

ESTUDI COMPARATIU DE L'ENERGIA SOLAR TÈRMICA VERS L'ENERGIA GEOTÈRMICA PER A L'OBTENCIÓ D'ACS D'UNA VIVENDA UNIFAMILIAR SITUADA A VILASSAR DE DALT (MARESME).

Joan Lucas Compte

Projecte Final de Carrera d'Enginyeria Tècnica Industrial Especialitat en Mecànica. Departament de Mecànica de Fluids
Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú (UPC)

Resum: El present projecte final de carrera (PFC) tracta sobre la realització d'un estudi comparatiu de l'energia solar tèrmica vers l'energia geotèrmica per a l'obtenció d'ACS d'una vivenda unifamiliar situada a Vilassar de Dalt (Maresme).

Per a dissenyar la instal·lació solar tèrmica hem comparat els valor que s'aconsegueixen mitjançant el codi tècnic de l'edificació (CTE HE4) i el que ens dicta el decret d'ecoeficiència, i aquest últim és el que ens ha donat el valor de producció mínima diària d'ACS. Coneixent el volum diari necessari calcularem les càrregues tèrmiques mensuals que ens haurà d'aportar el sistema solar tèrmic. El següent pas es calcular la radiació incident en la coberta en funció de la orientació i inclinació i calcular-ne les pèrdues. Amb aquests dos valors, buscarem el conjunt de plaques solars tèrmiques que més s'adeqüin a les nostres necessitats, i hem aconseguit produir el 73% de les necessitats anuals d'ACS amb un sol captador solar. Finalment, per a completar la instal·lació hem calculat el % de anticongelant propilenglicol necessari, el diàmetre correcte de les canonades del sistema primari, el volum del vas d'expansió, les característiques de la bomba de circulació, la gestió del sistema i l'aïllament de les canonades per a un funcionament més eficient.

Pel que fa al càlcul de la instal·lació geotèrmica, la falta de normativa ens porta a buscar diferents guies, com la CLIMACA, creada per l'agència catalana de l'aigua, i que es basa en criteris tècnics en vigor a d'altres països (vdi4640-normativa Alemanya), la guia FENERCOM creada per la fundació per a l'energia de la comunitat de Madrid i finalment, gràcies a les dades extretes de l'Institut Geològic de Catalunya, del que hem pogut extreure dades molt importants sobre el terreny i la seva conductivitat. Per a calcular les càrregues tèrmiques a produir, hem utilitzat diferents mètodes i hem escollit el més exigent. S'ha utilitzat el CTE, una estimació de càlcul de l'ICAEN i de la guia FENERCOM, i el mètode de l'ICAEN és el més exigent amb una potència necessària de 1,37 kW per a produir el 100% d'ACS. Amb aquest valor es tria la bomba geotèrmica que compleixi els nostres requisits i es calcula el sistema geotèrmic en funció de la conductivitat del terreny, la potència necessària de l'evaporador i el COP de la bomba geotèrmica trobem la longitud de la sonda geotèrmica. Llavors ja només ens fa falta triar el líquid caloportador, el diàmetre de les canonades del circuit primari, tenint en compte que es recomanable que sigui un flux turbulent, per a una millor transmissió del calor. I finalment triem el material de les canonades del circuit primari i l'aïllament exterior.

Amb les dues Energies d'estudi hem aconseguit cobrir els mínims necessaris per a produir ACS, sempre pensant en reduir al mínim els costos, i hem aconseguit produir el 73% de l'ACS amb l'energia solar tèrmica i el 100% amb la geotèrmica. Tant l'una com l'altre necessiten d'una font d'energia de suport, l'energia solar tèrmica utilitza la caldera de gas butà existent per a produir ACS quan les condicions siguin desfavorables, i l'energia geotèrmica depèn de l'energia elèctrica per a funcionar.

I. INTRODUCCIÓ

El projecte neix del desig de millorar el rendiment del sistema actual de producció d'ACS per a obtenir un possible estalvi econòmic a partir d'una de les dues energies renovables a estudi i adquirir un bon coneixement del possible estalvi a aconseguir i la reducció d'emissions en kg de CO₂ respecte al sistema actual.

El desenvolupament sostenible es un compromís pel benestar humà. Ens plantejem quina seria l'estratègia més correcte per a satisfer la demanda creixent d'energia, i que a més, estigui dintre dels límits de la Natura. El que es evident, es que l'actual model socioeconòmic, ens avoca majoritàriament a l'ús d'energies d'origen fòssil, els quals estan cada vegada més a prop de l'esgotament, i això produirà un augment del seu cost. Per aquesta raó i per la creixent conscienciació mediambiental, es necessari créixer en el coneixement i aprofitament dels recursos naturals i explotar les energies renovables.

En el nostre cas, volem valorar i comparar dues energies renovables, com són l'Energia Solar Tèrmica i l'Energia Geotèrmica, i valorar-ne la seva idoneïtat per a la producció d'ACS en una vivenda unifamiliar.

Per la realització del PFC s'utilitza una vivenda unifamiliar situada a Vilassar de Dalt (Maresme)



Fotografia 1. Vivenda unifamiliar a Vilassar de Dalt per a la realització del PFC

II. OBJECTIUS

L'objectiu principal del projecte, se centrarà en l'estudi comparatiu entre l'energia solar tèrmica i l'energia geotèrmica, i l'anàlisi de la seva viabilitat econòmica en el projecte.

Amb el projecte es pretén optimitzar l'ús de les instal·lacions per la producció de l'ACS, intentant aprofitar al màxim les ja existents en la vivenda, i a la vegada dimensionar les noves instal·lacions (solar tèrmica i geotèrmica) d'una manera prou ajustada per a reduir al màxim el seu cost i minimitzar el seu període d'amortització.

Altres objectius del projecte seran la minimització de l'impacte ambiental resultant del consum energètic associat a la producció d'ACS d'aquesta vivenda unifamiliar, reduint l'ús de combustibles fòssils (en aquest cas gas butà) i fomentant l'ús de les energies renovables (solar tèrmica i geotèrmica).

Els **objectius particulars** d'aquest projecte que es pretén assolir són:

- Calcular les necessitats energètiques corresponents al consum d'ACS que requereix la vivenda en estudi.
- Calcular l'energia solar disponible en la zona d'estudi.
- Calcular i dimensionar una instal·lació solar tèrmica que generi l'energia tèrmica necessària per a subministrar l'ACS que demanda l'habitatge diàriament, tenint també en consideració l'energia convencional de suport en funció del mes de l'any.
- Calcular i dimensionar una instal·lació geotèrmica que generi l'energia tèrmica necessària per a subministrar l'ACS que demanda l'habitatge diàriament.
- Cercar i seleccionar els components adients que conformaran cadascuna de les dues instal·lacions (solar tèrmica i geotèrmica).
- Realitzar el pressupost de les dues instal·lacions (solar tèrmica i geotèrmica) i elaborar un estudi econòmic de les instal·lacions projectades per a conèixer el seu període d'amortització.
- Analitzar els estudis realitzats i seleccionar la solució més adient que es podria adoptar.
- Elaborar un estudi mediambiental per a conèixer la reducció en les emissions de CO₂ emeses a l'atmosfera (tones de CO₂/any).
- Estudiar el grau de reciclatge dels components d'ambdues instal·lacions (solar tèrmica i geotèrmica).

III. SISTEMA SOLAR TÈRMIC

Per a realitzar l'avaluació energètica del consum d'ACS de l'habitatge, es farà ús de dades estadístiques facilitades pels òrgans locals, provincials i estatals i la corresponent legislació vigent.

L'Estat espanyol disposa del "Codi Tècnic de l'Edificació" (CTE HE4) [1], on defineix la contribució solar mínima d'ACS que un habitatge ha de cobrir. Aquesta normativa és d'obligada aplicació a tot el territori espanyol, exceptuant aquelles comunitats autònomes i localitats que hagin aprovat una normativa específica més restrictiva.

Cal destacar que, a Catalunya disposem del "Decret 21/2006, de 14 de febrer, pel qual es regula l'adopció de criteris ambientals i d'ecoeficiència en els edificis" (Decret d'Ecoeficiència) [2], i que en el nostre cas es més restrictiva.

En la determinació de la *producció energètica solar mínima exigida*, influeix la contribució solar mínima exigida, en %, i la demanda d'ACS de l'edifici, en **litres/dia**, i tots dos factors són diferents segons la normativa que s'observi, en funció de les característiques de l'edifici i la zona geogràfica on es localitzi.

El volum total de consum previst d'ACS es calcula utilitzant l'expressió següent:

$$V_t = n_{\text{usuaris}} \cdot v_{\text{diari}}$$

On:

- V_t : volum total de consum d'ACS de l'habitatge (l/dia)
- n_{usuaris} : nombre d'usuaris de l'habitatge (persones)
- v_{diari} : volum diari d'ACS per usuari (l/persona·dia)

Conegut el consum d'ACS de l'habitatge, en funció de cada normativa, s'haurà de comparar la contribució solar mínima exigida per cadascuna d'elles:

	Consum d'ACS en l'habitatge (litres/dia)	Contribució solar mínima (%)	Producció d'ACS solar mínima (litres/dia)
Codi Tècnic Edific. HE4	112	30	33,6
Decret d'Ecoeficiència	112	50	56

Taula 1.: Resum comparatiu de les exigències del Codi Tècnic de l'Edificació CTE [1] en front el Decret d'Ecoeficiència [2].

Determinat el volum d'ACS que consumiran els usuaris de la instal·lació (56 litres/dia), cal calcular l'energia que s'ha d'aportar per aconseguir augmentar la temperatura de l'aigua d'entrada fins a la de servei.

Per fer aquest càlcul primer trobarem el salt tèrmic mitjançant l'expressió:

$$\Delta T^a = (T^a_{\text{servei}} - T^a_{\text{entrada}})$$

On,

- ΔT^a : salt tèrmic de temperatures (°C).
- T^a_{servei} : temperatura de l'aigua calenta en l'acumulador final, 60 °C
- T^a_{entrada} : temperatura a la que arriba l'aigua freda de la xarxa de distribució.

A partir dels valors del CTE, s'han comparat les dades que es defineixen a la norma tecnològica UNE 94002:2005 sobre temperatura de l'aigua de la xarxa de distribució per a la província de Barcelona:

gen	feb	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	oct	nov	dec
8,87	9,87	10,9	11,9	13,9	16,9	18,9	18,9	16,9	14,9	11,9	9,87

Taula 2.: T^a mitjanes mensuals de l'aigua calculades amb la UNE 94002:2005 i càlculs realitzats a l'Annex A.4.1.1.

Conegut el volum diari d'aigua a escalfar i el salt tèrmic a superar, finalment podrem calcular l'energia requerida diàriament mitjançant l'expressió següent:

$$\dot{Q}_{\text{ACS}} = V_t \cdot \rho \cdot c_e \cdot \Delta T^a$$

On,

- \dot{Q}_{ACS} : càrregues tèrmiques per a l'obtenció d'ACS (kJ/dia)
- V_t : volum total de consum d'ACS (L/dia)
- ΔT^a : salt tèrmic de temperatures (°C)
- ρ : densitat de l'aigua (1 kg/L com a valor de referència)
- c_e : calor específica de l'aigua (4,18 kJ/kg · °C)

Mes	n (usuaris)	v (L/usuari/dia)	V _s (L/dia)	Tª aigua Casa	Tª acumulador	ΔTª	Q̇ _{ACS}
				(°C)	(°C)	(°C)	(kJ/dia)
Gener	4	28	112	8,868	60	51,132	23938
Febrer	4	28	112	9,868	60	50,132	23470
Març	4	28	112	10,868	60	49,132	23002
Abril	4	28	112	11,934	60	48,066	22503
Maig	4	28	112	13,934	60	46,066	21566
Juny	4	28	112	16,934	60	43,066	20162
Juliol	4	28	112	18,934	60	41,066	19225
Agost	4	28	112	18,934	60	41,066	19225
Setembre	4	28	112	16,934	60	43,066	20162
Octubre	4	28	112	14,868	60	45,132	21129
Novembre	4	28	112	11,868	60	48,132	22533
Desembre	4	28	112	9,868	60	50,132	23470

Taula 3.: Càrrega tèrmica diària mensual per a l'obtenció d'ACS (Veure Annex A.4.1.1.)

Finalment s'obtenen les necessitats energètiques mensuals per a la producció d'ACS, multiplicant les càrregues tèrmiques diàries pels dies que conté cada mes.

Mes	Q̇ _{ACS} (kJ/dia)	Dies	Q̇ _{ACS} (MJ/mes)	Q̇ _{ACS} (kWh/mes)
Gener	23938	31	742	206
Febrer	23470	28	657	183
Març	23002	31	713	198
Abril	22503	30	675	188
Maig	21566	31	669	186
Juny	20162	30	605	168
Juliol	19225	31	596	166
Agost	19225	31	596	166
Setembre	20162	30	605	168
Octubre	21129	31	655	182
Novembre	22533	30	676	188
Desembre	23470	31	728	202

Taula 4.: Càrregues tèrmiques mensuals per a l'obtenció d'ACS (veure Annex A.4.1.1.)

Sistema de captació solar tèrmica

Per començar a dissenyar la instal·lació definirem l'orientació i la inclinació que hauran de tenir els col·lectors tèrmics.

L'habitatge es va dissenyar amb la coberta orientada 148° SE, respecte a la inclinació dels col·lectors es decideix comprovar, mitjançant la base de dades del PVGIS, quina és la inclinació que aporta una major quantitat de radiació solar. Per a la nostra latitud s'obté **l'òptim aprofitament, de radiació solar amb una inclinació de 55°.**

Continuant amb l'estudi, haurem d'assegurar que complim amb la normativa del CTE HE4, que tracta de les pèrdues màximes per orientació, inclinació i ombres respecte a la inclinació més òptima.

Caso	Orientación e inclinación	Sombras	Total
General	10 %	10 %	15 %
Superposición de captadores	20 %	15 %	30 %
Integración arquitectónica de captadores	40 %	20 %	50 %

Taula 5.: Pèrdues límit per orientació, inclinació i ombres [1].

Podent analitzar el percentatge de pèrdues mitjançant la figura 3.3 de l'apartat 3.5.2 de l'antic CTE HE4 [1]:

De la següent figura en traiem la conclusió, que segons la orientació de -32° i per una inclinació de 55°, estímem una pèrdua d'energia de un 10%, que es veurà reflexada en el càlcul de la Radiació efectiva.

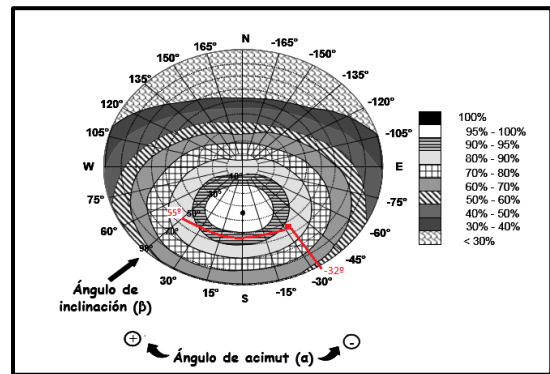


Figura 1.: Percentatge d'energia respecte al màxim com a conseqüència de les pèrdues per inclinació i orientació en una latitud de 41° [1].

De la figura anterior s'extreuen els límits d'inclinació, per un angle azimut de -32°, en una latitud de 41°:

- Inclinació màxima = 60°
- Inclinació mínima = 7°

Així doncs, el fet de col·locar els col·lectors a 55° no implicarà que es sobrepassi el límit del 10% en pèrdues per inclinació i orientació, i es compleix la normativa del CTE HE4.

Obtenim els coeficients del col·lector solar Isotherm Plus, segons la normativa UNE EN 12975 (Instituto Franhoufer):

$$\eta = 0,94 \cdot \eta_0 - K_1 \cdot \frac{T_m - T_a}{I}$$

$$\eta_0 = 0,773;$$

$$K_1 = 3,243 \text{ W/m}^2\text{K};$$

Començant amb l'estudi del dimensionat del camp de captació, utilitzant el **Mètode estàtic**, que suposa que les variables es mantenen constants per cada període avaluat.

Mètode estàtic (ICAEN)

1.- Consultar la radiació solar global diària sobre el captador solar.

$$\text{Radiació} = f(\text{Ubicació, Orientació, inclinació, mes})$$

2.- Calcular la radiació efectiva: **Reducció del 6%** corresponent a les hores del dia (sortida i posta de sol) amb valors de radiació inferiors als mínims aprofitables pels captadors.

3.- Calcular el rendiment mitjà mensual del captador: Corba de rendiment.

$$\eta = 0,94 \cdot \eta_0 - K_1 \cdot \frac{T_m - T_a}{I}$$

On:

- η: rendiment mitjà mensual del sistema de captació (adimensional)
- 0,94: coeficient de correcció de l'efecte de la variació de l'angle d'incidència de la llum solar en el captador al llarg del dia, l'envelliment de la coberta i la brutícia del damunt.
- η₀ i K₁: dades de les característiques tèrmiques del col·lector, segons fabricant; (K₁: m²·°C/W)
- T_m: Tª mitja del captador (35°C d'octubre a maig i 45°C de juny a setembre) (°C)
- T_a: Tª ambient mitjana diürna, durant les hores de sol (°C)
- Intensitat de radiació mitjana durant les hores de sol (W/m²).

Així s'obté la següent taula que analitza totes les anteriors variables (passos 2 i 3 del mètode estàtic):

Mes	1 - Radiació global	2 - Radiació efectiva	Tª mitja diürna	Tª diürna captador	Hores de sol	Intensitat efectiva diürna	n = Rendiment mitjà mensual
	(kWh/m²·dia)	(kWh/m²·dia)	(°C)	(°C)	(hores/dia)	(W/m²)	(%)
Gener	3,54	2,99	11	35	7,5	399,31	51
Febrer	3,94	3,33	12	35	8	416,66	53
Març	4,9	4,15	14	35	9	460,60	57
Abril	4,88	4,13	17	35	9,5	434,58	58
Maig	4,97	4,20	20	35	9,5	442,59	61
Juny	5,16	4,37	24	45	9,5	459,51	56
Juliol	5,41	4,58	26	45	9,5	481,77	59
Agost	5,47	4,63	26	45	9,5	487,12	59
Setembre	5,26	4,45	24	45	9	494,44	58
Octubre	4,57	3,87	20	35	9	429,58	61
Novembre	3,58	3,03	16	35	8	378,59	55
Desembre	3,37	2,85	12	35	7	407,29	53

Taula 6.: Rendiment mitjà mensual del sistema de captació. (veure Annex A.4.1.1 - apartat RADIACIÓ)

Seguint amb l'estudi:

4.- Radiació aprofitada pel captador: Multiplicar el rendiment per la radiació efectiva.

5.- Energia aprofitada pel sistema: Multiplicar la radiació aprofitada per un coeficient de pèrdues.

0.92 en instal·lacions molt eficients (poliesportius, ...)

0.90 – 0.85 en general

0.80 en instal·lacions amb desfasament horari (caps de setmana, ...)

Es decideix aplicar un coeficient de pèrdues del sistema d'un 10%, i així finalment obtenim l'energia generada pel nostre sistema de captació tèrmica:

6. Càlcul de la superfície captadora.

Superfície = (Energia demandada/Energia generada)

Mes	4 - Radiació aprofitada captador	5 - Energia aprofitada sistema	Energia aprofitada mensual	6 - Superfície necessària
	(kWh/m²·dia)	(kWh/m²·dia)	(kWh/m²·mes)	(m²)
Gener	1,53	1,38	42,74	4,82
Febrer	1,77	1,59	44,50	4,10
Març	2,34	2,11	65,39	3,03
Abril	2,40	2,16	64,86	2,89
Maig	2,56	2,31	71,51	2,60
Juny	2,47	2,22	66,59	2,52
Juliol	2,69	2,42	75,11	2,20
Agost	2,73	2,46	76,14	2,17
Setembre	2,56	2,31	69,25	2,43
Octubre	2,34	2,11	65,37	2,78
Novembre	1,67	1,50	45,02	4,17
Desembre	1,50	1,35	41,78	4,84

Taula 7.: Estudi de la superfície de captació per abastir el 100% de la demanda mensual d'ACS. (veure Annex A.4.1.1 - apartat RADIACIÓ)

7.- Càlcul fracció solar.

$f = (\text{Energia aprofitada pel sistema a instal·lar} / \text{Energia demandada})$

Així finalment coneixem la fracció solar mensual i la fracció solar anual corresponent a la instal·lació i que l'aprofitament mitjà anual es del 73%, complint així amb el mínim exigint pel decret.

El Decret 21-2006 de 14 febrer sobre criteris ambientals i ecoeficiència a Catalunya, no esmenta res sobre un màxim de fracció solar assolible, per tal de no generar un sobreescalfament en el sistema de captació, observem que en cas del CTE HE4, obliga a prendre una sèrie de mesures, en el cas que, en 1 mes es superi en més d'un 110% la demanda energètica o en més de 3 mesos seguits el 100% de la demanda, i s'adopti alguna de les següents mesures:

- dotar a la instal·lació de la possibilitat de dissipar tals excedents (a través d'equips específics o per mitjà de la circulació nocturna del circuit primari);
- cobrir parcialment el camp de captadors.
- buidat parcial del camp de captadors.
- derivació dels excedents energètics a altres aplicacions existents.

En el nostre cas, l'aplicació de mesures correctives no serà necessari.

Degut a que la nostra superfície on s'instal·laran els col·lectors, té un pendent de 16°, es seleccionarà una estructura fixe amb inclinació de 39°.

SISTEMA D'EMMAGATZEMATGE

D'una banda, l'ICAEN comenta que la relació entre superfície de captadors i volum d'acumulació més apropiada per a la nostra latitud, en sistemes d'ACS i calefacció, és d'entre 50 i 85 litres d'acumulador per cada m² de captador. Recomanant els valors més baixos per als llocs on hi ha menys radiació (nord) o bé les instal·lacions amb necessitat de temperatures elevades, i els valors més alts per als llocs més assolellats (costa i sud), i per a les instal·lacions amb necessitats de baixa temperatura.

Conegut el volum mínim d'aigua que permetrà emmagatzemar l'energia produïda al llarg del dia de major producció, es decideix adquirir un acumulador de la casa BAXIROca de 110 litres i amb un serpenti.

Segons els criteris establerts pel RITE, el volum d'acumulació es pot aproximar al consum diari d'ACS segons l'expressió:

$$0,8M < V < M$$

$$89,61 < V < 112,1$$

I també s'ha de complir:

$$50 < V/A < 180$$

$$50 < 110/2,2 < 180$$

On:

M = Consum mitjà diari (litres)

V = Volum d'acumulació (litres)

A = Àrea de captació (m²)

DISSENY DEL CIRCUIT HIDRÀULIC

Connectarem l'equip auxiliar de generació d'ACS en sèrie al sistema solar, aportant així l'energia emmagatzemada des de la sortida de l'acumulador solar a la caldera de gas butà.

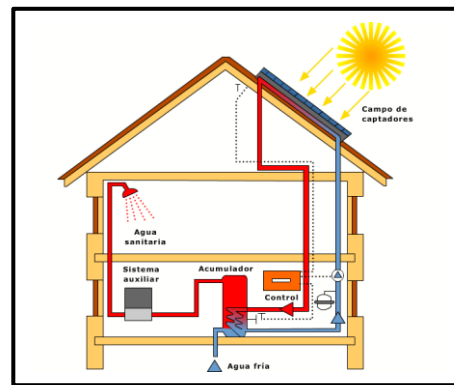


Figura 2.: Nou sistema hidràulic dissenyat per a l'habitatge.

LÍQUID CALOPORTADOR

El fluid de treball més utilitzat i recomanat per Isotofón es el propilenglicol. La mescla d'aigua i l'additiu anticongelant es determinarà en funció de la mínima històrica que hagi assolit mai la zona d'estudi., -6,8 °C. Així, disposarem una mescla aproximada del 18% en pes de propilenglicol i el 82% en pes d'aigua natural.

Com que considerem que la temperatura de treball, serà superior als 30 °C, el fluid amb una concentració del 18% en pes de propilenglicol, tindrà una viscositat dinàmica de 1,1 cP (centipoises), que equivalen a 1,1 mPa·s, o 1,1 · 10⁻³ N·s/m².

I pel que respecta a la seva densitat serà de **1008 kg/ m³ a 30 °C.**

DIÀMETRE DE LES CANONCADES

El diàmetre de les canonades s'ha de dimensionar en funció del cabal de funcionament del circuit primari. S'ha de tenir present que el cabal de disseny de la instal·lació hauria d'estar en el rang de 1,2 l/s y 2 l/s per cada 100 m² de captadors (segons CTE). Així que es decideix utilitzar un cabal de 125 l/h.

El diàmetre necessari es calcula:

$$D_{\text{int}} = [(4 \cdot Q) / (v \cdot \pi)]^{1/2}$$

On,

- D_{int} : diàmetre interior (m)
- Q : cabal de disseny (m³/s)
- v : velocitat del fluid (m/s)

On: $D_{\text{int}} = [(4 \cdot 3,47 \cdot 10^{-5}) / (1,5 \cdot \pi)]^{1/2} = 0,005 \text{ m} = \mathbf{5 \text{ mm}}$.

Observant taules de diàmetres comercials es decideix agafar unes canonades de **8 mm** de diàmetre interior, amb un espessor d'1 mm i diàmetre exterior de 10 mm.

$$v = (4 \cdot Q) / (\pi \cdot D_{\text{int}}^2)$$

On,

- D_{int} : diàmetre interior (m)
- Q : cabal de disseny (m³/s)
- v : velocitat del fluid (m/s)

Obtenint que la velocitat de circulació del fluid caloportador és:

$$v = 4 \cdot 3,47 \cdot 10^{-5} / \pi \cdot 0,008^2 = \mathbf{0,69 \text{ m/s}} < \mathbf{1,5 \text{ m/s}} \text{ (límit recomanat)}$$

VAS D'EXPANSIÓ

Abans de res, conèixer que el volum de fluid en el primari serà el volum del captador (1,5 litres/captador), el de l'acumulador (3,8 litres) i el de les canonades (uns 25 metres amb diàmetre interior de 8mm, que equivalen a 1,25 litres de fluid). Així que tindrem un total aproximat de 6,55 litres de fluid circulant pel circuit primari. I sabent que la pressió d'apertura de la vàlvula de seguretat quedarà tarada a 3 bar, i que l'alçada entre el punt més alt dels captadors i el vas és de 7 metres, ja podem calcular el volum nominal del vas d'expansió per mitjà de l'equació següent:

$$V_n = V \cdot (0,2 + 0,01 \cdot H)$$

On,

- V_n : Volum nominal del vas d'expansió [litres]
- V : Volum total de fluid en el circuit primari [litres]
- H : Alçada màxima entre captadors i el vas [m]

Obtenint un volum $V_n = 6,55 \cdot (0,2 + 0,01 \cdot 7) = 1,77$ litres

Així es decideix seleccionar un vas d'expansió comercial de 5 litres, ja que sobredimensionar aquest component només implicarà disposar d'avantatges (major seguretat i vida útil).

BOMBA DE CIRCULACIÓ

Per a la selecció del circulador adient en cada cas cal fer un estudi dels dos paràmetres bàsics de funcionament del circuit.

- La pèrdua de càrrega que ofereix el circuit complet.
- El cabal de disseny.

Així doncs, s'ha de seleccionar una bomba de circulació que mogui un cabal d'uns 0,125 m³/h i sigui capaç de generar 4,76 m.c.a, entre temperatures de treball des dels -10 °C als 110 °C.

Finalment ens decidim per la bomba de circulació de la marca Wilo que, per les característiques de cabal (V_{pump}) i altura manomètrica de la bomba (H_B), aquesta tenia la potència consumida més baixa (per tant gastarà menys energia elèctrica)

malgrat tenir un rendiment molt baix, i el model és l'Star gt 15/9 PN10.

TERMÒSTAT DIFERENCIAL

En la nostra instal·lació, el regulador solar tan sols haurà d'encarregar-se de controlar amb eficiència, l'arrancada i parada de la bomba de circulació del circuit primari.

Per a realitzar aquesta tasca s'ha escollit un component de baix cost i altes prestacions, tenint en compte la seva compatibilitat amb els elements que es relaciona, com els captadors i l'acumulador, sent així de la mateixa marca Isofotón:

AÏLLAMENT DE LES CANONADES

Sabent que les canonades de coure són de 10 mm de diàmetre exterior, hem d'analitzar l'aïllament mínim a col·locar, segons el Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques en els Edificis (RITE), que especifica a la IT 1.2.4.2.1.2 [5]: L'aïllament que es col·locarà a les canonades serà de 25 mm per a les canonades interiors i de 35 mm per a les exteriors.

IV. SISTEMA GEOTÈRMIC

Les necessitats energètiques que presenta un habitatge depenen de molts factors. No existeix un estudi sistemàtic sobre el consum d'energia als edificis, segons usos i tipologies. Per a realitzar l'avaluació energètica del consum d'ACS de l'habitatge, es farà ús de diferents mètodes, ja que per la manca de normativa en matèria d'Energia Geotèrmica, no hi ha normativa específica pel que fa a mètodes de càlcul, i per tant, utilitzarem diferents mètodes de càlcul trobats, dels quals en compararem les dades i n'agafarem el valor més gran en **kW**, entenent com el més desfavorable.

1r mètode:

El primer que utilitzarem, utilitzarà els mètodes de càlcul utilitzats en energia tèrmica solar, (Tema 5) per del Codi Tècnic de l'Edificació [1] i del Decret d'Ecoeficiència de la Generalitat de Catalunya [2], seguint les pautes de cadascuna de les normatives.

$$\text{Potència total ACS} = 206 \text{ kWh/mes} / (31 \text{ dies} \cdot 12 \text{ hores}) = \mathbf{0,55 \text{ kW}}$$

2n mètode:

Segons L'ICAEN, també podem calcular la demanda energètica anual tenint en compte el següent valor: 150 kWh/any.m², d'on es considera que un 26% es la demanda d'ACS.

$$\text{Potència de Total} = [150 \text{ (kWh/any.m}^2) \times 154 \text{ (m}^2)] / [365 \times 12] = \mathbf{5,27 \text{ kW}}$$

$$\text{Potència total ACS} = 5,27 \text{ (kW)} \times 26 \% = \mathbf{1,37 \text{ kW}}$$

3r mètode:

Es considera que per a cada usuari, hi ha una demanda de 250 W d'acs:

$$\text{Potència total ACS} = [250 \text{ (W/usuari)} \times 4 \text{ (usuaris)}] = \mathbf{1 \text{ kW}}$$

SELECCIÓ DE LA BOMBA GEOTÈRMICA

La selecció de la bomba geotèrmica ens ve condicionada per la Potència total d'ACS necessària, i en el nostre cas, necessitem 1,37 kW (cas més desfavorable dels 3 mètodes de càlcul).

Per tant, trobem que la bomba més adient per al nostre sistema es la Vaillant geoTHERM VWS 61/2.

La qual es capaç de generar una potencia tèrmica de 5,9 kW, i tot i estar molt sobredimensionada, es la més petita de les bombes trobades.

SISTEMA DE CAPTACIÓ GEOTÈRMICA

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

El gradient geotèrmic és la variació de la temperatura amb la profunditat; i la conductivitat tèrmica és la facilitat d'un material per a transmetre la calor. Un valor típic de flux de calor en continent és 60mW/m², que pot descendir fins a valors de 30 mW/m² en zones continentals antigues -on la litosfera està engruixada-, i superar valors de 120 mW/m² en zones joves, on la litosfera s'aprima.

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

A més l'ICGC recopila tota la informació tèrmica al seu abast per elaborar mapes geotèrmics que puguin contribuir a la planificació energètica, al desenvolupament i a la implantació d'aquesta energia renovable i neta al territori de Catalunya.

En el nostre cas, l'estudi de la Conductivitat (W/m.K) es mostra en aquest mapa, on trobem una generalització de la conductivitat tèrmica dels materials en superfície.

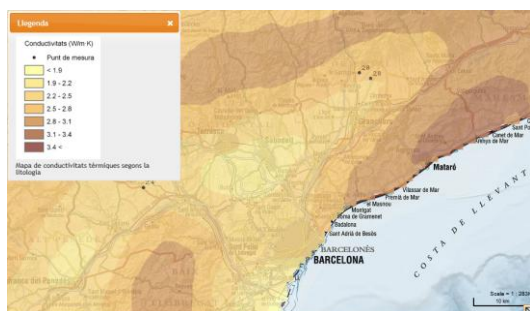


Figura 3.: Mapa de Conductivitats de Catalunya del IGC (W/m.K) [3]

Troblem que la conductivitat a la nostra zona d'estudi està compresa entre 2,8 i 3,1 W/m.K. Amb aquestes dades i seguint la norma europea vdi 4640, trobem que, per una utilització de 2400 hores anuals, la extracció tèrmica en captació vertical, que per la configuració del nostre pati, només es possible instal·lar una sonda vertical, i serà de **50W/m**.

Para captadores verticales en instalaciones de menos de 30 kW y longitudes de sonda de hasta 100 m es posible considerar los valores de extracción de calor del terreno de la VDI 4640-2. Las sondas verticales deben estar a una distancia de las edificaciones de al menos 3 m, y los pozos deben estar separados entre sí un mínimo de 6 m.

EXTRACCIÓN TÉRMICA CAPTACIÓN VERTICAL	HORAS DE FUNCIONAMIENTO POR AÑO	
TIPO DE SUELO - VALORES GENERALES	1.400 H	2.400 H
Inapropiada: Sedimento seco. Conductividad $\lambda < 1,5$ W/mK	25 W/m	20 W/m
Normal: Roca consolidada. Sedimento saturado de agua. Conductividad $\lambda < 3,0$ W/mK	60 W/m	50 W/m
Roca consolidada. Elevada conductivitat tèrmica. Conductivitat $\lambda \geq 3,0$ 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 freàtica 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

Taula 8.: Norma vdi 4640 per a sondes verticals [3].

La Potencia total requerida es de 1,37 KW, i el COP de la bomba geotèrmica escollida es de 4,3. Amb aquests valors poder trobar la Potència de l'evaporador, utilitzant la següent fórmula:

$$P_{\text{evaporador}} = \frac{P_{\text{Total}} \cdot (\text{COP} - 1)}{\text{COP}}$$

$$P_{\text{evaporador}} = \frac{1,37 \cdot (4,3 - 1)}{4,3} = 1,05 \text{ kW}$$

A partir dels valors de la capacitat tèrmica i la potència de l'evaporador, es calcula la longitud de la sonda a partir de l'equació següent:

$$L_{\text{sonda}} = \frac{P_{\text{evaporador}} [W]}{C_{\text{termic}} [W/m]}$$

$$L_{\text{sonda}} = \frac{1050}{50} = 21 \text{ m.}$$

Segons la Norma vdi 4640, el càlcul de la mida i geometria del camp de captació geotèrmic es realitzarà a partir de la realització d'un TRT i de la utilització de programes de simulació informàtica quan: la potència tèrmica de la Bomba de calor geotèrmica a instal·lar sigui superior a 30kW, per a zones amb concentració de sistemes individuals, per a instal·lacions amb un fcto. superior a 2400 h/any o per a instal·lacions amb una gran demanda de refrigeració.

LÍQUID CALOPORTADOR

El fluid de treball més utilitzat es el propilenglicol, per no representar un risc per a la salut ni per al medi ambient i posseir unes característiques apropiades.

La mescla d'aigua i l'additiu anticongelant es determinarà en funció de la mínima històrica que hagi assolit mai la zona d'estudi, de -6,8 °C. Així, la dosificació de l'additiu seleccionat, serà una mescla aproximada del 18% en pes de propilenglicol i el 82% en pes d'aigua natural.

Com que considerem que la temperatura de treball, serà superior uns 17 °C, agafarem aquesta com a base, ja que si durant el dia, el fluid assoleix una temperatura superior, això només implicaria que la densitat del fluid seria menor i així mateix el fregament entre el fluid i les canonades. Doncs, com s'observa en la **Gràfica 6.2** del PFC, el fluid amb una concentració del 18% en pes de propilenglicol, tindrà una viscositat dinàmica de 1,6 cP (centipoises), que equivalen a 1,6 mPa·s, o 1,6 · 10⁻³ N·s/m².

I pel que respecta a la seva densitat serà de **1013 kg/ m³ a 17 °C**, tal i com s'observa a continuació:

SELECCIÓ DE LES CANONADES DEL SISTEMA PRIMARI

Càlcul de les dimensions de les canonades

Per a la selecció del diàmetre de les canonades s'ha d'arribar a un compromís entre la caiguda de pressió i el funcionament tèrmic, ja que aquest:

- 1 Ha de ser lo suficientment gran per a produir una pèrdua de carrega petita i així necessitar menor potència de bombeig.
- 2 Ha de ser lo suficientment petit per a assegurar altes velocitats i així garantir la turbulència del fluid dins del tub, de manera que s'afavoreixi el traspàs tèrmic entre el fluid que circula i la paret interior. Quant major sigui la turbulència major serà l'intercanvi tèrmic. La condició que assegura la turbulència es:

$$Re = 4 \cdot Q / \pi \cdot \varnothing \cdot D > 2.300$$

On Re es el número de Reynolds que caracteritza si un flux és turbulent o laminar, Q el cabal (m^3/s), D el diàmetre del tub (m) i η la viscositat cinemàtica (m^2/s).

$$Re = 4 \cdot 0,403 / \pi \times 1,6 \cdot 10^{-3} \times 32 \cdot 10^{-3} = 10021,8 > 2.300$$

El valor de Reynolds es superior a 2300, fet que ens assegura que serà turbulent per a un diàmetre de 32 mm.

$$Longitud_{Total} = L_{sonda} \times 2 + L_{fins a la bomba} \times 2 = 62 \text{ m.}$$

Material de les canonades del circuit hidràulic primari

El polietilè (PE) i polibutilè (PB) són els materials més comuns en els intercanviadors de calor enterrats. Ambos són flexibles a la vegada que resistents i poden unir-se mitjançant fusió per calor per a formar unions més fortes que el mateix tub.

SONDA VERTICAL GEOTÈRMICA PE-100 SIMPLE					
Código	Nº Tubos	Ø Tubo (mm)	Espeor (mm)	Long. sonda (m)	Peso (kg)
246001	2	40	3,7	80	68
246002	2	40	3,7	100	84
246003	2	40	3,7	125	105
246004	2	40	3,7	150	126

SONDA VERTICAL GEOTÈRMICA PE-100 DOBLE					
Código	Nº Tubos	Ø Tubo (mm)	Espeor (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

Taula 9.: Taules de sondes geotèrmiques verticals FERROTÈRM [4].

Per a la nostra instal·lació, s'ha decidit triar la sonda geotèrmica doble de la marca FERROTÈRM PE-100 de diàmetre 32mm, ja que compleix totes les necessitats del sistema.

AÏLLAMENT DE LES CANONADES

Sabent que les canonades de Polietilè són de 32 mm de diàmetre exterior, hem d'analitzar l'aïllament mínim a col·locar, segons el Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques en els Edificis (RITE), que especifica a la IT 1.2.4.2.1.2 [5]: L'aïllament que es col·locarà a les canonades serà de 25 mm per a les canonades interiors i de 35 mm per a les exteriors.

INSTAL·LACIÓ DE LA SONDA GEOTÈRMICA

La sonda a instal·lar haurà de situar-se a uns 2 metres respecte les parets de la vivenda, però nosaltres la col·locarem a uns 5 metres per a poder fer una perforació vertical amb més facilitat.

Es recomanable omplir els sondejos amb una barreja de bentonita, ciment i aigua o material d'alta conductivitat per a garantir la òptima transferència de calor al fluid geotèrmic. Per a fer això, s'ha d'utilitzar un tub d'injecció.

Realitzarem una perforació vertical de 21 metres i en l'interior d'aquesta perforació (realitzada amb una barrena de 150 mm) s'introdueix la sonda geotèrmica que està composta per 4 tubs plàstics de polietilè (PE 100 PN16).

On:

- 1-Perforació fins a la profunditat màxima de sondeig.
- 2-Extracció de la sarta de perforació.
- 3-Introducció de la sonda i tub d'injecció.
- 4-Reomplir el sondeig en sentit ascendent des del fons del trepant.

Finalment, l'empresa instal·ladora de la sonda geotèrmica col·locarà el morter geotèrmica pre-dosificat d'alta conductivitat 2,0 W/mK, especialment disenyat per aplicacions geotèrmiques, fins a un pes de matèria seca per metre que suposi un increment del 30% del volum teòric del forat (o fins a 18 kg de matèria seca per metre).

CARACTERÍSTIQUES TÈCNiques DEL MORTER GEOTÈRMIC:

Ha de complir les següents característiques:

- Conductivitat tèrmica: 2,0 W/mK
- No contaminant i inòcua per al medi ambient.
- Caràcter impermeable per evitar la comunicació entre aqüífers.
- Plasticitat suficient per a permetre les dilatacions i contraccions de la sonda sense fer-la malbé.
- Densitat de la barreja mai inferior a 1,2 kg/dm³ amb dosificació d'aigua.

V. ESTUDI ECONÒMIC

CONSUM ANUAL DE ACS DEL SISTEMA ACTUAL.

Les necessitats energètiques anuals per a produir ACS a la vivenda d'estudi, són de 2198,93 kWh/any. Com que una bombona de gas butà de 12,5 kg. es capaç de produir 161,1 kWh i el seu cost es de 13,42 €/bombona, i a més, el rendiment de la nostra caldera es del 90%, el cost del kWh en euros es de 0,09 €/kWh.

Multiplicant el preu del kWh pel consum anual obtenim que el cost anual de butà es de 203,53 €/any.

Cost anual de Gas Butà	
Consum anual ACS Gas Butà =	2198,93 kWh/any
1 bombona butà produeix =	161,1 kWh/bombona
Rendiment =	90%
Producció real de la bombona de Butà =	144,99 kWh/bombona
Preu Bombona =	13,42 €/ bombona (juliol 2015)
Preu del kWh del gas butà (€) =	0,09 €/kWh
Cost Anual de Gas butà =	203,53 €/any

Taula 10.: Taula del Cost anual de Gas Butà. (veure Annex A.4.1.1).

PRESSUPOST DE LA INSTAL·LACIÓ SOLAR TÈRMICA

El cost anual del sistema Solar Tèrmic, serà de 55,41 €/any, degut a que el rendiment del sistema es del 73% i farem ús del sistema auxiliar de caldera de gas butà ja instal·lada.

Cost de generació Solar Tèrmica	
Rendiment Solar Tèrmic =	0,73
Consum de la caldera auxiliar =	55,41
Cost Anual del sistema auxiliar =	55,41 €/any

Taula 11.: Taula del Cost anual amb la instal·lació Solar Tèrmica (veure Annex A.4.1.1).

El pressupost total de la instal·lació Solar tèrmica es de 4178 €

PLAÇ D'AMORTITZACIÓ DEL SISTEMA SOLAR TÈRMIC

Per a fer l'estudi de l'amortització del sistema solar tèrmic, analitzarem el temps necessari per tal que l'estalvi en gas butà per a produir ACS iguali el cost de la nova instal·lació.

Per tant, el que farem serà buscar el punt en el que la instal·lació queda amortitzada i la utilització del sistema solar tèrmic sigui cada vegada més rendible.

Considerant un IPC d'un 3% anual, ens trobem que la instal·lació, sense ser subvencionada, passa a ser rendible a partir dels 21 anys.

PRESSUPOST DE LA INSTAL·LACIÓ GEOTÈRMICA

El cost anual del sistema Geotèrmic, serà de 40,08 €/any, degut a que el rendiment del sistema (COP) és del 4,3 i farem ús de la energia elèctrica per a fer funcionar el sistema, tenint en compte que el preu actual del kWh ofert per Endesa es de 0,13 €/kWh.

Cost de generació Geotèrmica	
Rendiment Geotèrmic (COP) =	4,30
	0,13 € €/kWh
Consum Geotèrmic =	40,08 €/any
Cost Anual del sistema auxiliar = 40,08 €/any	

Taula 12.: Taula del Cost anual amb la instal·lació Geotèrmica (veure Annex A.4.1.1).

El pressupost total de la instal·lació Geotèrmica, es de 12.955€

PLAC D'AMORTITZACIÓ DEL SISTEMA GEOTÈRMIC

Per a fer l'estudi de l'amortització del sistema Geotèrmic, analitzarem el temps necessari per tal que l'estalvi en gas butà per a produir ACS iguali el cost de la nova instal·lació. Per tant, el que farem serà buscar el punt en el que la instal·lació queda amortitzada y la utilització del sistema Geotèrmic sigui cada vegada més rendible.

Considerant un IPC d'un 3% anual, ens trobem que la instal·lació geotèrmica, sense ser subvencionada, passa a ser rendible a partir dels 42 anys.

VI. ESTUDI D'IMPACTE MEDIAMBIENTAL

Dels gasos produïts en la producció d'ACS en la vivenda d'estudi deguts a la combustió de gas butà, en destaquem principalment la producció de diòxid de carboni (CO₂). A continuació realitzarem un estudi de les emissions CO₂ que es produeixen i la reducció que suposen els sistemes sostenibles.

EMISSIONS DE CO₂ PRODUÏDES PER LES INSTAL·LACIONS ACTUALS

Per a fer l'estudi d'emissions produïdes per les instal·lacions existents en la vivenda d'estudi, utilitzarem els següents factors de conversió, que relacionen la generació de CO₂ en funció de la font primària d'energia utilitzada:

- Electricitat: 1 kWh = 0,545 kg de CO₂
- Gas Butà: 1 kWh = 0,20 kg de CO₂

Consum energètic Gas Butà (kWh/any)	Emissions (kg. CO ₂ /kWh)	Emissions anuals (kg CO ₂ /any)
2198,93	0,20	439,79

Taula 13.: Taula generació de CO₂ de la instal·lació de Gas butà (veure Annex A.4.1.1).

EMISSIONS DE CO₂ EVITADES GRACIES A LA INSTAL·LACIÓ SOLAR TÈRMICA

De la mateixa forma calcularem els kg de CO₂ evitats pel sistema Solar Tèrmic:

Energia Solar Tèrmica Produïda (kWh/any)	Emissions (kg. CO ₂ /kWh)	Emissions anuals evitades (kg CO ₂ /any)
1602,21	0,20	320,44

Taula 14.: Taula d'emissions de CO₂ evitades per la instal·lació Solar Tèrmica (veure Annex A.4.1.1).

EMISSIONS DE CO₂ EVITADES GRÀCIES A LA INSTAL·LACIÓ GEOTÈRMICA

Pel que fa a la instal·lació Geotèrmica, el sistema es capaç de produir el 100% de la energia necessària per a la producció d'ACS, però necessitem l'energia elèctrica per a fer funcionar la Bomba geotèrmica. El càlcul dels kg de CO₂ evitats pel sistema Geotèrmic es el següent:

Energia Geotèrmica Produïda (kWh/any)	Emissions (kg. CO ₂ /kWh)	Emissions anuals evitades (kg CO ₂ /any)
2198,93	0,55	161,08

Taula 15.: Taula d'emissions de CO₂ evitades per la instal·lació Geotèrmica (veure Annex A.4.1.1).

RECICLATGE DELS COMPONENTS DE LA INSTAL·LACIÓ AL FINAL DE LA SEVA VIDA ÚTIL

Actualment, cal destacar l'aplicació de polítiques que obliguen als fabricants i consciencien als consumidors a fer un ús sostenible del productes de consum.

A Catalunya disposem d'una normativa pròpia, que basant-se en la normativa europea o Catàleg europeu de Residus (CER), regula, classifica i determina la correcta gestió que ha de tenir cadascun dels residus. Aquesta normativa es troba desenvolupada al Catàleg de Residus de Catalunya (CRC) d'accés públic <http://www.arc.cat/ca/aplicatius/cer/jr-42000.asp>.

Aquest catàleg, sempre correctament adaptat a la normativa CER, s'ha estructurat en 19 grups, els quals responen a processos o a activitats que generen residus o bé famílies importants de residus.

Per cada residu consignat al CRC, s'indiquen de forma genèrica quin és el seu origen, la classificació i les opcions de valorització, tractament i disposició de rebuig.

Amb aquesta codificació, ja només s'ha de trobar els gestors de residus adequats, més propers a la zona de Vilassar de Dalt.

En el capítol 9 del PFC es troba l'estudi detallat d'això.

VII. CONCLUSIONS:

Un cop elaborats els pressupostos dels dos sistemes i fet l'estudi econòmic, hem observat que cap de les dues energies renovables serien econòmicament adients per a substituir l'actual sistema de caldera a gas butà, degut a que el cost de les noves instal·lacions fan que tinguem períodes d'amortització d'uns 20 anys en l'energia solar tèrmica i d'uns 40 anys en l'energia geotèrmica. Aquests elevats períodes d'amortització venen motivats perquè actualment no hi ha subvencions per a instal·lar energies renovables i això les fa econòmicament molt poc factibles. Pel que fa a la reducció de CO₂, hem de dir que l'energia solar tèrmica de nou es superior a la geotèrmica, ja que redueix en un 75% les emissions respecte al 25% de l'energia geotèrmica.

En conclusió, l'energia solar tèrmica es molt més atractiva a nivell econòmic i mediambiental, respecte a l'energia geotèrmica en aquesta aplicació per obtenir únicament ACS. Si també s'hagués considerat l'energia geotèrmica amb propòsits de calefacció de la vivenda, el seu atractiu augmentaria. L'energia geotèrmica té molt recorregut per davant i un gran potencial, que estem segurs que a mida que hi hagi un augment del seu ús i hi hagin subvencions institucionals es tornarà molt més competitiva.

VIII. BIBLIOGRAFIA

- [1] CTE HE 2013: "Código técnico de la edificación, documento básico de ahorro de energía". versió de setembre 2013 del Ministerio de Fomento (veure ANNEX A.1.1)
- [2] DECRET 21/2006, de 14 de febrer, pel qual es regula l'adopció de criteris ambientals i d'ecoeficiència en els edificis. (veure ANNEX A.1.2)
- [3] ICGC: Recull de dades geotèrmiques extret del l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. (veure ANNEX A.6.5)
- [4] FERROTERM: Informació sobre tubs per a sondes geotèrmiques (veure ANNEX A.3.2.1)
- [5] RITE: "Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios", 2013. Versión Consolidada 9-09-2013 (veure ANNEX A.1.5)