio estacional	332	%		
Calefacción	Rendimiento medio estacional	299	%		
<input checked="" type="checkbox"/> Con Acumulación					
Valor UA	Por defecto		UA	5.2	W/K
Volumen de un depósito	200	l	Multiplicador	1	
			Tª alta	60	°C
			Tª baja	10	°C

### Calificación energética de edificios

Indicador kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>



### Edificio objeto

Demanda de calefacción (kWh/m <sup>2</sup> )	87.5	E
Demanda de refrigeración (kWh/m <sup>2</sup> )	3.8	A
Emisiones de calefacción (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	9.7	B
Emisiones de refrigeración (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	0.6	A
Emisiones de ACS (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	2.0	A

Figura 31. Certificació energètica amb geotèrmia. Font: Elaboració pròpia amb el programa ce3x.

## -Gas Natural

### Equipo mixto de calefacción y ACS

Nombre  Zona

*Características*

Tipo de generador

Tipo de combustible

*Demanda cubierta*

	ACS	Calefacción
Superficie (m2)	<input type="text" value="100.0"/>	<input type="text" value="100.0"/>
Porcentaje (%)	<input type="text" value="100"/>	<input type="text" value="100"/>

*Rendimiento medio estacional*

Rendimiento estacional

Potencia nominal  kW

Carga media real  $\beta_{cmb}$   ?

Rendimiento de combustión  %

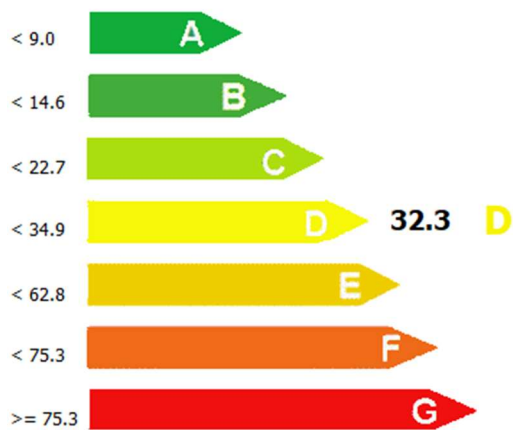
Rendimiento medio estacional (ACS y Calefacción)  %

Aislamiento de la caldera

Con Acumulación

### Calificación energética de edificios

Indicador kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>



### Edificio objeto

Demanda de calefacción (kWh/m <sup>2</sup> )	87.5	E
Demanda de refrigeración (kWh/m <sup>2</sup> )	3.8	A
Emisiones de calefacción (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	26.6	E
Emisiones de refrigeración (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	0.6	A
Emisiones de ACS (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	5.0	D

Figura 32. Certificación energética amb Gas Natural. Font: Elaboració pròpia amb el programa ce3x.

## -Gas Propà

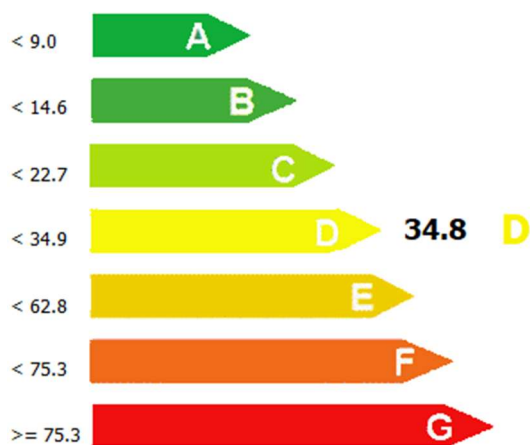
### Equipo mixto de calefacción y ACS

Nombre	Gas Natural	Zona	Edificio Objeto	
<i>Características</i>			<i>Demanda cubierta</i>	
Tipo de generador	Caldera Estándar	Superficie (m2)	ACS: 100.0	Calefacción: 100.0
Tipo de combustible	GLP	Porcentaje (%)	100	100
<i>Rendimiento medio estacional</i>			<i>Rendimiento medio estacional (ACS y Calefacción)</i>	
Rendimiento estacional	Estimado según Instalación	77.2 %		
Potencia nominal	24.0 kW			
Carga media real β <sub>comb</sub>	0.2 ?	Aislamiento de la caldera: Bien aislada y mantenida		
Rendimiento de combustión	90.0 %			

Con Acumulación

### Calificación energética de edificios

Indicador kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>



### Edificio objeto

Demanda de calefacción (kWh/m <sup>2</sup> )	87.5	E
Demanda de refrigeración (kWh/m <sup>2</sup> )	3.8	A
Emisiones de calefacción (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	28.8	E
Emisiones de refrigeración (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	0.6	A
Emisiones de ACS (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	5.4	D

Figura 33. Certificació energètica amb el gas propà. Font: Elaboració pròpia amb el programa ce3x.

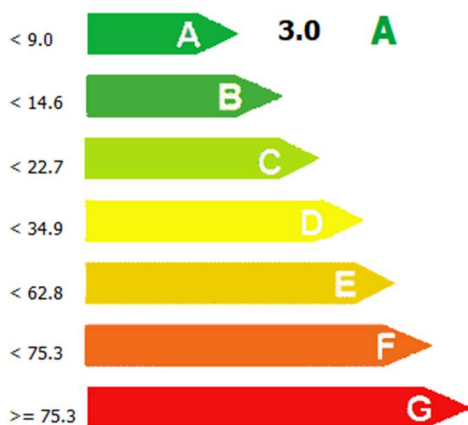
## -Biomassa

### Equipo mixto de calefacción y ACS

Nombre	Gas Natural	Zona	Edificio Objeto	
<b>Características</b>		<b>Demanda cubierta</b>		
Tipo de generador	Caldera Estándar	ACS	100.0	Calefacción
Tipo de combustible	Biomasa densificada (pelets)	Superficie (m2)	100.0	100.0
		Porcentaje (%)	100	100
<b>Rendimiento medio estacional</b>		<b>Rendimiento medio estacional (ACS y Calefacción)</b>		
Rendimiento estacional	Estimado según Instalación		79.2	%
Potencia nominal	24.0 kW			
Carga media real βcmb	0.2 ?	Aislamiento de la caldera	Bien aislada y mantenida	
Rendimiento de combustión	92.0 %			
<input type="checkbox"/> Con Acumulación				

### Calificación energética de edificios

Indicador kgCO2/m2



### Edificio objeto

<b>Demanda de calefacción</b> (kWh/m2)	87.5	E
<b>Demanda de refrigeración</b> (kWh/m2)	3.8	A
<b>Emisiones de calefacción</b> (kg CO2/m2)	2.0	A
<b>Emisiones de refrigeración</b> (kg CO2/m2)	0.6	A
<b>Emisiones de ACS</b> (kg CO2/m2)	0.4	A

**Figura 34. Certificación energética con biomasa. Font: Elaboración propia con el programa ce3x.**

Tal i com havíem estat veient amb els consums i les emissions, el certificat energètic de l'edifici no enganya i ens indica l'ordre de les solucions més eficients energèticament i sobretot en quant a emissions de CO2. La opció més neta i que per tant millora més el certificat de l'habitatge és la biomassa, com havíem vist ecològicament és el combustible més net de tots. L'origen dels pellets és completament renovable i encara que requereixi un consum elevat genera molt poques emissions i té un impacte mínim.

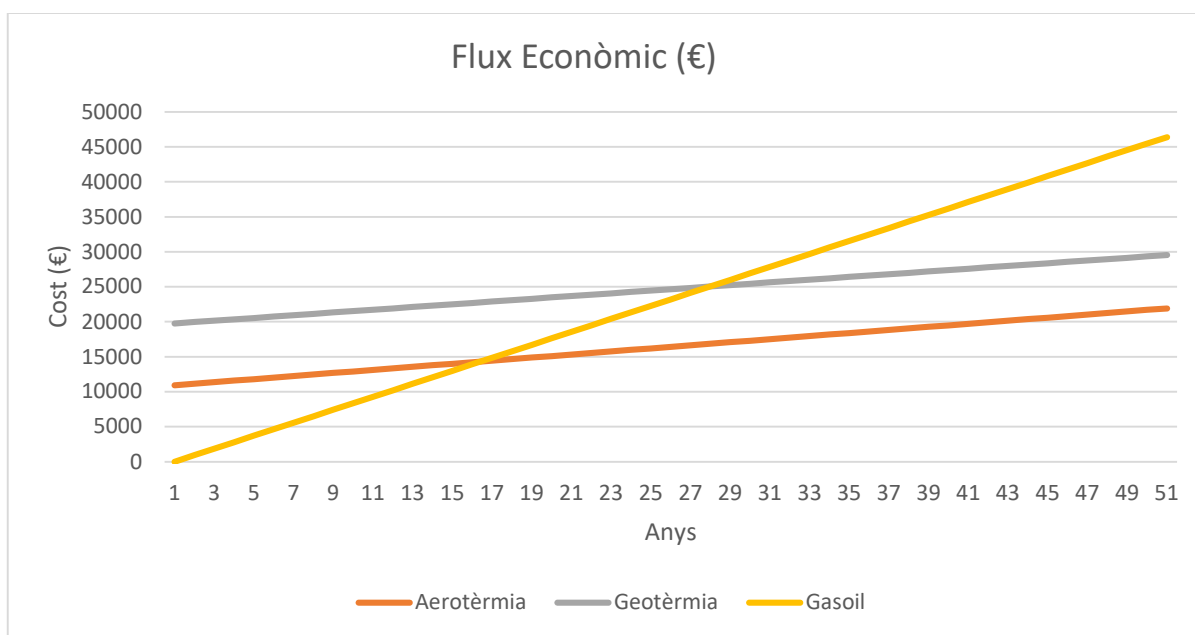
Per altra banda, centrant-nos en les solucions que hem estat treballant en aquest projecte, veiem com realment les opcions plantejades milloren el certificat degut a la seva eficiència i menor impacte ambiental. Tant una solució com l'altra fan que l'habitatge tingui l'etiqueta B amb un valor molt semblant (12,6 i 12,3). La geotèrmia com havíem comprovat és un pèl més eficient i per tant està més ben certificada.

Amb qualsevol de les dues solucions doncs els clients podran millorar l'etiqueta del certificat de l'habitatge de E a B, la qual és una millora molt notable.

Si ens hi fixem el paràmetre que millora gràcies al canvi de sistema de clima és el de les emissions només, el fet de deixar de consumir gasoil implica una millora en les emissions en totes les situacions. La demanda en cap cas varia canviant el sistema de clima, aquesta canviarà si es realitzessin canvis als tancaments, als materials dels murs, es col·loquessin aïllants tèrmics, es fessin noves finestres per a captar més llum solar...Canviem l'eficiència per complir una demanda però aquesta demanda depèn de l'habitatge en sí i no del tipus de caldera que tinguem.

## 7.5 Anàlisi d'amortitzacions

Per a avaluar el retorn de la inversió que ens generen les diferents solucions cal plantejar any a any quin són els consums, els estalvis i comparar els diferents sistemes. Si plantejem la situació actual, on disposem d'una caldera de gasoil d'uns quants anys i proposem geotèrmia o aerotèrmia amb els costos que hem calculat, la situació al cap de 50 anys seria la que veiem al Gràfic 8, calculada a l'Annex E.3.

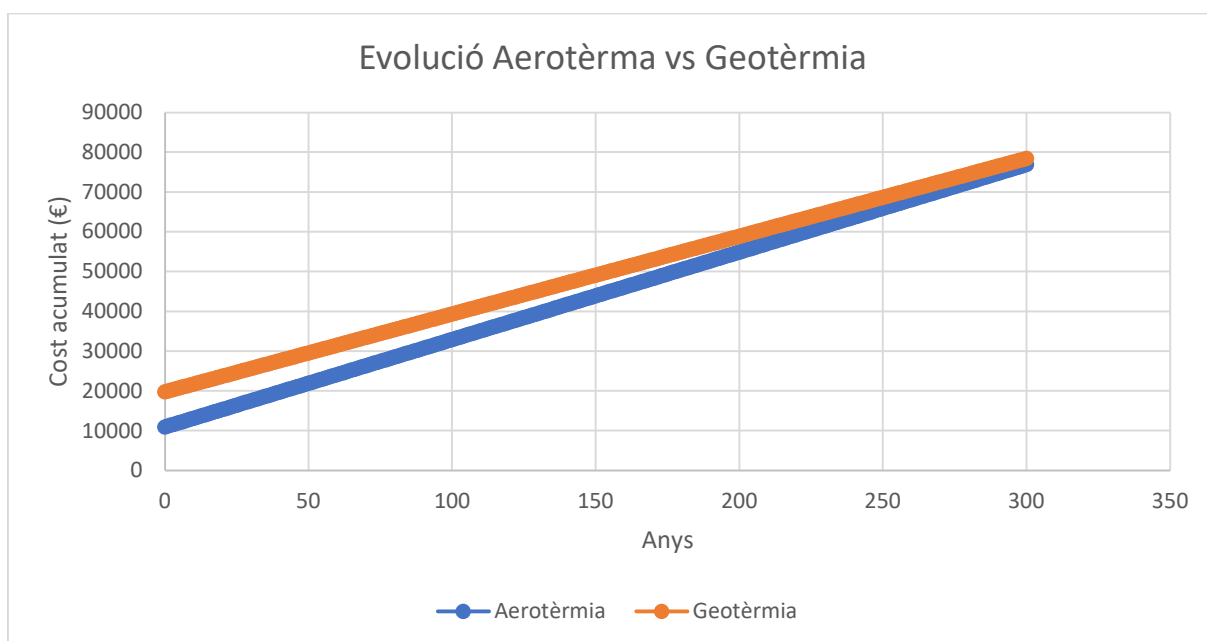


**Gràfic 8. Flux econòmic. Font: Elaboració pròpia.**

Veiem que l'amortització respecte l'actual calera és un període llarg, econòmicament parlant el canvi de sistema de climatització tarda a amortitzar-se, degut a que és un habitatge amb un consum baix. L'aerotèrmia tardaria entre 15 i 20 anys i la geotèrmia cap als 30. Cal tenir en compte també l'aspecte mediambiental que resulta molt important. Aquest període llarg

d'amortització es deu al baix consum de l'habitatge com he dit, un habitatge amb consums més elevats de calefacció reduiria notòriament aquest període, un habitatge de dues plantes, amb més d'un bany, etc... Un altre motiu és el fet d'utilitzar les bombes amb radiadors i no amb sistemes més eficients com fancoils o terra radiant per exemple. D'aquesta manera les bombes podrien treballar escalfant l'aigua a només 30 o 35°C i es veuria augmentada la seva eficiència i reduït el cost anual.

Si ens fixem només en els dos casos treballats, de cares a prendre una decisió al nostre territori entre instal·lar aerotèrmia o geotèrmia, veiem que per escollir la solució no hi ha debat. Degut al baix consum de l'habitatge i a la gran diferència de preu inicial, a un habitatge com aquest és molt més factible instal·lar un sistema que funcioni amb aerotèrmia. Si ens fixem en el gràfic Gràfic 9 elaborat a partir de la informació de l'Annex E.3, per a amortitzar una instal·lació geotèrmia davant una aerotèrmica com aquestes, tenint en compte els consums i l'eficiència es tardaria fins a 293 anys, o el que és equivalent, al cap d'haver consumit l'habitatge un total de 2.503.018 kWh aproximadament. Per tant fins que no hagi arribat aquest punt, la instal·lació geotèrmica no sortirà a compte econòmicament en comparació a l'aerotèrmica. L'estalvi que ens comporta en un clima com aquest la geotèrmia respecte l'aerotèrmia és insuficient per un habitatge com aquest, fer una inversió el doble de quantiosa per un estalvi tan petit fa que no surti a compte en un termini raonable de temps.



**Gràfic 9. Evolució estalvi aerotèrmia vs geotèrmia. Font: Elaboració pròpia.**

Aquest resultat en part era esperat, un dels motius de l'anàlisi era comparar el rendiment de cada un dels sistemes a una zona com la nostra, amb el nostre clima càlid. El fet que a l'hivern les temperatures més baixes siguin del voltant de 7°C significa que l'aerotèrmia no arriba a tenir mai un rendiment excessivament baix. En altres zones d'Espanya, on el clima és molt més



fred a l'hivern, l'aerotèrmia té una baixada d'eficiència força important respecte la geotèrmia que sempre funciona amb rendiment constant i és llavors quan la diferència de consum i per tant d'estalvi es nota. Als països nòrdics per exemple, on a l'hivern les temperatures són extremadament baixes i els estius són suaus, rarament hi trobaríem cap instal·lació aerotèrmica, el rendiment és massa baix i en certes temperatures negatives les unitats exteriors no poden funcionar o necessiten un excés d'energia elèctrica per combatre el fred exterior.

El mateix passa segons els consums, com major és el consum major és la rendibilitat de la instal·lació geotèrmica. Si la proposta treballada fos per una escola, un pavelló, un hospital, etc...D'una zona més al nord del país segurament veuríem una situació on la geotèrmia amb un període raonable d'anys sortiria més a compte que l'aerotèrmia, cal tenir en compte que l'augment de perforacions i sondes no incrementa proporcionalment la despesa, en el nostre cas fer un sol pou implica una despesa alta per la logística de la operació, com més sondejos i perforacions es fan més a compte per conceptes de maquinària i mà d'obra acaba sortint.

En el cas dels habitatges d'obra nova, quan cal decidir quin sistema instal·lar, és molt més ràpida l'amortització també de les bombes de calor enfront als sistemes tradicionals. Si comparéssim el cost d'instal·lar de zero tot un sistema format per qualsevol dels combustibles comentats, veuríem que tots són més barats que l'aerotèrmia i la geotèrmia, però als pocs anys de tenir un estalvi constant ja surten en compte. Posats a invertir 6.000€ aproximadament en una instal·lació de propà o de biomassa ens surt més rentable gastar 10.000€ en una bomba de calor aerotèrmica. En el cas del propà, com hem vist al Gràfic 5, amb 10 anys estalviem uns 6.000€, per tant aquest és un dels motius pels quals als habitatges nous, en la majoria de casos, s'opta per bombes de calor.

## **7.6 Estudi d'un sistema fotovoltaic addicional**

Tot i que en un principi els clients havien mostrat interès per afegir plaques fotovoltaïques al projecte finalment s'ha exclòs pel que suposava el cost addicional a dia d'avui, no els interessava realitzar una despesa més elevada del compte i volien concentrar-se només la reforma del sistema de clima. Tot i així farem un petit anàlisi de com de diferent seria el rendiment i el cost amb una instal·lació fotovoltaica donant suport a les bombes de calor. D'aquesta manera ens podem fer una idea de com canviarien els costos i els consums.

L'habitatge, fixant-nos amb les últimes factures de llum, ha tingut un consum total de 3536 kWh elèctrics l'últim any. Si li afegim la despesa energètica de les dues bombes de calor el següent any, sempre de forma estimada, el consum total de l'habitatge seria el de la Taula 18.

AEROTÈRMIA		GEOTÈRMIA	
Consum habitatge (kWh)	3536	Consum habitatge (kWh)	3536
Consum calefacció(kWh)	2315,06	Consum calefacció(kWh)	2066,2
Consum ACS (kWh)	574,17	Consum ACS (kWh)	559,48
Consum total (kWh)	6425,23	Consum total (kWh)	6161,68

**Taula 18. Consums elèctrics en les dues situacions. Font: Elaboració pròpia.**

Com és un habitatge unifamiliar amb uns consums relativament baixos, hi dimensionarem una instal·lació de 3 kWp i un inversor per tant de 3 kW nominals. Amb habitatges com aquest és una mesura acceptable, posar més potència significaria sobredimensionar la instal·lació fotovoltaica. Tot això ho fem només per a que el client tingui una idea de com canviaria el consum de les bombes de calor amb una instal·lació d'aquesta mida. Segons diferents preus de mercat considerarem que una instal·lació com aquesta està al voltant dels 1,25€/Wp i que per tant puja a 3.750€, aquest preu caldria estudiar-lo amb molt més detall si el client estigués interessat.

Una altra aproximació que realitzem és la del percentatge de l'autoconsum. Després d'haver llegit diverses situacions i analitzat experiències reals d'empreses del sector podem afirmar que, d'entrada, el nivell d'autoconsum d'un habitatge unifamiliar corrent està entre el 35% i el 50%. És la quantitat d'energia solar que els consumidors solen auto consumir, la resta la tornen a la xarxa en forma d'excedent. Com la majoria de gent els matins i durant el dia són fora per feina o diversos motius rarament els habitatges unifamiliars tenen alts consums durant aquestes hores i solen aprofitar una mica menys de la meitat de l'energia. Aquest autoconsum es pot augmentar canviant els hàbits de consum i activant certs electrodomèstics en hores de sol i no a la nit, és un percentatge que el mateix consumidor pot jugar amb ell.

Amb l'ajuda del programa PVGIS, introduïm les dades de l'habitatge i la teulada on posaríem les plaques i obtenim la producció anual d'aquestes plaques, la qual és de 4173,97 kWh (Annex F.1). Tot i que pugui semblar que amb aquesta potència cobrim pràcticament tota la demanda de l'habitatge això no és així, cal tenir en compte les hores de producció solar i les hores de consum de l'habitatge, és per això que suposem que l'autoconsum serà d'un 50%, és un valor freqüent en aquest àmbit. Per a saber l'autoconsum amb molta precisió ens caldria disposar de les dades de consum de l'habitatge hora a hora d'un any sencer. Llavors podríem representar la producció solar hora a hora i complementar-ho amb els consums hora a hora, seria la manera de veure l'autoconsum exacte. Una altra manera d'augmentar aquest autoconsum també seria instal·lar una bateria o altres sistemes d'aprofitament dels excedents, però no és el motiu d'estudi que hem vingut a analitzar i encariria excessivament el pressupost, a dia d'avui les bateries domèstiques encara resulten cares i de llarga amortització.

Dit tot això l'autoconsum de l'habitatge seria el 50% de 4173,97 kWh, que són 2086,99 kWh. Considerarem que l'energia fotovoltaica es reparteix de manera igualitària entre el consum de

calefacció, el consums d'ACS i el consum de la resta de l'habitatge, és a dir, de manera proporcional. El fet d'estalviar 2086,99 kWh significa que la instal·lació et dona una autosuficiència al voltant del 32-33% (segons aerotèrmia o geotèrmia), considerem doncs que per a cada un dels consums l'energia fotovoltaica ens n'aporta aquest % d'autosuficiència. A la s'hi veu el resum de dades que estic explicant.

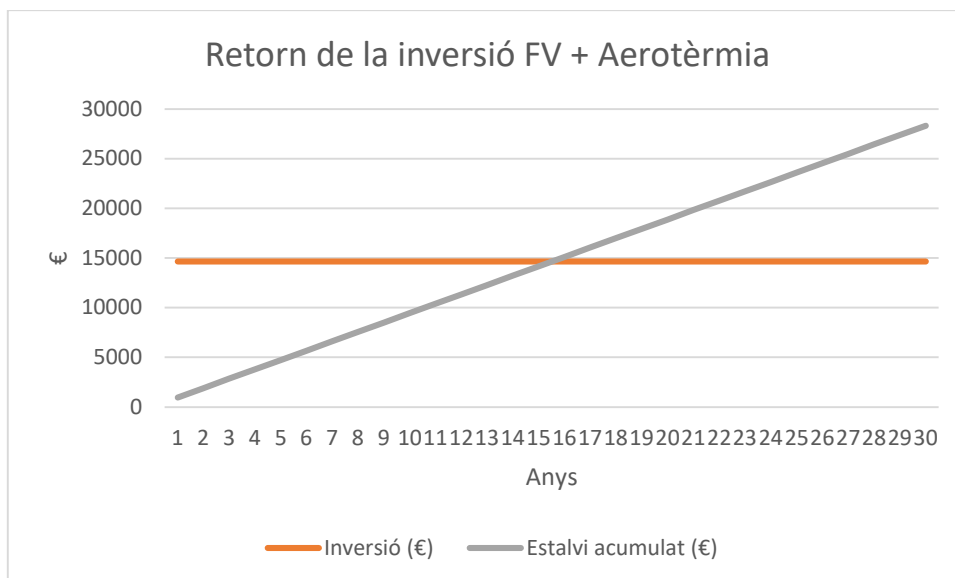
AEROTÈRMIA		GEOTÈRMIA	
Consum TOTAL (kWh)	6425,23	Consum TOTAL (kWh)	6161,68
Producció fotovoltaica (kWh)	2089,99	Producció fotovoltaica (kWh)	2086,99
Consum Corregit (kWh)	4335,24	Consum Corregit (kWh)	4074,69
% Autosuficiència	32,53	% Autosuficiència	33,87
Consum corregit habitatge (kWh)	2385,81	Consum corregit habitatge (kWh)	2338,34
Consum corregit calefacció (kWh)	1562,02	Consum corregit calefacció (kWh)	1366,37
Consum corregit calefacció (kWh)	387,40	Consum corregit calefacció (kWh)	369,98
Consum Aerotèrmia corregit (kWh)	1949,43	Consum Geotèrmia corregit (kWh)	1736,35

**Taula 19. Consums corregits. Font: Elaboració pròpia.**

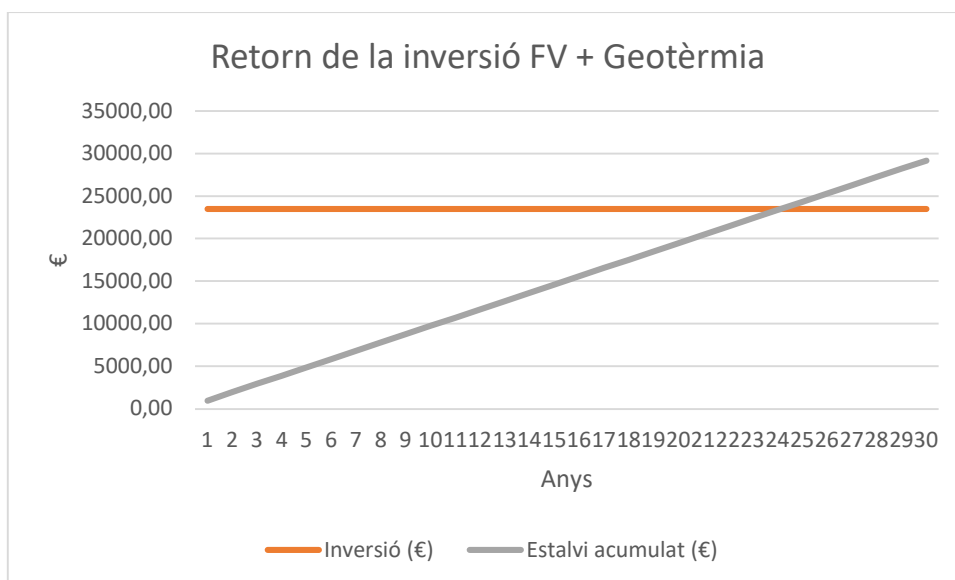
El consum total de aerotèrmia i geotèrmia es veuria reduït respectivament un 32,53% i un 33,87%, el que significa que la geotèrmia necessitaria ara 1736,35 kWh anuals i l'aerotèrmia 1949,43 kWh anuals. A l'Annex F.2 es realitzen tots els càlculs necessaris per a comprovar la diferència de costos i d'estalvi entre les diferents situacions. El resum després dels càlculs corresponents és el següent:

	AEROTÈRMIA	GEOTÈRMIA
<b>Cost anual ACTUAL (€)</b>	1318,50	1318,50
<b>Cost anual amb BC (€)</b>	716,35	686,21
<b>Cost anual amb BC + FV (€)</b>	374,36	345,58
<b>Inversió FV (€)</b>	3750,00	3750,00
<b>Inversió FV + BC (€)</b>	14672,37	23513,84
<b>Amortització BC (anys)</b>	18,14	31,26
<b>Amortització FV (anys)</b>	10,97	11,01
<b>Amortització FV + BC (anys)</b>	15,54	24,17

**Taula 20. Estudi de costos per a les diferents situacions. Font: Elaboració pròpia.**



**Gràfic 10. Retorn de la inversió Aerotèrmia + FV. Font: Elaboració pròpia.**



**Gràfic 11. Retorn de la inversió Geotèrmia + FV. Font: Elaboració pròpia.**

Tot i que la inversió òbviament augmenta, el fet de col·locar panells fotovoltaics genera un estalvi molt important, es pot dir que redueix en un percentatge important el cost de l'electricitat. I tot això amb una hipotètica instal·lació de 3 kWp. Tal i com es veu als gràfics, el temps d'amortització de la inversió total es veu reduït tot i que segueix essent un període llarg en el cas de la geotèrmia, realment surt molt car el fet de col·locar aquest tipus de tecnologia a un habitatge amb un consum baix i a un clima càlid. Veiem però que si ens interessa reduir encara més les despeses mensuals les plaques fotovoltaïques són una bona opció, i cada vegada més degut a la baixada de preus constant. Lo que fa uns anys era una tecnologia molt inaccessible, a dia d'avui és un recurs que molta gent està provant. Val a dir que el real decret

244/2019 de 5 d'abril va obrir la porta d'aquesta tecnologia a molta gent, el fet de poder compensar els excedents no utilitzats contribueix a augmentar l'estalvi.

Si més endavant el client mostra interès per integrar aquesta tecnologia a l'habitatge es realitzarà un estudi exhaustiu per trobar la millor solució possible.

## 7.7 Anàlisi d'una possible solució combinada

D'entrada s'havia comentat la possibilitat d'estudiar un sistema combinat entre aerotèrmia i geotèrmia que, segons el rendiment momentani de cada sistema, aquest escollís quin dels dos fer servir per optimitzar al màxim l'eficiència. D'entrada aquesta idea es va descartar pel gran encariment que suposa respecte la poca millora que ofereix però vistos els funcionaments de les bombes i els seus components la idea era complicada de dur a terme també.

Cal tenir en compte que la bomba aerotèrmica és aire-aigua i la bomba geotèrmica aigua-aigua, d'entrada es planteja una situació on no es poden combinar els sistemes en un mateix degut a la diferent tecnologia de cada un. Caldria plantejar una solució amb dues bombes independents però llavors caldria avaluar com connectar les dues amb el mateix circuit de calefacció. Una solució senzilla seria l'ús de vàlvules motoritzades de tres sortides, el mateix tipus de vàlvules que porten incorporades les bombes per a decidir si donar calor a l'acumulador per ACS o a la calefacció i que aquesta vàlvula decidís cap a on girar en funció del rendiment instantani que presentés cada bomba. És a dir, a més d'aquesta opció s'hauria de pensar un sistema mitjançant dos sensors elèctrics connectats que avaluessin la potència elèctrica que consumeix en cada moment cada bomba respecte la potència tèrmica que ofereixen i així activar la que ofereix un COP major en cada moment.

I seguint amb aquesta idea caldria posar un sol dipòsit acumulador també amb una vàlvula de tres vies motoritzada a l'entrada que separés una bomba de l'altra. Tot això suposant una idea d'instal·lació sense entrar en detalls per a tenir una idea de quin seria el funcionament. La realitat és que resulta molt ambigu per una eficiència poc superior.

Els costos, respecte els plantejats en aquest projecte, serien una mica diferent. Per una banda les bombes serien més econòmiques ja que no incorporarien acumulador d'ACS, d'alguns components externs en fariem prou amb una sola unitat i per tant es podria reduir el pressupost fet, la mà d'obra total també es podria veure reduir degut a la realització de les feines al mateix lloc els mateixos dies... Però per altra banda cal tenir en compte que cal incorporar alguns dels components que les bombes escollides portaven integrats, com l'acumulador va apart molts components ja no hi són inclosos, cal tenir en compte la necessitat de major espai a ocupar... Seria excessiu per un habitatge amb uns consums tant baixos. Tenint en compte el pressupost plantejat al document 5, tenim que el canvi de radiadors surt per

## Projecte de renovació de climatització d'un habitatge unifamiliar a Corçà

1.629,18€, la instal·lació aerotèrmica per 9.293,19€ i la instal·lació geotèrmica per 18.134,66€. Podríem arribar a arrodonir (sense entrar en cap detall concret) que la operació podria pujar com a mínim als 25.000€ més IVA (essent optimistes la veritat).

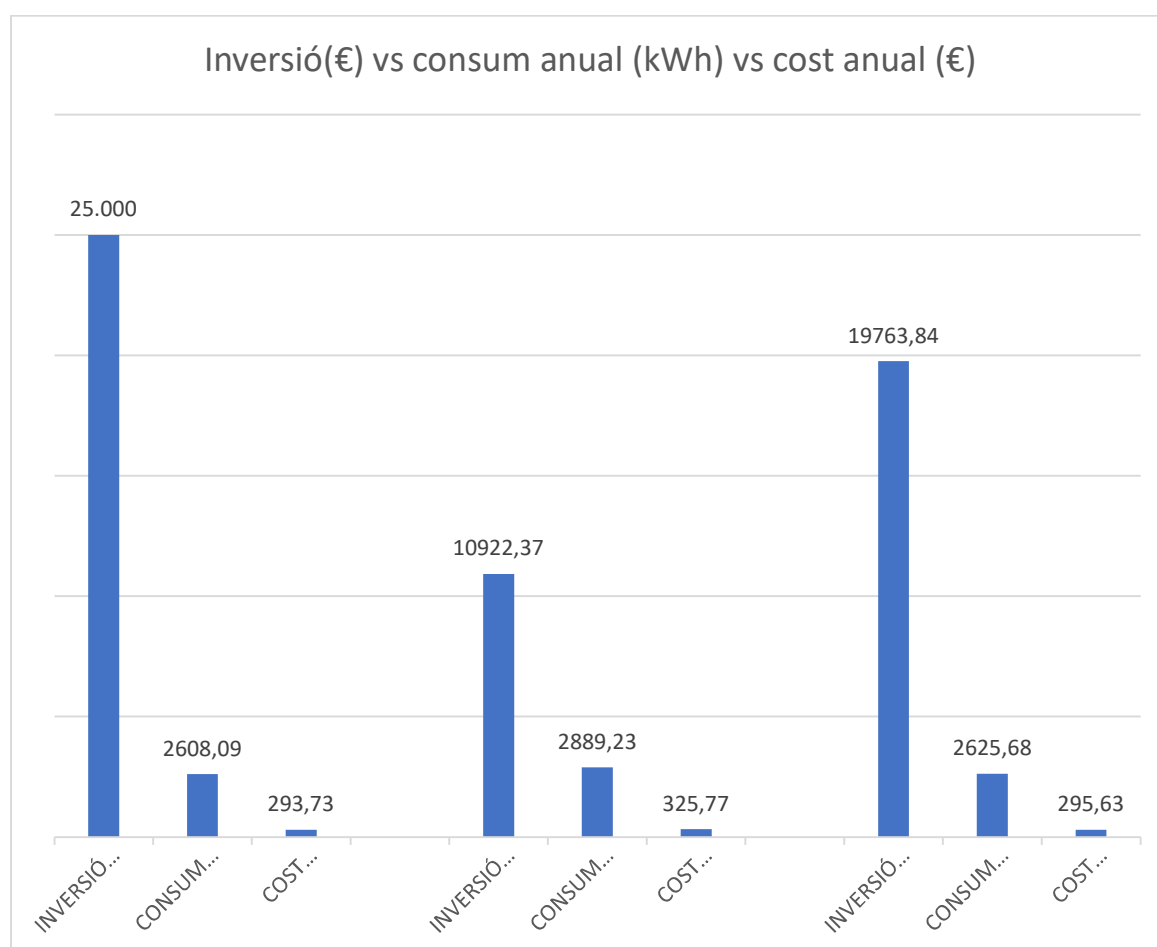
El rendiment general de la instal·lació seria el resultant de seleccionar el millor rendiment de les bombes anteriors cada mes. A la Taula 21 podem veure que el consum total de calefacció seria el mateix que en el cas de la geotèrmia ja que totes les èpoques de l'any és més eficient, i en el cas de l'ACS rebaixem en uns 18 kWh anuals el consum, veiem també com el cost és només d'uns 2€ menys que la geotèrmia. En definitiva, si ho comparem amb la geotèrmia estaríem invertit uns 6.000€ més per estalviar-nos 18kWh, en el cas de l'aerotèrmia estaríem invertit uns 15.000€ més per estalviar uns 200-300 kWh de calefacció i uns 35 kWh d'ACS, el període d'amortització al nostre habitatge seria excessivament elevat. Al Gràfic 12 podem veure la comparació de la inversió necessària en cada cas respecte el consum total en kWh i el consum anual en €, per a fer-nos una idea visual de com augmenta la inversió per a tant poc estalvi econòmic i energètic. A tot això cal tenir en compte que a lo millor les bombes escollides presentarien uns rendiments diferents, potser el cost total podria ser més econòmic...

En definitiva, davant la poca millor econòmica (contant uns 11 cèntims d'euro estalviats per cada kWh estalviat) respecte l'augment de la inversió a realitzar és una solució que no surt a compte en les condicions d'aquest habitatge.

Seria una bona opció per edificis amb alts consums durant tot l'any, proposar la idea de col·locar una bomba geotèrmica per a calefacció, refrigeració i ACS a l'hivern amb el suport d'una petita bomba aerotèrmica per a la generació d'ACS els estius. Si es tracta per exemple d'un hotel o un edifici amb vestidors i dutxes es podria arribar a amortitzar als pocs anys la millora de rendiment de l'aerotèrmia a l'estiu per generar ACS. Caldria una forta demanda d'ACS els estius i estudiar bé les potències de cada sistema i la instal·lació a realitzar, la qual cosa no era l'objecte d'aquest projecte.

SISTEMA COMBINAT	COP Calefacció	COP ACS	Demanda calefacció (kWh)	Demanda ACS (kWh)	Consum Calefacció (kWh)	Consum ACS (kWh)	Cost kWh (€/kWh)	Cost anual (€)
GENER	3,32	2,99	1608,76	156,9	484,57	52,47	0,1289	69,22
FEBRER	3,32	2,99	1226,13	138,99	369,32	46,48	0,1194	49,65
MARÇ	3,32	2,99	945,48	150,85	284,78	50,45	0,1138	38,15
ABRIL	3,32	2,99	566,06	143,32	170,50	47,93	0,1153	25,19
MAIG	-	3,06	-	139,01	-	45,43	0,1109	5,04
JUNY	-	3,24	-	128,67	-	39,71	0,1084	4,30
JULIOL	-	3,37	-	123,87	-	36,76	0,1125	4,14
AGOST	-	3,36	-	126,9	-	37,77	0,1057	3,99
SETEMBRE	-	3,24	-	125,73	-	38,81	0,1018	3,95
OCTUBRE	-	3,03	-	138,74	-	45,79	0,1085	4,97
NOVEMBRE	3,32	2,99	997,97	145,98	300,59	48,82	0,1047	36,58
DESEMBRE	3,32	2,99	1515,38	153,88	456,44	51,46	0,0956	48,56
					2066,20	541,89		293,73

Taula 21. Consums i costos combinant els sistemes. Font: Elaboració pròpia.



Gràfic 12. Comparació entre inversió, consum i cost en totes les situacions (combinant, aerotèrmia i geotèrmia d'esquerra a dreta). Font: Elaboració pròpia.

## 8 CONCLUSIONS

Després d'haver plantejat les dues propostes per separat i haver analitzat l'impacte que tindria cadascuna donades les característiques de l'habitatge podem treure una sèrie de conclusions.

Amb la instal·lació de qualsevol dels dos sistemes l'habitatge reduirà considerablement el consum energètic, les despeses en calefacció i ACS i com farà servir una quantitat important d'energia renovable reduirà molt les emissions de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera. A l'apartat 7 hem pogut veure tots aquests estalvis, el client aconseguiria els objectius proposats quan es va plantejar el projecte.

Per altra banda però, degut a la inversió que suposa, el temps d'amortització és llarg. En aquest cas però hi ha una sèrie de factors que fan que l'amortització sigui llarga per aquest habitatge concret. Els principals culpables són els consums baixos de l'habitatge i el fet de realitzar la instal·lació amb radiadors com havia demanat el client. Hem pogut veure com instal·lant panells fotovoltaics que donin energia a la bomba per reduir encara més el consum elèctric, l'estalvi encara seria major i per tant els temps d'amortització serien menors, la inversió inicial augmentaria això sí.

Si el client estigués interessat en reduir els temps d'amortització, la millor solució seria plantejar un sistema que funcioni a 30/35°C en comptes de 55°C, augmentaria el rendiment de la bomba i l'estalvi seria força superior. Caldria en tot cas fer un càlcul del nou sistema però al ser necessàries obres per a canviar el sistema de calefacció la inversió seria major, per això no s'ha plantejat aquesta proposta. Les opcions més usades al mercat són el terra radiant i els fancoils.

Per altra banda, davant la incertesa de si instal·lar una bomba geotèrmica o una bomba aerotèrmica, amb tot el plantejat al llarg del projecte hem pogut veure com la opció més econòmica a un clima com el mediterrani és la opció de l'aerotèrmia. Tot i que la geotèrmia és més eficient i és el sistema que més redueix els consums, els costos i les emissions la diferència de preu no surt a compte en un termini raonable de temps. La realitat a dia d'avui a un habitatge com aquest és que podent triar la opció més correcte és l'aerotèrmia. Com s'ha comentat durant el projecte, la geotèrmia sortiria a compte a un habitatge gran amb un consum molt elevat tant d'ACS com de calefacció, o en una zona més freda on als hiverns l'aerotèrmia no sortís a compte. Queda demostrar que en condicions mediterrànies per un habitatge unifamiliar amb consums baixos la opció qualitat eficiència-econòmica és l'aerotèrmia.





## 9 BIBLIOGRAFIA

- Ministeri de Foment. Document Bàsic HE d'Estalvi Energètic. Recuperat de: [https://www.apabcn.cat/Documentacio/areatecnica/legislacio/CTE\\_DB\\_HE.pdf](https://www.apabcn.cat/Documentacio/areatecnica/legislacio/CTE_DB_HE.pdf)
- AFEC (Asociación de Fabricantes de Equipos de Climatización). Funcionamiento de las Bombas de Calor Aerotérmicas. Recuperat de: <https://www.bombadecolor.org/noticias/funcionamiento-de-las-bombas-de-calor-aerotermicas>
- Tarifas Gas Luz. PVPC: Tarifa de la luz por horas con y sin discriminación horària. Recuperat de: <https://tarifasgasluz.com/comparador/pvpc>
  - Hitachi. Aire acondicionado y sistemas de climatización. Recuperat de: <https://www.hitachiaircon.es>
  - Clausius. Bombas de calor. Recuperat de: <https://www.clausius.es/>
  - CTE. Materiales. Recuperat de: <http://cte-web.iccl.es/materiales.php?a=23>
  - Ferro Systems. Sistema de Geotermia Ferroterm. Recuperat de: [http://www.ferrosystems.com/opencms/export/sites/ferrosystems/galeria\\_descarga/productos/10geotermia/Cat\\_Tec\\_Sistema\\_Geotermia\\_FERROTERM.pdf](http://www.ferrosystems.com/opencms/export/sites/ferrosystems/galeria_descarga/productos/10geotermia/Cat_Tec_Sistema_Geotermia_FERROTERM.pdf)
  - Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). Recuperat de: <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>
  - IDAE. Guia Técnica: Diseño de sistemas de intercambio geotérmico de circuito cerrado. Recuperat de: [https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_14\\_Guia\\_tecnica\\_diseño\\_de\\_sistemas\\_de\\_intercambio\\_geotermico\\_de\\_circuito\\_cerrado\\_1d03dco8.pdf](https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_14_Guia_tecnica_diseño_de_sistemas_de_intercambio_geotermico_de_circuito_cerrado_1d03dco8.pdf)
  - IDAE. Prestaciones medias estacionales de las bombas de calor para producción de calor en edificios. Recuperat de: [https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Reconocidos/Otros%20documentos/Prestaciones\\_Medias\\_Estacionales.pdf](https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Reconocidos/Otros%20documentos/Prestaciones_Medias_Estacionales.pdf)
  - IDAE. Factores de emisión de CO2. Recuperat de: [https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Reconocidos/Otros%20documentos/Factores\\_emision\\_CO2.pdf](https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Reconocidos/Otros%20documentos/Factores_emision_CO2.pdf)
  - Geotermia Vertical Instalaciones. Recuperat de: <https://www.geotermiavertical.es/>
  - IGME. Instituto Geológico y Minero de España. Recuperat de: <http://info.igme.es/cartografiadigital/sidimagenes/magna/20334/Informe%20conjunto/Sondeos/Sondeos.pdf>

- Ministerio de Fomento. Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de Energía. Recuperat de: <http://www.apici.es/wp-download/legislacion/CTE/DA-DB-HE-1 - Calculo de parametros caracteristicos.pdf>
- Ferroli. Recuperat de: <https://www.ferroli.com/es>
- Saneamientos Dimasa. Instalación Radiadores con Baja Temperatura. Recuperat de:  
<https://www.saneamientosdimasa.es/descargas/RADIADORES%20BAJA%20TEMPERATURA.pdf>
  - Enertres. Geotermia. Recuperat de: <https://enertres.com/geotermia/>
  - Aetess. El subsuelo como fuente de energía. Instalaciones geotérmicas. Recuperat de:  
[http://aetess.com/wp-content/uploads/Carlos\\_Lopez\\_Jimeno\\_GEOTERMIA.pdf](http://aetess.com/wp-content/uploads/Carlos_Lopez_Jimeno_GEOTERMIA.pdf)

## II. ANNEXOS

### ANNEX A – DEMANDA ENERGÈTICA DE L'HABITATGE

#### A.1 – Càlculs per a la demanda d'ACS

Per a calcular la potència necessària per a escalfar l'aigua sanitària primer de tot cal saber quina quantitat d'aigua es gasta. Per a això em baso en el document bàsic d'estalvi energètic "DB-HE 4" del codi tècnic d'edificació (CTE). Aquest document és el document bàsic d'estalvi d'energia del ministeri de foment d'Espanya. El capítol HE4 que m'ajudarà al llarg del projecte explica la contribució mínima d'energia renovable que han de tenir a dia d'avui tots els nous sistemes d'ACS, ja sigui amb una bomba de calor aerotèrmica o geotèrmica o bé amb panells solars tèrmics, la qüestió és que depenen de diferents factors cal que un mínim de l'energia utilitzada per a produir ACS sigui d'origen renovable.

En aquest document s'hi marca la zona climàtica de totes les ciutats sabent la seva altitud respecte el nivell del mar i la seva província (d'aquí sabem que Corçà pertany a la zona climàtica C2 com havia comentat a la memòria).

Per a saber la quantitat d'ACS estimada necessària cal mirar l'annex F d'aquest document (Figura 35).

- 1 La demanda de referencia de ACS para edificios de uso residencial privado se obtendrá considerando unas necesidades de 28 litros/día·persona (a 60°C), una ocupación al menos igual a la mínima establecida en la tabla a-Anejo F y, en el caso de viviendas multifamiliares, un factor de centralización de acuerdo a la tabla b-Anejo F, incrementadas de acuerdo con las pérdidas térmicas por distribución, acumulación y recirculación.

Tabla a-Anejo F. Valores mínimos de ocupación de cálculo en uso residencial privado

Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	≥6
Número de Personas	1,5	3	4	5	6	6	7

Figura 35. Annex F del document HE4. Font: Document bàsic DB-HE

Així doncs, tot i que l'habitatge disposa de 3 dormitoris, es té en compte que a l'habitatge hi resideixen actualment dues persones i que temporalment n'hi poden arribar a viure tres. La demanda d'ACS a 60° és doncs de 84 litres diaris durant tots els mesos de l'any. Es considera que durant tot l'any l'ACS s'utilitza en la mateixa quantitat per al càlcul. La realitat és que a l'estiu la temperatura que necessita l'ACS és menor degut a que la gent tendeix a dutxar-se amb aigua més freda, però per al nostre càlcul considerem similituds per a tot l'any.

Sabent la temperatura a la que volem escalfar l'ACS cal saber a quina temperatura es troba l'aigua a la xarxa cada mes de l'any per d'aquesta manera calcular la potència necessària.

Aquesta informació la podem trobar al mateix document, l'annex G ens mostra la temperatura mitja mensual de l'aigua de subministrament provinent de la xarxa per a cada

capital de província (Figura 36). Ens fixem amb la de Girona i la corregim segons la fórmula que ens dona el mateix annex del document.

**Tabla a-Anejo G. Temperatura diaria media mensual de agua fría (°C)**

Capital de provincia	Altitud	EN	FE	MA	AB	MY	JN	JL	AG	SE	OC	NO	DI
A Coruña	26	10	10	11	12	13	14	16	16	15	14	12	11
Albacete	686	7	8	9	11	14	17	19	19	17	13	9	7
Alicante/Alacant	8	11	12	13	14	16	18	20	20	19	16	13	12
Almería	16	12	12	13	14	16	18	20	21	19	17	14	12
Ávila	1131	6	6	7	9	11	14	17	16	14	11	8	6
Badajoz	186	9	10	11	13	15	18	20	20	18	15	12	9
Barcelona	12	9	10	11	12	14	17	19	19	17	15	12	10
Bilbao/Bilbo	6	9	10	10	11	13	15	17	17	16	14	11	10
Burgos	929	5	6	7	9	11	13	16	16	14	11	7	6
Cáceres	459	9	10	11	12	14	18	21	20	19	15	11	9
Cádiz	14	12	12	13	14	16	18	19	20	19	17	14	12
Castellón/Castelló	27	10	11	12	13	15	18	19	20	18	16	12	11
Ceuta	40	11	11	12	13	14	16	18	18	17	15	13	12
Ciudad Real	628	7	8	10	11	14	17	20	20	17	13	10	7
Córdoba	106	10	11	12	14	16	19	21	21	19	16	12	10
Girona	70	8	9	10	11	14	16	19	18	17	14	10	9
Granada	685	7	8	9	11	14	17	20	19	17	14	11	8
Guadalajara	685	7	8	9	11	14	17	19	19	16	13	9	7

**Figura 36. Temperatura mitjana mensual de l'aigua provinent de la xarxa. Font: Document bàsic DB-HE.**

- 2 Para localidades distintas a las recogidas en la tabla a-Anejo G se podrá obtener la temperatura del agua fría de red ( $T_{AFY}$ ) mediante la siguiente expresión:

$$T_{AFY} = T_{AFCP} - B \cdot A_z$$

donde:

$T_{AFCP}$  es la temperatura media mensual de agua fría de la capital de provincia, obtenida de la tabla a-Anejo G;

$B$  es un coeficiente de valor 0,0066 para los meses de octubre a marzo y 0,0033 para los meses de abril a septiembre;

$A_z$  es la diferencia entre la altitud de la localidad y la de su capital de provincia

( $A_z = \text{Altitudlocalidad} - \text{Altitudcapital}$ ).

Com s'ha comentat a la memòria, a la descripció de l'entorn, Corçà es troba a 43 metres sobre el nivell del mar mentre que Girona es troba a 70 metres. El valor  $A_z$  agafa el valor de:

$$A_z = \text{AltitudCorçà} - \text{AltitudGirona} = 43 - 70 = -27$$

Si apliquem la fórmula als valors de tots els mesos ens obtenim:

TEMP. XARXA	GEN	FEB	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DES
°C	8,18	9,18	10,18	11,09	14,09	16,09	19,09	18,09	17,09	14,18	10,18	9,18

**Taula 22. Temperatura mitjana mensual corregida de l'aigua de la xarxa a Corçà. Font: Elaboració pròpia.**

## Projecte de renovació de climatització d'un habitatge unifamiliar a Corçà

Sabent la temperatura a la que l'aigua ve de la xarxa i la temperatura d'ús que li donarem només cal saber la quantitat de litres a 60°C necessaris cada mes.

$$\text{Quantitat aigua (28)} = \text{Dies} \times \text{Litres diàris} = 28 \times 84 = 2352 \text{ litres}$$

$$\text{Quantitat aigua (30)} = \text{Dies} \times \text{Litres diàris} = 30 \times 84 = 2520 \text{ litres}$$

$$\text{Quantitat aigua (31)} = \text{Dies} \times \text{Litres diàris} = 31 \times 84 = 2604 \text{ litres}$$

Així doncs els mesos de 30 dies són necessaris 2520 litres, els mesos de 31 dies 2604 litres i el mes de febrer 2352 litres.

Finalment les necessitats energètiques per a augmentar la temperatura de la temperatura de la xarxa als 60°C que necessitem es calculen amb el primer principi de la termodinàmica:

$$Q = m \times C_e \times \Delta T$$

On:

Q = Energia transferida per a l'escalfament de l'aigua (J)

m = massa de l'aigua (kg)

C<sub>e</sub> = Calor específic de l'aigua ( $4186 \frac{J}{kg \times ^\circ C}$ )

ΔT = Variació de temperatura entre l'aigua de la xarxa i l'ACS de l'habitatge

Per a passar el cabal en litres d'aigua mensual a la massa en quilograms caldrà utilitzar la densitat de l'aigua:

$$m \text{ (kg)} = q \text{ (L)} \times \rho \left( \frac{kg}{L} \right)$$

On ρ que és la densitat de l'aigua té un valor de  $1 \frac{kg}{L}$ , així que en aquest cas la massa en litres es manté en quilograms.

De la primera llei de la termodinàmica obtenim l'energia necessària en joules (J), posteriorment caldrà passar-la a kilowatts hora (kWh). Per a fer-ho serà necessari un simple factor de conversió:

$$\text{Energia (J)} = \text{Potència (W)} \times \text{Temps (segons)}$$

$$\text{Energia (J)} = \text{Potència (kW)} \times \text{Temps (hores)} \times 3600000$$

$$\text{Energia (kWh)} = \frac{\text{Energia(J)}}{3600000}$$

Finalment la potència nominal en kW l'obtindríem de dividir el resultat per les hores d'un any, que són 8760.

A la Taula 23 es pot veure els valors de la potència total per a escalfar l'ACS de l'habitatge per a un any natural sencer.

	DIES	QUANTITAT ACS MENSUAL (kg)	CALOR ESPECÍFIC (J/(kg x °C))	TEMPERATURA ACS (°C)	TEMPERATURA AIGUA XARXA (°C)	ENERGIA (J)	ENERGIA (kWh)
GENER	31	2604	4186	60	8,18	564855826,08	156,90
FEBRER	28	2352	4186	60	9,18	500346887,04	138,99
MARÇ	31	2604	4186	60	10,18	543055138,08	150,85
ABRIL	30	2520	4186	60	11,09	515937895,20	143,32
MAIG	31	2604	4186	60	14,09	500434793,04	139,01
JUNY	30	2520	4186	60	16,09	463194295,20	128,67
JULIOL	31	2604	4186	60	19,09	445933073,04	123,87
AGOST	31	2604	4186	60	18,09	456833417,04	126,90
SETEMBRE	30	2520	4186	60	17,09	452645575,20	125,73
OCTUBRE	31	2604	4186	60	14,18	499453762,08	138,74
NOVEMBRE	30	2520	4186	60	10,18	525537230,40	145,98
DESEMBRE	31	2604	4186	60	9,18	553955482,08	153,88
						<b>DEMANDA ENERGÈTICA</b>	<b>1672,83</b>

**Taula 23. Demanda energètica per escalfar ACS. Font: Elaboració pròpia.**

La Demanda energètica d'un any sencer per a escalfar l'ACS de l'habitatge és de 1672,83 kWh. Per a fer una estimació de la càrrega pic necessària ens hem de posar en el pitjor moment de l'any en una situació de alta demanda. El mes de l'any que més energia cal per a escalfar l'aigua és al mes de Gener ja que és quan la temperatura de l'aigua de xarxa és més freda. A l'instal·lació a realitzar s'hi incorporarà un acumulador d'ACS, suposem doncs que quan un membre o dos membres de l'habitatge s'acaben de dutxar i gasten de cop 100 litres d'aigua (més dels que haurien de correspondre). El dipòsit doncs necessitarà potència per a escalfar aquests 100 litres de 8,18°C a 60°C en el mínim temps possible, diem que una hora. Aquesta potència pic nominal serà:

$$Potència (kW) = \frac{Energia (J)}{Temps (hores) \times 3600000}$$

$$Potència (kW) = \frac{\left( m (kg) \times C_e \left( \frac{J}{kg \cdot ^\circ C} \right) \times \Delta T (^\circ C) \right)}{1 \text{ hora} \times 3600000}$$

$$Potència (kW) = \frac{100 \times 4186 \times 51,82}{3600000} = 6,03 \text{ kW}$$

La càrrega de potència necessària per a escalfar l'ACS es considerarà de 6,03 kW, la qual és la necessària per escalfar 100 litres d'aigua el mes de Gener en 1 hora. És un valor molt variable però i quan dimensionem la bomba de calor ens assegurarem que tingui una potència més que suficient per poder abastir aquesta necessitat.

## **A.2 – Càlculs per a la demanda de calefacció**

Per al càlcul de la demanda energètica de calefacció el càlcul és més complex i cal tenir en compte diversos aspectes: cal tenir en compte totes les càrregues tèrmiques que les diferents habitacions reben. Les càrregues a calcular són més importants són:

- Càrregues per transmitància tèrmica
- Càrregues per ventilació i/o infiltració
- Càrregues per radiació solar

Hi ha una sèrie de càrregues que no he anomenat que més endavant explicaré que signifiquen i perquè no s'ha considerat.

### ***A.2.1 - Càrregues per transmissió***

Les càrregues per transmissió són les pèrdues que es generen a través dels diferents tancaments, murs i finestres d'una estància. En un habitatge com el nostre aquestes pèrdues es generen a través dels murs exteriors, del terra, del sostre (teulada) i de les finestres. En el cas de les habitacions en contacte amb el garatge també cal tenir en compte les pèrdues a través de la partició que els separa.

L'equació per a calcular aquestes pèrdues és:

$$Q(W) = U \left( \frac{W}{m^2 \times ^\circ C} \right) \times S(m^2) \times \Delta T(^{\circ}C)$$

On:

Q = Càrrega de transmissió

U = Transmissió tèrmica del tancament

S = Superfície del tancament

$\Delta T$  = Diferència de temperatura entre l'interior i l'exterior

El que cal determinar són les transmissió tèrmiques de cada un dels tancaments. Aquesta transmissió és un valor que depèn de cada composició de materials, per al seu càlcul em baso en el document HE d'estalvi energètic.



L'equació de càlcul és:

$$U \left( \frac{W}{m^2x^{\circ}C} \right) = 1/Rt \left( \frac{m^2^{\circ}C}{W} \right)$$

On:

$U$  = Transmissió tèrmica del tancament

$Rt$  = Resistència tèrmica del tancament

La resistència tèrmica de cada tancament està formada pel sumatori de les resistències de tots els elements de cada tancament, incloent-hi les resistències amb l'interior i l'exterior:

$$Rt = Rsi + R1 + R2 + R3 + \dots + Rsi + Rse$$

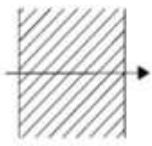


On:

$Rt$  = Resistència tèrmica total del tancament

$R1, R2, \dots$  = Resistència tèrmica dels diferents elements

$Rsi, Rse$  = Resistència tèrmica amb l'interior i l'exterior, respectivament

Les resistències tèrmiques amb l'interior i/o exterior venen donades per taules segons el document HE, cal aplicar els següents valors en funció la posició dels tancaments i la direcció del flux de calor.

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

**Figura 37. Valors de les resistències tèrmiques  $R_{se}$  i  $R_{si}$  segons el tipus de tancament. Font: Document bàsic DB-HE.**

Per altra banda, per al càlcul de les resistències dels diferents materials cal aplicar:

$$R \left( \frac{m^2K}{W} \right) = e(m) / \lambda \left( \frac{W}{mK} \right)$$

On:

R= Resistència tèrmica

e = Gruix o espessor de la capa de material

$\lambda$  = Conductivitat tèrmica del material

El que necessitem és saber doncs els gruixos de tots els materials que formen els tancaments i la conductivitat tèrmica, aquest últim valor es troba cercant al catàleg de materials del CTE.

Ens centrem primer en el càlcul dels murs exteriors, la composició dels quals s'ha explicat durant la descripció de l'habitatge, si busquem les conductivitats de les diferents capes i apliquem el càlcul de les resistències tèrmiques obtenim:

TRANSMITÀNCIA TÈRMICA DELS MURS EXTERIORS				
COMPONENT	ESPESSOR (m)	CONDUCTIVITAT TÈRMICA (W/m2K)	RESISTÈNCIA TÈRMICA (m2K/W)	TRANSMITÀNCIA TÈRMICA (W/m2K)
Formigó remolinat	0,01	1,35	0,01	0,93
Totxo	0,15	0,8	0,19	
Càmara aire no ventilada	0,1	0,16	0,63	
Maó buit	0,04	0,55	0,07	
Guix	0,01	0,56	0,02	
Rse			0,04	
Rsi			0,13	

**Taula 24. Transmissió tèrmica dels murs exteriors. Font: Elaboració pròpia.**

La transmissió tèrmica dels murs exteriors és:

$$Um_{ext} = 0,93 \frac{W}{m^2K}$$

A continuació calculem també la transmissió tèrmica del terra i la transmissió tèrmica del sostre. A les taules a continuació s'hi fan els mateixos càlculs que amb els murs exteriors mostrant la seva composició de gruixos i materials, les quals no havia comentat anteriorment.

TRANSMITÀNCIA TÈRMICA DEL TERRA				
COMPONENT	ESPESOR (m)	CONDUCTIVITAT TÈRMICA (W/m <sup>2</sup> K)	RESISTÈNCIA TÈRMICA (m <sup>2</sup> K/W)	TRANSMITÀNCIA TÈRMICA (W/m <sup>2</sup> K)
Gres	0,05	2,3	0,02	0,65
Ciment	0,07	1	0,07	
XPS	0,04	0,042	0,95	
Formigó	0,2	2,5	0,08	
Sorra i grava	0,5	2	0,25	
Rsi			0,17	

**Taula 25. Trnasmitància tèrmia del terra. Font: Elaboració pròpia.**

En el cas del terra no es té en compte la resistència amb l'exterior ja que no hi està directament en contacte. La seva transmitància tèrmica és de:

$$U_{terra} = 0,65 \frac{W}{m^2K}$$

TRANSMITÀNCIA TÈRMICA DE LA TEULADA				
COMPONENT	ESPESOR (m)	CONDUCTIVITAT TÈRMICA (W/m <sup>2</sup> K)	RESISTÈNCIA TÈRMICA (m <sup>2</sup> K/W)	TRANSMITÀNCIA TÈRMICA (W/m <sup>2</sup> K)
Teules de fang	0,015	1	0,02	0,51
Poliestirè extruït XPS	0,05	0,042	1,19	
Morter	0,2	0,8	0,25	
Taulers ceràmics	0,05	0,29	0,17	
Maons	0,15	0,8	0,19	
Rse			0,04	
Rsi			0,10	

**Taula 26. Transmitància tèrmica de la teulada. Font: Elaboració pròpia.**

La transmitància tèrmica de la teulada és de :

$$U_{teulada} = 0,51 \frac{W}{m^2K}$$

Com he comentat un altra tancament que cal considerar és l'interior que separa el garatge de al resta de l'habitatge. Per a fer-ho l'equació de la transmitància tèrmica incorpora un coeficient per corregit la diferència de temperatura entre les estàncies:

$$U \left( \frac{W}{m^2K} \right) = Ub \left( \frac{W}{m^2K} \right) \times b$$

On:

U= Transmitància tèrmica corregida

Ub = Transmitància tèrmica de la partició interior

b= Coeficient corrector de reducció de temperatura

Aquest factor corrector s'extreu de la taula que el mateix document HE ens proporciona:

$A_{h-nh}/A_{nh-e}$	No aislado <sub>nh-e</sub> - Aislado <sub>h-nh</sub>		No aislado <sub>nh-e</sub> -No aislado <sub>h-nh</sub>		Aislado <sub>nh-e</sub> -No aislado <sub>h-nh</sub>	
	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2
<0,25	0,99	1,00	0,94	0,97	0,91	0,96
0,25 ≤0,50	0,97	0,99	0,85	0,92	0,77	0,90
0,50 ≤0,75	0,96	0,98	0,77	0,87	0,67	0,84
0,75 ≤1,00	0,94	0,97	0,70	0,83	0,59	0,79
1,00 ≤1,25	0,92	0,96	0,65	0,79	0,53	0,74
1,25 ≤2,00	0,89	0,95	0,56	0,73	0,44	0,67
2,00 ≤2,50	0,86	0,93	0,48	0,66	0,36	0,59
2,50 ≤3,00	0,83	0,91	0,43	0,61	0,32	0,54
>3,00	0,81	0,90	0,39	0,57	0,28	0,50

**Figura 38. Factors correctors per les particions interiors. Font: Document bàsic DB-HE.**

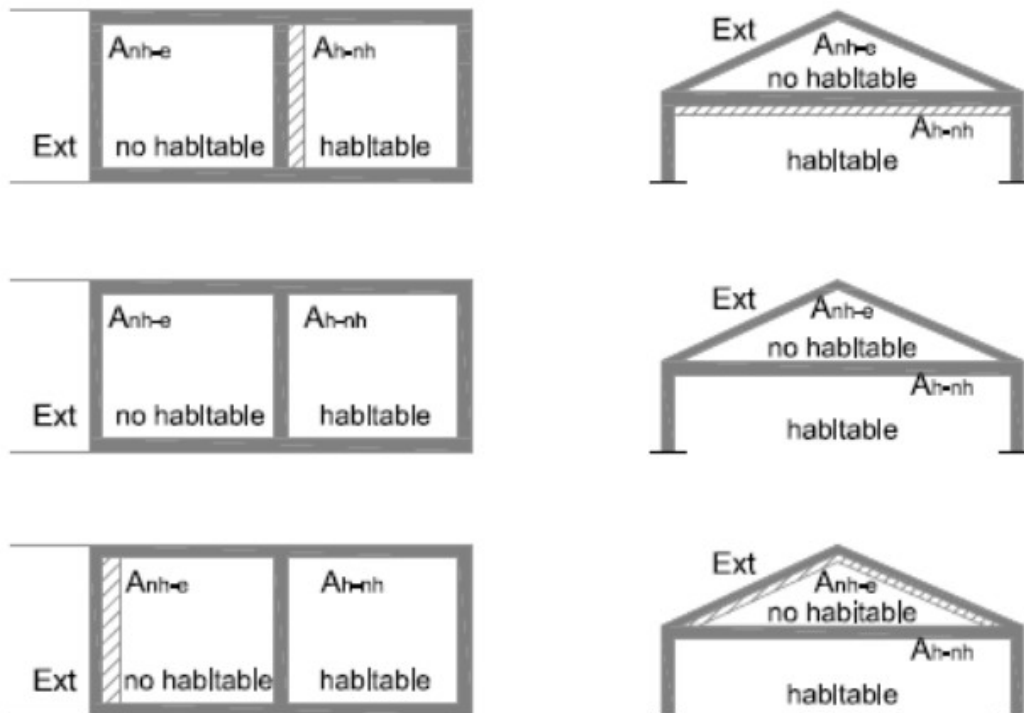
El valor  $A_{h-nh}$  és l'àrea de la partició en contacte amb l'espai habitable i el valor  $A_{nh-e}$  és l'àrea de l'espai no habitable en contacte amb l'exterior. Així doncs per saber a quina fila buscar hem de calcular la relació entre aquests dos valors. Per altra banda es plantegen tres tipus de casos:

1-No hi ha aïllament entre l'espai no habitable i l'exterior però hi ha aïllament entre l'espai no habitable i l'espai habitable.

2-No hi ha aïllament en cap de les particions comentades.

3-Hi ha aïllament entre l'exterior i l'espai no habitable però no n'hi ha entre els dos espais.

Els tres casos es veuen representats a la següent figura:



**Figura 39. Situacions entre espais habitables i no habitables. Font: Document bàsic DB-HE.**

Dins de cada un d'aquests casos potser que els espais estiguin lleugerament ventilats (CAS 1) o molt ventilats (CAS 2).

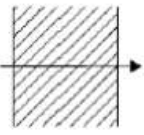

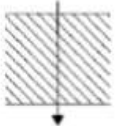
En el cas de l'espai no habitable del nostre habitatge, la partició que separa els espais té un àrea de 15 m<sup>2</sup> en un cas i 12 m<sup>2</sup> en un altre; en canvi aquest espai no habitable té una superfície total de 30,99 m<sup>2</sup>.

$$\frac{Ah - nh}{Anh - e} = \frac{15}{31,5} = 0,48$$

$$\frac{Ah - nh}{Anh - e} = \frac{12}{31,5} = 0,38$$

En el nostre cas hi ha aïllament entre l'exterior i l'espai no habitable però no n'hi ha entre els dos espais, a més d'això l'espai està lleugerament ventilat (CAS 1). Així doncs el factor b que necessitem val 0,77 en els dos casos.

Cal calcular la transmissió tèrmica de la partició interior de la mateixa manera que havíem calculat la dels murs exteriors. En aquest cas els valors de les resistències amb l'interior i l'exterior ve donat per:

Posición de la <i>partición interior</i> y sentido del flujo de calor	$R_{se}$	$R_{si}$
<p><i>Particiones interiores verticales o con pendiente sobre la horizontal &gt;60° y flujo horizontal</i></p> 	0,13	0,13
<p><i>Particiones interiores horizontales o con pendiente sobre la horizontal ≤60° y flujo ascendente (Techo)</i></p> 	0,10	0,10
<p><i>Particiones interiores horizontales y flujo descendente (Suelo)</i></p> 	0,17	0,17

**Figura 40. Valors  $R_{se}$  i  $R_{si}$  per a particions interiors. Font: Document bàsic DB-HE.**

En el nostre cas és una partició vertical amb el flux horitzontal. Per tant  $R_{se}$  i  $R_{si} = 0,13$ . Cal tenir en compte que totes les particions interiors (tant la que està en contacte amb l'espai no habitable com les que separen espais habitables) estan formades per dues capes de guix i una de maó buit. El càlcul de la transmissió tèrmica resulta:

TRANSMITÈNCIA TÈRMICA DE LES PARTICIONS INTERIORS				
COMPONENT	ESPESSOR (m)	CONDUCTIVITAT TÈRMICA (W/m2K)	RESISTÈNCIA TÈRMICA (m2K/W)	TRANSMITÈNCIA TÈRMICA (W/m2K)
Guix	0,07	0,57	0,12	0,95
Maó buit	0,3	0,55	0,55	
Guix	0,07	0,57	0,12	
$R_{se}$			0,13	
$R_{si}$			0,13	

**Taula 27. Transmissió tèrmica de les particions interiors. Font: Elaboració pròpia.**

Finalment només ens queda aplicar el coeficient corrector que hem trobat segons la taula:

$$U_{partint} = U_b \times b = 0,95 \times 0,77 = 0,73 \text{ W/m}^2\text{K}$$

L'últim tipus de tancament dels quals n'hem de calcular la transmitància tèrmica són les finestres de l'habitatge. La seva transmitància es calcula mitjançant la següent equació:

$$U_h \left( \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right) = \frac{U_{hm} \left( \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right) \times A_m (\text{m}^2) + U_{hv} \left( \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right) \times A_v (\text{m}^2) + L_v (\text{m}) \times \Psi_v \left( \frac{\text{W}}{\text{mK}} \right)}{A_m + A_v}$$

On:

$U_h$  = Transmitància tèrmica de la finestra

$U_v$  = Transmitància del vidre

$A_m$  = Àrea del marc de la finestra

$A_v$  = Àrea del vidre de la finestra

$L_v$  = Longitud del perímetre del vidre

$\Psi$  = Transmitància tèrmica lineal entre el marc i el vidre (0,05 W/mK)

A les finestres de l'habitatge els marcs representen el 20% del total de la finestra i el vidre el 80%, sabent la seva superfície es troben les corresponents àrees i les transmitàncies corresponents.

TRANSMITÀNCIA TÈRMICA DE LES FINESTRES							
FINESTRA	Am (m2)	Uhm (W/m2K)	Av (m2)	Uhv (W/m2K)	Lv(m)	Ψ(W/mK)	Uh (W/m2K)
MENJADOR	0,60	2,2	2,40	2,9	6,20	0,05	2,86
MENJADOR TERRASSA	0,60	2,2	2,40	2,9	6,20	0,05	2,86
CUINA TERRASSA	0,30	2,2	1,20	2,9	4,38	0,05	2,91
CUINA CARRER	0,30	2,2	1,20	2,9	4,38	0,05	2,91
HABITACIÓ 1	0,30	2,2	1,20	2,9	4,38	0,05	2,91
HABITACIÓ 2	0,20	2,2	0,80	2,9	3,58	0,05	2,94
HABITACIÓ 3	0,30	2,2	1,20	2,9	4,38	0,05	2,91
REBEDOR	0,20	2,2	0,80	2,9	3,58	0,05	2,94
PASSADÍS	0,06	2,2	0,24	2,9	1,96	0,05	3,09
DESPATX	0,30	2,2	1,20	2,9	4,38	0,05	2,91

*Taula 28. Transmissió tèrmica de totes les finestres de l'habitatge. Font: Elaboració pròpia.*

Finalment, amb tots els valors de les transmissió tèrmiques calculem primer les pèrdues per transmissió de totes les habitacions el mes de gener, el qual és el mes on la diferència entre la temperatura interior i exterior (21°C i 7,9°C) és major i per tant quan les pèrdues seran majors.

MENJADOR				
	TRANSMITÀNCIA TÈRMICA (W/m2K)	SUPERFÍCIE (m2)	ΔT(°C)	Q (W)
MURS EXTERIORS	0,93	50	13,1	609,15
SOSTRE	0,51	20		133,62
FINESTRA MENJADOR	2,86	3		112,40
FINESTRA MENJADOR TERRASSA	2,86	3		112,40
TERRA	0,65	20		170,30
				1137,87

*Taula 29. Pèrdues de calor al menjador el mes de gener. Font: Elaboració pròpia.*

CUINA				
	TRANSMITÀNCIA TÈRMICA (W/m2K)	SUPERFÍCIE (m2)	ΔT(°C)	Q (W)
MURS EXTERIORS	0,93	42,75	13,1	520,82
SOSTRE	0,51	17		113,58
FINESTRA CUINA TERRASSA	2,91	1,5		57,18
FINESTRA CUINA CARRER	2,91	1,5		57,18
TERRA	0,65	17		144,76
				893,52

*Taula 30. Pèrdues de calor a la cuina el mes de gener. Font: Elaboració pròpia.*



HABITACIÓ 1				
	TRANSMITÀNCIA TÈRMICA (W/m <sup>2</sup> K)	SUPERFÍCIE (m <sup>2</sup> )	ΔT(°C)	Q (W)
MURS EXTERIORS	0,93	22,5	13,1	274,12
SOSTRE	0,51	14		93,53
FINESTRA HABITACIÓ 1	2,91	1,5		57,18
TERRA	0,65	14		119,21
				544,04

*Taula 31. Pèrdues de calor a l'habitació 1 el mes de gener. Font: Elaboració pròpia.*

HABITACIÓ 2				
	TRANSMITÀNCIA TÈRMICA (W/m <sup>2</sup> K)	SUPERFÍCIE (m <sup>2</sup> )	ΔT(°C)	Q (W)
MURS EXTERIORS	0,93	8,25	13,1	100,51
SOSTRE	0,51	10		66,81
FINESTRA HABITACIÓ 2	2,94	1		38,51
TERRA	0,65	10		85,15
				290,98

*Taula 32. Pèrdues de calor a l'habitació 2 el mes de gener. Font: Elaboració pròpia.*

HABITACIÓ 3				
	TRANSMITÀNCIA TÈRMICA (W/m <sup>2</sup> K)	SUPERFÍCIE (m <sup>2</sup> )	ΔT(°C)	Q (W)
MURS EXTERIORS	0,93	9	13,1	109,65
SOSTRE	0,51	12		80,17
FINESTRA HABITACIÓ 3	2,91	1,5		57,18
TERRA	0,65	12		102,18
				349,18

*Taula 33. Pèrdues de calor a l'habitació 3 el mes de gener. Font: Elaboració pròpia.*

DESPATX				
	TRANSMITÀNCIA TÈRMICA (W/m <sup>2</sup> K)	SUPERFÍCIE (m <sup>2</sup> )	ΔT(°C)	Q (W)
MURS EXTERIORS	0,93	22,5	13,1	274,12
SOSTRE	0,51	11		73,49
FINESTRA DESPATX	2,91	1,5		57,18
TERRA	0,65	11		93,67
				498,46

Taula 34. Pèrdues de calor al despatx el mes de gener. Font: Elaboració pròpia.

REBEDOR				
	TRANSMITÀNCIA TÈRMICA (W/m <sup>2</sup> K)	SUPERFÍCIE (m <sup>2</sup> )	ΔT(°C)	Q (W)
MURS EXTERIORS	0,93	6	13,1	73,1
MURS INTERIORS AMB EL GARATGE	0,73	6		57,38
SOSTRE	0,51	4		26,72
TERRA	0,65	4		34,06
FINESTRA REBEDOR	2,94	1		38,51
				229,77

Taula 35. Pèrdues de calor el mes de gener al rebedor. Font: Elaboració pròpia.

PASSADÍS				
	TRANSMITÀNCIA TÈRMICA (W/m <sup>2</sup> K)	SUPERFÍCIE (m <sup>2</sup> )	ΔT(°C)	Q (W)
MURS EXTERIORS	0,93	6	13,1	73,1
MURS INTERIORS AMB EL GARATGE	0,73	9		86,07
SOSTRE	0,51	4		26,72
TERRA	0,65	4		34,06
FINESTRA PASSADÍS	3,09	0,3		12,14
				232,09

Taula 36. Pèrdues de calor al passadís el mes de gener. Font: Elaboració pròpia.

BANY				
	TRANSMITÀNCIA TÈRMICA (W/m <sup>2</sup> K)	SUPERFÍCIE (m <sup>2</sup> )	ΔT(°C)	Q (W)
MURS EXTERIORS	0,93	6	13,1	73,1
MURS INTERIORS AMB EL GARATGE	0,73	12		114,76
SOSTRE	0,51	8		53,45
TERRA	0,65	8		68,12
				309,42

**Taula 37. Pèrdues de calor al bany el mes de gener. Font: Elaboració pròpia.**

El resultat d'aplicar aquests càlculs a tots els mesos de funcionament de la calefacció (de novembre a abril), els resultats de potència perduda per transmissió és el següent:

PÈRDUES DE CALOR PER TRANSMISSIÓ (W)															
	TEMPERATURA EXTERIOR	TEMPERATURA INTERIOR	ΔT	MENJADOR	CUINA	HAB 1	HAB 2	HAB 3	DESPATX	REB	PASS	BANY	TOTAL	HORES TOTALES	DEMANDA ENERGÈTICA (kWh)
GEN	7,9	21	13,1	1137,87	893,52	544,04	290,98	349,18	498,46	229,77	232,09	309,42	4485,34	310	1390,45
FEB	9,1	21	11,9	1033,63	811,67	494,21	264,33	317,19	452,80	208,73	210,83	281,08	4074,46	280	1140,85
MAR	11,4	21	9,6	833,86	654,79	398,69	213,24	255,89	365,28	168,38	170,08	226,75	3286,96	310	1018,96
ABR	13,6	21	7,4	642,76	504,74	307,32	164,37	197,25	281,57	129,80	131,11	174,79	2533,70	300	760,11
NOV	11,9	21	9,1	790,43	620,69	377,92	202,13	242,56	346,26	159,61	161,22	214,94	3115,77	300	934,73
DES	8,8	21	12,2	1059,69	832,13	506,67	270,99	325,19	464,21	213,99	216,15	288,16	4177,18	310	1294,93
														TOTAL	6540,03

**Taula 38. Pèrdues de calor de totes les habitacions cada mes. Font: Elaboració pròpia.**

Veiem com el mes amb les pèrdues de potència superiors és el mes de gener degut a la diferència entre les temperatures interiors i exteriors. Tenint en compte les hores de funcionament de la calefacció (10 hores al dia) i la potència necessària en cada cas veiem que l'energia necessària total al llarg d'un any per compensar totes les pèrdues per transmissió a través dels diferents tancaments és de 6540,03 kWh l'any.

Adicionalment a les pèrdues per transmissió a través dels tancaments cal tenir en compte les pèrdues que es generen a través dels diferents ponts tèrmics. Aquests ponts tenen llocs a tots els contactes entre diferents materials que hi ha a tot l'habitatge. En el nostre cas cal considerar que hi haurà ponts tèrmics als contactes entre els marcs de les finestres i les parets, els ponts tèrmics provocats per totes les caixes de persianes de les finestres i els ponts tèrmics que es generen al trobament entre els murs (interior i exteriors) i el sostre i el terra. De forma general i en relació a situacions d'altres habitatges, està provat que les pèrdues degut a aquests ponts

són aproximadament un 20% de les pèrdues de transmissió. És per això que, quan calculem les pèrdues totals, tindrem en compte un factor de correcció de 1,2.

### A.2.2 - Càrregues per ventilació

El segon tipus de pèrdues que cal tenir en compte són les pèrdues per ventilació.

Aquestes càrregues són les que cal compensar degut a la renovació d'aire de l'habitatge. Cal doncs calcular quin és el cabal d'aire degut a aquest fet, és a dir, quines són les renovacions d'aire de l'habitatge degut a la ventilació d'aquest.

En aquest aspecte les estàncies d'un habitatge es poden classificar de dues maneres: les que admeten l'aire i les que l'extreuen. Un habitatge no deixa de ser un sistema on tot el que entra surt, per això els habitatges disposen de sistemes de renovació de l'aire. Aquests sistemes d'extracció es troben als banys i a les cuines (els extractors que tots els habitatges disposen). Per a determinar aquests cabals ens basarem en els mínims establerts pel CTE que podem veure a la següent taula. Considerarem que l'habitatge, tot i ser relativament vell, compleix amb aquests mínims per a estimar-ne les pèrdues.

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

(1) En los locales secos de las viviendas destinados a varios usos se considera el caudal correspondiente al uso para el que resulte un caudal mayor

(2) Cuando en un mismo local se den usos de local seco y húmedo, cada zona debe dotarse de su caudal correspondiente

(3) Otros locales pertenecientes a la vivienda con usos similares (salas de juego, despachos, etc.)

**Figura 41. Cabals mínims de ventilació. Font: Document basic DB-HE.**

Aquí podem veure els cabals mínims que han de tenir les diferents estàncies, per això suposarem que l'habitatge compleix aquets cabals per a calcular de forma estimada les pèrdues per ventilació. Tot i que no especifica cap ventilació respecte el passadís i el rebedor considerarem una ventilació similar a la de les habitacions petites, ja que disposen també de finestres i de portes d'accés a l'exterior de l'habitatge que generen una ventilació.

Per una banda els cabals d'admissió:

Menjador = 10 l/s

Habitació 1 = 8 l/s

Habitacions 2 i 3 = 4 + 4 = 8 l/s

Despatx = 10 l/s

Rebedor = 4 l/s

Passadís = 4 l/s

Per altra banda els cabals d'extracció:

Cuina = 8 l/s

Bany = 8 l/s

Com es demana que el mínim del total de les estàncies humides (cuina i bany) ha de ser de 33 l/s considerarem que en comptes de 16 l/s el cabal total d'extracció és de 33 l/s.

Així doncs ens queda que l'habitatge té un cabal d'admissió de 44 l/s i un cabal d'extracció de 33 l/s, com hi ha d'haver un equilibri suposarem que el cabal d'extracció total entre el bany i la cuina és també de 44 l/s.

Les pèrdues de càrrega per ventilació afecten només les estàncies amb cabal d'admissió, són les que reben l'aire fred de l'exterior. L'equació que ens permetrà calcular aquestes pèrdues és:

$$Q (W) = q \left( \frac{m^3}{s} \right) \times C_p \text{ aire} \left( \frac{J}{kg^\circ C} \right) \times \rho \text{ aire} \left( \frac{kg}{m^3} \right) \times \Delta T (^{\circ}C)$$

On:

Q = Pèrdues de calor degut a la ventilació

Cp aire = Calor específic de l'aire (1007 J/kg°C)

ρ aire = Densitat de l'aire (1,2 kg/m<sup>3</sup>)

ΔT = Diferència de temperatura entre l'interior i l'exterior

Aplicant per les estàncies amb cabal d'admissió, les pèrdues per ventilació obtingudes es mostren a continuació.

	TEMPERATURA EXTERIOR	TEMPERATURA INTERIOR	ΔT	PÈRDUES DE CALOR PER VENTILACIÓ (W)									TOTAL	HORES TOTALES	DEMANDA ENERGÈTICA (kWh)
				MENJADOR	CUINA	HAB 1	HAB 2	HAB 3	DESPATX	REB	PASS	BANY			
GEN	7,9	21	13,1	158,30	-	126,64	63,32	63,32	158,30	63,32	63,32	-	696,52	310	215,92
FEB	9,1	21	11,9	143,80	-	115,04	57,52	57,52	143,80	57,52	57,52	-	632,72	280	177,16
MAR	11,4	21	9,6	116,01	-	92,81	46,40	46,40	116,01	46,40	46,40	-	510,43	310	158,23
ABR	13,6	21	7,4	89,42	-	71,54	35,77	35,77	89,42	35,77	35,77	-	393,46	300	118,04
NOV	11,9	21	9,1	109,96	-	87,97	43,99	43,99	109,96	43,99	43,99	-	483,84	300	145,15
DES	8,8	21	12,2	147,42	-	117,94	58,97	58,97	147,42	58,97	58,97	-	648,67	310	201,09
														<b>TOTAL</b>	<b>1015,59</b>

Taula 39. Pèrdues totals per ventilació. Font: Elaboració pròpia.

El mes més crític, el gener, les pèrdues per ventilació són de 696,52W i la demanda energètica anual degut a aquestes pèrdues és de 1015,59 kWh.

### **A.2.3 - Càrregues per radiació**

Un altre càrrega que existeix i que cal calcular són les càrregues per radiació, en aquest cas són guanys de calor que l'habitatge rep a través de les finestres degut a la radiació solar. Per al càlcul d'aquests guanys cal utilitzar la següent equació:

$$Q_r (W) = F \times A_v(m^2) \times R \left( \frac{W}{m^2} \right)$$

On:

$Q_r$  = Guanys de calor per radiació

F = Factor solar corrector

$A_v$  = Àrea del vidre de les finestres

R = Radiació mitjana

Primer de tot cal calcular el factor corrector, aquests factors es basen en el material del vidre o en possibles sistemes de protecció de la finestra i que provoquen que la radiació sigui menor. L'equació que ens permet el càlcul d'aquest factor és:

$$F = F_s \times \left[ (1 - FM) \times g + FM \times 0,04 \times U_m \left( \frac{W}{m^2K} \right) \times \alpha \right]$$

On:

$F_s$  = Factor ombra de la finestra

FM = Fracció del marc de la finestra respecte del total

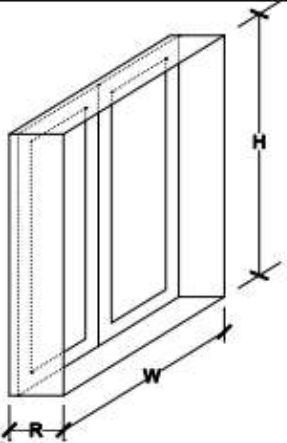
g = Factor solar del vidre

$U_m$  = Transmissió tèrmica del marc

$\alpha$  = Absortivitat del marc

Per a poder desenvolupar aquesta equació ens cal determinar per a cada finestra el factor ombra, el factor solar del vidre i el factor d'absortivitat del marc.

Pel factor ombra cal comprovar si les finestres disposen d'algun sistema de protecció. En el nostre cas totes les finestres que no donen a la terrassa tenen un sistema de retranqueig de 30 cm de profunditat i les dues finestres que donen a la terrassa i la del rebedor tenen un sostre de longitud diferent en unes i altres. Primer de tot calculem el factor ombra per a les que tenen un sistema de retranqueig. Ens basem en la següent taula:



ORIENTACIONES DE FACHADAS		0,05 < R/W ≤ 0,1	0,1 < R/W ≤ 0,2	0,2 < R/W ≤ 0,5	R/W > 0,5
		S	0,05 < R/H ≤ 0,1 0,1 < R/H ≤ 0,2 0,2 < R/H ≤ 0,5 R/H > 0,5	0,82 0,76 0,56 0,35	0,74 0,67 0,51 0,32
SE/SO	0,05 < R/H ≤ 0,1 0,1 < R/H ≤ 0,2 0,2 < R/H ≤ 0,5 R/H > 0,5	0,86 0,79 0,59 0,38	0,81 0,74 0,56 0,36	0,72 0,66 0,47 0,32	0,51 0,47 0,36 0,23
E/O	0,05 < R/H ≤ 0,1 0,1 < R/H ≤ 0,2 0,2 < R/H ≤ 0,5 R/H > 0,5	0,91 0,86 0,71 0,53	0,87 0,82 0,68 0,51	0,81 0,76 0,61 0,48	0,65 0,61 0,51 0,39

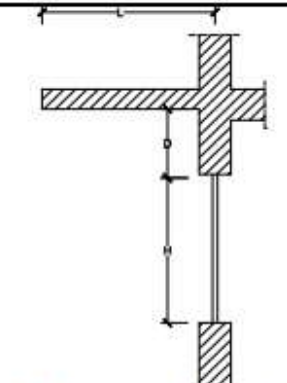
Figura 42. Factor ombra segons les mides del retranqueig i la finestra. Font: Document bàsic DB-HE.

Aplicant les ràtios per a totes aquestes finestres deduïm el seu factor ombra:

	ORIENTACIÓ	R(m)	H (m)	W(m)	R/W	R/H	Fs
<b>FINESTRA MENJADOR</b>	S-O	0,3	1,45	2,1	0,14	0,21	0,56
<b>FINESTRA CUINA CARRER</b>	S-E	0,3	1,15	1,3	0,23	0,26	0,47
<b>FINESTRA HABITACIÓ 1</b>	S-O	0,3	1,15	1,3	0,23	0,26	0,47
<b>FINESTRA HABITACIÓ 2</b>	S-O	0,3	1,15	0,87	0,34	0,26	0,47
<b>FINESTRA HABITACIÓ 3</b>	S-O	0,3	1,15	1,3	0,23	0,26	0,47

Taula 40. Factor ombra de les finestres amb retranqueig. Font: Elaboració pròpia.

Per altra banda en el cas de les finestres del menjador, la del rebedor, la del passadís i la del despatx; com disposen d'un sostre al davant més llarg que un simple retranqueig cal aplicar els valors de la següent taula:



ORIENTACIONES DE FACHADAS		0,2 < L/H ≤ 0,5	0,5 < L/H ≤ 1	1 < L/H ≤ 2	L/H > 2
		S	0 < D/H ≤ 0,2 0,2 < D/H ≤ 0,5 D/H > 0,5	0,82 0,87 0,93	0,50 0,64 0,82
SE/SO	0 < D/H ≤ 0,2 0,2 < D/H ≤ 0,5 D/H > 0,5	0,90 0,94 0,98	0,71 0,82 0,93	0,43 0,60 0,84	0,16 0,27 0,65
E/O	0 < D/H ≤ 0,2 0,2 < D/H ≤ 0,5 D/H > 0,5	0,92 0,96 0,99	0,77 0,86 0,96	0,55 0,70 0,89	0,22 0,43 0,75

NOTA: En caso de que exista un retranqueo, la longitud L se medirá desde el centro del acristalamiento.

Figura 43. Factors ombra segons les dimensions de la finestra. Font: Document bàsic DB-HE.

Aplicant les ràtios per a les 4 finestres obtenim:

	ORIENTACIÓ	H(m)	D(m)	L(m)	D/H	L/H	Fs
<b>FINESTRA MENJADOR TERRASSA</b>	S-E	2,1	0,6	3	0,29	1,43	0,6
<b>FINESTRA CUINA TERRASSA</b>	S-O	1,15	0,6	2	0,52	1,74	0,84
<b>FINESTRA REBEDOR</b>	S-E	2	0,6	1,6	0,30	0,80	0,82

*Taula 41. Factor ombra de les finestres de l'habitatge. Font: Elaboració pròpia.*

Les finestres del despatx i del passadís no reben radiació degut a la seva orientació, com miren direcció nord -oest es considera que no reben calor per radiació i per tant les taules que acabem de veure no contempen possibilitats de factors ombra.

El següent factor a tenir en compte és el factor solar (g), aquest factor depèn exclusivament del tipus de vidre de les finestres, en el nostre cas que parlem de vidres dobles estàndards tenen un valor equivalent a 0,75.

Finalment abans de poder calcular el factor F ens cal determinar l'absortivitat dels marcs de les finestres ( $\alpha$ ). Aquest factor el determinem, únicament, a partir del color del marc.

Color	Claro	Medio	Oscuro
Blanco	0,20	0,30	-
Amarillo	0,30	0,50	0,70
Beige	0,35	0,55	0,75
Marrón	0,50	0,75	0,92
Rojo	0,65	0,80	0,90
Verde	0,40	0,70	0,88
Azul	0,50	0,80	0,95
Gris	0,40	0,65	-
Negro	-	0,96	-

*Figura 44. Absortivitat en funció del color del marc. Font: Document bàsic DB-HE.*



	COLOR DEL MARC	$\alpha$
FINESTRA MENJADOR	MARRÓ	0,75
FINESTRA CUINA CARRER	BLANC	0,3
FINESTRA HABITACIÓ 1	BLANC	0,3
FINESTRA HABITACIÓ 2	BLANC	0,3
FINESTRA HABITACIÓ 3	BLANC	0,3
FINESTRA MENJADOR TERRASSA	MARRÓ	0,75
FINESTRA CUINA TERRASSA	BLANC	0,3
FINESTRA REBEDOR	MARRÓ	0,75

*Taula 42. Absortivitat de les finestres. Font: Elaboració pròpia.*

El factor corrector F per a cada una de les finestres és:

	F <sub>s</sub>	F <sub>M</sub>	g	Um(W/m <sup>2</sup> K)	$\alpha$	F
FINESTRA MENJADOR	0,56	0,2	0,75	2,2	0,75	0,34
FINESTRA CUINA CARRER	0,47	0,2	0,75	2,2	0,30	0,28
FINESTRA HABITACIÓ 1	0,47	0,2	0,75	2,2	0,30	0,28
FINESTRA HABITACIÓ 2	0,47	0,2	0,75	2,2	0,30	0,28
FINESTRA HABITACIÓ 3	0,47	0,2	0,75	2,2	0,30	0,28
FINESTRA MENJADOR TERRASSA	0,6	0,2	0,75	2,2	0,75	0,37
FINESTRA CUINA TERRASSA	0,84	0,2	0,75	2,2	0,3	0,51
FINESTRA REBEDOR	0,82	0,2	0,75	2,2	0,75	0,50

*Taula 43. Factor corrector de les finestres de l'habitatge. Font: Elaboració pròpia.*

Finalment, abans de poder calcular els guanys per radiació cal cercar els valors de radiació de la província de Girona. Aquests valors els podem trobar a l'Atles de radiació solar d'Espanya. D'aquest document podem extreure els valors que veiem a la , ens fixem amb la irradiació global. Per al càlcul dels guanys per radiació caldrà tenir en compte també el nombre d'hores de sol diàries per a cada mes, es calcula aproximadament a partir les hores de sortida i posta de sol dels diferents mesos. A la Taula 44 s'hi apliquen les hores diàries de sol als valors extrets de l'Atles de radiació per poder determinar quina és la radiació diària i així poder calcular els guanys per radiació solar a cada habitació.

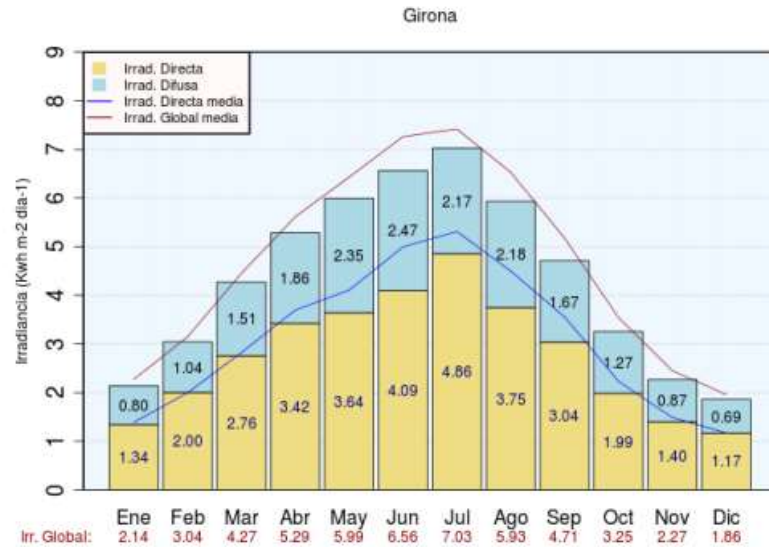


Figura 45. Irradiació mitjana per mesos a Girona. Font: Atles de radiació solar d'Espanya.

D'aplicar tots els factors i les equacions explicades obtenim els guanys mostrats a la següent taula. Hi podem veure els guanys a cada habitació cada mes de calefacció. A la Taula 44.

		F	Av (m <sup>2</sup> )	GENER		FEBRER		MARÇ		ABRIL		NOVEMBRE		DESEMBRE		TOTAL (W)						
				hores de sol (h)	R (kWh/m <sup>2</sup> )	Qr (W)	hores de sol (h)	R (kWh/m <sup>2</sup> )	Qr (W)	hores de sol (h)	R (kWh/m <sup>2</sup> )	Qr (W)	hores de sol (h)	R (kWh/m <sup>2</sup> )	Qr (W)		hores de sol (h)	R (kWh/m <sup>2</sup> )	Qr (W)			
MENJADOR	FINESTRA MENJADOR	0,34	2,4	9,5	2,14	183,81	10,5	3,04	236,25	12	4,27	290,36	13,5	5,29	319,75	10	2,27	185,23	9,5	1,86	159,76	
	FINESTRA MENJADOR TERRASSA	0,37	2,4	9,5	2,14	200,03	10,5	3,04	257,10	12	4,27	315,98	13,5	5,29	347,96	10	2,27	201,58	9,5	1,86	173,86	
CUINA	FINESTRA CUINA CARRER	0,28	1,2	9,5	2,14	75,69	10,5	3,04	97,28	12	4,27	119,56	13,5	5,29	131,66	10	2,27	76,27	9,5	1,86	65,79	
	FINESTRA CUINA TERRASSA	0,51	1,2	9,5	2,14	137,86	10,5	3,04	177,19	12	4,27	217,77	13,5	5,29	239,81	10	2,27	138,92	9,5	1,86	119,82	
HABITACIÓ 1	FINESTRA HABITACIÓ 1	0,28	1,2	9,5	2,14	75,69	10,5	3,04	97,28	12	4,27	119,56	13,5	5,29	131,66	10	2,27	76,27	9,5	1,86	65,79	
HABITACIÓ 2	FINESTRA HABITACIÓ 2	0,28	0,8	9,5	2,14	50,46	10,5	3,04	64,85	12	4,27	79,71	13,5	5,29	87,77	10	2,27	50,85	9,5	1,86	43,86	
HABITACIÓ 3	FINESTRA HABITACIÓ 3	0,28	1,2	9,5	2,14	75,69	10,5	3,04	97,28	12	4,27	119,56	13,5	5,29	131,66	10	2,27	76,27	9,5	1,86	65,79	
REBEDOR	FINESTRA REBEDOR	0,5	0,8	9,5	2,14	90,11	10,5	3,04	115,81	12	4,27	142,33	13,5	5,29	156,74	10	2,27	90,80	9,5	1,86	78,32	
						889,34			1143,04			1404,83			1547,03			896,20			772,98	6853,41

Taula 44. Guanys mensuals totals per radiació solar. Font: Elaboració pròpia.

#### A.2.4 - Altres càrregues

Els estudis molt més detallats de demandes energètiques, sobretot per a negocis, oficines, etc...Es tenen en compte més càrregues alhora de determinar la potència necessària i la demanda energètica d'un local.

Es calculen també els guanys provinents de les persones que ocupen l'espai (les persones desprenem escalfor de diferents potències segons l'activitat que estem fent), els guanys provinents de la il·luminació de l'estància i també els guanys provinents de la calor emesa pels aparells elèctrics i pels electrodomèstics.

Tots aquests guanys en el nostre cas no els tindrem en compte, es tracta d'un habitatge on els habitants passen part del dia treballant fora de l'habitatge i on l'ocupació no és regular, tant pot ser que hi hagi una persona com quatre al mateix temps. Si que és veritat que existirà aquesta calor que emetran però no es tindrà en compte alhora de dimensionar la calefacció ni alhora d'avaluar el consum anual ja que no se'n pot fer un càlcul gens precís. Tot i que existeixen unes taules que marquen els watts que desprèn una persona a una temperatura determinada exercint una activitat concreta (en una oficina saps segur quantes persones hi ha assegudes en un espai concret de temps però en un habitatge és complicat).

Per altra banda en quant a la il·luminació, l'habitatge actualment té pràcticament tota la il·luminació formada per LEDS de baix consum, per aquest motiu no es tindrà en compte el possible calor que puguin alliberar.

Finalment, en quant als aparells elèctrics, pel mateix motiu que he explicat per les persones, no es tindrà en compte. L'únic electrodomèstic que funciona regularment al llarg del dia dins l'habitatge és la nevera, la resta (ordinadors, televisió, torradora, cafetera, rentaplats...) funcionen sense una constància, en moments puntuals del dia i per tant no es consideraran per a calcular i dimensionar el sistema de calefacció.

Ens basarem en les càrregues que són segures independentment de les persones o els aparells que hi hagi funcionant a l'interior: transmissió dels tancaments, ponts tèrmics, ventilació i radiació solar.

#### ***A.2.5 - Demanda energètica total***

Amb tots els càlculs realitzats es calcula per una banda la potència calorífica nominal necessària i per altra banda la demanda d'energia calorífica anual. Per a poder dimensionar els radiadors de cada estància d'acord les seves necessitats primer de tot ens fixem en la potència nominal necessària el mes de gener a cada una, que és quan les necessitats seran majors. La potència a instal·lar haurà de ser superior com a mínim a aquest valor per poder cobrir la demanda d'aquest mes.

Projecte de renovació de climatització d'un habitatge unifamiliar a Corçà

	TRANSMISSIÓ (W)	PONTS TÈRMICS (W)	VENTILACIÓ (W)	RADIACIÓ (W)	TOTAL (kW)
MENJADOR	1137,87	227,57	158,3	-383,84	1,14
CUINA	893,52	178,70	-	-213,55	0,86
HABITACIÓ 1	544,04	108,81	126,64	-75,69	0,70
HABITACIÓ 2	290,98	58,20	63,32	-50,46	0,36
HABITACIÓ 3	349,18	69,84	158,3	-75,69	0,50
DESPATX	498,46	99,69	63,32	-	0,66
REBEDOR	229,77	45,95	63,32	-90,11	0,25
PASSADÍS	232,09	46,42	63,32	-	0,34
BANY	309,42	61,88	-	-	0,37
				<b>TOTAL</b>	<b>5,19</b>

**Taula 45. Potència necessària a cada habitació el mes de gener. Font: Elaboració pròpia.**

La potència nominal mínima de les bombes de calor a seleccionar ha de ser com a mínim de 5,19 kW. A la pràctica es recomanable seleccionar-ne una que ens permeti no anar justos en un moment crític puntual. Caldrà tenir en compte la potència que també necessitem per l'ACS i que també hem calculat, la potència necessària per a compensar possibles pèrdues en el recorregut des de la unitat interior fins als radiadors...Aquest valor ens dona una idea del mínim que cal que mirem d'entre les diferents possibilitats del mercat. A la hora de la veritat en seleccionarem una de més gran però d'aquesta manera ja sabem quin mínim hem de agafar de referència.

Per altra banda, la demanda energètica anual de l'habitatge per a calefacció la podem veure a la següent taula. S'hi tenen en compte les mateixes càrregues però tenint en compte les hores que funciona la calefacció cada mes (10 hores diàries).

	TRANSMISSIÓ (kWh)	PONTS TÈRMICS (kWh)	VENTILACIÓ (kWh)	RADIACIÓ (kWh)	TOTAL (kWh)
GENER	1390,45	278,09	215,92	-275,70	1608,76
FEBRER	1140,85	228,17	177,16	-320,05	1226,13
MARÇ	1018,96	203,792	158,23	-435,50	945,48
ABRIL	760,11	152,022	118,04	-464,11	566,06
NOVEMBRE	934,73	186,946	145,15	-268,86	997,97
DESEMBRE	1294,93	258,986	201,09	-239,62	1515,38
				<b>TOTAL</b>	<b>6859,79</b>

**Taula 46. Demanda energètica de l'habitatge per calefacció. Font: Elaboració pròpia.**

Són necessaris un total de 6859,79 kWh per a mantenir l'habitatge a 21°C de novembre a abril activant la bomba de calor 10 hores al dia.



## ANNEX B – CÀLCULS DELS RADIADORS DE BAIXA TEMPERATURA

Com s'ha comentat a l'apartat 3 de la memòria, s'han seleccionat per al projecte els radiadors Ferroli Europa C de Baixa temperatura per a substituir els actuals d'alta temperatura. La fitxa tècnica dels radiadors de la gamma és la següent:

DATOS TÉCNICOS EUROPA C						
CARACTERÍSTICAS			EUROPA 450 C	EUROPA 600 C	EUROPA 700 C	EUROPA 800 C
Emisión térmica UNE EN 442	ΔT = 50° C	W	89,2	119,8	137,1	158,0
		kcal/h	76,7	103,0	117,9	135,8
	ΔT = 60° C	W	112,7	152,3	174,3	200,9
		kcal/h	96,9	131,0	149,8	172,8
	ΔT = 40° C	W	67,1	89,2	102,2	117,6
		kcal/h	57,7	76,8	87,9	101,2
	Emisión baja temperatura ΔT = 30° C	W	46,46	61,07	69,99	80,46
		kcal/h	39,96	52,52	60,19	69,19
T <sup>o</sup> máxima de funcionamiento	110° C					
Exponente n			1,27784	1,31869	1,31598	1,32052
Km			0,601947	0,688627	0,796525	0,901564
Contenido agua	(litros)		0,31	0,39	0,45	0,50
Peso	(kg)		1,04	1,34	1,57	1,85
Dimensiones:	A	(mm)	431	581	681	781
	B	(mm)	350	500	600	700
	C	(mm)	100	100	100	100
Conexiones	(Ø)		1"	1"	1"	1"

Figura 46. Fitxa tècnica dels radiadors Europa 700C. Font: Ferroli.

Per a determinar la quantitat de mòduls necessaris per a cada estància ens basarem en la potència necessària calculada a l'Annex A, en el fet que la marca ens indica que els mòduls es poden ajuntar en bateries de fins a 14 elements i en la potència que ens pot donar cada mòdul amb la diferència de temperatura de funcionament.

La cuina, amb una potència necessària de 858,67 W amb un sol radiador és l'estància que agafem de referència per a escollir el model. Si escollíssim el model Europa 600C ens farien falta 15 mòduls (sobrepassem els 14) i si escollim el model Europa 700C en necessitem 13, per tant som dins el rang i optarem per el model Europa 700C.

A continuació ens cal corregir la potència dels elements segons la nostra temperatura de treball. Els radiadors a baixa temperatura funcionen amb l'aigua a 55°C i la retornen a 45°C, i la temperatura ambient de l'interior de l'habitatge que es busca és de 21°C. La temperatura mitjana del radiadors serà:

$$T_m = \frac{T_e + T_s}{2} = \frac{55 + 45}{2} = 50 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Com la temperatura mitjana dels radiadors és de 50°C i la temperatura ambient és de 21°C, l'increment de temperatura és:

$$\Delta T(^{\circ}C) = T_m - T_a = 50 - 21 = 29^{\circ}C$$

Finalment per a saber quina serà la potència calorífica de cada element pel model Europa 700C cal utilitzar l'equació característica dels radiadors amb les dades de la fitxa tècnica:

$$\phi = Km \times \Delta T^n$$

On:

$\Phi$  = Potència calorífica corregida

Km = Constant en funció de les característiques de cada model (0,796525 per a Europa 700C)

$\Delta T$  = Diferència de temperatura entre el radiador i l'ambient (°C)

n = Exponent en funció de les característiques del model (1,31598 per a Europa 700C)

La potència corregida de cada mòdul serà doncs:

$$\phi = 0,796525 \times 29^{1,31598} = 66,94 \text{ W}$$

Sabent la potencia necessària per a cada estància i la potència de cada element podem resumir el material necessari i la potència definitiva d'acord la següent taula.

	POTÈNCIA NECESSÀRIA (W)	POTÈNCIA UNITÀRIA ELEMENTS (W)	Nº DE RADIADORS	ELEMENTS NECESSARIS	ELEMENTS DEFINITIVUS	POTÈNCIA TOTAL DISPONIBLE (W)
<b>MENJADOR</b>	1139,90	66,94	2	8,514371079	9	1204,92
<b>CUINA</b>	858,67	66,94	1	12,82751718	13	870,22
<b>HABITACIÓ 1</b>	703,80	66,94	1	10,51386316	11	736,34
<b>HABITACIÓ 2</b>	362,04	66,94	1	5,408365701	6	401,64
<b>HABITACIÓ 3</b>	501,63	66,94	1	7,49366597	8	535,52
<b>DESPATX</b>	661,47	66,94	1	9,881565581	10	669,40
<b>REBEDOR</b>	248,93	66,94	1	3,718763071	4	267,76
<b>PASSADÍS</b>	341,83	66,94	1	5,106483418	6	401,64
<b>BANY</b>	371,30	66,94	1	5,546818046	6	401,64

*Taula 47. Càlculs dels elements necessaris a cada radiador. Font: Elaboració pròpia.*



## ANNEX C– SISTEMA AEROTÈRMIC

### C.1 - Dades tècniques Hitachi S 4 Combi

#### Yutaki S Combi

Nombre del conjunto			Yutaki S 2 Combi	Yutaki S 2.5 Combi	Yutaki S 3 Combi	Yutaki S 4 Combi	Yutaki S 5 Combi	Yutaki S 6 Combi
<b>Unidad exterior</b>			<b>RAS-2WHVNP</b>	<b>RAS-2.5WHVNP</b>	<b>RAS-3WHVNP</b>	<b>RAS-4WH(V)NPE</b>	<b>RAS-5WH(V)NPE</b>	<b>RAS-6WH(V)NPE</b>
Potencia nominal absorbida <sup>(1)</sup>	Calefacción	kW	0,82	1,25	1,65	2,20	2,97	3,50
	Refrigeración	kW	1,22	1,59	2,18	2,18	2,95	3,72
Capacidad nominal <sup>(1)</sup>	Calefacción (Min/Nom/Máx)	kW	1,85/4,30/7,00	1,95/6,00/9,00	2,10/7,50/11,00	4,30/11,00/15,20	4,80/14,00/16,70	5,50/16,00/17,80
	Refrigeración (Nom/Máx)	kW	3,80/4,90	5,00/5,80	6,00/7,00	7,20/11,80	9,50/12,60	10,50/13,70
COP 7 °C ext/30 - 35 °C agua			5,25	4,80	4,55	5,00	4,71	4,57
EER 35 °C ext/7 - 12 °C agua			3,12	3,15	2,75	3,54	3,30	2,90
Clase energética nominal 35 °C			A+++	A+++	A++	A+++	A+++	A++
Alimentación	Monofásico		1 ~ 230 V 50 Hz	1 ~ 230 V 50 Hz	1 ~ 230 V 50 Hz	1 ~ 230 V 50 Hz	1 ~ 230 V 50 Hz	1 ~ 230 V 50 Hz
	Trifásico		—	—	—	3 N ~ 400 V 50 Hz	3 N ~ 400 V 50 Hz	3 N ~ 400 V 50 Hz
Presión sonora		dB(A)	46	47	50	49	50	50
Potencia sonora <sup>(2)</sup>		dB(A)	59	60	61	63	64	65
Caudal de aire		m <sup>3</sup> /h	2.436	2.436	2.682	4.800	5.400	6.000
Diámetro de tuberías (Liq - Gas)		pulgadas	1/4 - 1/2	1/4 - 1/2	3/8 - 5/8	3/8 - 5/8	3/8 - 5/8	3/8 - 5/8
Longitud máxima		m	50	50	50	75	75	75
Desnivel máximo		m	30/20	30/20	30/20	30/20	30/20	30/20
Fluido refrigerante			R410	R410	R410	R410	R410	R410
Carga de refrigerante (longitud máxima de las tuberías sin carga)		kg (m)	1,40 (15)	1,50 (15)	1,70 (15)	3,30 (15)	3,40 (15)	3,40 (15)
Compresor			Scroll DC Inverter	Scroll DC Inverter	Scroll DC Inverter	Scroll DC Inverter	Scroll DC Inverter	Scroll DC Inverter
Dimensiones (Al x An x Fn)		mm	600 x 792 x 300	600 x 792 x 300	600 x 792 x 300	1.380 x 950 x 370	1.380 x 950 x 370	1.380 x 950 x 370
Peso		kg	43	43	44	103	103	103

Unidad interior			RWD-2.0NW(S)E	RWD-2.5NW(S)E	RWD-3.0NW(S)E	RWD-4.0NW(S)E	RWD-5.0NW(S)E	RWD-6.0NW(S)E
<b>Modelo estándar</b>			<b>RWD-2.0NWE</b>	<b>RWD-2.5NWE</b>	<b>RWD-3.0NWE</b>	<b>RWD-4.0NWE</b>	<b>RWD-5.0NWE</b>	<b>RWD-6.0NWE</b>
<b>Modelo para combinación solar</b>			<b>RWD-2.0NWSE</b>	<b>RWD-2.5NWSE</b>	<b>RWD-3.0NWSE</b>	<b>RWD-4.0NWSE</b>	<b>RWD-5.0NWSE</b>	<b>RWD-6.0NWSE</b>
Alimentación	Monofásico		1 ~ 230 V 50 Hz	1 ~ 230 V 50 Hz	1 ~ 230 V 50 Hz	1 ~ 230 V 50 Hz	1 ~ 230 V 50 Hz	1 ~ 230 V 50 Hz
	Trifásico		—	—	—	3 N ~ 400 V 50 Hz	3 N ~ 400 V 50 Hz	3 N ~ 400 V 50 Hz
Potencia sonora <sup>(2)</sup>		dB(A)	37	37	37	39	39	39
Diámetro de tuberías (Liq - Gas)		pulgadas	1/4 - 5/8	3/8 - 5/8	3/8 - 5/8	3/8 - 5/8	3/8 - 5/8	3/8 - 5/8
Rango de funcionamiento calefacción	Temperatura ambiente exterior	°C (DB)	-20 - 25	-20 - 25	-20 - 25	-25 - 25	-25 - 25	-25 - 25
	Temperatura salida de agua	°C	20 - 55	20 - 55	20 - 55	20 - 60	20 - 60	20 - 60
Rango de funcionamiento refrigeración	Temperatura ambiente exterior	°C (DB)	10 - 46	10 - 46	10 - 46	10 - 46	10 - 46	10 - 46
	Temperatura salida de agua	°C	5 - 22	5 - 22	5 - 22	5 - 22	5 - 22	5 - 22
Rango de funcionamiento (ACS)	Temperatura ambiente exterior	°C (DB)	-15 - 35	-15 - 35	-15 - 35	-25 - 35	-25 - 35	-25 - 35
	Temperatura salida de agua	°C	30 - 75	30 - 75	30 - 75	30 - 75	30 - 75	30 - 75
Dimensiones	Alto (con conexiones)	mm	1.750 (1.816) *	1.750 (1.816) *	1.750 (1.816) *	1.750 (1.816) *	1.750 (1.816) *	1.750 (1.816) *
	Ancho	mm	600	600	600	600	600	600
	Fondo	mm	733	733	733	733	733	733
Precio unidad exterior	Monofásico	€	1.958	2.291	2.552	4.352	4.479	5.065
	Trifásico	€	—	—	—	4.449	4.737	5.353
Peso tanque 200 L		kg	121	122	122	120	122	122
Peso tanque 260 L **		kg	131	132	132	130	132	132
Peso del modelo para combinación solar (260 L)		kg	131	132	132	130	132	132
Precio unidad interior RWD-2.-6NWE 200 L		€	5.195	5.277	5.561	6.509	6.539	6.766
Precio unidad interior RWD-2.-6NWE 260 L		€	5.258	5.436	5.613	6.672	6.698	6.929
Precio unidad para panel solar RWD-2.-6NWSE		€	5.523	5.708	5.893	7.005	7.035	7.272

(1) La potencia nominal para refrigeración y calefacción se basan en la norma EN14511 y en las condiciones siguientes:  
 - Refrigeración: temperatura de agua de entrada 12 °C y de salida 7 °C; temperatura exterior 35 °C BS  
 - Calefacción: temperatura de agua de entrada 30 °C y de salida 35 °C; temperatura exterior 7 °C BS, 6 °C BH.

(2) La medición del nivel sonoro se hace en las siguientes condiciones:  
 - Temperatura exterior: 7°C (DB)/5°C (WB).  
 - Temperatura de entrada y salida de agua: 30/35°C.  
 - La medición del nivel sonoro se realiza en una cámara anecoica a 1 metro desde la superficie frontal

Figura 47. Fitxa tècnica de la bomba de calor aerotèrmica. Font: Hitachi.



## C.2 – Dimensionat del vas d'expansió per ACS

El vas d'expansió extern que no ve integrat a la unitat interior es calcularà segons la norma UNE 100155. Per aquest càlcul primer de tot ens cal determinar el volum del circuit d'ACS de l'habitatge. Es pot fer de manera aproximada amb la següent equació:

$$V(\text{litres}) = Q(\text{kW}) \times \frac{15}{1,16}$$

On:

V= Volum de la instal·lació

Q=Potència nominal de la bomba de calor

$$V = 11 \times \frac{15}{1,16} = 142,24 \text{ litres}$$

A continuació cal determinar el coeficient d'expansió, el qual representa la relació entre el volum útil del vas d'expansió i el volum del fluid contingut en la instal·lació. Segons el RITE el podem calcular amb la següent equació:

$$C_e = (3,24 \times t^2 + 102,13 \times t - 2708,3) \times 10^{-6}$$

On:

Ce= Coeficient d'expansió

t= Temperatura mitja de la instal·lació (°C)

El coeficient d'expansió serà major quan major sigui la temperatura màxima de l'aigua, per tant agafarem de temperatura mitjana la de l'estiu, que és quan l'aigua de la xarxa serà major i per tant serà quan l'aigua mitjana de retorn i la freda serà major també.

A l'estiu l'aigua de la xarxa, calculada a l'Annex A.1, té una temperatura de 19,09°C, i l'aigua de funcionament és sempre de 66°C.

$$t = \frac{60 + 19,09}{2} = 39,55^\circ\text{C}$$

$$C_e = (3,24 \times 39,55^2 + 102,13 \times 39,55 - 2708,3) \times 10^{-6} = 0,00639$$

El % d'expansió és del 0,64 %.

Finalment hem de calcular el coeficient de pressió ( $C_p$ ) del gas amb que s'empleni el vas d'expansió.

Aquest coeficient es calcula a partir de l'equació d'estat per gasos perfectes, considerant que la variació del volum del fluid es genera a temperatura constant (lleis de Boyle i Mariotte).

$$C_p = \frac{PM(\text{bar})}{PM(\text{bar}) - Pm(\text{bar})}$$

On:

$C_p$  = Coeficient de pressió

$PM$  = Pressió màxima (Pressió de tarada + Pressió atmosfèrica)

$Pm$  = Pressió mínima o estàtica (Pressió manomètrica + Pressió atmosfèrica)

La pressió de tarada és la pressió màxima per la qual està ajustada o preparada la instal·lació. Segons el document bàsic DB-HS 4, la pressió no pot superar els 5 bars en qualsevol punt de consum de la xarxa d'aigua i un mínim d'entre 1 i 1,5 bars. Com és una dada que no podem saber amb exactitud, considerarem que la pressió de tarada és de 3 bar i la pressió estàtica de 2 bar, d'aquesta manera no ens acostem al màxim i complim amb el mínim i anem sobre segur. Al final el que busquem és un càlcul aproximatiu que ens permeti tenir una idea del volum necessari del vas d'expansió per a l'ACS. La pressió atmosfèrica ja sabem que és de 1 bar.

$$PM = 3 \text{ bar} + 1 \text{ bar} = 4 \text{ bar}$$

$$Pm = 2 \text{ bar} + 1 \text{ bar} = 3 \text{ bar}$$

$$C_p = \frac{4}{4 - 3} = 4$$

Finalment apliquem l'equació de càlcul del volum del vas segons la norma UNE 100155 i tenint en compte els valors que hem anat calculant.

$$V_t = V \times C_e \times C_p$$

$$V_t = 142,24 \times 0,00639 \times 4 = 3,64 \text{ litres}$$

El volum mínim que necessitem pel vas és de 3,64 litres. Com la temperatura de funcionament mitjana dels radiadors és més elevada, els vasos d'expansió dels radiadors han de ser més grans, en aquest cas en tenim prou complint aquest volum.



## ANNEX D – SISTEMA GEOTÈRMIC

### D.1 – Especificacions tècniques del model escollit

		H 1-10 (classic / elite)	HC 1-10 (classic / elite)	H 3-15 (classic / elite)	HC 3-15 (classic / elite)	H 5-25 (classic / elite)	HC 5-25 (classic / elite)
Aplicaciones	Calefacción y ACS	*	*	*	*	*	*
	Frío pasivo		*		*		*
	Frío activo		*		*		*
Potencias	Calefacción (kW)	1 - 10	1 - 10	3 - 15	3 - 15	5 - 25	5 - 25
	Refrigeración (kW)		2 - 11		4 - 16.5		7 - 30
	Consumo eléctrico (kW)	0.4 - 2.1	0.4 - 2.1	0.8 - 3.3	0.8 - 3.3	1.3 - 5.6	1.3 - 5.6
Alimentación eléctrica	230 V 1/N/PE <sup>-</sup>	*	*	*	*	*	*
	400 V 3/N/PE <sup>-</sup>	*	*	*	*	*	*
Eficiencia	COP <sup>1</sup>	4.8*	4.8*	4.61	4.61	5.01	5.01
	EER		6.5		6.4		6.8
Acumulador ACS		Externo / Integrado (200 l)	Externo / Integrado (200 l)	Externo / Integrado (200 l)	Externo / Integrado (200 l)	Externo / Integrado (200 l)	Externo / Integrado (200 l)
Refrigerante	Tipo	R410A					
	Carga (kg)	1.0 / 1.25	1.0 / 1.5	1.5 / 1.75	1.5 / 1.75	1.8 / 2.1	1.8 / 2.1
Dimensiones	Alto x Ancho x Fondo (mm)	Classic 1040 x 600 x 800 / Elite 1850 x 600 x 800					
Conexiones	Captación y calefacción	1"					
	ACS Alta temperatura	3/4"					
Peso	(kg)	147 / 227	158 / 238	163 / 243	174 / 254	168 / 248	179 / 259
Nivel sonoro	(dB)	42					

Según norma EN14511, en condiciones 0/-3 °C y 30/35 °C. \* Pendiente de certificación.

**Figura 48. Fitx tècnica de la bomba de calor geotèrmica. Font: Clausius.**

## D.2 – Càlcul del perfil de temperatures del subsòl

Per a determinar el tipus de terreny on es troba l'habitatge ens basem en un sondeig realitzat per l'IGME (Instituto Geológico y Minero de España) realitzat al nord de La Bisbal d'Empordà, població al costat de Corçà. Els resultats del sondeig van ser els següents:

- 8 - 50 m. Marga arenosa con glauconia.
- 50 - 129 m. Arcosas con alguna pasada de marga azul.
- 129 - 163 m. Marga caliza azul.
- 163 - 184 m. Arcosa con pasadas de arcilla roja.
- 184 - 250 m. Marga azul, algo detrítica, impermeable.
- 250 - 305 m. Maciño blando poco coherente, permeable. Con pasadas de arcilla en su parte inferior.
- 305 - 350 m. Marga detrítica muy abrasiva.
- 350 - 360 m. Caliza sacaroidea permeable.
- 360 - 415 m. Marga azul arenosa con alguna pasada caliza.
- 415 - 431 m. Caliza sacaroidea, permeable.
- 431 - 489 m. Margas con pasadas calizas.
- 489 - 511 m. Arenisca con pasadas calizas (Globigerinas).
- 511 - 557 m. Margas azules algo detríticas (Anomya, Pecten, Ostraea).
- 557 - 570 m. Caliza nummulítica.
- 570 - 605 m. Alternancia de margas y calizas.
- 605 - 612 m. Zona de trituración. Falla.
- 612 - 639 m. Pizarras sericíticas con vetas de cuarzo.

*Figura 49: Tipus de roca a diferents alçades. Font: IGME*

El sondeig es va resumir d'acord dades d'altres sondejors del terreny i la informació del mateix.

- 1.- 300 m. Areniscas arcóscicas con glauconita (Areniscas de Sarriá de Ter). Los 70 m. de la parte basal son de == transición al nivel infrayacente.
- 2.- 248 m. Arcillas gris azuladas (Margas de Bañolas). Los 80= m. de la base incluyen ya ~capas de calizas y consti tuyen el nivel de tránsito a las calizas de su ya=- cente.
- 3.- 57 m. Calizas organógenas (Calizas de Gerona).

*Figura 50. Resum del tipus de roca. Font: IGME*

FIGURA Nº 7. - SONDEO "LA BISBAL"

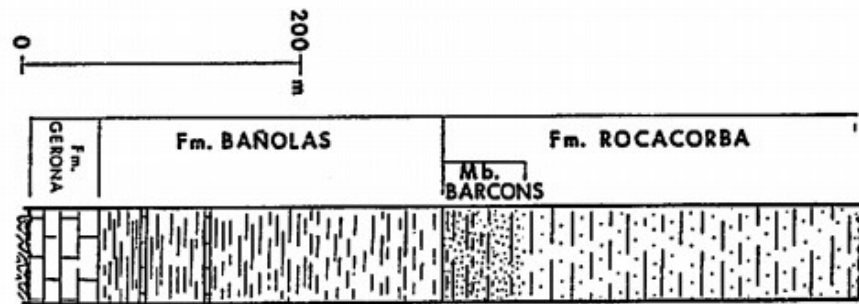


Figura 51. Gràfic del tipus de roca. Font: IGME.

Com d'entrada en instal·lacions domèstiques de geotèrmia la profunditat interessant és d'entre 50 i 150 metres , mirant els resultats del sondeig podem concloure que el material del terreny és roca calcària. Segons l'IDAE i la següent taula que ells mateixos proporcionen podem veure les característiques tèrmiques d'aquest tipus de terreny.

Tipo de roca	Conductividad térmica (W/mK)			Capacidad térmica volumétrica (MJ/m³K)
	Mín.	Valor típico	Máx.	
<b>Rocas magmáticas</b>				
Basalto	1,3	1,7	2,3	2,3-2,6
Diorita	2	2,6	2,9	2,9
Gabro	1,7	1,9	2,5	2,6
Granito	2,1	3,4	4,1	2,1-3,0
Peridotita	3,8	4	5,3	2,7
Riolita	3,1	3,3	3,4	2,1
<b>Rocas metamórficas</b>				
Gneis	1,9	2,9	4	1,8-2,4
Mármol	1,3	2,1	3,1	2
Metacuarcita		aprox. 5,8		2,1
Mica esquistos	1,5	2	3,1	2,2
Esquistos arcillosos	1,5	2,1	2,1	2,2-2,5
<b>Rocas sedimentarias</b>				
Caliza	2,5	2,8	4	2,1-2,4
Marga	1,5	2,1	3,5	2,2-2,3
Cuarcita	3,6	6	6,6	2,1-2,2
Halita	5,3	5,4	6,4	1,2
Arenisca	1,3	2,3	5,1	1,6-2,8
Limolitas y argilitas	1,1	2,2	3,5	2,1-2,4

Figura 52. Propietats tèrmiques dels diferents terrenys. Font: IDAE.

Amb la informació de la taula podem calcular la difusivitat tèrmica del terreny, necessària per a trobar-ne el perfil de temperatures. La difusivitat es calcula:

$$\alpha \left( \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right) = \frac{\text{Conductivitat tèrmica} \left( \frac{\text{W}}{\text{mK}} \right)}{\text{Capacitat tèrmica volumètrica} \left( \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2\text{K}} \right)} = \frac{2,8}{2,25} = 1,24 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

A continuació calculem, en aquest tipus de terreny, quina serà la temperatura màxima i la temperatura mínima a diferents profunditats, així podrem veure el comportament de les temperatures en roques calcàries.

$$T_{\text{max}} (^{\circ}\text{C}) = T_{\text{m}} (^{\circ}\text{C}) + A_{\text{s}} (^{\circ}\text{C}) * e^{(-X_{\text{s}}(\text{m}) * \sqrt{\left(\frac{\pi}{365 * \alpha(\text{m}^2/\text{dia})}\right)})}$$

$$T_{\text{min}} (^{\circ}\text{C}) = T_{\text{m}} (^{\circ}\text{C}) - A_{\text{s}} (^{\circ}\text{C}) * e^{(-X_{\text{s}}(\text{m}) * \sqrt{\left(\frac{\pi}{365 * \alpha(\text{m}^2/\text{dia})}\right)})}$$

On:

$T_{\text{max}}$  = Temperatura màxima anual a una profunditat determinada

$T_{\text{min}}$  = Temperatura mínima anual a una profunditat determinada

$T_{\text{m}}$  = Temperatura mitjana ambient anual

$A_{\text{s}}$  = Diferència mitjana entre la temperatura màxima i mínima anual

$X_{\text{s}}$  = Profunditat del subsol

$\alpha$  = Difusivitat tèrmica del terreny

Per al càlcul del terme  $A_{\text{s}}$  ens basem en les temperatures màximes i mínimes anuals a Girona:

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	7.9	9.1	11.4	13.6	17	20.8	23.5	23.4	20.9	16.5	11.9	8.8
Temperatura min. (°C)	4.6	5.7	8	9.9	13.4	16.8	19.4	19.4	17.4	13.2	8.8	5.7
Temperatura máx. (°C)	11.2	12.5	14.9	17.3	20.7	24.9	27.6	27.5	24.4	19.8	15.3	12
Precipitación (mm)	47	49	69	61	66	50	32	56	70	107	80	62

**Figura 53. Temperatures a Girona. Font: Climate Data**

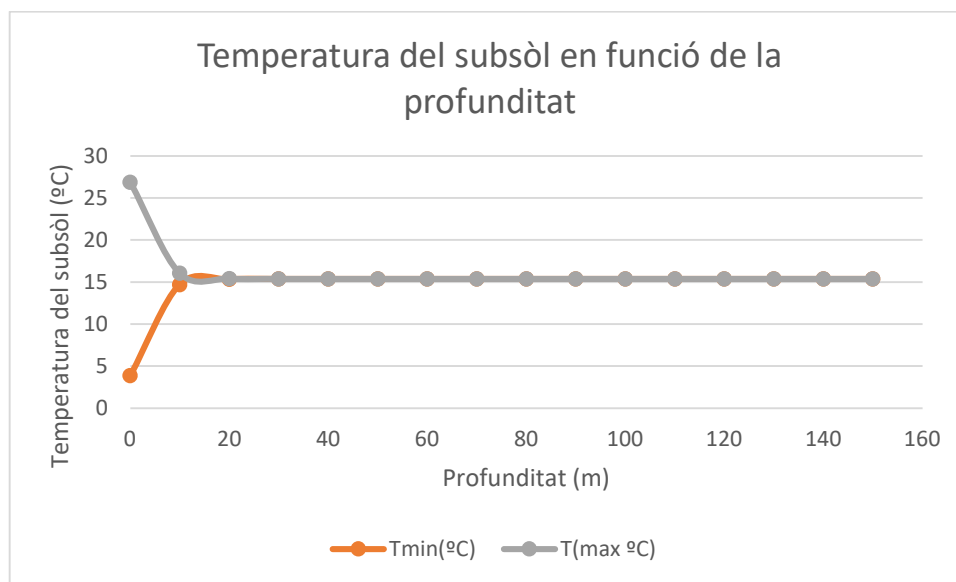
$$A_{\text{s}} = \frac{T_{\text{max}} + T_{\text{min}}}{2} = \frac{27,6 - 4,6}{2} = 11,5 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

Projecte de renovació de climatització d'un habitatge unifamiliar a Corçà

La temperatura ambiental anual és de 15,4°C calculada a partir de la mateixa taula. Finalment el resultat d'aplicar les equacions per a profunditats d'entre 0 metres i 150 metres és el que veiem a la T.

Profunditat(m)	Tmig (°C)	Dif mig (°C)	Difusivitat (m2/dia)	Tmin(°C)	T(max °C)
0	15,4	11,5	0,107136	3,9	26,9
10	15,4	11,5	0,107136	14,72433013	16,07566987
20	15,4	11,5	0,107136	15,36030176	15,43969824
30	15,4	11,5	0,107136	15,39766757	15,40233243
40	15,4	11,5	0,107136	15,39986296	15,40013704
50	15,4	11,5	0,107136	15,39999195	15,40000805
60	15,4	11,5	0,107136	15,39999953	15,40000047
70	15,4	11,5	0,107136	15,39999997	15,40000003
80	15,4	11,5	0,107136	15,4	15,4
90	15,4	11,5	0,107136	15,4	15,4
100	15,4	11,5	0,107136	15,4	15,4
110	15,4	11,5	0,107136	15,4	15,4
120	15,4	11,5	0,107136	15,4	15,4
130	15,4	11,5	0,107136	15,4	15,4
140	15,4	11,5	0,107136	15,4	15,4
150	15,4	11,5	0,107136	15,4	15,4

Taula 48. Temperatures min-max al subsòl. Font: Elaboració pròpia.



Gràfic 13. Perfil de temperatures min-max al subsòl. Font: Elaboració pròpia.

Tal i com es veu, a partir d'uns 20 metres de profunditat la temperatura és pràcticament constant al subsòl. Amb un pou no molt profund, de més de 20 metres, tindríem una temperatura d'intercanvi constant de 15,4°C.



### D.3 – Càlcul del diàmetre i longitud de les sondes

Degut a l'espai disponible s'opta per a realitzar una perforació vertical, a continuació cal calcular quina longitud han de tenir les sondes i per tant el pou per a poder subministrar la potència calorífica necessària a l'habitatge.

Per a aquest càlcul utilitzarem el sistema que consta a la norma VDI 4640. Aquest mètode només es pot aplicar en situacions on només s'utilitza calefacció i ACS, potència necessària màxima de 30 kW, pous verticals de màxim 100 metres i distàncies mínimes entre pous de 5 metres (pous de 40-50 metres de profunditat) i 6 metres (pous de 50-100 metres). Per tant en el nostre cas és aplicable. A més cal que estiguin com a mínim a 3 metres d'altres edificacions.

Sabent el COP de la bomba escollida (la Clausius Elite H 3-15), ens cal trobar primer de tot la potència tèrmica necessària a l'evaporador per a poder subministrar la potència nominal que la bomba necessita en condicions normals. Tot i que la bomba està sobredimensionada respecte els consums de l'habitatge calcularem la longitud per a una potència calefactora de 12 kW, que és aproximadament la màxima de demanda de l'habitatge. La demanda puntual mai serà superior a 12 kW segons hem calculat abans, possiblement serà menor de 12 però dimensionarem les perforacions per arribar-hi.

$$Potència evaporador (kW) = Potència calefacció (kW) - \frac{Potència calefacció (kW)}{COP}$$

$$Potència evaporador (kW) = 12 - \frac{12}{4,61} = 9,4 \text{ kW}$$

En condicions normals i amb una demanda interior de 12 kW tèrmics el subsol n'estaria aportant 9,4. Per a saber al longitud necessària per a aconseguir aquesta potència cal fixar-nos amb la següent taula.

EXTRACCIÓN TÉRMICA CAPTACIÓN VERTICAL	HORAS DE FUNCIONAMIENTO POR AÑO	
TIPO DE SUELO - VALORES GENERALES	1.800 H	2.400 H
Inapropiado. Sedimento seco. Conductividad $\lambda < 1,5 \text{ W/mK}$	25 W/m	20 W/m
Normal. Roca consolidada. Sedimento saturado de agua. Conductividad $\lambda < 3,0 \text{ W/mK}$	60 W/m	50 W/m
Roca consolidada. Elevada conductividad térmica. Conductividad $\lambda > 3,0 \text{ W/mK}$	84 W/m	70 W/m
TIPO DE SUELO		
Gravilla, arena. Seco.	<25 W/m	<20 W/m
Gravilla, arena. Con agua.	65-80 W/m	55-85 W/m
Zona freática a través de gravilla y arena.	80-100 W/m	55-85 W/m
Arcilla, limo. Húmedo.	35-50 W/m	30-40 W/m
Piedra caliza	55-70 W/m	45-60 W/m
Piedra arenisca	65-80 W/m	55-65 W/m
Granito	65-85 W/m	55-70 W/m
Basalto	40-65 W/m	35-55 W/m
Gneis	70-85 W/m	60-70 W/m

**Figura 54. Extracció tèrmica en funció del terreny i les hores. Font: FerroSystems**

Com s'ha comentat, la calefacció es fa servir 1810 hores l'any, per tant podem arrodonir a 1800 hores i utilitzar la primera columna. Per altra banda veiem que en terreny de pedra calcària, l'extracció tèrmica per a cada metre de profunditat és de 55-70W/m, el qual arrodonirem a 62,5 W/m.

Amb aquesta informació podem calcular la longitud de sonda que necessitem:

$$\text{Longitud de sonda}(m) = \frac{\text{Potència evaporador}(kW)}{\text{Extracció tèrmica del terreny}\left(\frac{kW}{m}\right)} = \frac{9,4}{0,0625} = 150,4 \text{ metres}$$

La longitud mínima de sonda que caldrà enterrar és 150,4 metres. Per a decidir la sonda necessària només faltaria comprovar el diàmetre. Cal tenir en compte que el diàmetre d'aquestes tuberes, que porten la solució salina a l'interior, ha de ser suficientment gran per a què les pèrdues de càrrega siguin menors i necessitar menys bombeig de la bomba però també ha de ser suficientment petit per assegurar turbulència del fluid a l'interior. Cal que el règim sigui el més prop a turbulent possible per assegurar l'intercanvi tèrmic entre el flux i el subsol. Per a ajustar el diàmetre ho fem a través del valor mínim de Reynolds:

$$\text{Re} = \frac{4 \times q\left(\frac{m^3}{s}\right)}{\pi \times v\left(\frac{m^2}{s}\right) \times D(m)} > 2300$$

On:

Re = Nombre de Reynolds

q = Cabal de la solució salina a través de la sonda

D = Diàmetre de les sondes (m)

$\nu$  = Viscositat cinemàtica de la solució salina

En alguns casos el fabricant de la bomba de calor indica quina és la solució salina que ha de circular per les sondes, en el cas de Clausius no ho fan, així que cal decidir quina solució salina utilitzarem. Tot i que ens trobem en un clima relativament càlid i amb aigua sense anticongelant la instal·lació rendiria, i que la temperatura mínima anual és de 4,6°C, optem per utilitzar la solució salina amb anticongelant més freqüent en aquest tipus d'instal·lacions: l'etilenglicol. A la taula XXXX s'hi veuen les característiques d'aquesta solució i de les altres 2 més utilitzades.

	Agua	Etilenglicol	Propilenglicol
Densidad a 20 °C (g/cm <sup>3</sup> )	1	0,9259	0,8630
Punto congelación °C (30% volumen)	0	-13	-12
Punto ebullición °C	100	197	187
Calor Específico a 15 °C (kJ/Kg.K)	4,187	2,185	2,50371
Viscosidad a 0 °C (Pa.s) ·10 <sup>-3</sup>	1,79	57,4	243
Viscosidad a 20 °C (Pa.s) ·10 <sup>-3</sup>	1,01	20,9	60,5
Viscosidad a 40 °C (Pa.s) ·10 <sup>-3</sup>	0,655	9,5	18,0
Conductividad térmica a 20 °C (kW/m.K) ·10 <sup>-3</sup>	0,60	0,26	0,20

**Figura 55. Propietats de diferents fluids intercanviadors. Font: IDAE.**

Per a calcular el diàmetre calculem primer la viscositat cinemàtica amb l'ajuda de les dades de la taula a 20°C.

$$\nu \left( \frac{m^2}{s} \right) = \frac{\mu (Pa \cdot s)}{\rho \left( \frac{kg}{m^3} \right)}$$

On:

$\nu$  = Viscositat cinemàtica

$\mu$  = Viscositat dinàmica

$\rho$  = Densitat

$$\nu = \frac{20,9 \times 10^{-3}}{925,9} = 22,57 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

Si tornem a l'equació de Reynolds veiem que no sabem ni el diàmetre ni el cabal que circularà per les sondes. Cal doncs comprovar quins són els diàmetres que es troben al mercat. Cal trobar un equilibri entre el cabal i el diàmetre per assegurar-nos turbulència i poques pèrdues de càrrega. Utilitzarem la marca de sondes "Ferroterm", i com ens interessa

realitzar com menys perforacions millor ens fixem en la varietat que ofereixen de sondes de doble U, d'aquesta manera dupliquem la longitud disponible de sonda a cada pou.



SONDA VERTICAL GEOTERMIA PE-100 DOBLE					
Código	Nº Tubos	Ø Tubo (mm)	Espesor (mm)	Long. sonda (m)	Peso (Kg)
246005	4	32	2,9	80	87
246006	4	32	2,9	100	109
246007	4	32	2,9	125	136
246008	4	32	2,9	150	163
246009	4	40	3,7	80	136
246010	4	40	3,7	100	168
246011	4	40	3,7	125	210
246012	4	40	3,7	150	252

**Figura 56. Sondes verticals Ferroplas. Font: FerroSystems.**

Els diàmetres externs de mercat són de 40mm i de 32 mm, tot amb sondes de PE-100 (del qual en podem veure les propietats a continuació). Abans hem pogut calcular que necessitem 150,4 metres de sonda per a poder produir 12 kW de potència tèrmica, una opció molt factible és doncs utilitzar una sonda de 32mm de diàmetre doble amb un pou de 80 metres de profunditat i de longitud de sonda. D'aquesta manera tindrem 160 metres de sonda. Aquest tipus de sonda, té un diàmetre exterior de 32 mm i una espessor de 2,9mm, per tant el diàmetre intern és de 26,2 mm.

Propiedades polietileno alta densidad (PE-100) FERROTHERM		
Densidad media	>0,95	gr/cm <sup>3</sup>
Coefficiente de dilatación térmica lineal	0,22	mm/m°C
Conductividad térmica	0,40	Kcal/h m°C
Contenido en negro de carbono	2-2,5	%
Dispersión negro de carbono	≤ grado 3	
Contenido en materias volátiles	<350	mg/Kg
Contenido en agua	<300	mg/Kg
Módulo de elasticidad a corto plazo	1.000-1.200	MPa
Módulo de elasticidad a largo plazo	160	MPa
Tensión de diseño (σ)	8,0	Mpa
Coefficiente de seguridad C min.	1,25	
Coefficiente de Poisson (ν)	0,4	
Constante dieléctrica	2,5	
Rugosidad hidráulica	0,007	mm
Temperatura máxima de uso	45	°C

**Figura 57. Propietats del PE-100. Font: FerroSystems.**

Tornant a l'equació de Reynolds, tot i que la plantejàvem per a trobar un diàmetre, ens hem d'adaptar a les mides de mercat i ens permet trobar el cabal mínim que ha de circular per les sondes per a que el règim sigui turbulent.

$$Re = \frac{4 \times q}{\pi \times 22,57 \times 10^{-6} \times 0,0262} = 2300$$

El cabal mínim de la bomba i que circula per les sondes ha de ser de 1,06 l/s. Donats els rangs de les bombes a d'a d'avui això no suposarà cap inconvenient, presenten un rang de cabals molt ampli que poden anar des dels 0,3 l/s fins als 1,3 l/s en molts casos, no tendeixen a requerir un cabal específic molt concret sempre i quan aquest es trobi dins uns rangs acceptables.

## ANNEX E – CÀLCULS D'EFICIÈNCIA I AMORTITZACIÓ

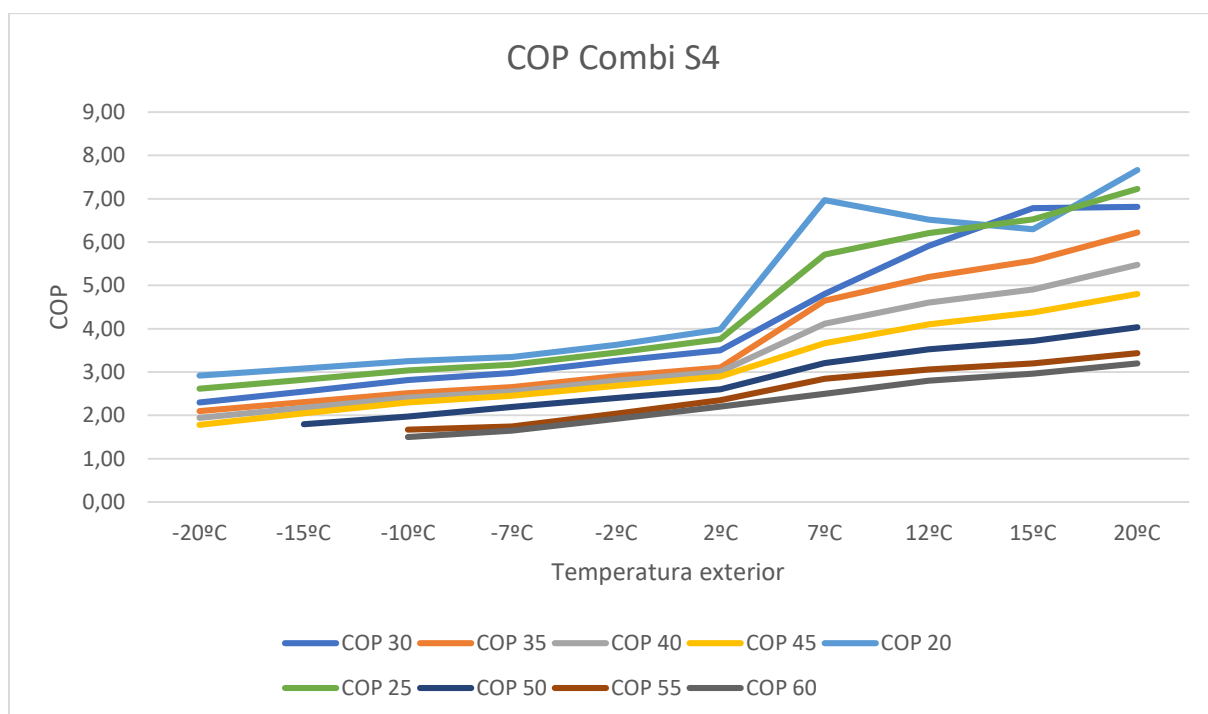
### E.1 – Càlcul d'eficiència de les bombes de calor

Per a determinar el COP en diferents circumstàncies de la bomba de calor aerotèrmica ens basarem ens les taules de capacitat que el mateix fabricant ens proporciona al seu catàleg tècnic. Pel model escollit és la taula adjunta.

Sistema	Temp. salida agua (°C)	Temperatura ambiente (°C WB)																			
		-20		-15		-10		-7		-2		2		7		12		15		20	
		CAP (kW)	IPT (kW)	CAP (kW)	IPT (kW)	CAP (kW)	IPT (kW)	CAP (kW)	IPT (kW)	CAP (kW)	IPT (kW)	CAP (kW)	IPT (kW)	CAP (kW)	IPT (kW)	CAP (kW)	IPT (kW)	CAP (kW)	IPT (kW)	CAP (kW)	IPT (kW)
RAS-4WH(V)NPE + RWM-4.0NE(-W)	60	-	-	-	-	6,50	4,33	6,80	4,12	6,91	3,60	7,00	3,18	8,50	3,40	10,20	3,64	11,22	3,79	13,00	4,06
	55	-	-	-	-	7,20	4,30	9,70	5,56	9,90	4,86	10,50	4,47	13,50	4,75	14,36	4,69	14,77	4,62	15,46	4,50
	50	-	-	7,50	4,17	7,79	3,95	9,87	4,50	10,00	4,16	10,90	4,19	13,88	4,33	14,83	4,21	15,39	4,14	16,34	4,05
	45	7,20	4,03	8,28	4,05	9,35	4,07	10,00	4,08	10,60	3,95	11,50	3,97	14,10	3,85	15,30	3,73	16,02	3,66	17,00	3,54
	40	8,10	4,16	8,95	4,12	9,80	4,07	10,31	4,05	11,00	3,93	11,80	3,92	14,65	3,56	15,65	3,40	16,25	3,31	17,25	3,15
	35	9,00	4,29	9,62	4,18	10,25	4,08	10,62	4,01	11,83	4,08	12,80	4,13	15,20	3,27	16,00	3,08	16,48	2,96	17,50	2,81
	30	10,00	4,34	10,77	4,22	11,53	4,10	11,99	4,03	12,72	3,90	13,30	3,80	15,90	3,31	16,60	2,81	17,02	2,51	17,72	2,60
	25	11,64	4,44	12,16	4,31	12,68	4,18	13,00	4,10	13,72	3,98	13,58	3,61	16,10	2,82	17,00	2,74	17,54	2,69	18,44	2,55
20	13,28	4,55	13,56	4,40	13,84	4,26	14,00	4,18	14,72	4,06	13,78	3,46	16,30	2,34	17,40	2,67	18,06	2,87	19,16	2,50	

**Figura 58. Capacitat de producció de la bomba de calor Hitachi Combi S4. Font: Hitachi.**

Aquesta taula ens marca per als diferents models la seva capacitat de potència i la potència elèctrica per a diferents situacions, sempre en funció de la temperatura de funcionament de l'aigua a dins l'habitatge i en funció de la temperatura exterior. Amb aquestes dades podem representar el COP en cada una d'aquestes situacions obtenint el següent gràfic.



**Gràfic 14. COP de la bomba aerotèrmica en funció de la temperatura exterior i la temperatura de funcionament. Font: Elaboració pròpia.**

Veiem l'evolució del COP de la bomba en funció de la temperatura exterior. Veiem que una bomba és més eficient com major és la temperatura exterior i menor és la temperatura de funcionament de l'aigua. Per al nostre cas hem de fixar-nos amb el COP a 55°C (radiadors a baixa temperatura) i amb el COP a 60°C (ACS).

Text / Ttreball	COP 20	COP 25	COP 30	COP 35	COP 40	COP 45	COP 50	COP 55	COP 60
-20°C	2,92	2,62	2,30	2,10	1,95	1,79			
-15°C	3,08	2,82	2,55	2,30	2,17	2,04	1,80		
-10°C	3,25	3,03	2,81	2,51	2,41	2,30	1,97	1,67	1,50
-7°C	3,35	3,17	2,98	2,65	2,55	2,45	2,19	1,74	1,65
-2°C	3,63	3,45	3,26	2,90	2,80	2,68	2,40	2,04	1,92
2°C	3,98	3,76	3,50	3,10	3,01	2,90	2,60	2,35	2,20
7°C	6,97	5,71	4,80	4,65	4,12	3,66	3,21	2,84	2,50
12°C	6,52	6,20	5,91	5,19	4,60	4,10	3,52	3,06	2,80
15°C	6,29	6,52	6,78	5,57	4,91	4,38	3,72	3,20	2,96
20°C	7,66	7,23	6,82	6,23	5,48	4,80	4,03	3,44	3,20

**Taula 49. COP de la bomba aerotèrmica en funció de la temperatura exterior i la temperatura de funcionament. Font: Elaboració pròpia.**

Per a determinar els COP exactes en les situacions de treball requerides ens caldrà interpolar entre els valors coneguts que sabem. Donades les temperatures exteriors mensuals de la nostra zona i la temperatura requerida tant per calefacció com per ACS cal trobar el COP de cada situació. Si realitzem les interpolacions corresponents aplicant la fórmula:

Projecte de renovació de climatització d'un habitatge unifamiliar a Corçà

$$COPf = COP1 + \frac{T_{amb}(^{\circ}C) - T1(^{\circ}C)}{T2(^{\circ}C) - T1(^{\circ}C)} * (COP2 - COP1)$$

On:

COPf = COP de funcionament a la temperatura desitjada

COP 1 = COP a la temperatura de referència per sota la desitjada

COP 2 = COP a la temperatura de referència per sobre la desitjada

Tamb = Temperatura ambient

T1 = Temperatura de referència per sota la desitjada

T2 = Temperatura de referència per sobre la desitjada

CALEFACCIÓ	Tª Ambient	Tª 1	Tª 2	COP 1	COP 2	COP Funcionament
GENER	7,9	7	12	2,84	3,06	2,88
FEBRER	9,1	7	12	2,84	3,06	2,93
MARÇ	11,4	7	12	2,84	3,06	3,03
ABRIL	13,6	12	15	3,06	3,2	3,13
NOVEMBRE	11,9	7	12	2,84	3,06	3,06
DESEMBRE	8,8	7	12	2,84	3,06	2,92

*Taula 50. COP de funcionament de la calefacció. Font: Elaboració pròpia.*

ACS	Tª Ambient	Tª 1	Tª 2	COP 1	COP 2	COP Funcionament
GENER	7,9	7	12	2,5	2,8	2,55
FEBRER	9,1	7	12	2,5	2,8	2,63
MARÇ	11,4	7	12	2,5	2,8	2,76
ABRIL	13,6	12	15	2,8	2,96	2,89
MAIG	17	15	20	2,96	3,2	3,06
JUNY	20,8	15	20	2,96	3,2	3,24
JULIOL	23,5	15	20	2,96	3,2	3,37
AGOST	23,4	15	20	2,96	3,2	3,36
SETEMBRE	20,9	15	20	2,96	3,2	3,24
OCTUBRE	16,5	15	20	2,96	3,2	3,03
NOVEMBRE	11,9	7	12	2,5	2,8	2,79
DESEMBRE	8,8	7	12	2,5	2,8	2,61

*Taula 51. COP de funcionament de l'ACS. Font: Elaboració pròpia.*

Veiem doncs que per a cada mes i per a cada situació se'ns presenta un COP diferent.



Com he comentat a la memòria, malauradament, per a la geotèrmia no disposem de tota aquesta informació segurament perquè no s'han realitzat assajos en tantes condicions diferents. És per això que utilitzem la taula amb els factors correctors. Com el COP nominal ha estat assajat segons la norma UNE EN 14511 podem aplicar els següents factors correctors per a determinar l'eficiència a la nostra zona. Aquests factors tenen en compte la zona climàtica (C en el cas de Corçà com s'havia vist) i la temperatura de funcionament (55°C o 60°C segons és per calefacció o per ACS).

Fuente energética de la bomba de calor	Factor de ponderación (FP)				
	A	B	C	D	E
Aerotérmica. Equipos centralizados	0,87	0,8	0,8	0,75	0,75
Aerotérmica. Equipos individuales tipo split	0,66	0,68	0,68	0,64	0,64
Hidrotérmica	0,99	0,96	0,92	0,86	0,8
Geotérmica. Circuito cerrado de tipo horizontal	1,05	1,01	0,97	0,9	0,85
Geotérmica. Circuito cerrado de tipo vertical	1,24	1,23	1,18	1,11	1,03
Geotermica. Circuito abierto	1,31	1,3	1,23	1,17	1,09

Temperatura de condensación °C	Factor de corrección (FC)					
	COP 35°C	COP 40°C	COP 45°C	COP 50°C	COP 55°C	COP 60°C
35	1					
40	0,87	1				
45	0,77	0,89	1			
50	0,68	0,78	0,88	1		
55	0,61	0,7	0,79	0,9	1	
60	0,55	0,63	0,71	0,81	0,9	1

**Figura 59. Taules amb els factors de ponderació i correcció. Font: RITE.**

El COP en condicions nominals de la bomba és de 4,61. Aquestes condicions són 35°C de funcionament i temperatura de 0°C de la solució salina quan aquesta torna al subsol. Corregint aquest COP obtenim:

$$COP \text{ calefacció} = COP_n \times FP \times FC = 4,61 \times 1,18 \times 0,61 = 3,32$$

$$COP \text{ ACS} = COP_n \times FP \times FC = 4,61 \times 1,18 \times 0,55 = 2,99$$

En aquest cas, com la temperatura del subsol és constant tot l'any, el rendiment serà el mateix tots els mesos. És una de les grans avantatges que havíem comentat: la constància del seu rendiment.

Sabent els rendiments dels dos sistemes podem determinar la quantitat d'energia elèctrica instal·lant un o altre sistema a les taules adjuntes.

Projecte de renovació de climatització d'un habitatge unifamiliar a Corçà

AEROTÈRMIA	T <sup>a</sup> ambient (°C)	Temperatura Calefacció (°C)	Temperatura ACS (°c)	COP Calefacció	COP ACS	Demanda calefacció (kWh)	Demanda ACS (kWh)	Consum total (kWh)
GENER	7,9	55	60	2,88	2,55	1608,76	156,9	620,13
FEBRER	9,1	55	60	2,93	2,63	1226,13	138,99	471,32
MARÇ	11,4	55	60	3,03	2,76	945,48	150,85	366,70
ABRIL	13,6	55	60	3,13	2,89	566,06	143,32	230,44
MAIG	17	55	60	-	3,06	-	139,01	45,43
JUNY	20,8	55	60	-	3,24	-	128,67	39,71
JULIOL	23,5	55	60	-	3,37	-	123,87	36,76
AGOST	23,4	55	60	-	3,36	-	126,9	37,77
SETEMBRE	20,9	55	60	-	3,24	-	125,73	38,81
OCTUBRE	16,5	55	60	-	3,03	-	138,74	45,79
NOVEMBRE	11,9	55	60	3,06	2,79	997,97	145,98	378,46
DESEMBRE	8,8	55	60	2,92	2,61	1515,38	153,88	577,92
<b>TOTAL</b>								<b>2889,23</b>

Taula 52. Consum total aerotèrmia. Font: Elaboració pròpia.

GEOTÈRMIA	T <sup>a</sup> ambient (°C)	Temperatura Calefacció (°C)	Temperatura ACS (°c)	COP Calefacció	COP ACS	Demanda calefacció (kWh)	Demanda ACS (kWh)	Consum total (kWh)
GENER	7,9	55	60	3,32	2,99	1608,76	156,9	537,04
FEBRER	9,1	55	60	3,32	2,99	1226,13	138,99	415,80
MARÇ	11,4	55	60	3,32	2,99	945,48	150,85	335,23
ABRIL	13,6	55	60	3,32	2,99	566,06	143,32	218,43
MAIG	17	55	60	3,32	2,99	-	139,01	46,49
JUNY	20,8	55	60	3,32	2,99	-	128,67	43,03
JULIOL	23,5	55	60	3,32	2,99	-	123,87	41,43
AGOST	23,4	55	60	3,32	2,99	-	126,9	42,44
SETEMBRE	20,9	55	60	3,32	2,99	-	125,73	42,05
OCTUBRE	16,5	55	60	3,32	2,99	-	138,74	46,40
NOVEMBRE	11,9	55	60	3,32	2,99	997,97	145,98	349,42
DESEMBRE	8,8	55	60	3,32	2,99	1515,38	153,88	507,90
<b>TOTAL</b>								<b>2625,68</b>

Taula 53. Consum total geotèrmia. Font: Elaboració pròpia.

## E.2 – Càlcul del cost de l'electricitat mensual

Com s'ha comentat, els clients disposen d'una tarifa on el preu varia hora a hora segons el mercat elèctric. Per estimar els consums agafem de referència els preus mitjans de cada mes de l'any passat segons la següent imatge.

Evolución del precio PVPC en 2018-2019		
Mes	PVCP 2018	PVCP 2019
Enero	0,1168 €/kWh	0,1289 €/kWh
Febrero	0,1214 €/kWh	0,1194 €/kWh
Marzo	0,1059 €/kWh	0,1138 €/kWh
Abril	0,1205 €/kWh	0,1153 €/kWh
Mayo	0,1082 €/kWh	0,1109 €/kWh
Junio	0,1235 €/kWh	0,1084 €/kWh
Julio	0,1269 €/kWh	0,1125 €/kWh
Agosto	0,1313 €/kWh	0,1057 €/kWh
Septiembre	0,1376 €/kWh	0,1018 €/kWh
Octubre	0,1303 €/kWh	0,1085 €/kWh
Noviembre	0,1283 €/kWh	0,1047 €/kWh
Diciembre	0,1296 €/kWh	0,0956 €/kWh

**Figura 60. Preu mitjà mensual del kWh 2018-2019. Font: Tarifas Gas Luz.**

D'aplicar els valors de 2019 als consums de l'habitatge:

	Demanda calefacció (kWh)	Demanda ACS (kWh)	Consum total Aerotèrmia (kWh)	Consum total Geotèrmia (kWh)	Cost kWh (€/kWh)	Cost Aerotèrmia (€)	Cost Geotèrmia (€)
<b>GENER</b>	1608,76	156,9	620,13	537,04	0,1289	79,93	69,22
<b>FEBRER</b>	1226,13	138,99	471,32	415,80	0,1194	56,28	49,65
<b>MARÇ</b>	945,48	150,85	366,70	335,23	0,1138	41,73	38,15
<b>ABRIL</b>	566,06	143,32	230,44	218,43	0,1153	26,57	25,19
<b>MAIG</b>	-	139,01	45,43	46,49	0,1109	5,04	5,16
<b>JUNY</b>	-	128,67	39,71	43,03	0,1084	4,30	4,66
<b>JULIOL</b>	-	123,87	36,76	41,43	0,1125	4,14	4,66
<b>AGOST</b>	-	126,9	37,77	42,44	0,1057	3,99	4,49
<b>SETEMBRE</b>	-	125,73	38,81	42,05	0,1018	3,95	4,28
<b>OCTUBRE</b>	-	138,74	45,79	46,40	0,1085	4,97	5,03
<b>NOVEMBRE</b>	997,97	145,98	378,46	349,42	0,1047	39,62	36,58
<b>DESEMBRE</b>	1515,38	153,88	577,92	507,90	0,0956	55,25	48,56
			<b>2889,23</b>	<b>2625,68</b>		325,77	295,63

**Taula 54. Cost anual de les bombes de calor. Font: Elaboració pròpia.**

El preu mig del kWh elèctric l'agafarem de realitzar la mitjana anual de l'any 2019 per a tenir una idea aproximada, aquesta mitjana és de 0,110458333 €/kWh. El farem servir més endavant aquest valor.

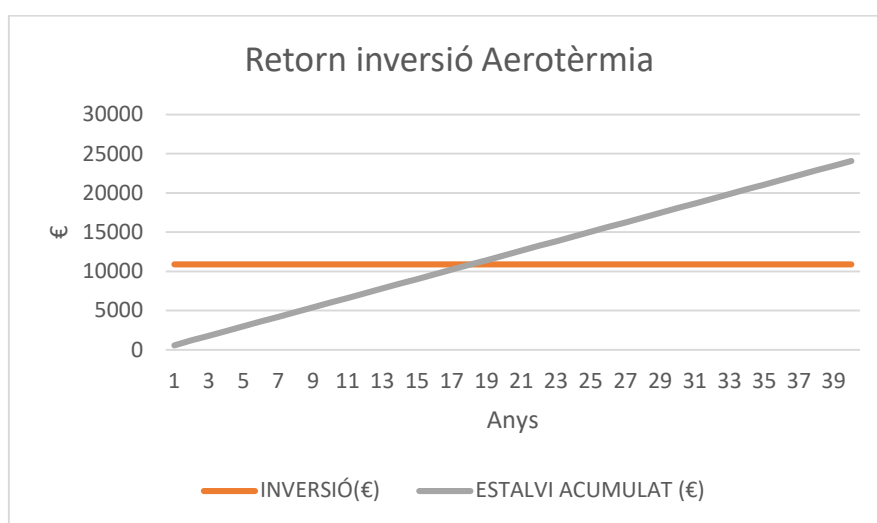
### **E.3 – Flux de caixa respecte la caldera actual**

Per a calcular els anys que es tarda a amortitzar-se cada una de les noves instal·lacions respecte l'actual caldera de gasoil de la que disposa l'habitatge es tenen en compte els costos anuals i les inversions inicials realitzades en cada cas. A l'apartat 7.5. de la memòria es veu el gràfic obtingut a partir de la Taula 55.

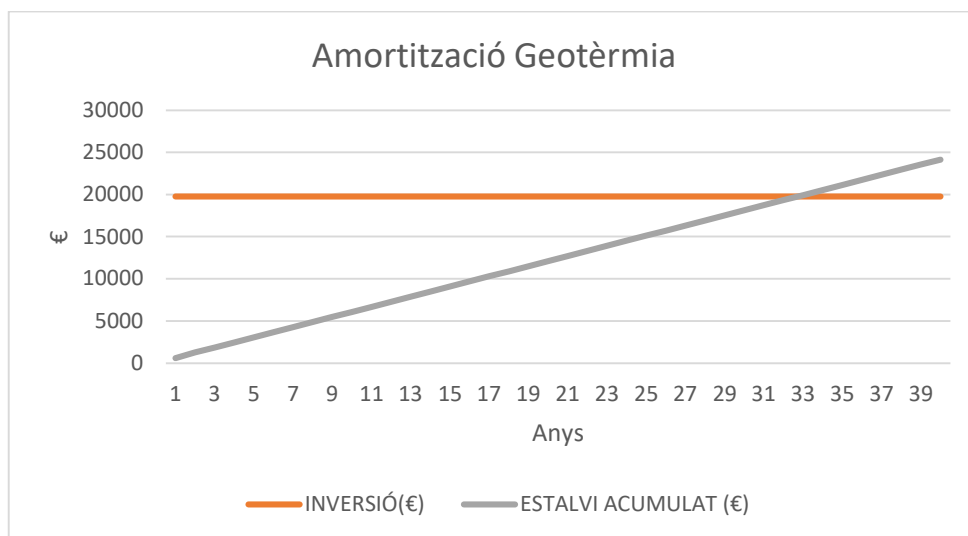
ANY	AEROTÈRMIA				GEOTÈRMIA				GAS NATURAL			
	Consum (kWh)	Consum acumulat (l)	Fluxe (l)	Aerotèrmia	Consum (kWh)	Consum acumulat	Fluxe (l)	Geotèrmi a	Consum (kWh)	Consum (L)	Fluxe (l)	Gasoil
0	-	-	10922,37	10922,37	-	-	19763,84	19763,84	-	-	-	0
1	2889,23	2889,23	325,77	11248,14	2625,68	2625,68	295,63	20059,47	10665,78	1066,578	927,92	927,92
2	2889,23	5778,46	325,77	11573,91	2625,68	5251,36	295,63	20355,1	10665,78	1066,578	927,92	1855,84
3	2889,23	8667,69	325,77	11899,68	2625,68	7877,04	295,63	20650,73	10665,78	1066,578	927,92	2783,76
4	2889,23	11556,92	325,77	12225,45	2625,68	10502,72	295,63	20946,36	10665,78	1066,578	927,92	3711,68
5	2889,23	14446,15	325,77	12551,22	2625,68	13128,4	295,63	21241,99	10665,78	1066,578	927,92	4639,6
6	2889,23	17335,38	325,77	12876,99	2625,68	15754,08	295,63	21537,62	10665,78	1066,578	927,92	5567,52
7	2889,23	20224,61	325,77	13202,76	2625,68	18379,76	295,63	21833,25	10665,78	1066,578	927,92	6495,44
8	2889,23	23113,84	325,77	13528,53	2625,68	21005,44	295,63	22128,88	10665,78	1066,578	927,92	7423,36
9	2889,23	26003,07	325,77	13854,3	2625,68	23631,12	295,63	22424,51	10665,78	1066,578	927,92	8351,28
10	2889,23	28892,3	325,77	14180,07	2625,68	26256,8	295,63	22720,14	10665,78	1066,578	927,92	9279,2
11	2889,23	31781,53	325,77	14505,84	2625,68	28882,48	295,63	23015,77	10665,78	1066,578	927,92	10207,12
12	2889,23	34670,76	325,77	14831,61	2625,68	31508,16	295,63	23311,4	10665,78	1066,578	927,92	11135,04
13	2889,23	37559,99	325,77	15157,38	2625,68	34133,84	295,63	23607,03	10665,78	1066,578	927,92	12062,96
14	2889,23	40449,22	325,77	15483,15	2625,68	36759,52	295,63	23902,66	10665,78	1066,578	927,92	12990,88
15	2889,23	43338,45	325,77	15808,92	2625,68	39385,2	295,63	24198,29	10665,78	1066,578	927,92	13918,8
16	2889,23	46227,68	325,77	16134,69	2625,68	42010,88	295,63	24493,92	10665,78	1066,578	927,92	14846,72
17	2889,23	49116,91	325,77	16460,46	2625,68	44636,56	295,63	24789,55	10665,78	1066,578	927,92	15774,64
18	2889,23	52006,14	325,77	16786,23	2625,68	47262,24	295,63	25085,18	10665,78	1066,578	927,92	16702,56
19	2889,23	54895,37	325,77	17112	2625,68	49887,92	295,63	25380,81	10665,78	1066,578	927,92	17630,48
20	2889,23	57784,6	325,77	17437,77	2625,68	52513,6	295,63	25676,44	10665,78	1066,578	927,92	18558,4
21	2889,23	60673,83	325,77	17763,54	2625,68	55139,28	295,63	25972,07	10665,78	1066,578	927,92	19486,32
22	2889,23	63563,06	325,77	18089,31	2625,68	57764,96	295,63	26267,7	10665,78	1066,578	927,92	20414,24
23	2889,23	66452,29	325,77	18415,08	2625,68	60390,64	295,63	26563,33	10665,78	1066,578	927,92	21342,16
24	2889,23	69341,52	325,77	18740,85	2625,68	63016,32	295,63	26858,96	10665,78	1066,578	927,92	22270,08
25	2889,23	72230,75	325,77	19066,62	2625,68	65642	295,63	27154,59	10665,78	1066,578	927,92	23198
26	2889,23	75119,98	325,77	19392,39	2625,68	68267,68	295,63	27450,22	10665,78	1066,578	927,92	24125,92
27	2889,23	78009,21	325,77	19718,16	2625,68	70893,36	295,63	27745,85	10665,78	1066,578	927,92	25053,84
28	2889,23	80898,44	325,77	20043,93	2625,68	73519,04	295,63	28041,48	10665,78	1066,578	927,92	25981,76
29	2889,23	83787,67	325,77	20369,7	2625,68	76144,72	295,63	28337,11	10665,78	1066,578	927,92	26909,68
30	2889,23	86676,9	325,77	20695,47	2625,68	78770,4	295,63	28632,74	10665,78	1066,578	927,92	27837,6
31	2889,23	89566,13	325,77	21021,24	2625,68	81396,08	295,63	28928,37	10665,78	1066,578	927,92	28765,52
32	2889,23	92455,36	325,77	21347,01	2625,68	84021,76	295,63	29224	10665,78	1066,578	927,92	29693,44

Taula 55. Evolució del cost total entre les diferents energies. Font: Elaboració pròpia.

Si tenim en compte l'estalvi acumulat respecte la inversió inicial proposada en cada cas, als següents gràfics veiem també quan s'amortitzen les instal·lacions respecte l'actual gasoil.



Gràfic 15. Retorn de la inversió Aerotèrmia. Font: Elaboració pròpia.



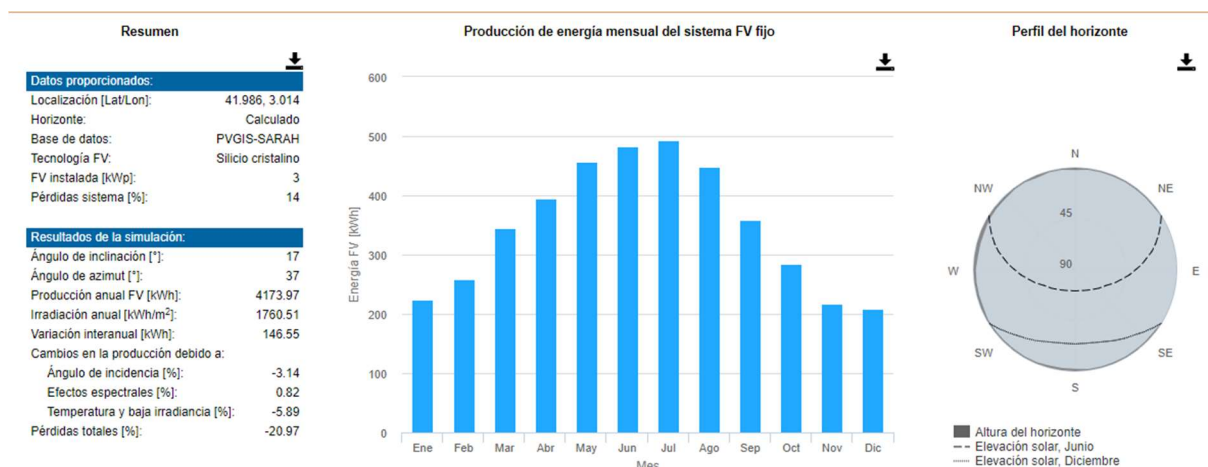
**Gràfic 16. Retorn de la inversió Geotèrmia. Font: Elaboració pròpia**

.

## ANNEX F – CÀLCULS GENERACIÓ FOTOVOLTAICA

### F.1 – Producció anual dels panells

Per a simular la producció fotovoltaica ho realitzem a través de la web anomenada PVGIS, aquesta web ens demana la potència pic de panells fotovoltaics instal·lats, la ubicació, el pendent de la teulada i l'orientació Azimut (orientació respecte el sud) dels panells. Per a l'habitatge utilitzaríem la vessant sud-oest amb una potencia pic de 3 kWp tal i com s'ha comentat a la memòria. El pendent de la teulada l'aproximarem a 17°. L'Azimut s'ha aproximat amb un programa de disseny i és de 37° positiu, el que significa que els panells mirarien 37° respecte el sud cap a l'oest. El resultat obtingut es veu a continuació.



**Figura 61. Producció dels panells fotovoltaics proposats. Font: Elaboració pròpia amb el programa PVGIS.**

Si ens hi fixem bé la producció anual és de 4137,97 kWh.

### F.2 – Costos i estalvis anuals en totes les situacions

Per a determinar l'estalvi total en aquesta nova situació amb panells fotovoltaics és necessari tenir en compte també les despeses elèctriques alienes a la bomba de calor, com els panells produeixen electricitat de la qual se'n beneficia tot l'habitatge és necessari tenir en compte l'estalvi total que ens comporten. Així doncs se'ns presenten diferents situacions que cal estudiar per a saber l'abast de l'estalvi i l'impacte. A dia d'avui, sense bomba de calor ni panells fotovoltaics la situació és la següent, el cost total anual entre llum, aigua i gas és 1318,50€.

COST kWh ELÈCTRIC (€/kWh)	CONSUM ELECTRICITAT (kWh)	COST ANUAL ELECTRICITAT (€)	COST ANUAL GAS(€)	COST TOTAL (€)
0,110458333	3536	390,58	927,92	1318,50

**Taula 56. Cost anual en la situació actual. Font: Elaboració pròpia.**



En el cas d'instal·lar només aerotèrmia o geotèrmia la situació s'havia analitzat però sense tenir-hi en compte el cost de la llum. Com es veu, la despesa total és de 716,35€ quan disposem d'aerotèrmia i de 686,21€ quan disposem de geotèrmia. S'ha suprimit el consum de gas però ha augmentat l'elèctric, l'estalvi respectiu s'havia calculat anteriorment ja que per la part de consum elèctric de l'habitatge no hi ha cap estalvi.

COST ANUAL ELECTRICITAT (€)	COST ELECTRICITAT AEROTÈRMIA (€)	COST TOTAL (€)
390,58	325,77	716,35

*Taula 57. Cost anual total amb aerotèrmia. Font: Elaboració pròpia.*

COST ANUAL ELECTRICITAT (€)	COST ELECTRICITAT AEROTÈRMIA (€)	COST TOTAL (€)
390,58	295,63	686,21

*Taula 58. Cost anual total amb geotèrmia. Font: Elaboració pròpia.*

Finalment, ens trobem ara davant la situació de col·locar a més els panells solars, si tenim en compte tots els factors, el cost anual de llum que ens queda es el que veiem a la Taula 59. Cal tenir en compte la part que ens estalviem degut a l'autoconsum i el retorn que obtenim per la compensació dels excedents segons el preu de mercat aproximat (0,05€/kWh). En aquest cas, per a calcular el cost de l'electricitat corresponent a les bombes de calor utilitzo el preu mitjà anual calculat abans, així ens fem una idea del resultat i no cal calcular l'estalvi elèctric mes a mes de les bombes degut a la producció dels panells. Cal tenir en compte els consums corregits gràcies als panells calculats a l'apartat 7.6. de la memòria.

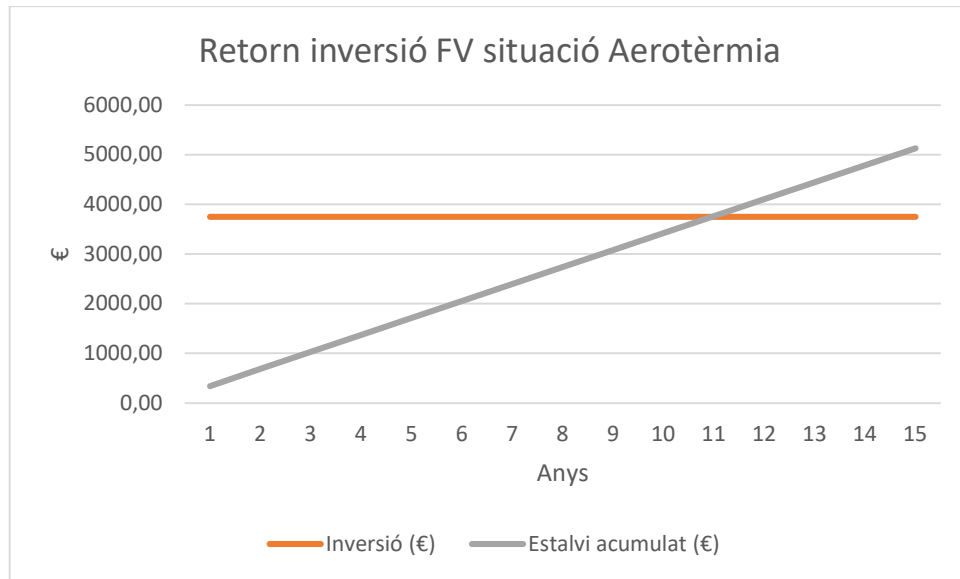
AEROTÈRMIA		GEOTÈRMIA	
Cost mitjà kWh (€/kWh)	0,11	Cost mitjà kWh (€/kWh)	0,11
Consum corregit habitatge (kWh)	2385,81	Consum corregit habitatge (kWh)	2338,34
Consum corregit Aerotèrmia (kWh)	1949,43	Consum corregit Geotèrmia (kWh)	1736,35
Cost consum corregit (€)	478,86	Cost consum corregit (€)	450,08
Excedents (kWh)	2089,99	Excedents (kWh)	2089,99
Preu excedents (€)	0,05	Preu excedents (€)	0,05
Ingrés excedents (€)	104,50	Ingrés excedents (€)	104,50
Cost anual (€)	374,36	Cost anual (€)	345,58
Cost anual només Aerotèrmia (€)	716,35	Cost anual només Geotèrmia (€)	686,21
Cost anual inicial (€)	1318,5	Cost anual inicial (€)	1318,5
Inversió Instal·lació Aerotèrmia (€)	10922,37	Inversió Instal·lació Geotèrmia (€)	19763,84
Inversió Instal·lació FV (€)	3750,00	Inversió Instal·lació FV (€)	3750,00
Amortització Aerotèrmia (anys)	18,14	Amortització Geotèrmia (anys)	31,26
Amortització FV (anys)	10,97	Amortització FV (anys)	11,01
Amortització Aerotèrmia + FV (€)	15,54	Amortització Geotèrmia + FV (€)	24,17

*Taula 59. Costos i amortitzacions enfront les diferents situacions. Font: Elaboració pròpia.*

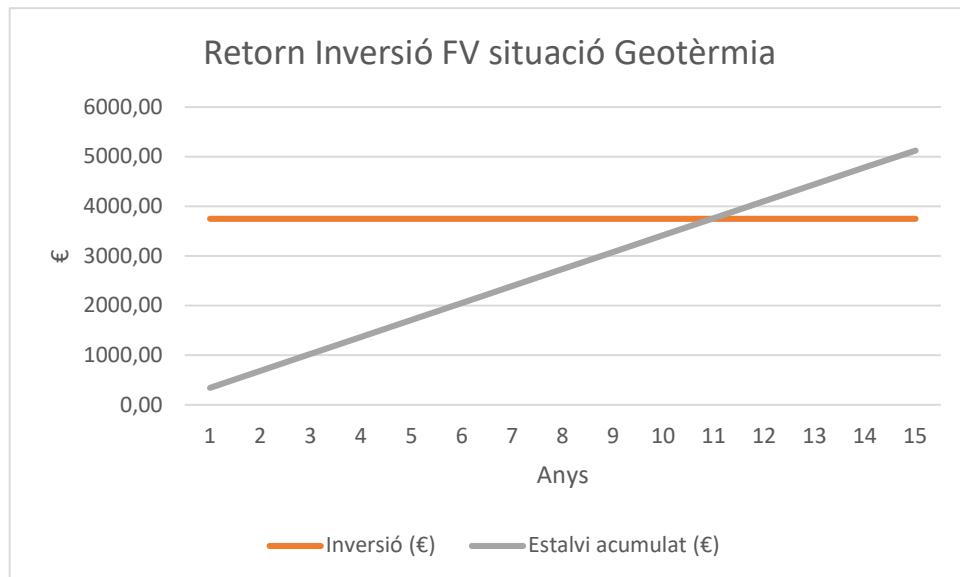
Primer de tot ens podem fixar que afegint 3kWp de panells fotovoltaics amb un autoconsum del 50% implica que el cost total anual baixa de 716,35€ a 374,36€ en el cas de la instal·lació aerotèrmica i de 686,21€ a 345,58€ en el cas de la instal·lació geotèrmica. La instal·lació fotovoltaica tarda uns 10 anys a amortitzar-se respecte la situació amb la instal·lació aerotèrmica i uns 11 anys a la instal·lació geotèrmica. Això s'explica pel major consum d'un cas respecte l'altre.

Per altra banda en canvi, si considerem les instal·lacions globals sumant tots els costos veiem com els anys d'amortització es redueixen respecte a quan no teníem panells fotovoltaics. La instal·lació geotèrmica s'amortitzarà 6 anys abans i l'aerotèrmica 3 anys abans.

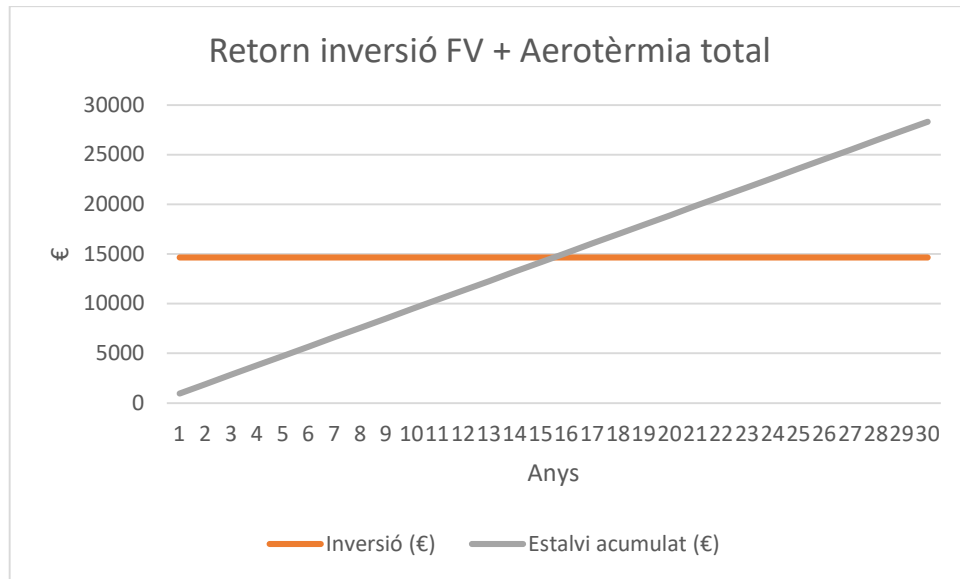
A continuació es veuen les diferents gràfiques d'amortització, de les instal·lacions fotovoltaïques juntament amb les instal·lacions de clima.



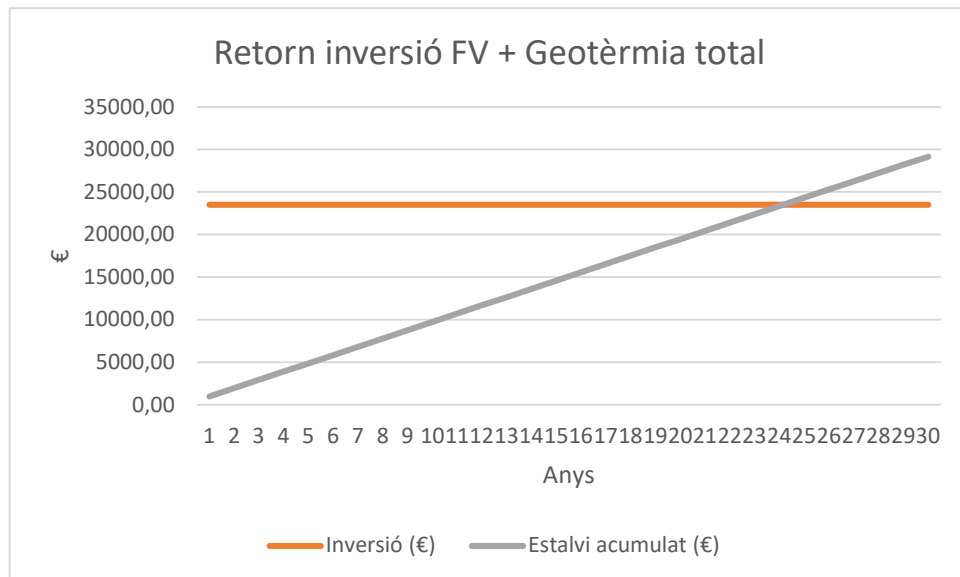
**Gràfic 17. Retorn de la inversió FV amb aerotèrmia. Font: Elaboració pròpia.**



**Gràfic 18. Retorn de la inversió FV amb geotèrmia. Font: Elaboració pròpia.**



**Gràfic 19. Retorn de la inversió total FV + Aerotèrmia. Font: Elaboració pròpia.**



**Gràfic 20. Retorn inversió total FV + Geotèrmia. Font: Elaboració pròpia.**