



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Potencial de la geotèrmita de baixa entalpia combinada amb energia fotovoltaica

Autor: Judit Moreno Píriz

Tutor: Yolanda Salvatierra i Albert Casas

Curs acadèmic: 2018 - 2019

**MÀSTER EN ENERGIES
RENOVABLES I
SOSTENIBILITAT
ENERGÈTICA**

Dos Campus d'Excel·lència Internacional:

B:KC Barcelona
Knowledge
Campus

HUB^c Health Universitat
de Barcelona
Campus

Agraïments

M'agradaria agrair a tothom que, en petita o gran mesura hagin col·laborat o donat suport a la realització d'aquest treball de final de màster en energies renovables.

Primerament a la meva mare, que sempre m'escolta pacientment les meves idees i m'aconsella des del seu punt de vista més crític.

A les meves "tres maries" que són la Meritxell, la Mireia i l'Oriol, les quals sempre estan actives per qualsevol dubte que tingui, assabentades de les últimes notícies i que, durant aquest any de màster han sigut un recolzament molt important.

Als meus amics, els quals sempre han estat disponibles per mi quan jo necessitava oblidar-me de la feina per unes hores.

En especial agrair a la meva tutora Yolanda, que ha cregut en mi des del primer moment, i m'ha donat la motivació necessària que ha fet que el treball hagi sigut interessant i entretingut. I sobretot per la seva exhaustiva supervisió i seguiment del treball.

Agrair a Albert Cases, la seva importantíssima col·laboració i per interessar-se sempre en el meu treball.

A Albert Pujades, que tot i anar enfeinat amb la seu treball d'empresari també ha sigut professor amb mi. Per les seves trucades i les reunions que aconseguen aclarir molts conceptes i per tota la seva col·laboració, sense la qual, aquest treball no s'hagués pogut realitzar.

Abstract

Renewable energies represent a sustainable solution to the increasing global energy demand. In the range of the renewable energies, one of them is geothermal energy, which it is one of the most efficient renewable energies since it has no problem with climate intermittence, but it is less applied in practice due its high initial investment cost.

Low-enthalpy geothermal energy uses the subsoil as thermal energy storage, and it can provide heat from the subsoil inside home during winter season and infiltrate heat in the subsoil cooling the home in summer. This system, as uses the ground as a source of thermal exchange, requires that the body rock that acts as storage has the following characteristics: high permeability, high thermal conductivities and low thermal capacities, moreover it should be isolated or semi isolated for prevent the heat to dissipate. The geothermal system uses heat pumps with are nowadays developed with better “Coefficientent of performance” (COP). This means using minimal electrical energy to produce heat in a very efficient way.

In this paper, a system of two integrated renewable energies it is used: low-enthalpy geothermal energy, that covers the demand for thermal energy and photovoltaic solar energy, which covers the electrical demand. Thus, the energy to drive the geothermal heat pump is also renewable, since it comes from the photovoltaic. The installation of the combined system is framed in Catalonia, in the town of Sant Gregori, Girona, which sits on a pliocene river terrace, where the big-grained water-saturated sandstones form a good thermal storage for using of low-enthalpy geothermal technique.

The database of two months of operation of the renewable system allow to compare this renewable installation with the old non-renewable system, that worked during one year in that building and was based on electricity from the network and natural gas. The change of the installation entails a great initial investment of 27.900€. But periodically, with analysis of invoices, an economical and energetical reduction is observed.

Economically, the new combined renewable system provides a monthly savings of 140,61€ and 1.710€ per year, thus, the investment recovery will be at 16,3 years. Energetically, 55,59% of the electric cost is reduced. It was consumed 11,71 kW/day average with the old system, to 4,66 kW/day that is consumed now, and 100% (total) reduction in natural gas consumption.

The combined renewable system has environmental benefits, since being a self-service system, the low energy consumption required by the electricity grid would be equivalent to cataloging the Building as “Near Zero Energy Building” (nZEB), to an energy classification type “A” and zero emission of CO₂.

KEYWORDS: *Geothermal energy, Photovoltaic solar energy, Renewable energies combined Renewable source, enviromental impact, lower CO₂ emissions, Energy storage, nZEB buildings.*

ÍNDEX

INTRODUCCIÓ	4
OBJECTIUS.....	4
METODOLOGIA	5
CAPÍTOL I: Estat de l'art de la geotèrmita.....	6
1. Tipus de jaciments.....	9
2. Criteris geològics.....	10
2.1. <i>Exploració regional</i>	10
2.2. <i>Avaluació del cos rocós</i>	11
3. Sistema geotèrmitic	14
3.1. <i>Components del sistema</i>	15
3.2. <i>Funcionament</i>	16
4. Desenvolupament d'un projecte geotèrmitic	18
5. Anàlisi DAFO de l'energia Geotèrmitica.....	19
CAPÍTOL 2: Edifici "nZEB" a Sant Gregori.....	21
1. Contextualització.....	21
1.1 <i>Geogràfica</i>	21
1.2 <i>Geològica</i>	21
2. Descripció de l'edifici	23
3. Instal·lació.....	24
4. Dades.....	25
5. Anàlisi econòmic.....	27
6. Estalvi energètic i d'emissions de CO ₂	28
DISCUSSIÓ	30
CONCLUSIONS	32
REFERÈNCIES	33

INTRODUCCIÓ

Des dels anys 1950 la demanda energètica s'ha vist incrementada exponencialment degut a l'augment de població i el PIB. Aquesta demanda energètica és coberta en gran part per energies fòssils: petroli, gas natural i carbó. La combustió de recursos fòssils tot i ser energèticament eficient, produeix gasos contaminants que provoquen anomalies climàtiques a nivell global.

Les energies renovables representen una solució sostenible a la creixent demanda energètica a nivell mundial, promouen la generació d'energia de manera neta i contribueixen equilibrar el balanç energètic. Actualment, s'estan posant en pràctica nous plans governamentals tant europeus com nacionals i mesures legislatives que pretenen fomentar les energies renovables i oferir alternatives per tal de reduir el consum energètic, suavitzant així la corba de demanda energètica.

Una de les alternatives és oferir un nou model de mercat energètic, en el qual s'incorpora la figura del propi consumidor com a productor energètic a petita escala i auto consumidor. S'aconsegueix així suprimir el model lineal i formar una xarxa energètica més distribuïda i integrada. Per facilitar la competència de generació i la participació s'incorporen eines de digitalització com serien els comptadors intel·ligents o "smartmeters". Els quals permeten al consumidor fer una bona gestió dels consums energètics de manera instantània i donen la possibilitat d'optimitzar el sistema de generació renovable.

Als països mediterranis, l'energia que més s'instal·la a nivell domèstic és l'energia solar fotovoltaica, doncs per raons climàtiques resulta molt eficient. Però la utilització del recurs solar, té un gran desavantatge adherit: la intermitència durant les hores nocturnes. Algunes solucions per reduir aquest problema i optimitzar el rendiment del sistema seria incorporar un sistema de recolzament, ja sigui mitjançant emmagatzematge energètic o amb la incorporació d'una altra font d'energia renovable integrada.

OBJECTIUS

Aquest treball es planteja com a objectiu l'avaluació d'un sistema de dues energies renovables combinades: l'energia fotovoltaica per generació d'energia elèctrica i l'energia geotèrmica per generació d'energia tèrmica per aplicacions de climatització i producció d'aigua calent sanitària (ACS) a nivell domèstic privat al municipi de Sant Gregori, Girona.

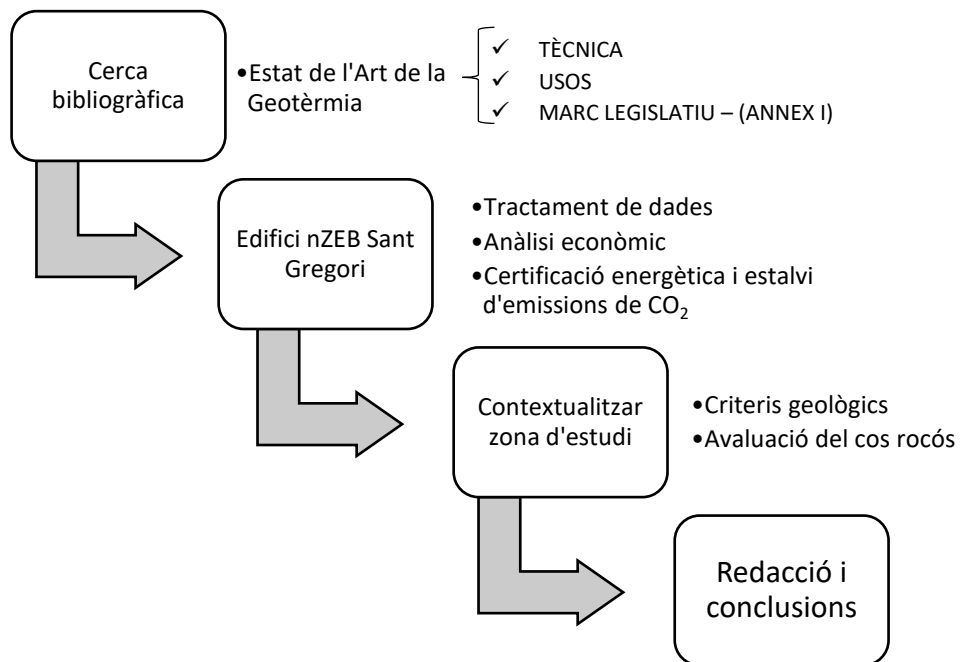
La idea sorgeix de la possibilitat de reunir la geologia amb les energies renovables com a dues branques de coneixement que es poden complementar; amb l'objectiu d'emprar fonts energètiques sostenibles i de baix impacte ambiental que no depenguin de combustibles fòssils, i que per tant, disminueixin les emissions de CO₂.

Per avaluar de primera mà la zona d'estudi, s'ha comptat amb una base de dades d'una instal·lació de geotèrmia realitzada per l'empresa **QualiGeotermia**, combinada amb un sistema de captació d'energia solar fotovoltaica a un domicili privat al poble de Sant Gregori, Girona.

Inicialment, i abans de l'obtenció de dades experimentals, aquest estudi formula la següent hipòtesi: *"L'energia geotèrmica aprofitable a la zona d'estudi serà de baixa entalpia, i serà necessari una inversió inicial elevada per tal d'explotar-la"*.

METODOLOGIA

La metodologia que s'ha seguit per realitzar aquest treball ha sigut la següent (*Esquema 1*) :



Esquema 1. Metodologia seguida al Treball.

La cerca bibliogràfica s'ha realitzat per entendre en profunditat la tècnica, els seus avanços d'aplicació i la seva normativa.

La zona d'estudi no va ser escollida, sinó contextualitzada i avaluada, doncs va quedar determinada des d'un primer moment per la situació de l'edifici on hi ha la instal·lació.

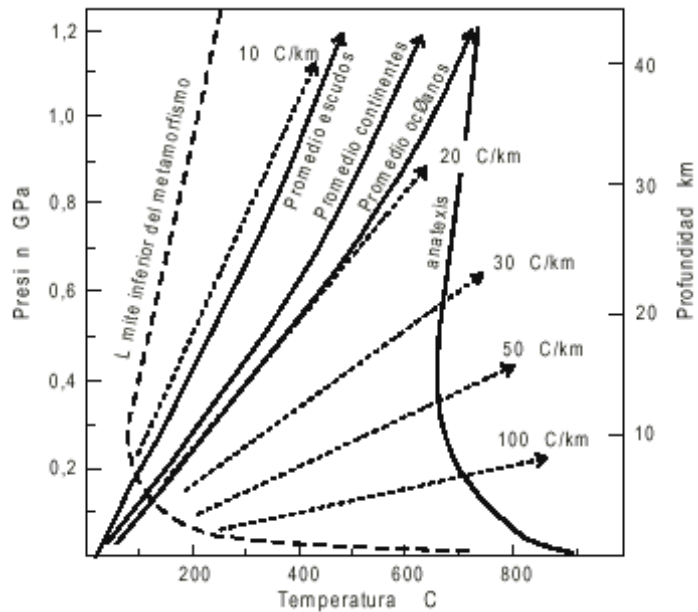
Per dur a terme algunes figures, plànols i la certificació energètica de l'edifici d'aquest estudi s'han emprat els programes següents: AutoCAD 2020 i INKSCAPE.

CAPÍTOL I: Estat de l'art de la geotèrmia

La geotèrmia és una font d'energia renovable i eficient, capaç d'utilitzar l'energia continguda en forma de calor a l'interior de la Terra per a la utilització en diferents escales d'aplicació.

Amb l'avanç de les tècniques geofísiques i de caracterització del subsòl, és conegut que existeix un gradient vertical de temperatura, ja que a mesura que augmenta la profunditat, augmenta la temperatura. Els valors mitjans del gradient varien entre 2.5 i 3°C / 100 m (Dickson & Fanelli, 2015). En regions específiques, com per exemple el límit de plaques tectòniques, el gradient és superior al gradient normal, sent anòmal.

Al *Gràfic 1* s' il·lustren diferents gradients geotèrmics, associats a diferents contextos tectònics, segons la tectònica de plaques. Hi ha tres tipus de límits de plaques:



Gràfic 1. Distribució de gradients geotèrmics a la Terra. (Propietat de INSUGEO 2019).

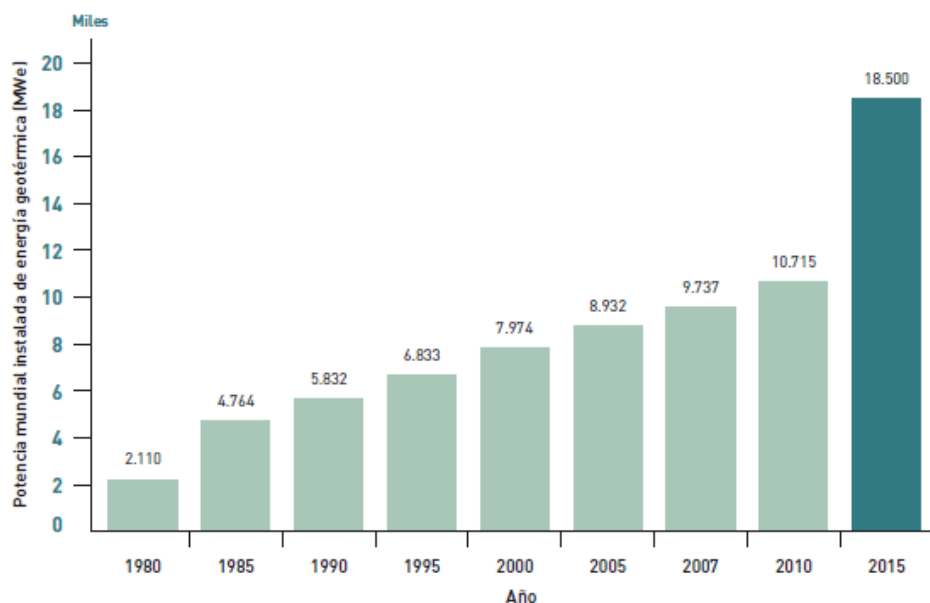
- Límits divergents, o dorsals oceàniques: on les plaques que intervenen es separen allunyant-se. En la separació es produeix la emanació de material magmàtic de l'astenosfera per formar nova litosfera al solidificar. Seria, per exemple, el cas d'Islàndia. Són zones amb gradients de temperatura elevats, activitat tectònica de grau baix i vulcanisme associat.
- Límits convergents: on les dues plaques estan col·lisionant; segons la composició de l'escorça que formi la placa tectònica, es poden donar diferents contextos:
 - Col·lisió escorça continental – escorça continental: col·lisió i formació d'orogens o serralades. Cas de la serralada de l'Himàlaia.
 - Col·lisió escorça continental – escorça oceànica: col·lisió i subducció de la placa amb escorça oceànica (per ser més densa) sota l'escorça continental. Formació de prisma d'acreció, serralada a l'escorça continental, vulcanisme i tectònica d'alt grau associat. Cas de la serralada de los Andes.
 - Col·lisió escorça oceànica – escorça oceànica: col·lisió i formació d'arc d'illes. Subducció de la placa oceànica més densa. Cas de Japó. Són zones amb gradients de temperatura elevades, activitat tectònica de grau alt i vulcanisme associat.
- Els escut, que són zones cratòniques amb un espessor molt elevat de l'escorça terrestre, on el gradient geotèrmic es molt baix.

L'origen d'aquesta font calorífica que respon a l'existència del gradient geotèrmic és en un 30% la calor latent de l'acreció de la Terra i en un 70% la calor generada per la desintegració d'isòtops radioactius continguts al mantell superior.

Per tal d'aprofitar aquesta energia, és necessari que aquest calor es transfereixi a través de les roques. Els mecanismes de propagació coneguts són: la conducció la convecció i la radiació (Dickinson et al, 2015). La conducció és el mecanisme de propagació més efectiu entre cossos en estat sòlid, i és molt significatiu al subsòl, sobretot a l'escorça. Però comparat amb la convecció, la conducció sòlid – sòlid és ineficient. La convecció és la forma més important de propagació de calor al mantell donat que es troba en estat sòlid viscoelàstic i és encara més efectiu al nucli extern, el qual ja es troba en estat líquid. La calor generada per la desintegració nuclear es dona de forma natural i ocorre com a producte de la calor alliberada pel decaïment radioactiu dels isòtops (U, Th i K). La radiació seria la més efectiva de totes les formes de transmissió calorífica donat que no necessita la presència d'un material, doncs es transmet per l'aire o pel buit.

L'energia geotèrmica es coneix des de l'època romana, on es feia servir per les conegudes “termes romanes”. La primera central geotèrmica per producció d'energia elèctrica va ser oberta a Larderello, (Itàlia) al 1904, sent el país pioner en apostar per aquest recurs energètic. Durant les últimes dècades, amb l'increment de població i la creixent demanda energètica, s'ha anat apostant per formes no convencionals d'obtenció d'energia. Una d'elles és l'energia geotèrmica, el 2009 hi havia 24 països productors d'energia elèctrica amb energia geotèrmica, 5 dels quals aconseguïen cobrir entre un 15-22% la demanda elèctrica total (Costa Rica, El Salvador, Islàndia, Kenya i Filipines), i el mateix any es van registrar activitats d'ús de la geotèrmia com a font calorífica en 72 països (Bertani, 2009).

Al Gràfic 2 es pot veure com de 1980 a 1985 es va doblar la potència d'energia geotèrmica instal·lada al món. Del 1985 fins al 2010 ha anat creixent linealment, en un rati d' increment de 7,5%, en canvi, del 2010 al 2015 quasi torna a duplicar-se.



Gràfic 2. Evolució de la potència mundial instal·lada d'energia geotèrmica entre els anys 1980 i 2015. (IDAE, 2011)

Ambientalment, la geotèrmia només emet sulfur d'hidrogen (H_2S) com a gas tòxic i problemàtic, però segons Sigfússon & Uihlein (2015) els efectes d'impacte ambiental s'estan pal·liant gràcies a les noves tecnologies emergents per eliminar altes concentracions d'aquest gas utilitzant minerals alcalins com sosa càustica, processos "redox" per separar el sulfur o utilització d'ammines i solvents.

Un altre problema al qual s'enfronta el desenvolupament d'aquesta tecnologia és la corrosió dels materials de les turbines, intercanviadors de calor i conductes de canonades. És per això que s'està treballant en una selecció de materials, anti-corrosió, com aliatges de titani, níquel, crom, molibdè, cobalt, tàntal i alumini (Sigfússon & Uihlein, 2015), però al ser molts d'ells minerals escassos, la seva aplicació és directament proporcional a un increment de costos.

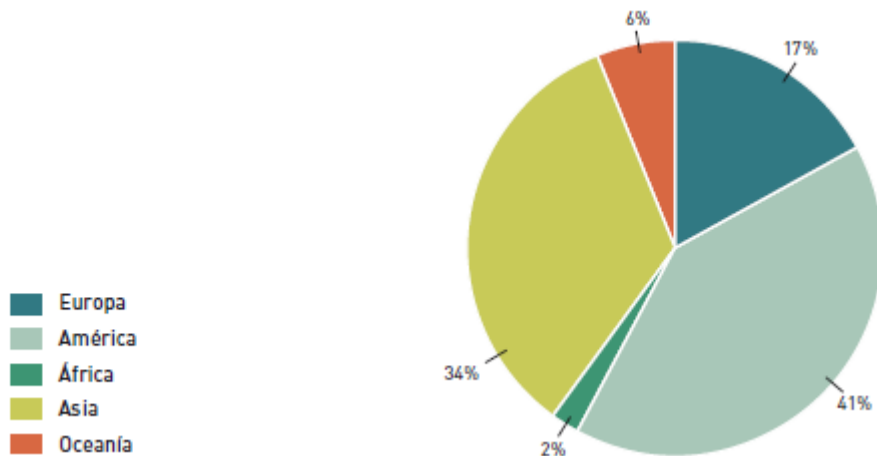
Segons Sigfússon & Uihlein (2015), la Directiva 2009/28/EC introdueix Plans Nacionals d'Acció d'Energies Renovables "NREAP", on s'establien objectius per 2012 i 2020:

- Increment de potència geotèrmica: 787MW (2012) → 1612 MW (2020)
- Increment de generació de calor d'origen geotèrmic 10.440 GWh_{th} → 30.589 GWh_{th}. ("district heating")
- Increment de geotèrmia somera a través de bombes de calor: 18.946 → 49.340 GWh_{th}.

Els resultats publicats al 2012 es van complir en la potència geotèrmica per generació elèctrics on es va arribar a 876 MW i també es van complir els objectius per geotèrmia somera on es va arribar a 27.080 GWh_{th}. Per "district heating" es va arribar a 9.404 GWh_{th}, per sota de l'objectiu establert.

Actualment, la legislació a la Unió Europea requereix prioritat de despatx per la generació d'energia elèctrica renovable. Estan posant-se en marxa diferents mecanismes de recolzament a les energies renovables: com el programa "NER 300" el qual és un instrument de finançament, els mecanismes de les primes com "Feed in tariff" i "Feed in Premium", certificats verds negociables (CVN's o TGC "Tradable green certificate"), mecanismes de licitació i préstecs governamentals (Sigfússon & Uihlein, 2015).

El que s'observa al Gràfic 3 és la distribució d'energia geotèrmica per continents, es posa en manifest quan és de necessari tenir unes condicions de gradient geotèrmic elevat per les aplicacions comuns que són la generació d'energia elèctrica i l'aprofitament directe del recurs com a font calorífica. Així la majoria de països que contribueixen en incrementar el percentatge de cada continent estan emplaçat en un límit de plaques tectòniques.



Gràfic 3. Distribució d'energia geotèrmica instal·lada segons els continents. (IDAE, 2011).

Tanmateix, avui dia, es coneixen mètodes per incrementar el potencial de reservoris amb condicions no-òptimes, com per exemple: l'estimulació de reservoris amb baixa permeabilitat amb fracturació i infiltració de fluids, millora dels cicles termodinàmics, millora en els mètodes d'exploració amb noves sondes geofísiques, millora dels mètodes de perforació i utilització de fluids supercrítics.

Per generar energia geotèrmica d'alta entalpia sí que és significatiu que el territori compleixi característiques d'altres temperatures, però per la finalitat que ens ocupa en aquest treball, que és l'aplicació de la geotèrmia de baixa entalpia per emmagatzemament de calor i climatització d'edificis, no és una condició indispensable. Amb la utilització de bombes de calor geotèrmiques, que utilitzen el potencial geotèrmic a baixa profunditat, aquest tipus d'energia està disponible en més territoris. Tot i això, per tal que un jaciment geotèrmic es consideri adequat per a ser explotat i el seu potencial energètic sigui econòmicament viable, ha de complir els criteris que s'especificaran en els següents apartats.

1. Tipus de jaciments

Aprofitament de la font tèrmica del subsòl combinada amb l'existència d'un nivell freàtic superficial o un aqüífer. S'exploten utilitzant pous, obtenint l'aigua calenta en superfície i regulant el nivell freàtic injectant més aigua per un altre pou.

Segons la temperatura de l'aigua es distingeixen en (*Taula 1*) :

TIPUS	TEMPERATURA	ÚS
T° molt baixa	< 30 °C	Ús directe (climatització i ACS a nivell domèstic)
Baixa T°	< 100°C	Ús directe
T° Mitja	100°C < T° < 500°C	Electricitat, petites centrals
T° Alta	> 500°C	Electricitat, energia mecànica per moure turbines, centrals geotèrmiques

Taula 1. Classificació de jaciments geotèrmics segons la temperatura màxima d'escalfament del fluid i aplicació. Ressaltat en negreta les condicions òptimes pel desenvolupament de la geotèrmia.

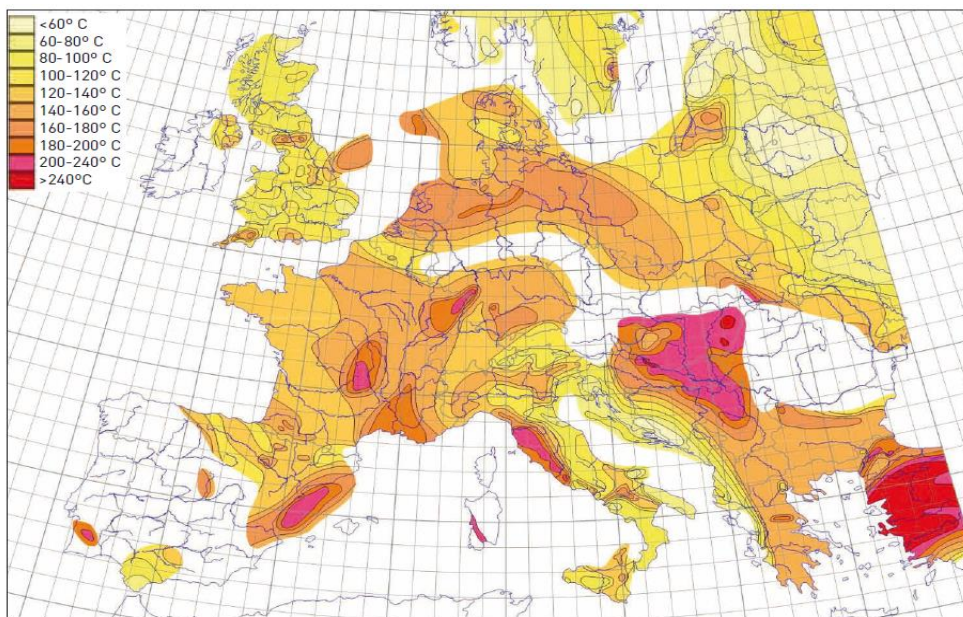
2. Criteris geològics

Els tres criteris geològics més importants per considerar una zona geogràfica amb potencial per explotar l'energia geotèrmica poden resumir-se en els següents:

1. Existència de roques poroses i permeables (aquífer) que permetin la circulació de fluids d'origen meteòric i gasos d'origen exogen.
2. Flux de calor endogen calent que escalfi els fluids continguts a l'aquífer.
3. Formació geològica que actuï de roca segell, sent impermeable i contenint els fluids al reservori, evitant la dissipació d'aquests.

2.1. Exploració regional

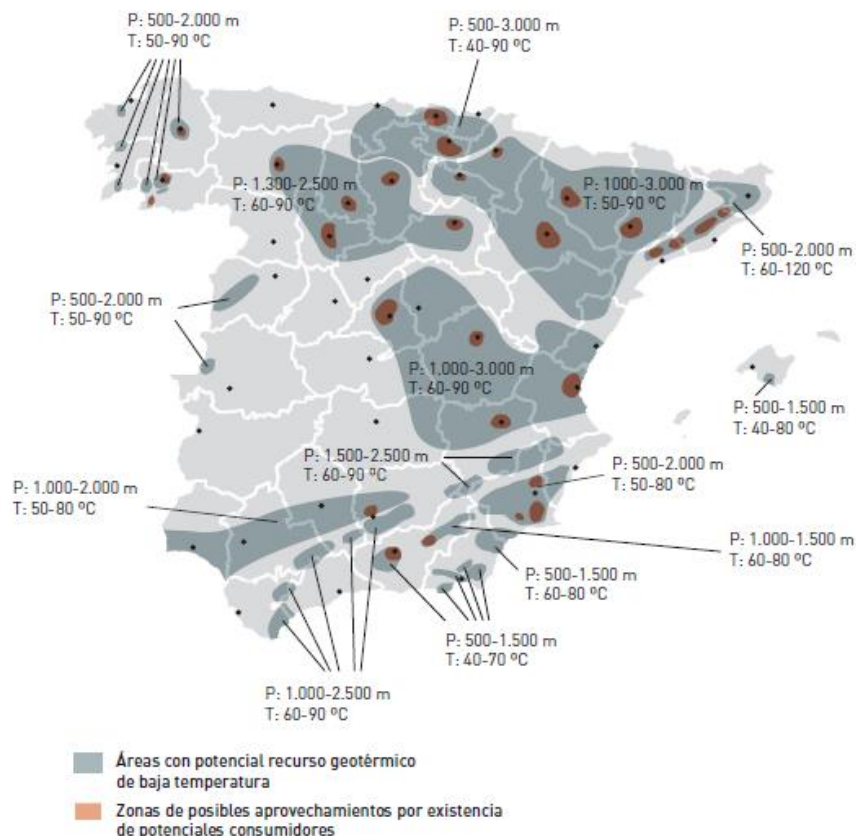
Un dels passos preliminars és l'etapa d'exploració, amb ella, a part de confirmar si hi ha un potencial geotèrmic explotable, segons estudis de gradient geotèrmic. A nivell Europeu (*Il·lustració 1*), els majors jaciments d'energia geotèrmica es troben a Itàlia, Islàndia, França, Hongria, Bulgària i en menor grau a Alemanya i Suïssa. En total s'estima que la potència d'energia geotèrmica a Europa era de 1500 MW al 2010 (IDAE, 2011). Tots els països amb potencial geotèrmic d'alta entalpia actualment estan intentant augmentar la seva capacitat ja instal·lada, posant en servei més energia addicional generada per aquesta font renovable.



Il·lustració 1. Mapa d'extrapolació de T° a 50km de profunditat. A la zona d'estudi, la comarca de Girona, s'estima una profunditat de 140-160°C segons les isoterms del mapa. IDAE (2011)

En el cas d'Espanya (*Il·lustració 2*), segons la informació recollida a l'estudi fet per la IDAE "Evaluación del potencial de energía geotérmica en España para la elaboración del PER 2011-2020", l'avaluació dels recursos geotèrmics es fa de la manera següent:

- a) Per recursos de baixa temperatura: només per un us tèrmic.
- b) Per a recursos de mitja temperatura: segons la informació recopilada de la geologia regional i estudis d' hidrocarburs i àrees estudiades per l'IGME s'estima un potencial de $54,23 \cdot 10^5$ GWh, ja utilitzables per usos elèctrics.
- c) Per recursos d'alta temperatura: a Espanya, aquest tipus de recurs només es troba a les illes volcàniques de les Canàries. El potencial estimat és de $1,82 \cdot 10^5$ GWh equivalent a una potència de 227MW a una planta tipus vapor flash.
- d) Per recursos en sistemes geotèrmics estimulats (EGS): àrees amb possibilitats geològiques pel desenvolupament de EGS, el potencial s'estima a $60 \cdot 10^5$ GWh, que equival a una potència elèctrica de 745 MW.



Il·lustració 2. Mapa de distribució de recursos geotèrmics de baixa temperatura a Espanya. IDAE (2011)

2.2. Avaluació del cos rocós

Per considerar un cos rocós com a reservori s'han d'estudiar les següents característiques segons la informació recopilada per (INSUGEO, 2019):

1. *Transmissivitat tèrmica de les roques*: és el procés pel qual es transfereix la calor a través dels materials, a causa de la propagació d'energia a través dels àtoms d'un cos. Es basa en la difusió de les vibracions per propagació de partícula a partícula, sent en els cossos sòlids més efectiva per simple proximitat.

2. *Conductivitat tèrmica de les roques:* la Llei de Fourier, és la llei que defineix la conductivitat tèrmica.

S'avalua fent servir el test de resposta tèrmica (TRT), el qual consisteix en variar la temperatura del fluid contingut dins dels intercanviadors de calor després que hagi circulat pel circuit tancat instal·lat durant 48 i 72 h. Es controla la variació de temperatura a la entrada i a la sortida del fluid, i es calcula així la conductivitat tèrmica d'aquesta àrea de terreny específica (*Taula 2*).

$$q = -K \frac{dT}{dz}$$

On:

- k = coeficient de conductivitat tèrmica;
- q = calor difosa (W/m °C);
- dT/ dz = gradient de temperatura (°C/m).

3. *La capacitat tèrmica:* calor que és capaç de ser emmagatzemat en un volum de roca al incrementar-se la temperatura. A més capacitat tèrmica major calor haurà de ser transmès per adquirir la mateixa variació de temperatura, per tant també es parla d'inèrcia tèrmica; per exemple, si hagués un canvi sobtat en la temperatura al nucli terrestre trigaria dos centenars de milions d'anys en propagar-se fins la superfície.

TIPUS DE ROCA	DENSITAT (10 ³ kg/m ³)	CONDUCTIVITAT TÈRMICA (W/m·K)			CAPACITAT TÈRMICA (MJ/m ³ ·K)
		Min.	típic	Max.	
Basalt	2.6 - 3.2	1.3	1.7	2.3	2.3 - 2.6
Diorita	2.9 - 3.0	2	2.6	2.9	2.9
Gabre	2.8 - 3.1	1.7	1.9	2.5	2.6
Granit	2.4 - 3.0	2.1	3.4	4.1	2.1 - 3.0
Peridotita	3.0	3.8	4	5.3	2.7
Riolita	2.6	3.1	3.3	3.4	2.1
Gneis	2.4 - 2.7	1.9	2.9	4	1.8 - 2.4
Marbre	2.5 - 2.8	1.3	2.1	3.1	2
Metacuarsita	2.7	5.8			2.1
Micaesquist	2.6	1.5	2	3.1	2.2
Esquist argilós	2.7	1.5	2.1	2.6	2.2 - 2.5
Calcària	2.6 - 2.7	2.	2.8	4	2.1 - 2.4
Margues	2.5 - 2.6	1.5	2.1	3.5	2.2 - 2.3
Cuarsita	2.7	3.6	6	6.6	2.1 - 2.2
Sal	2.1 - 2.2	5.3	5.4	6.4	1.2
Gresos	2.2 - 2.7				1.6 - 2.8
Argiles i llims	2.5 - 2.6	1.1	2.2	3.5	2.1 - 2.4
Grava seca	2.7 - 2.8	0.4	0.4	0.5	1.4 - 1.6
Grava saturada d'aigua	2.7	1.8			2.4
Argila seca	-	0.4	0.5	1	1.5 - 1.6
Argila saturada	-	0.9	1.7	2.3	1.6 - 3.4

Sorres seques	2.6 – 2.7	0.3	0.4	0.6	1.3 - 1.6
Sorres saturades d'aigua	2.6 – 2.7	1.7	2.4	5	2.2 – 2.9
Torba	-	0.2	0.4	0.7	0.5 – 3.8
Bentonita	-	0,55	0.6	0.8	3.9
Formigó	-	0.9	1.6	2	1.8

Taula 2. Taula amb valors de densitat, conductivitat i capacitat tèrmica de les roques. En color vermell roques ígnies, en color verd, roques metamòrfiques, en color groc roques sedimentàries i en blanc altres materials.

4. *Difusivitat tèrmica*: Capacitat que té la calor de difondre's a través d'un material. Les dimensions de la difusivitat tèrmica són àrea / temps. Està definida per la relació entre el coeficient de conductivitat tèrmica i la densitat (característics de cada material) multiplicada per la seva calor específica:

$$k = \frac{K}{\rho C_p}$$

On:

- k = coeficient de conductivitat tèrmica;
- ρ = densitat;
- C_p = calor específica P cte.

5. *Calor específica*: la quantitat de calor que es requereix per variar la temperatura 1K en 1kg de roca; i té una gran influència en la dissipació de calor. S'expressa:

$$C_p = \frac{\Delta Q}{m \Delta T}$$

On:

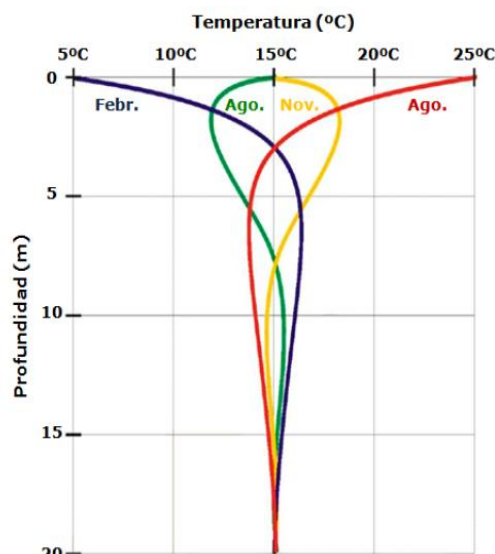
- Q = la calor transmès al material (W);
- ΔT = variació de la T°C;
- m = pes de la roca (kg).

3. Sistema geotèrmic

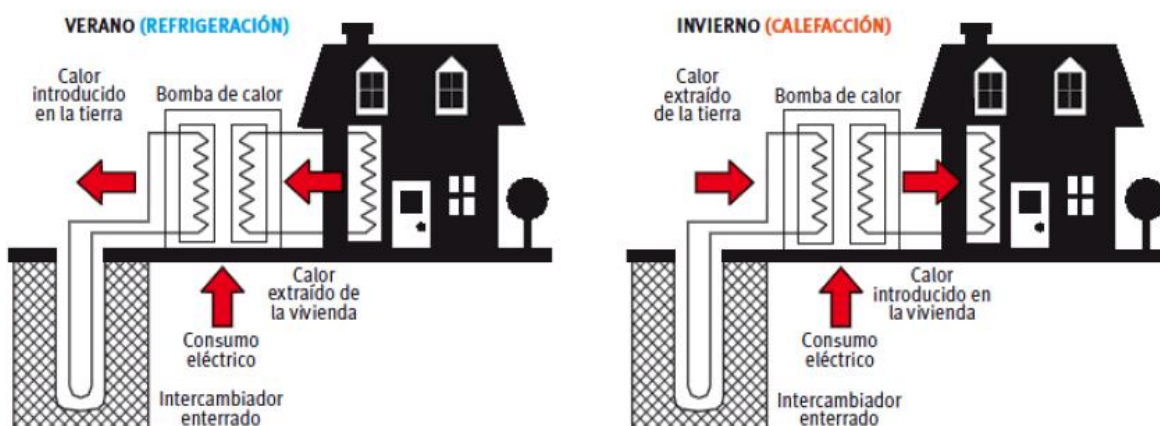
La geotèrmia és una font d'energia renovable que utilitza el subsòl com emmagatzemament d'energia tèrmica. És capaç d'aportar calor provinent del subsòl a l'interior del domicili en època de l'hivern i infiltrar calor al subsòl refrigerant així el domicili a l'estiu (*Il·lustració 4*).

D'aquesta manera una instal·lació d'una bomba de calor geotèrmica és capaç de generar energia ininterrompudament, independentment de les condicions meteorològiques i de temperatura subjectes als canvis d'estació. Aquest és un avantatge respecte a altres fonts d'energia renovable que sí presenten problemes d'intermitència en generació.

Aquest fet s'explica perquè el subsòl pateix variacions de temperatura als primers 2-3 m de profunditat degut als canvis estacionals (*Gràfic. 5*). A partir dels 15 m la temperatura tendeix a estabilitzar-se i prima l'efecte del gradient geotèrmic, donant una temperatura mitjana d'entre 15 - 17°C. (Redondo. O, 2015)



Gràfic 4. Variació del gradient geotèrmic amb les èpoques del any als primers 20m de profunditat del subsòl a una zona de gradient "normal". IDAE (2011).



Il·lustració 3. Funcionament del sistema geotèrmic com a ús tèrmic directe en circumstàncies domèstiques. Redondo. O, (2015).

3.1. Components del sistema

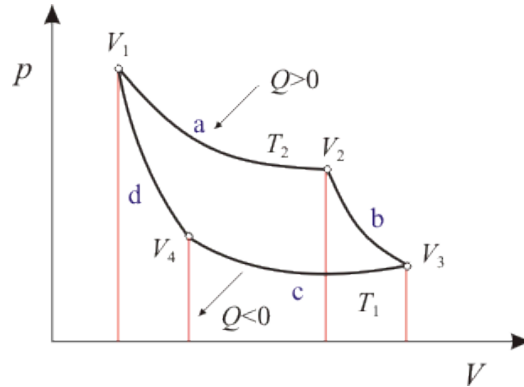
El sistema es basa en la transmissió de calor es dóna amb treball mecànic de compressió. Un màquina tèrmica que utilitza aquest cicle es denomina màquina de Carnot. La màquina treballa seguint el cicle termodinàmic de Carnot, el qual consta de quatre etapes (Gayé, 2008):

1. Expansió isoterma. Al Gràfic 6. etapa $V_1 \rightarrow V_2$. El gas es troba al mínim volum i a T_1 o la més calenta, es transfereix calor des de la font tèrmica i això provoca que el gas s'expandeixi. Amb la expansió també es tendeix a refredar-se però amb la calor que absorbeix de la font tèrmica es mantindrà a temperatura constant.

2. Expansió adiabàtica: etapa $V_2 \rightarrow V_3$. La expansió es dona sense intercanvi de calor amb l'exterior, aïllat tèrmicament. La expansió provoca el refredament del gas fins a aconseguir la T_2 , o la més freda.

3. Compensió isoterma: etapa $V_3 \rightarrow V_4$. El gas comença a comprimir-se per treball mecànic de la màquina de Carnot, però no augmenta la temperatura perquè segueix cedint calor.

4. Compensió adiabàtica: etapa $V_4 \rightarrow V_1$. El sistema queda aïllat tèrmicament, mentre la màquina segueix comprimint fins que es dona un increment de temperatura que acaba sent la del estat inicial.

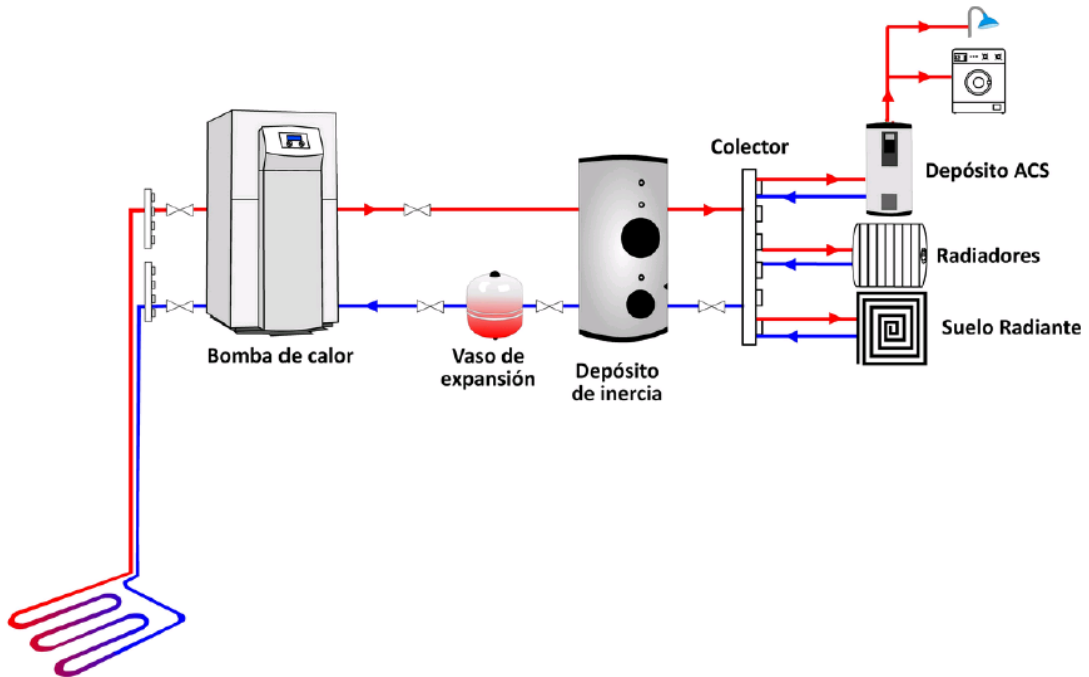


Gràfic 5. Cicle de Carnot ideal.

El sistema necessita els següents components per funcionar:

- Bomba de calor: Pot tractar-se d'una bomba de calor normal per calefacció o una bomba de calor reversible. La de tipus reversible pot invertir el cicle de Carnot i és capaç de treballar produint calefacció i refrigeració mitjançant una vàlvula de 4 vies que permet canviar el sentit del flux del fluid refrigerant. També es poden classificar segons el focus extern que utilitzin:
 - Aire: emprades per aerotèrmia, extrauen l'aire de l'interior amb recuperadors de calor. Són molt utilitzades doncs representa un a font inesgotable (aire) a un cost baix, permeten instal·lacions senzilles en dimensions reduïdes i silencioses. Com a principal desavantatge, si les temperatures són inferiors a -5°C , el COP pot resultar molt baix.
 - Aigua: poden utilitzar aigües de fluvials, marítimes o freàtiques. Són sistemes que presenten alta eficàcia. Amb l'aigua de mar existeixen problemes de corrosió i acumulació d'algues.
 - Terra (geotèrmica): és la bomba de calor amb el COP més elevat per la temperatura constant del subsòl al llarg de l'any.
- Compressor: Màquina accionada amb energia elèctrica i que té com a funció comprimir (augmentar la pressió, de $V_4 \rightarrow V_1$) el gas refrigerant i el dirigeix al condensador.

- Condensador: intercanviador de calor on el líquid refrigerant en fase gasosa condensa a una temperatura superior a la del focus calent, cedint calor a aquest. Increment de temperatura $V1 \rightarrow V2$.
- Vas d'expansió: abans que el líquid refrigerant passi per l'evaporador, provoca una caiguda de pressió ($V2 \rightarrow V3$).
- Evaporador: intercanviador de calor on el líquid refrigerant s'evapora a una temperatura menor a la del focus fred, on s'extrau calor d'aquest.
- Conductes i líquid conductor: connecten el sistema (*Il·lustració 4*).



Il·lustració 4. Components d'un sistema típic de geotèrmia domèstica. IDAE (2011).

3.2. Funcionament

a) PER OBTENIR CALOR:

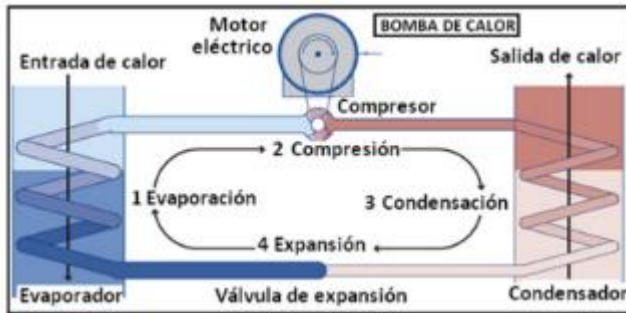
El líquid refrigerant circula pels conductes que es troben al subsòl, la calor del terreny escalfa el fluid i al condensador es distribueix al conducte de la calefacció, als radiadors, o al sistema ACS (*Il·lustració 5*).

Com el calor només es transfereix d'un medi amb temperatura superior a altre amb temperatura inferior, el refrigerant al vaporitzador ha d'estar a una temperatura inferior a la font de calor ambiental, és per això que es necessita una vàlvula d'expansió. I la temperatura del refrigerant al condensador, ha de ser superior a la del aigua de calefacció per cedir aquesta calor és per això que s'utilitza un compressor per augmentar la temperatura.

b) PER REFRIGERAR:

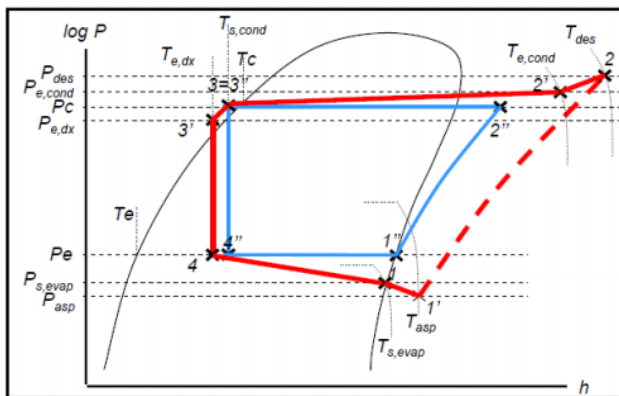
El procés funcionaria a la inversa; el fluid que circula pel sistema de climatització capta la calor del domicili i la bomba geotèrmica la fa circular cap al subsòl on es cedeix calor.

Dins la bomba geotèrmica, el compressor augmenta la pressió del fluid frigorífic, escalfant-lo. Passaria llavors al intercanviador de calor i es produeix aigua a alta temperatura per ACS. Posteriorment, passa al condensador, on la calor es cedeix a l'exterior amb un ventilador i el fluid es refreda. El líquid refrigerant passa a la vàlvula d'expansió on es produeix una caiguda de pressió isentàlpica, finalment, els ventiladors condueixen l'aire calent de l'interior del domicili pel sistema de climatització per ser refredats pel líquid refrigerant.



Il·lustració 5. Funcionament dels elements de la instal·lació geotèrmica per escalfar o obtenir calor. Per refrigerar, el cicle funcionaria a la inversa. Propietat de Villarrubia, 2019.

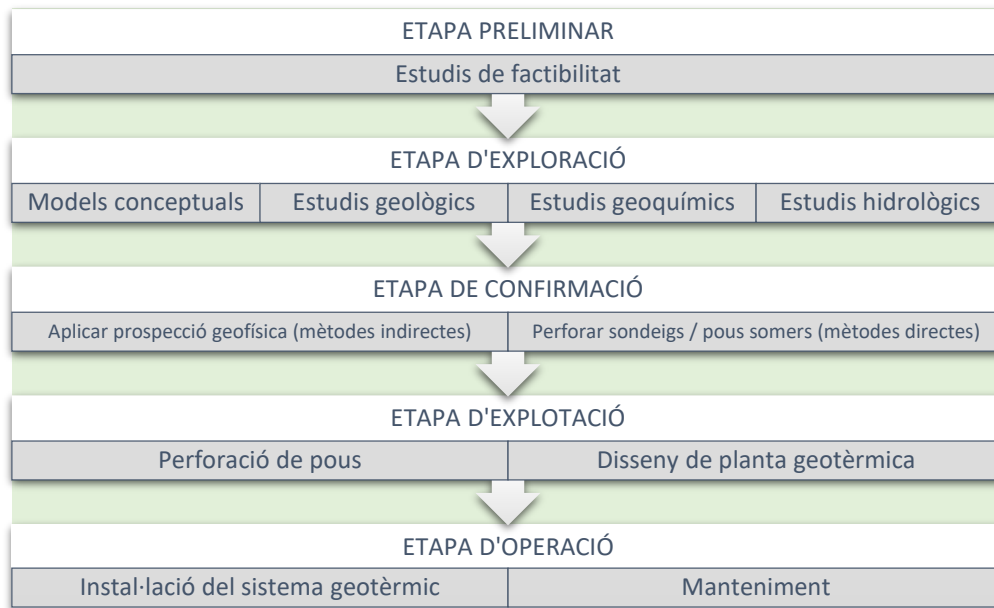
El cicle de Carnot ideal suposa que no hi ha irreversibilitats ni fregaments, però passat a la pràctica el cicle de Carnot segueix dues isòbares (processos d'evaporació i condensació on la pressió és constant) i una isentàlpica (on la energia interna no varia durant el procés d'expansió). Per tant, l'eficiència del cicle de Carnot ideal és superior als casos reals (Il·lustració 6), i l'eficiència en producció de calor es determina a partir del "Coefficient of Performance" (COP), calculat com la relació entre la potència tèrmica aportada per la màquina i la potència elèctrica consumida. En refrigeració l'eficiència es determinaria amb l' "Energy Efficiency Ratio" (ERR), seria la relació entre la potència frigorífica extreta per la màquina i la potència elèctrica consumida. (Villarrubia 2019).



Il·lustració 6. Cicle ideal de Carnot representat en blau i cicle del cas real de Carnot en vermell. Propietat de Villarrubia, 2019.

4. Desenvolupament d'un projecte geotèrmic

Es reconeixen les etapes detallades a l'*Esquema 2* a l'hora de plantejar un projecte geotèrmic (Dickson & Fanelli, 2005):



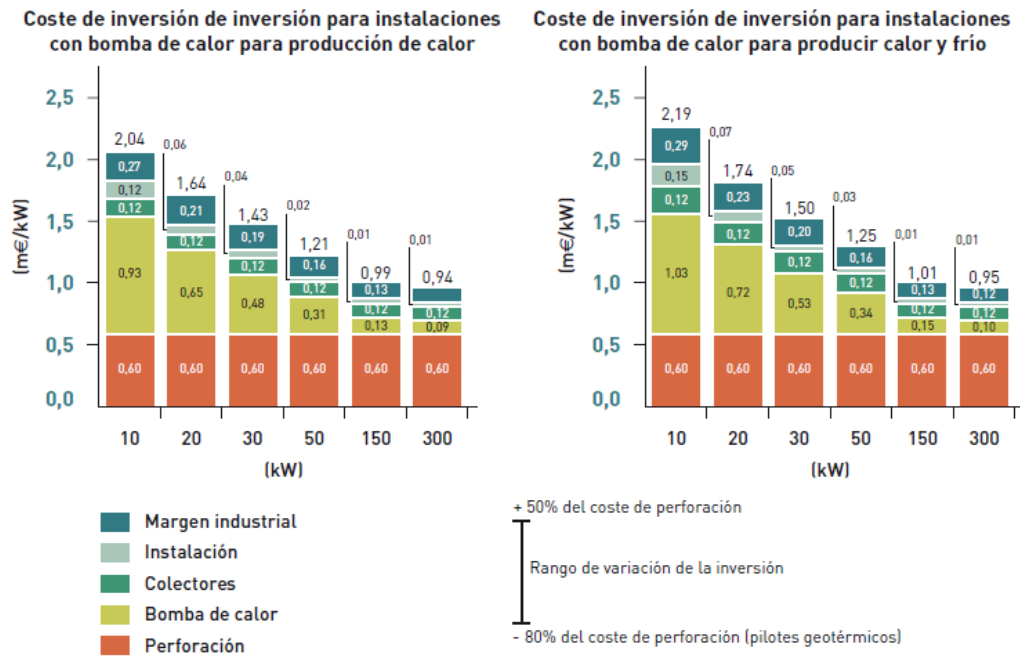
Esquema 2. Fases per desenvolupar un projecte geotèrmic.

Cal mencionar dos factors de gran importància a l'hora d'iniciar un projecte: el risc associat i el cost econòmic. En el cas d'un projecte geotèrmic, existeix un risc evident, doncs el recurs es troba sota terra, on representa un repte assegurar-lo. Per altra banda, el cost econòmic es veu incrementat pels costos relacionats amb la fase de perforació i la instal·lació.

Inicialment, el risc del projecte és alt donat que no hi ha una certesa 100% de que el projecte conclouï exitosament. Per tant, cal fer etapes de modelització i estudis previs, els quals ja tenen costos econòmics associats, però significativament inferiors comparats al costos econòmics de la exploració amb mètodes de prospecció directa destructiva. Cal assegurar-se d'una viabilitat del projecte geotèrmic, tenint en compte que es pugui recuperar la inversió inicial del projecte.

La perforació de pous és una de les parts més costoses i al mateix temps essencials del projecte (*Il·lustració 5.*) Calen equips de perforació, construcció dels conductes dels pous i pous de reinjecció.

Per usos tèrmics, els costos d'inversió d'una instal·lació d'energia geotèrmica amb bomba de calor varia entre 1.000 i 2200€/kW (IDAE, 2011), però depèn de la litologia, el potencial del recurs, el tipus d'instal·lació i els usos del recurs, ja sigui per només calefacció, climatització, o climatització i ACS conjuntament. Finalment l'etapa d'operació i manteniment periòdic s'inicia quan la instal·lació estigui operativa.



Il·lustració 7. Costos d'inversió per instal·lacions amb bomba de calor per la producció de calor i fred. (IDAE, 2011).

5. Anàlisi DAFO de l'energia Geotèrmica

Potencials forteses i oportunitats de l'energia geotèrmica versus les limitacions en debilitats i amenaces (Ellabban et al, 2002).

		FACTORS	
		POSITIUS	NEGATIUS
		<i>Fortaleses</i>	<i>Debilitats</i>
ANÀLISI INTERN	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Font energètica renovable. ✓ Recurs calorífic natural i gratuït. ✓ Ajuda a reduir la dependència de combustibles fòssils. ✓ A l'estiu es bombeja la calor cap a la terra i a l'hivern s'aprofita el gradient tèrmic del subsòl. ✓ Alt rendiment. ✓ Elevada vida útil superior als 50 anys. ✓ Pot destinar-se a múltiples usos: <ul style="list-style-type: none"> – Radiadors – Terra Radiant – Sistema ACS (escalfador d'aigua): dutxa, rentavaixelles, rentadora, assecadora, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Gran inversió inicial. ✗ Requereix mà d'obra per a la seva instal·lació. ✗ Manteniment i revisió necessari. ✗ Si hi ha avaria, difícil i car reparar. ✗ Instal·lació depèn del terreny, ha de tenir una alta conductivitat tèrmica i baixa capacitat tèrmica. ✗ Rendiment relacionat directament amb la profunditat d'excavació. ✗ Necessita d'elements com a bomba de calor i intercanviador de calor. 	

	<i>Oportunitats</i>	<i>Amenaces</i>
ANÀLISI EXTERN	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Genera un estalvis importants en la factura elèctrica. ✓ Pot utilitzar-se de manera combinada amb altres energies renovables (fotovoltaica). ✓ Tècnica en desenvolupament, fort equip científicotècnic . ✓ Pot generar energia elèctrica de manera continuada les 24h. ✓ Contribueix a disminuir les emissions de gasos i emissions químiques industrials. 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Desconeixement de la tècnica per a les persones no qualificades. ✗ Necessita més propaganda com a font energètica renovable. ✗ Subvencions depenen de decisions governamentals. ✗ Instal·lació depèn de zona geogràfica restringida.

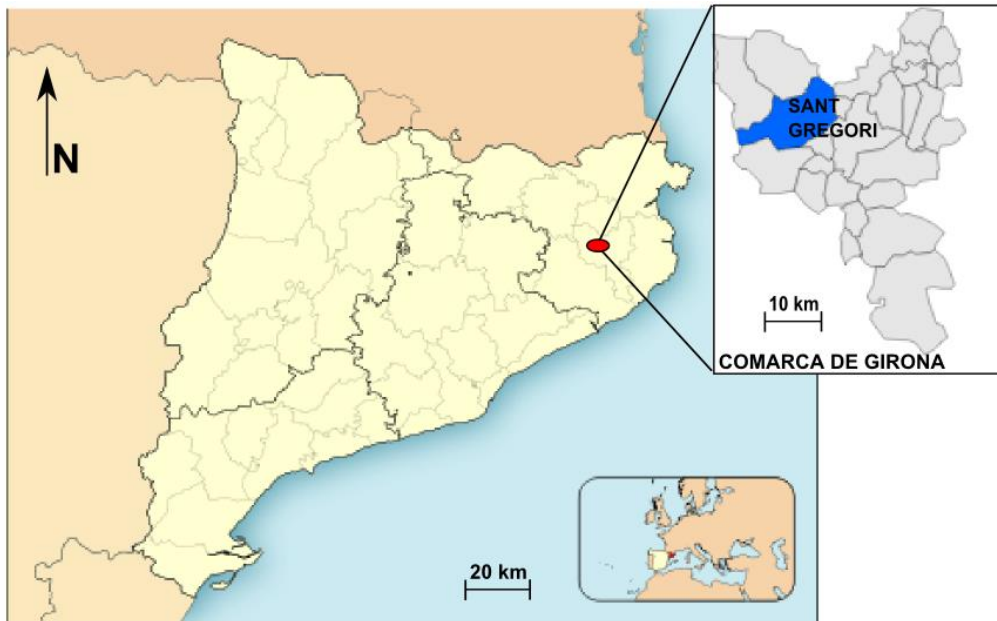
Taula 3. Anàlisi DAFO de la geotèrmia com font d' energia renovable.

CAPÍTOL 2: Edifici “nZEB” a Sant Gregori

1. Contextualització

1.1 Geogràfica

El domicili residència es situa al poble de Sant Gregori, al municipi de Sant Gregori, a Catalunya. Sant Gregori limita al sud amb els municipis de Salt i Bescanó, al nord amb Canet d'Adri, a l'est amb Girona, Sarrià del Ter i Sant Julià de Ramis i a l'oest amb Sant Martí de Llémena i Bonmatí. El municipi queda travessat en direcció NO-SE per la riera de Llémena. Sant Gregori, com a municipi inclou diversos pobles; i forma la capitalitat del municipi amb el major nombre d'habitants i els principals equipaments i serveis públics per a la ciutadania.

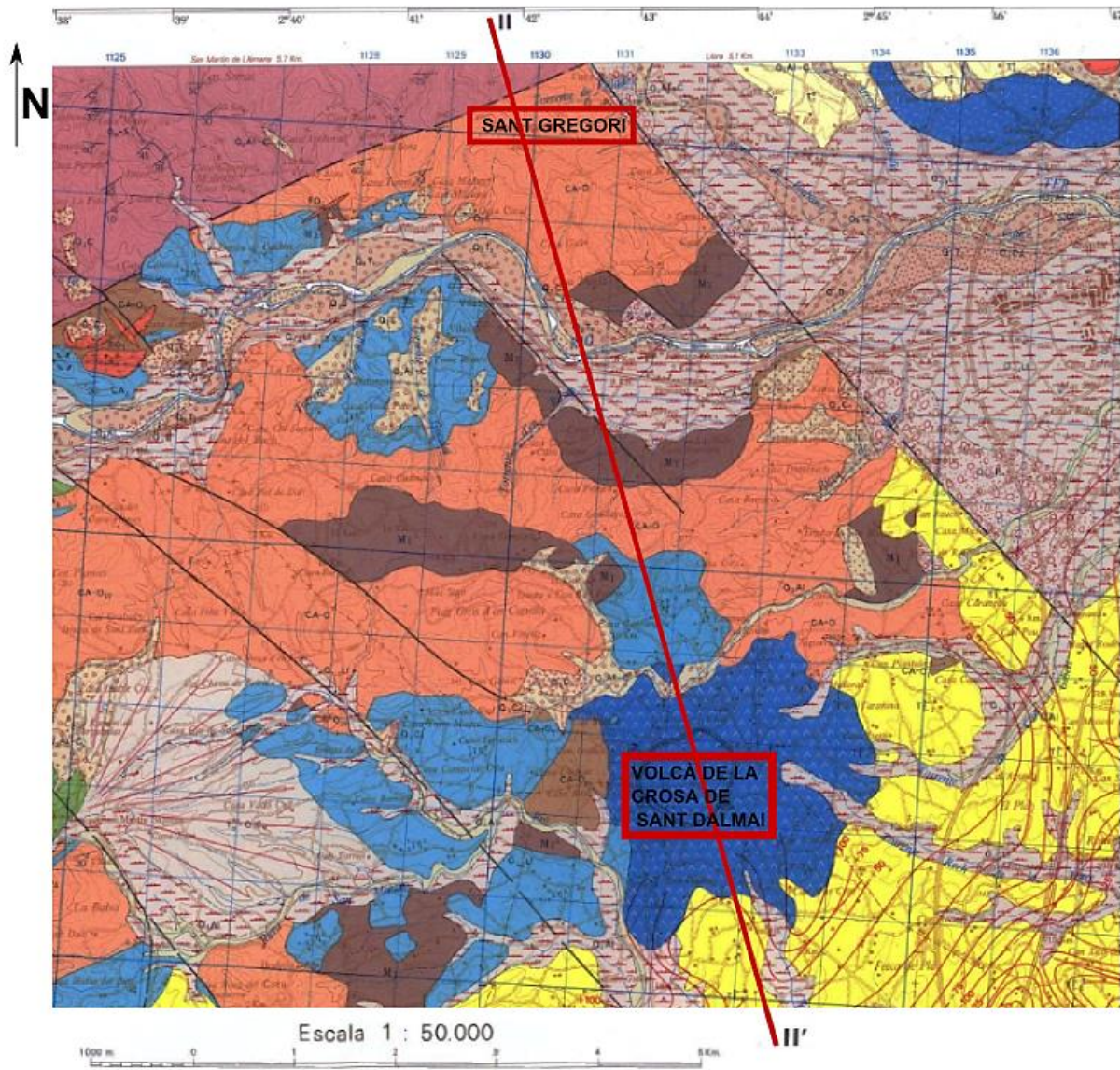


Il·lustració 8. Mapa de Catalunya on es veu la divisió de les comarques (a l'esquerre). A la dreta, s'observa el mapa municipal de Girona, on es situa la localització del municipi de Sant Gregori respecte a la comarca de Girona. Imatges extretes de: Wikipedia Llicència Creative Commons.

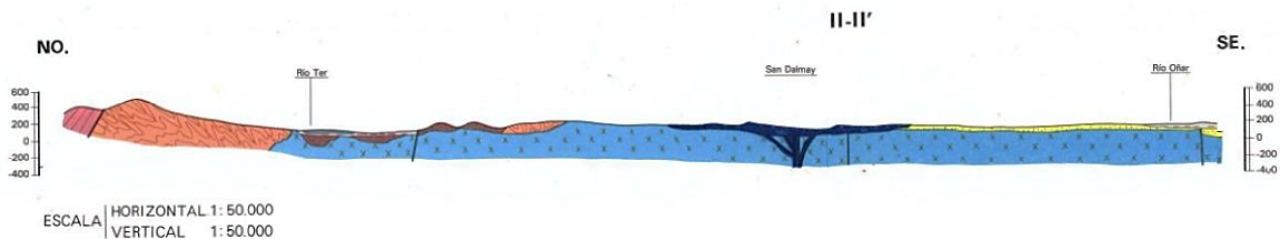
1.2 Geològica

El municipi de Sant Gregori es troba a la secció septentrional de la Depressió de la Selva, concretament, a l'extrem NW de la Serralada Prelitoral Catalana, al massís de les Guilleries. La geozona de Les Guilleries constitueix un nucli metamòrfic on predominen esquistos, marbres i gneissos intruïts per roques plutòniques i filonianes durant l'episodi de l'orogènia herciniana fa aproximadament 380 M.a. La litologia predominant de les Guilleries, de naturalesa sedimentària d'edat Cambriana (Barnolas, et al. 1983), han derivat al següent conjunt de litologies metamòrfiques:

- Esquistos amb intercalacions de marbres i roques calcosilicatades.
- Roques d'origen igni d'edat ordoviciana i gneissos metamòrfics.
- Roques descrites anteriorment envoltades per roques sedimentàries de baix grau metamòrfic que daten de l'Ordovicià Superior.



Il·lustració 9. Situació de la població de San Gregori al Mapa geològic, modificat del Mapa 1:50.000 del full Santa Coloma de Farners nº333 de IGME, (Barnolas, et al. 1983)



Il·lustració 10. Tall geològic II – II' en direcció NNW- SSE de la zona de Sant Gregori, modificat del Mapa IGME nº 133 Barnolas et al. (1983).

Al treball realitzat per Barnolas et al. (1983), en referència a la zona de Sant Gregori, es ressalten els materials neògens del Pliocè, a la *Il·lustració 9 i 10* és la formació de color taronja. És una formació d'aproximadament 200 m de potència i està formada per argiles i llims de color vermell intens, intercalats amb conglomerats i gresos amb naturalesa de paleocanals fluvials.

En algunes zones amb més pendent, s'originen peus de mont, depòsits heteromètrics poc arrodonits amb una matriu argilosa de color vermell. També s'esmenta al treball de Barnolas et al. (1983) que la base on reposen aquests materials neògens, (situats a nivell inferior) són esquistes i granits.

Es conclou que el subsòl situat sota el municipi està compost (de base a sostre): per una base formada pel cos igni d'edat herciniana, on la formació superior serien els materials metamòrfics d'edat Ordovicià, aquets serien al seu torn coberts per materials sedimentaris originats per meteorització dels anteriors. La formació anterior està coberta per graves grolleres que varien de mida granulomètrica, sent granodecreixents cap al sostre, passant en alguns sectors a sorres llimoses al sostre, segons els sondejos observats a la base de dades de Geoíndex ICGC 2019. Finalment la formació sedimentària és coberta per terrenys vegetals de mig metre de potència.

Relacionant aquesta informació amb l'apartat 2.2 "Avaluació del cos rocós" inclòs dins "Criteris Geològics" del Capítol 1:

- Els materials ignis podrien intervenir com a focus d'aport tèrmic pel decaïment radioactiu dels isòtops (U, Th i K). El calor migraria per conducció a través de les roques cap a la superfície. Com les roques metamòrfiques tenen una conductivitat mitjana – alta (valors de 2,1-2,9 W/m·K segons la *Taula 2*) el calor es podria transmetre a la següent formació.
- Els materials sedimentaris de graves de gra groller que formen la base de les terrasses fluvials, actuarien com contenidors de la calor cedida pels granits. La formació sedimentària constituiria un bon magatzem tèrmic donat que té conductivitats mitjanes - baixes amb valor típic de 0,4 W/m·K i valors de 1,8 W/m·K segons la *Taula 2*. Si estan saturades d'aigua i segons els sondejos observats a la base de dades de Geoíndex ICGC 2019, sí que ho estan ja que el nivell freàtic es troba entre els 4,2 i 5,2 m des de la superfície (variable estacionalment).
La capacitat tèrmica tindria valors mitjans a baixos, entorn als 2,4 MJ/m³·K segons la *Taula 2*. Aquests valors es tradueixen en que la calor travessa fàcilment aquests materials i no necessiten un gran aport de calor per variar la temperatura.
- Els materials més superficials de naturalesa argilosa-vegetal, constituirien un bon aïllant tèrmic per evitar pèrdues tèrmiques amb conductivitats tèrmiques de 0,5 W/m·K segons la *Taula 2*.

2. Descripció de l'edifici

Localització: L'edifici es situa al poble gironí de Sant Gregori, a 112 m sobre el nivell del mar i a les coordenades de latitud: 41,991 i longitud: 2,756.

Estructura: L'edifici consta de 2 plantes, però el sistema renovable només suplementa energia per la primera planta. (*PLÀNOLS a ANNEX 2*)

Superfície: 100m².

Nº d'habitants: 4 persones.

3. Instal·lació

El sistema instal·lat al domicili es compon (Esquema 3):

- A. Instal·lació de geotèrmica. Formada per 3 sondeigs verticals de 100m de profunditat, una bomba de calor geotèrmica i un dipòsit d'inèrcia.

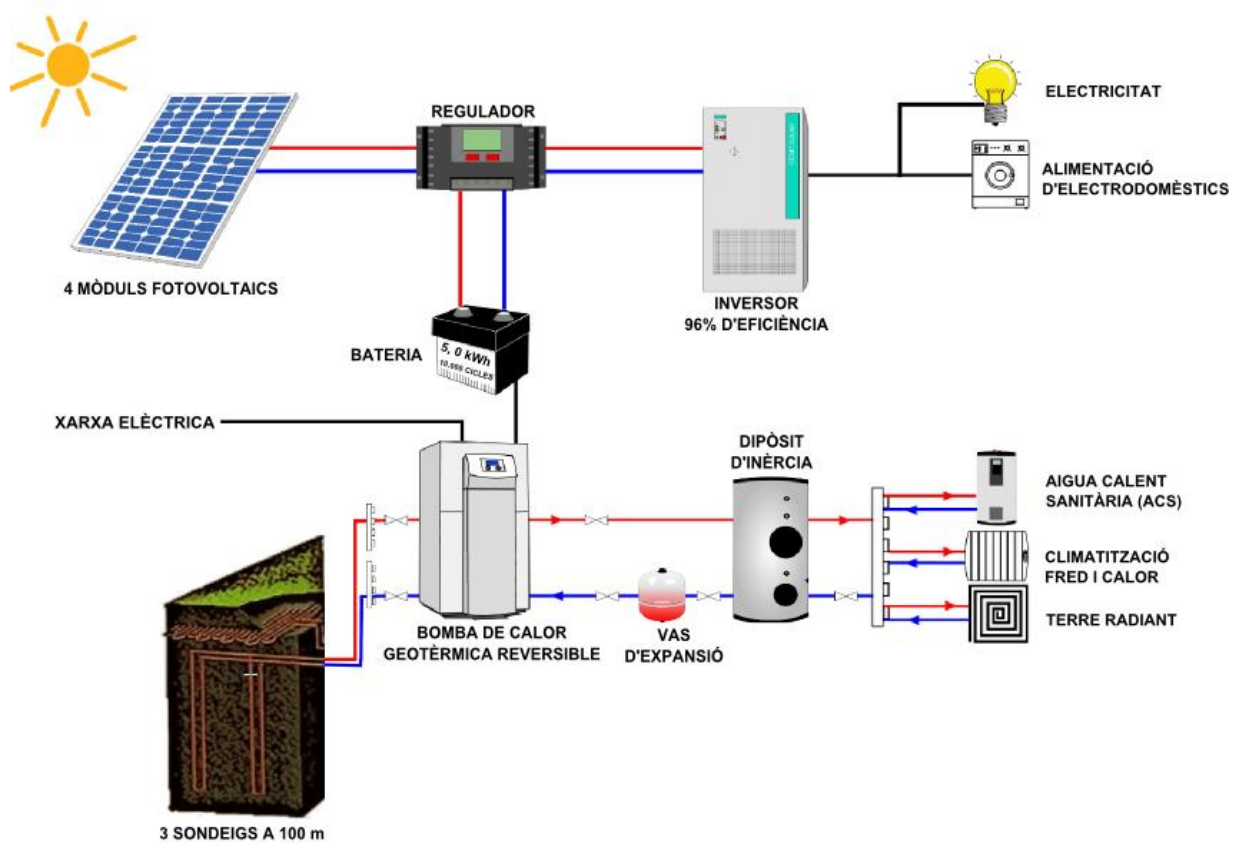
Pretén cobrir la demanda d'energia tèrmica del domicili (kWh tèrmics):

- Climatització i terra radiant.
Hivern: escalfar líquid refrigerant de 17°C (al subsòl) → 30°C.
Estiu: refredar líquid refrigerant de 17°C (al subsòl) → 5°C.
- ACS: escalfar aigua per obtenir aigua calent sanitària 17°C → 60°C.

- B. Instal·lació d'energia solar fotovoltaica. Formada per 4 plaques solars fotovoltaïques i una bateria.

Pretén cobrir la demanda d'energia elèctrica del domicili (kWh elèctrics):

- Grans electrodomèstics.
- Petits electrodomèstics.
- Accionament del sistema de la bomba de calor.



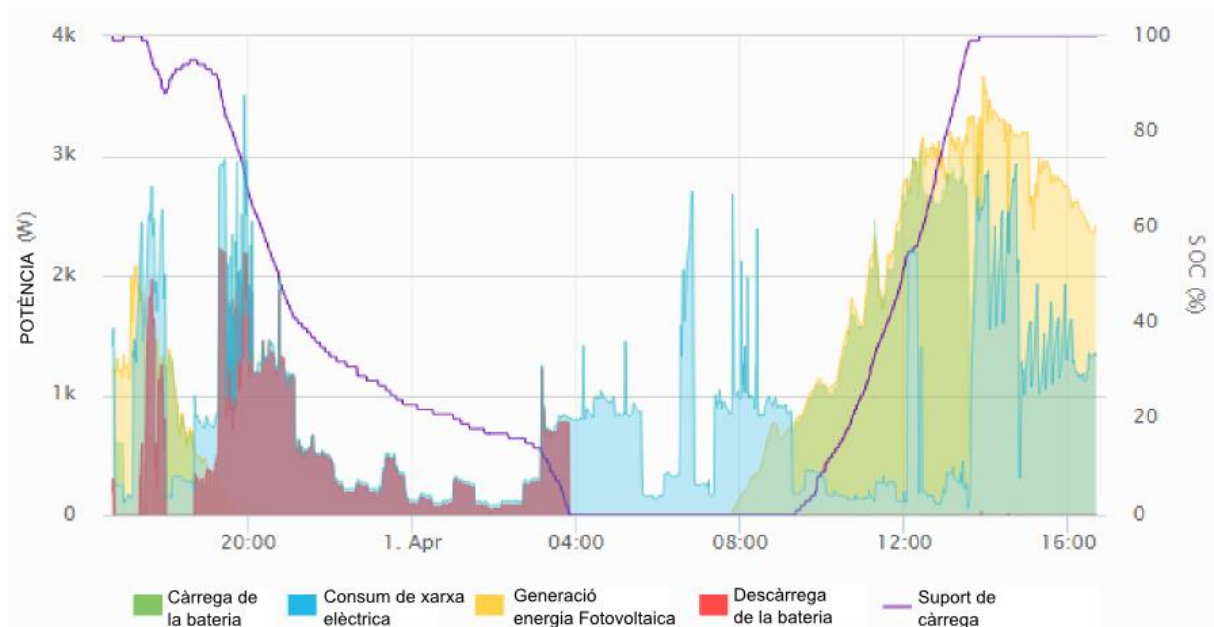
Esquema 3. Esquema de la instal·lació fet amb INKSCAPE.

4. Dades

Les dades de registre de producció/autoconsum del domicili de Sant Gregori han estat cedides amb l'amabilitat del seu propietari. El registre de dades correspon a un comptador intel·ligent o "Smartmeter" de l'empresa alemanya SONNEN.

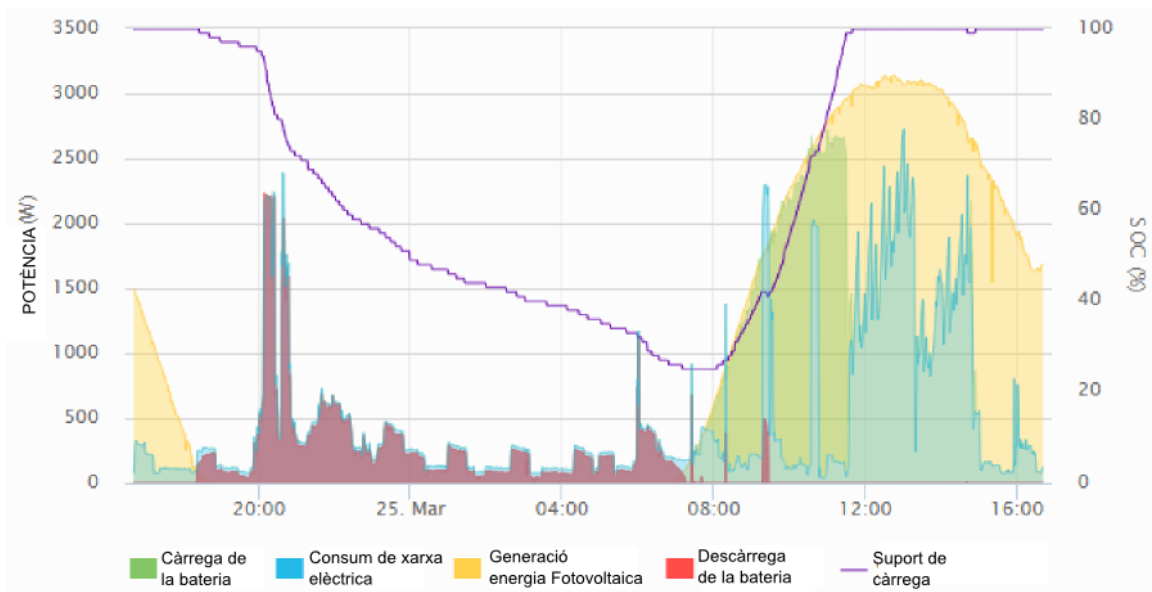
A continuació es presenten unes gràfiques en les quals es pot distingir els diferents tipus:

- DIA A: dia "tipus" on les condicions d'irradiància solar són òptimes (*Gràfic 6*). Es pot veure que el dia 1 d'Abril, la llum solar comença a generar energia fotovoltaica una mica abans de les 8 del matí, arribant a produir un màxim d'aproximadament 3.6 KW. El dia anterior, el 31 de març va ser un dia prou assolellat com per que la bateria cobrés la demanda energètica fins les 4 de la matinada. A partir de les 4:00, es pot observar que es consumeix energia de la xarxa elèctrica, però en el cas òptim, donat que en aquestes hores l'energia es paga a un preu més baix segons la tarifa contractada (període de vall). Durant la nit, es consumeix energia destinada al funcionament de la bomba de calor geotèrmica la qual permet el funcionament del sistema de climatització i ACS.



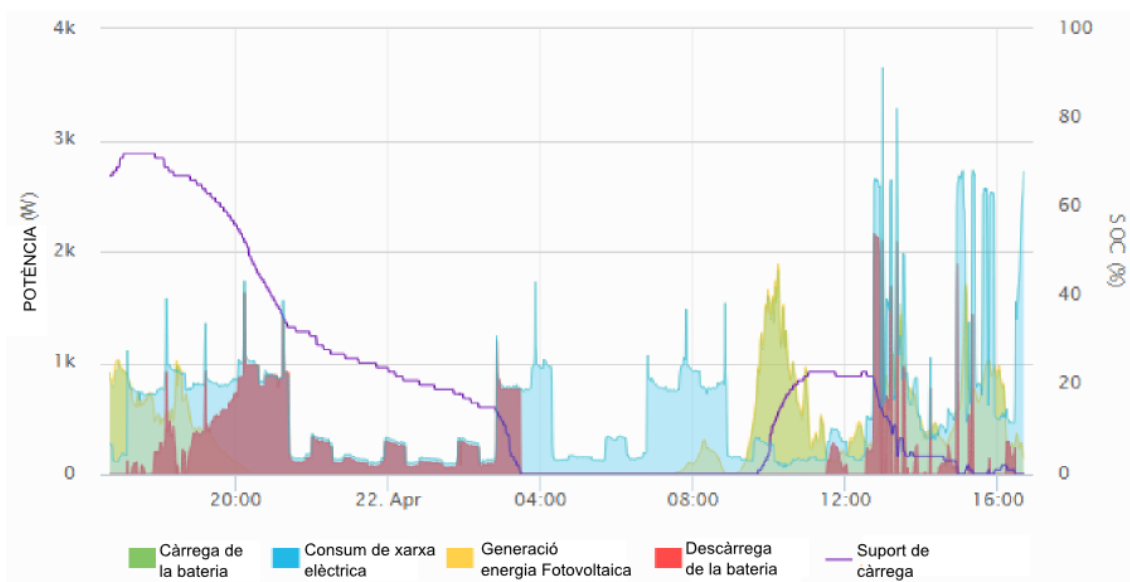
Gràfic 6. Registre de producció/autoconsum elèctric pel dia 1 d'abril de 2019 al domicili de Sant Gregori, dia assolellat (SONNEN).

- DIA B: dia on les condicions d'irradiància solar van ser òptimes el dia anterior, el 24 de Març, tant, que la bateria no ha arribat a descarregar-se sencera i ha cobert tota la demanda nocturna que necessita la bomba de calor geotèrmica (*Gràfic 7*). Com el dia 25 també és un dia assolellat, la bateria torna a carregar-se, necessitant aproximadament 4h per arribar al 100% de càrrega.



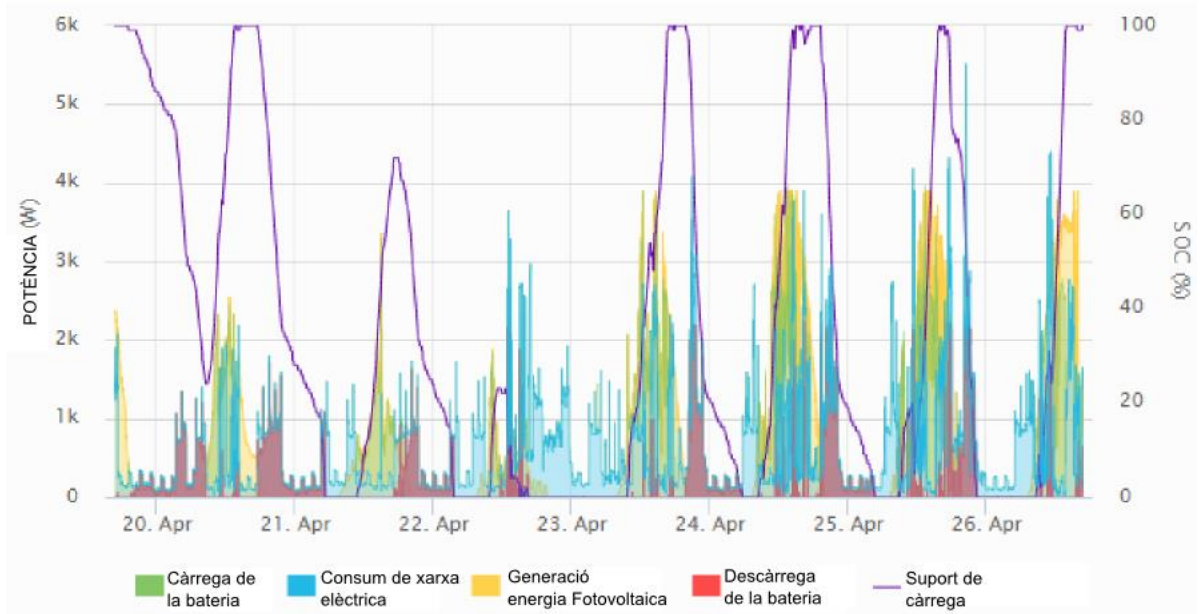
Gràfic 7. Registre de producció/autoconsum elèctric pel dia 25 de Març de 2019 al domicili de Sant Gregori, dia assolat bateria no descarregada (SONNEN).

- DIA C: dia amb els valors més baixos d'irradiància solar des del començament de registre (Gràfic 8). Es pot observar com hi ha uns pics d'irradiació entorn a les 8h i de 9 a 11 hores, en els quals la bateria es carrega, però al haver sigut pics que no han arribat als 2kW, la bateria no triga en descarregar-se. El dia anterior, el 21 d'abril és prou assolat com per carregar la bateria, la qual no es descarrega totalment fins aproximadament les 3:30h de la matinada. Per tant, aquest dia es caracteritza per fer un alt consum elèctric extret de la xarxa elèctrica, tant en període vall com en període pic de la tarifa elèctrica.



Gràfic 8. Registre de producció/autoconsum elèctric pel dia 22 d'Abril de 2019 al domicili de Sant Gregori, dia amb baixa irradiància (SONNEN).

- VISTA SETMANAL: a la vista setmanal (*Gràfic 9*) es pot localitzar clarament el dia amb menors irradiacions, el dia 23 d'abril, corresponent al observat al *Gràfic 10* (anterior), on la bateria no arriba a carregar-se pel dia següent. A partir del 25 d'abril les condicions comencen a ser favorables per la càrrega de la bateria.



Gràfic 9. Registre de producció/autoconsum elèctric per la setmana del 20 al 26 d'Abril de 2019 al domicili de Sant Gregori (SONNEN).

5. Anàlisi econòmic

Les dades que s'especifiquen en aquest apartat del domicili de Sant Gregori han estat cedides amb l'amabilitat del seu propietari. En aquest cas es refereixen a factures mensuals on s'especifica informació de consums energètics i econòmics de l'energia. Totes les dades queden resumides al ANNEX 3: “*Anàlisi econòmic, d'inversió, i rendibilitat*”.

La instal·lació del sistema de geotèrmica recolzada amb el sistema de generació elèctrica fotovoltaica i emmagatzemament amb bateria elèctrica té un cost d'inversió total de 27.900€. S'ha escollit que el total de la inversió provingui de fons propis ja que si hi ha un percentatge de la inversió subjecte a un interès bancari es perdria eficiència en la recuperació de la inversió. Comparant la despesa mensual a través de les factures que en resultava del sistema antic instal·lat (electricitat no renovable procedent de la xarxa i gas natural) amb la despesa del nou sistema (geotèrmia + fotovoltaica) s'observa que s'arriba a un estalvi de 1.710,71€ per any. La relació de rendibilitat dona una taxa de retorn d'un 6,13 % i un “payback” de 16,3 anys on la inversió queda totalment recuperada.

Per lo tant es conclou que la nova instal·lació tot i tenir un preu d'inversió inicialment elevat surt rentable a llarg termini, donant un estalvi significatiu anualment.

6. Estalvi energètic i d'emissions de CO₂

Si es comparen les despeses energètiques del sistema previ (gas natural + energia elèctrica) amb el nou sistema renovable (geotèrmia + fotovoltaica), s'arriba a un estalvi energètic molt significatiu. Amb l'antic sistema, es destinaven 11,17 kW elèctrics/dia de mitja, i amb el nou sistema renovable es destinen 4,66 kW elèctrics/dia de mitja. Aquest canvi comporta la reducció d'un 55,59% del consum elèctric i la reducció total (100%) del consum de gas natural, ja que ja no s'utilitza. Per tant, es conclou que, energèticament, la instal·lació del nou sistema de les dues energies renovables integrades també resulta beneficiós.

El concepte "Near Zero Energy Building" engloba els edificis que tenen un consum d'energia gairebé nul. L'aplicació d'aquest tipus de construcció d'edificis pot aportar beneficis econòmics i ecològics. Segons BPIE, 2015, per edificis residencials un edifici es classifica dins de la categoria nZEB, no hauria de consumir més de 50 kWh/m²·any d'energia primària.

Aquests són els consums del domicili de Sant Gregori:

PRODUCCIÓ / CONSUM KWh							
MES	MARÇ	ABRIL	MAIG	TOTAL (kWh)	MITJA (kWh)	CONSUM ANUAL (kWh)	TOTAL CONSUM (kWh)
Produït per fotovoltaica	620,7	518,2	650,6	1789,5	596,5	6494,9	5973,7
Consum de la casa (BCG + CLIMA+ACS)	516,6	488	470	1474,6	491,53		
Consum de la BCG (CLIMA + ACS)	198	134	118	450			
Consum xarxa elèctrica	116,5	135	82,6	334,1	111,36	1336,4	
Injectat a la xarxa elèctrica	156	101,9	206,5	464,4	154,8	1857,6	

Taula 4. Consums en kWh del domicili de Sant Gregori, Girona.

A continuació es procedeix a comparar les emissions de CO₂ produïdes, en tones de CO₂ emeses/kWh, per quatre tipus d'instal·lacions de generació elèctrica segons les dades obtingudes del treball de Villarrubia, 2019, i tenint en compte que el consum anual "tipus" d'un domicili familiar estil pis segons la IDAE és de 7544 kWh:

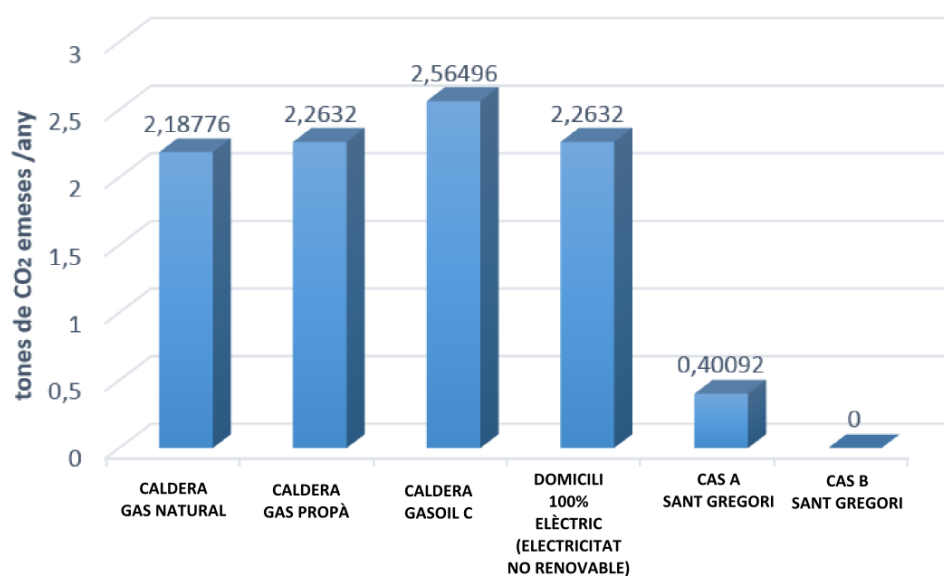
	kg CO ₂ / kWh	Consum anual	Tones CO ₂ / any
CALDERA DE GAS NATURAL	0,29	7544	2,18776
CALDERA GAS PROPÀ	0,3	7544	2,2632
CALDERA GASOIL C	0,34	7544	2,56496
ELECTRICITAT NO RENOVABLE	0,3	7544	2,2632
CAS SANT GREGORI (A)	0,3	1336,4	0,40092
CAS SANT GREGORI (B)	0	0	0

(A) Si el domicili consumeix 13.336,4 kWh anualment de una comercialitzadora que suministra energia de fonts no renovables.

(B) Si el domicili consumeix 13.336,4 kWh anualment de una comercialitzadora que suministra energia de fonts 100% RENOVABLES.

Taula 5. Dades d'emissions de CO₂ emeses anualment segons la tecnologia utilitzada.

EMISSIONS DE CO₂



Gràfic 10. Gràfic comparatiu d'emissions de kg CO₂/any emesos a l'atmosfera.

El cas B del domicili de sant Gregori és l'actual, ja que l'empresa subministradora d'energia elèctrica és la companyia "SOM ENERGIA" on totes les tarifes que ofereixen són d'origen 100% renovable.

Aquest cas, segons l'ANNEX 4: "Certificació energètica", això converteix aquest domicili en classificació energètica tipus "A". I com el consum d'energia primària no supera els 50 kWh/m²·any, (doncs el consum és de 13,36 kWh/m²·any) també es considera un edifici "nZEB" o de consum gairebé nul.

DISCUSSIÓ

A continuació s'exposen diferents escenaris que variarien els consums energètics i econòmics del sistema.

Increment de temperatura

Segons el IPCC (2019), les activitats antropogèniques han causat aproximadament l'increment d'1°C d'escalfament global. Amb prou certesa es preveu que aquest escalfament global seguirà incrementant-se arribant a 1,5°C entre el 2030 i 2052.

L'increment de temperatures a nivell global afectarà a les temperatures mitjanes d'algunes regions del planeta. En aquest cas, Girona queda sota la influència d'un clima mediterrani temperat. Les prediccions per aquest tipus de clima inclouen increments de temperatura, i dèficit de precipitacions. La instal·lació geotèrmica serà insensible a aquest increment de temperatura ja que l'equip es troba soterrat. A més, per la inèrcia tèrmica del subsòl, la temperatura tendeix a estabilitzar-se als 17°C a 15m de profunditat.

El dèficit de precipitacions, tot i tenir un efecte negatiu en àmbits ambientals, en aquest cas ajudaria al sistema fotovoltaic a tenir un rendiment major, doncs augmentarien els dies de sol al llarg del any.

Increment de la superfície (m²)

Segons la informació especificada a l'apartat 5."Anàlisi econòmic" es conclou que el cost necessari per realitzar la instal·lació de geotèrmia per climatització i energia fotovoltaica per generació d'energia elèctrica surt rentable a llarg termini. Però s'ha de tenir en compte que la instal·lació s'ha donat per un domicili amb una superfície total de 100 m².

Típicament, els sistemes geotèrmics s'aconsellen o solen instal·lar-se en domicilis unifamiliars, els quals tenen gairebé el doble de superfície útil. Doblar la superfície del domicili equival a doblar els kW tèrmics necessaris per climatització, així com incrementar també el consum en kW elèctrics destinats a electrodomèstics, il·luminació, etc. S'agafa així el valor d'estalvi anual en el escenari inicial (per 100 m²) que és de 1.710,71€ i es dobla (Taula 6).

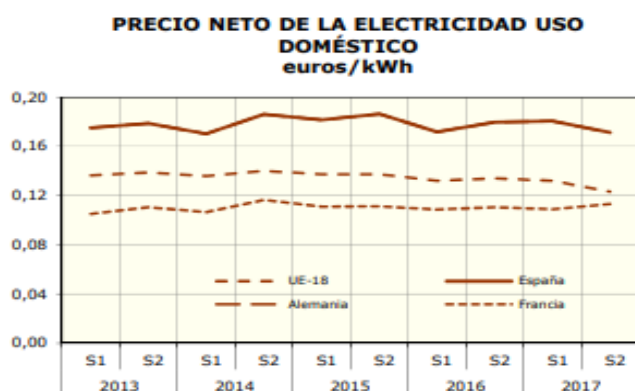
Si la instal·lació fos per 200m2			
ESTALVI			
€/DIA	9,37 €		
€/MES	281,21 €		
€/ANY	3.421,42 €		
PAYBACK	8,2	ANYS	(PER UNA CASA DE 200M2)

Taula 6. Consum econòmic i recuperació de la inversió en el cas de doblar la superfície del domicili.

Es planteja llavors que, per la mateixa inversió inicial, 27.900€, hi hauria un estalvi anual major, doncs seria de 3.421,42€, llavors la recuperació de la inversió es donaria més ràpidament, pràcticament a la meitat, als 8,2 anys.

Increment del preu per kWh elèctric

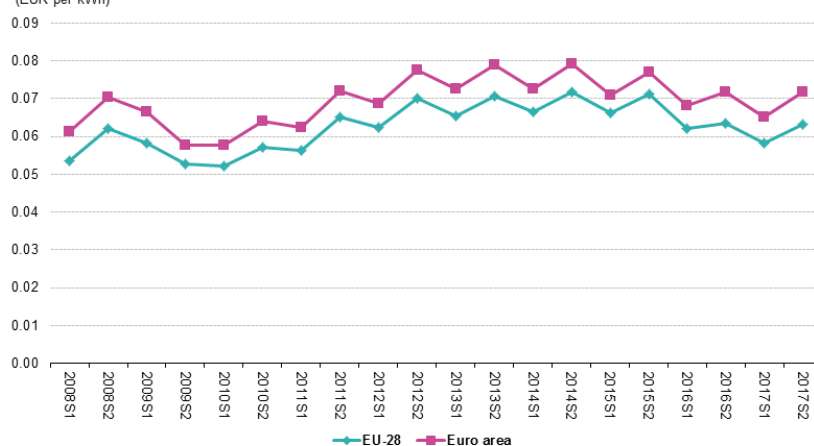
Les variacions en el preu de la electricitat afecten directament a l'estalvi anual del sistema instal·lat i al seu "payback", ja que aquest estalvi es basa en el preu per kWh elèctric, i en el preu de gas natural.



Gràfic 11. Preu net de la electricitat per ús domèstic. Font: Eurostat, 2018.

Segons la tendència observada al Gràfic 11, Espanya va tenir una evolució de preus des del 2013 prou estables pels preus de la electricitat elèctrica, tenint un mínim creixement al 2015.

Development of gas prices for household consumers, EU-28 and EA, 2008-2017 (EUR per kWh)



Source: Eurostat (online data codes: nrg_pc_202)

eurostat

Gràfic 12. Preu net del gas natural per ús domèstic. Font: Eurostat, 2018.

Al Gràfic 12, s'observa la tendència de preus per kWh generat de gas natural. S'observa una tendència creixent del 2011 al 2014.

Així, en el cas que el preu per kW d'energia elèctrica no renovable i el preu per kW de gas natural s'incrementi amb els anys, l'estalvi respecte el sistema antic instal·lat (electricitat + gas natural) serà superior i la recuperació ("payback") de la inversió de la instal·lació de geotèrmica i fotovoltaica es donarà en menys anys.

CONCLUSIONS

Donat els resultats obtinguts a l'estudi es conclouen les següents idees:

- La geotèrmia és la font energètica renovable amb major rendiment, doncs no depèn de condicions climàtiques, sinó que depèn del "Coefficient of performance" (COP) de la bomba de calor geotèrmica que s'utilitzi en cada cas.
- La geotèrmia més energètica és la d'alta entalpia, però la de baixa entalpia és aplicable per climatització i sistemes de ACS a nivell domèstic, aplicables preferentment en domicilis tipus unifamiliars amb grans superfícies útils per tal que la inversió inicial resulti més rentable.
- La irradiància solar és un factor clau en el rendiment òptim del sistema. En dies assolellats el sistema fotovoltaic i l'emmagatzematge en bateries dóna una autonomia total, arribant a no descarregar-se la bateria. En dies amb una irradiància solar mitjana el sistema dóna autonomia fins a les 4:00 de la matinada, tenint en compte que també s'utilitza electricitat per impulsar la bomba de calor geotèrmica d'alt rendiment, la qual proporciona climatització (fred o calor segons la època de l'any) i aigua calent sanitària (ACS).
- La combinació de la geotèrmia amb un sistema de generació elèctrica dóna resultats d'estalvi energètic i econòmic molt positius.
 - Energèticament, amb el nou sistema renovable, s'arriba a reduir un 55,59% de la despesa elèctrica (passa de consumir-se'n 11,71 de mitja a 4,66 kW/dia), i la reducció total del consum de gas natural.
 - Econòmicament, el nou sistema renovable combinat proporciona un estalvi mensual de 140,61€ i anual de 1.710€, per lo tant, la inversió es recupera als 16,3 anys.
 - El domicili de Sant Gregori té una classificació energètica tipus "A" ja que només depèn del subministrament d'energia elèctrica procedent de la xarxa quan la bateria es descarrega. I la comercialitzadora "SOM ENERGIA" ofereix tarifes on l'electricitat és d'origen 100% renovable. Per lo tant emet 0% d'emissions de CO₂.
 - A més, el consum d'energia primària al domicili de Sant Gregori amb el nou sistema renovable combinat és de 13,36 kWh/m²·any, no superant els 50 kWh/m²·any, considerant-se un edifici "nZEB" o de consum gairebé nul.
- Finalment, es conclou refutant la hipòtesi: "L'energia geotèrmica aprofitable a la zona d'estudi serà de baixa entalpia, i serà necessari una inversió inicial elevada per tal d'exploitar-la".
 - És així ja que a Sant Gregori no existeixen gradients geotèrmics prou elevats com per generar geotèrmia d'alta entalpia.
 - La instal·lació del sistema té un cost d'inversió total de 27.900€, la qual es considera una inversió elevada a nivell domèstic, però considerant que la vida útil és entorn als 50 anys es considera rentable.

REFERÈNCIES

Recursos electrònics

Estació meteorològica de Sant Gregori, Base de dades. Disponible:

[<http://www.stgregori.com/meteo3g/wxindex.php#>]

ICGC (2019) . “*Mapa Interactiu de Catalunya*”. Institut Geològic i Cartogràfic de Catalunya. Disponible a:

[http://betaportal.icgc.cat/visor/client_utfgrid_geo.html]

ICGC (2019) . “*Sondejos, Geoíndex*”. Base de dades de Sondejors a Catalunya. Institut Geològic i Cartogràfic de Catalunya. Disponible a:

[<http://www.icgc.cat/ca/Administracio-i-empresa/Eines/Visualitzadors-Geoindex/Geoindex-Sondejos>]

IDAE (2019). “*Certificado de Eficiencia Energética de Edificios*”. Documentos reconocidos. Eficiencia Energética. Energía. Gobierno de España. Disponible a : [https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/normativamodelosutilizacion/2015_06_22_Nuevo-Modelo-Certificado-Eficiencia-Energetica-Version-Web-vacio.pdf]

INSUGEO (2019). “*Propiedades térmicas de las rocas*” Instituto Superior de Correlación Geológica. Universidad Nacional de Tucumán. SGC15. Cap.1.

Disponible a : [insugeo.org.ar/publicacions]

WIKIPEDIA (2013). “*Plantilles de Mapes de Catalunya*”. Llicència de creative Commons. Disponible a:

[https://ca.wikipedia.org/wiki/Plantilla:Location_map_Espanya_Catalunya]

WIKIPEDIA (2007). “*Localització de Sant Gregori respecte del Gironès*”. Llicència de creative Commons. 20 d’Abril de 2007. Disponible a:

[https://ca.wikipedia.org/wiki/Plantilla:Location_map_Espanya_Catalunya]

Publicacions

Barnolas, A., García, A., Muelas, A., Soubrier, J. i Pallí, L. (1983) “*Memòria del Mapa geològic de Santa Coloma de Farners*” N° 333 1:50.000 IGME. Segunda serie, primera edició. Ministerio de Industria y Energía. Madrid. pp. 31-33

Bertani, R. (2009). “*Geothermal energy: An overview on resources and potential ENEL GREEN POWER, Italy*”. International Geothermal days Slovakia, 2009.

BPIE. (2015). “*Nearly Zero Energy Buildings, Definitions across Europe*”. Abril, 2015. EPISCOPE PROJECT

Código Técnico de la Edificación (CTE) “*Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE)*.” 2006

Dickson, M. H. & Fanelli, M. (2005) “*Geothermal energy: utilization and Technology*”, París, UNESCO, 2005.

Ellabban, O., Haitham, A., & Blaabjerg, F. (2002) “*Geothermal energy technology and current status: an overview*”, *DINS: Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 6, 1-2, 2002, pp. 3-65.

EUROSTAT. (2018) “*Electricity price Statistics / es, Statistics Explained*”. Mayo 2018.

Gayé, J.B., (2008). “*Formalismos y métodos de la termodinámica VOL.1*”. Reverté.

IDAE (2008). “*Manual de Geotermia*”. Instituto para la diversificación y Ahorro de Energía.(IDAE). Instituto Geológico y Minero de España.Ministerio de Ciencia e Innovación. Gobierno de España. Madrid, Junio de 2008. ISBN 978-84-96680-35-7

IDAE. (2011) “*Escala de calificación energética para lo edificios existentes*”. Calificación de eficiencia energética de edificios. Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía. Madrid. Pg. 266-305.

IDAE. (2011) “*Plan energías renovables 2011-2020*”. Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía. Madrid. Pg. 266-305.

INSUGEO (2019). “*Propiedades térmicas de las rocas*” Instituto Superior de Correlación Geológica. Universidad Nacional de Tucumán. SGC15. Cap.1.

Disponible a : [insugeo.org.ar/publicacions]

IPCC (2019). “*Special Report Global warming of 1.5°C*”. The Intergovernmental Panel of Climate Change.

Redondo, O. (2015). “*Sistemas de energías renovables en edificios*”. Fundación Laboral de la construcción en España. CSIC. Mayo 2015. Páginas 111-129. Madrid.

Sigfússon, B. & Uihlein, A., (2015) “*2014 JRC Geothermal Energy Status Report*” Joint Research Centre. Institute for Energy and Transport.

Villarubia (2019). “*Apuntes de Geotermia y bomba de calor*” Universidad de Barcelona. Cap 4 y 6. Barcelona. Máster de Energías Renovables y Sostenibilidad energética.

ANNEX 1: MARC LEGISLATIU D'ENERGIES RENOVABLES I GEOTÈRMIA

(I)

Marc Legislatiu de l'Autoconsum d'energies renovables

Segons la informació obtinguda al material docent de Dr. Alexandre Peñalver i Cabré (Departament de Dret administratiu i Dret processal) al Màster d'Energies Renovables i Sostenibilitat de la Universitat de Barcelona, any 2019.

Autoritzacions per a la producció d'energies renovables: autoritzacions energètiques, ambientals i urbanístiques

1. REQUERIMENTS GENERALS

Directiva 2009/28: estableix requisits dels procediments administratius sobre energies renovables (art. 13).

- Coordinació administrativa.
- Procediments simplificats (fins i tot, comunicació prèvia) per a projectes menors i equips descentralitzats.
- Tendir a un organisme únic; silenci administratiu positiu i determinació d'emplaçaments.

Directiva 2009/72: estableix requisits dels procediments administratius sobre instal·lacions de producció elèctrica.

- Tenir en compte protecció del medi ambient i quota del 20% renovables pel 2020 (art. 7.2).
- Simplificació per a petites instal·lacions de producció elèctrica (en especial, les descentralitzades) (art. 7.3).
- Excepcionalment, es pot substituir procediment d'autorització per un procediment de licitació per a garantir la seguretat del subministrament o protecció ambiental (art. 2).

Llei estatal 2/2011, de 4 de març, d'economia sostenible.

- Procediments adequats a les diferents tecnologies, mides i usos i terminis breus (art. 84).
- Necessitat d'ampliar silenci positiu excepte raons imperioses d'interès general (art. 40).

Llei 24/2013, del sector elèctric

- Exempció d'autorització de determinades instal·lacions de producció de petita potència (mitjançant reglament).

Reial decret 1955/2000, d'1 de desembre, pel qual es regulen les activitats de transport, distribució, comercialització, subministrament i procediments d'autorització d'instal·lacions d'energia elèctrica.

- Reial Decret 661/2007 (règim especial actualment no vigent) es remetia al RD 1955/2000 sense cap criteri específic per les renovables.
- Reial Decret 413/2014, de 6 de juny, pel qual es regula l'activitat de producció d'energia elèctrica a partir de fonts d'energia renovables, cogeneració i residus (art. 35-42).

2. PERMISOS D'ACCÉS I CONNEXIÓ

Permís de connexió a les xarxes de transport o distribució pel gestor de la xarxa de transport o de distribució:

- Dret de connectar una instal·lació de producció o consum a un punt concret de la xarxa de transport o distribució.
- Els possibles conflictes són resolts per **la Comissió de Mercats i Competència** (xarxa de competència de l'Estat) o per les CCAA (xarxa de competència de la CCAA).
- Règim especial per a instal·lacions de renovables de menor potència (**Reial Decret 1699/2011, de 18 de novembre**, pel qual es regula la connexió a xarxa d'instal·lacions de producció d'energia elèctrica de petita potència).

3. AUTORITZACIONS ADMINISTRATIVES

1. Autorització administrativa prèvia.
 - ✓ Presentació d'Avantprojecte.
 - ✓ EIA.
 - ✓ Informació pública.
2. Autorització administrativa de construcció
 - ✓ Projecte d'execució.
 - ✓ Consecutiva, coetània o conjunta amb l'autorització anterior.
3. Autorització d'explotació
 - ✓ Provisional per a proves.
 - ✓ Definitiva.

Aspectes comuns

- Competència del **Ministeri d'Indústria, Energia i Turisme** per a instal·lacions de potència **superior a 50MW**, d'àmbit supraautonòmic o en el mar territorial.
- Competència de la Comunitat Autònoma per a instal·lacions de potència **no superiors a 50MW** o d'àmbit autonòmic.
- Termini resolució d'1 any i silenci negatiu (Estat).
 - o Reglada.
 - o Revocació.
 - o Sancions.

4. INSCRIPCIÓ AL REGISTRE ADMINISTRATIU D'INSTAL·LACIONS DE PRODUCCIÓ D'ENERGIA ELÈCTRICA

Requisit necessari per poder participar en el mercat elèctric.

- Ministeri d'Indústria, Energia i Turisme si li competeix a l'Estat.
- Comunitat autònoma, si la competència és autonòmica.

5. RÈGIMS ESPECIALS

Normatives específiques en funció del tipus i potència d'energies renovables.

- Procediments previs de concurrència (Decret 147/2009).

Instal·lacions d'energia renovable de menor potència [<100 kW] (Reial Decret 1955/2000, Reial Decret 1699/2011 i Decret 352/2011).

- Simplificació dels permisos d'accés i connexió.
- Supressió de les autoritzacions prèvies i de construcció.
- Substitució de l'autorització d'explotació per una comunicació.
- Exempció d'autorització per a instal·lacions de producció elèctrica de tensió inferior a 1KW.
- Energia tèrmica -calefacció, refrigeració, aigua calenta sanitària- (RD 1027/2007, Reglament d'instal·lacions tèrmiques en edificis (RITE):
 - CCAA
 - Règim de comunicació (amb projecte per a més de 70 KW o memòria entre 5 i 70 KW) o control a posteriori en funció de la potència.
 - Empreses instal·ladores habilitades:
 - ✓ Certificat de la instal·lació.
 - ✓ Certificat d'inspecció inicial.
 - ✓ Registre per a les sotmeses a comunicació prèvia.

6. AUTORIZACIÓN AMBIENTAL INTEGRADA

- Protecció del medi ambient.
- Finalitat de l'enfocament integrat (material i procedimental).
- No exclou les autoritzacions substantives previstes en la normativa energètica.
- Òrgan competent: CCAA.
- Discrecional.
- Àmbit d'aplicació: activitats d'impacte elevat al medi ambient.
 - ✓ **Reial decret 815/2013, de 18 d'octubre**, pel qual s'aprova el Reglament d'emissions industrials i de desenvolupament de la Llei estatal 16/2002, d'1 de juliol, de prevenció i control integrats de la contaminació (annex 1).
 - ✓ **Llei catalana 20/2009, de 4 de desembre**, de prevenció i control ambiental de les activitats (annex)

7. AVALUACIÓ D'IMPACTE AMBIENTAL

Normativa:

- Bàsica estatal (**Llei estatal 21/2013, de 9 de desembre**, d'avaluació ambiental)
- Desenvolupament autonòmic (**Llei 20/2009, de 4 de desembre**, de prevenció i control ambiental de les activitats).

Avaluació d'impacte ambiental ordinària (declaració d'impacte ambiental)

- Annex I **Llei estatal 21/2013**.
- Aplicació automàtica.

Annex II Llei estatal 21/2013 :

- Cas per cas mitjançant informe d'impacte ambiental de l'òrgan ambiental segons criteris de l'annex III.
- El demani el promotor.
- Modificacions dels dos casos anteriors si per si sola queda sotmesa.

Avaluació d'impacte ambiental simplificada (informe d'impacte ambiental)

- **Annex II Llei estatal 21/2013.**
- Altres projectes que puguin afectar Xarxa Natura 2000.
- Modificacions diferents de les anteriors si tenen efectes adversos significatius al medi ambient.
- Autoritzacions i llicències urbanístiques (si és el cas, comunicacions prèvies) previstes a la normativa urbanística (autonòmica i municipal).
- **Llei estatal 8/2013, de 26 de juny**, de rehabilitació, regeneració i renovació urbanes.
- **Reial Decret 314/2006, de 17 de març**, pel qual s'aprova el Codi Tècnic de l'Edificació.
- **Decret 21/2006, de 14 de febrer**, pel qual es regula l'adopció de criteris ambientals i d'ecoeficiència en els edificis.

(II)

Marc Legislatiu de la Geotèrmia a Europa

Segons la informació recollida a : IDAE (2008). *"Manual de Geotèrmia"*. Instituto para la diversificación y Ahorro de Energía.

Rang de reglament:

- **COM (2005) 627 final, desembre de 2005.** Comunicació de la Comissió sobre el suport a l'electricitat generada a partir de fonts d'energia renovables.
- **COM (2005) 265 final, juny de 2005.** Llibre Verd sobre eficiència energètica o com fer més amb menys.
- **Directiva 2003/54 / CE**, del Parlament Europeu i del Consell, de 26 de juny de 2003, sobre normes comunes per al mercat interior de l'electricitat.
- **Directiva 2001/77 / CE**, del Parlament Europeu i del Consell, relativa a la promoció de l'electricitat generada a partir de fonts d'energia renovables en el mercat interior de l'electricitat.
- **Directiva 2000/60 / CE**, del Parlament Europeu i del Consell de 23 d'octubre, pel qual s'estableix un marc comunitari d'actuació en l'àmbit de la política d'aigües.
- **COM (97) 599 final, novembre de 1997.** "Energia per al futur: fonts d'energia renovables. Llibre Blanc per a una estratègia i un pla d'acció comunitaris".

Marc Legislatiu de la geotèrmia a Espanya (nacional)

Rang de llei:

- **Llei 24/2013, de 26 de diciembre**, del Sector Elèctric.

- **Llei 17/2007, de 4 de juliol**, per la qual es modifica la Llei 54/1997, de 27 de novembre, del sector elèctric, per adaptar-la al dispostat en la **Directiva 2003/54 / CE**, del Parlament Europeu i del Consell , de 26 de juny de 2003, sobre normes comunes per al mercat interior de l'electricitat.
- **Llei 54/2003, de 12 de desembre**, de reforma del marc normatiu de la prevenció de riscos laborals (BOE nº298, de 13/12/2003).
- **Reial Decret Legislatiu 1/2001**, de 20 de juliol, pel qual s'aprova el Text refós de la Llei d'Aigües.
- **Llei 54/1997, de 27 de novembre**, del sector elèctric (BOE núm. 285, de 28/11/97).
- **Llei 31/1995, de 8 de novembre**, de prevenció de riscos laborals.
- **Llei 54/1980, de 5 de novembre**, de modificació de la Llei 22/1973, de 21 de juliol, de mines.
- **Llei 22/1973, de 21 de juliol**, de Mines (BOE núm. 176, de 1973.07.24).

Rang de reglament:

- **Reial Decret-Llei 15/2018, de 5 d'octubre** es citen modificacions sobre la **Llei 24/2013, de 26 de diciembre**, del Sector Elèctric.
- **Reial Decret 223/2008, de 15 de febrer**, pel qual s'aprova el Reglament sobre condicions tècniques i garanties de seguretat en línies elèctriques d'alta tensió i les seves instruccions tècniques complementàries ITC-LAT 01 a 09.
- **Reial Decret 222/2008, de 15 de febrer**, pel qual s'estableix el règim retributiu de l'activitat de distribució d'energia elèctrica.
- **Reial Decret Legislatiu 1/2008**, de 11 de gener, pel qual s'aprova el text refós de la Llei d'Avaluació d'Impacte Ambiental de projectes (BOE núm. 23, de 26/01/08).
- **Ordre ITC / 3860/2007, de 28 de desembre**, per la qual es revisen les tarifes elèctriques a partir de l'1 de gener del 2008 (BOE núm. 312, de 29/12/07).
- **Reial Decret 1110/2007, de 24 d'agost**, pel qual s'aprova el Reglament unificat de punts de mesura del sistema elèctric.
- **Reial Decret 661/2007, de 25 de maig**, pel qual es regula l'activitat de producció d'energia elèctrica en règim especial (BOE núm. 126, de 20/05/07).
- **Reial decret llei 7/2006, de 23 de juny**, pel qual s'adopten mesures urgents en el sector energètic.
- **Reial decret llei 3/2006, de 24 de febrer**, pel qual es modifica el mecanisme de cassació de les ofertes de venda i adquisició d'energia presentades simultàniament al mercat diari i intradiari de producció per subjectes del sector elèctric pertanyents al mateix grup empresarial (BOE núm. 53, de 03/03/06).
- **Reial Decret 1747/2003, de 19 de desembre**, pel qual es regulen els sistemes elèctrics insulars i extra-peninsulars.
- **Reial Decret 1432/2002**, de 27 de desembre, pel qual s'estableix la metodologia per a l'aprovació o modificació de la tarifa elèctrica mitjana o de referència.
- **Reial Decret 1955/2000**, d'1 de desembre, pel qual es regulen les activitats de transport, distribució, comercialització, subministrament i procediments d'autorització d'instal·lacions d'energia elèctrica (BOE núm. 310, de 27/12/00).
- **Reial decret llei 6/2000**, de 23 de juny, de Mesures Urgents d'Intensificació de la Competència en Mercats de Béns i Serveis (BOE núm. 151, de 24/06/00).
- **Reial decret llei 6/1999**, de 16 d'abril, de mesures urgents de liberalització i increment de la competència.

- **Reial Decret 1627/1997, de 24 d'octubre**, pel qual s'estableixen disposicions mínimes de seguretat i de salut en les obres de construcció.
- **Reial Decret 863/1985, de 2 d'abril**, pel qual s'aprova el Reglament general de normes bàsiques de seguretat minera (BOE núm. 140, de 1985.06.12 i BOE núm. 302, de 18/12/1978).
- **Reial Decret 2857/1978, de 25 d'agost** pel qual s'aprova el Reglament General per al Règim de la Mineria (BOE núm. 295, de 1978.12.11 i BOE núm. 296, de 1978.12.12).

Marc Legislatiu de la geotèrmia a Catalunya (Legislació autonòmica)

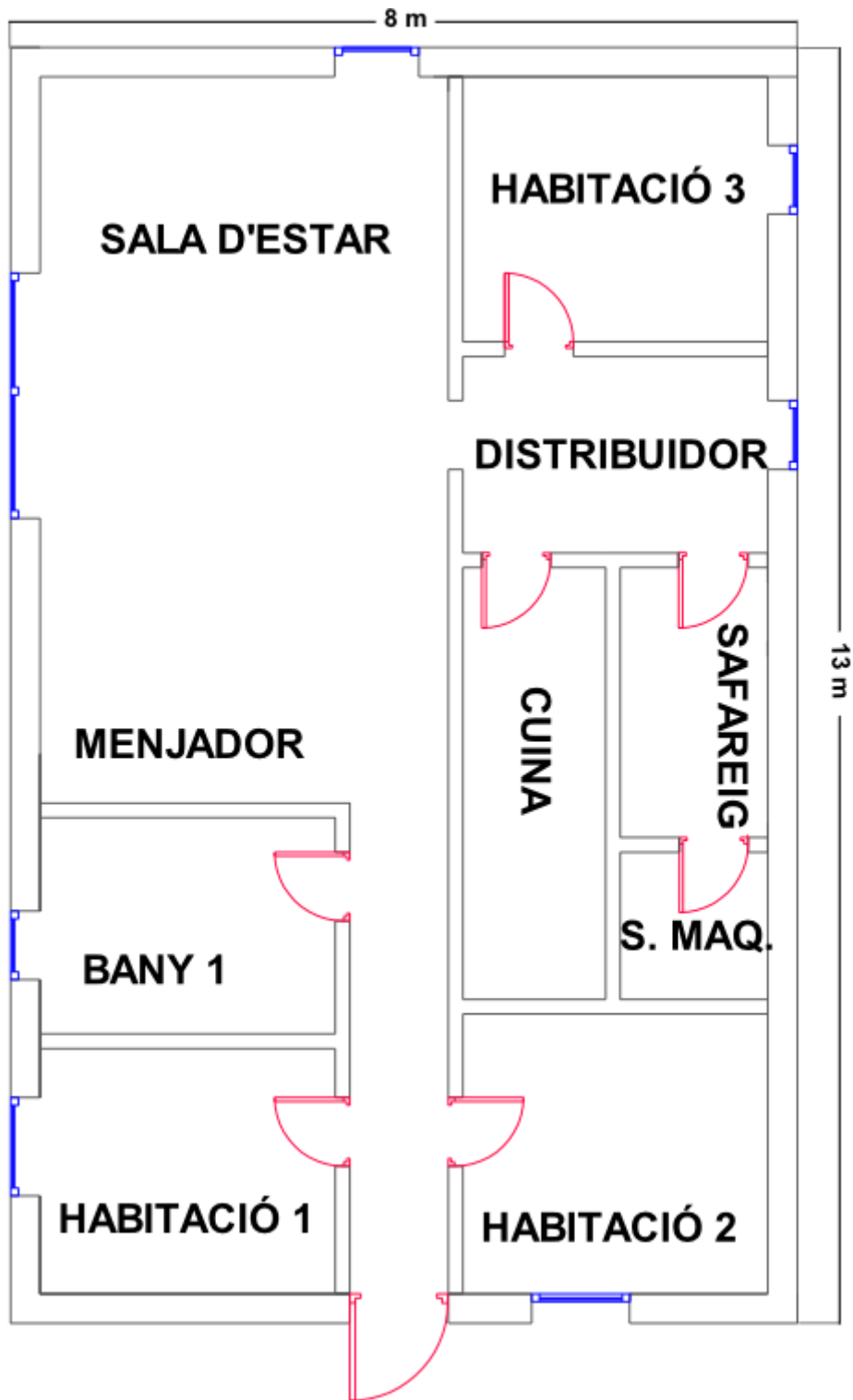
Rang de llei:

- **Llei 13/1987, de 19 de juliol**, de seguretat de les instal·lacions industrials.

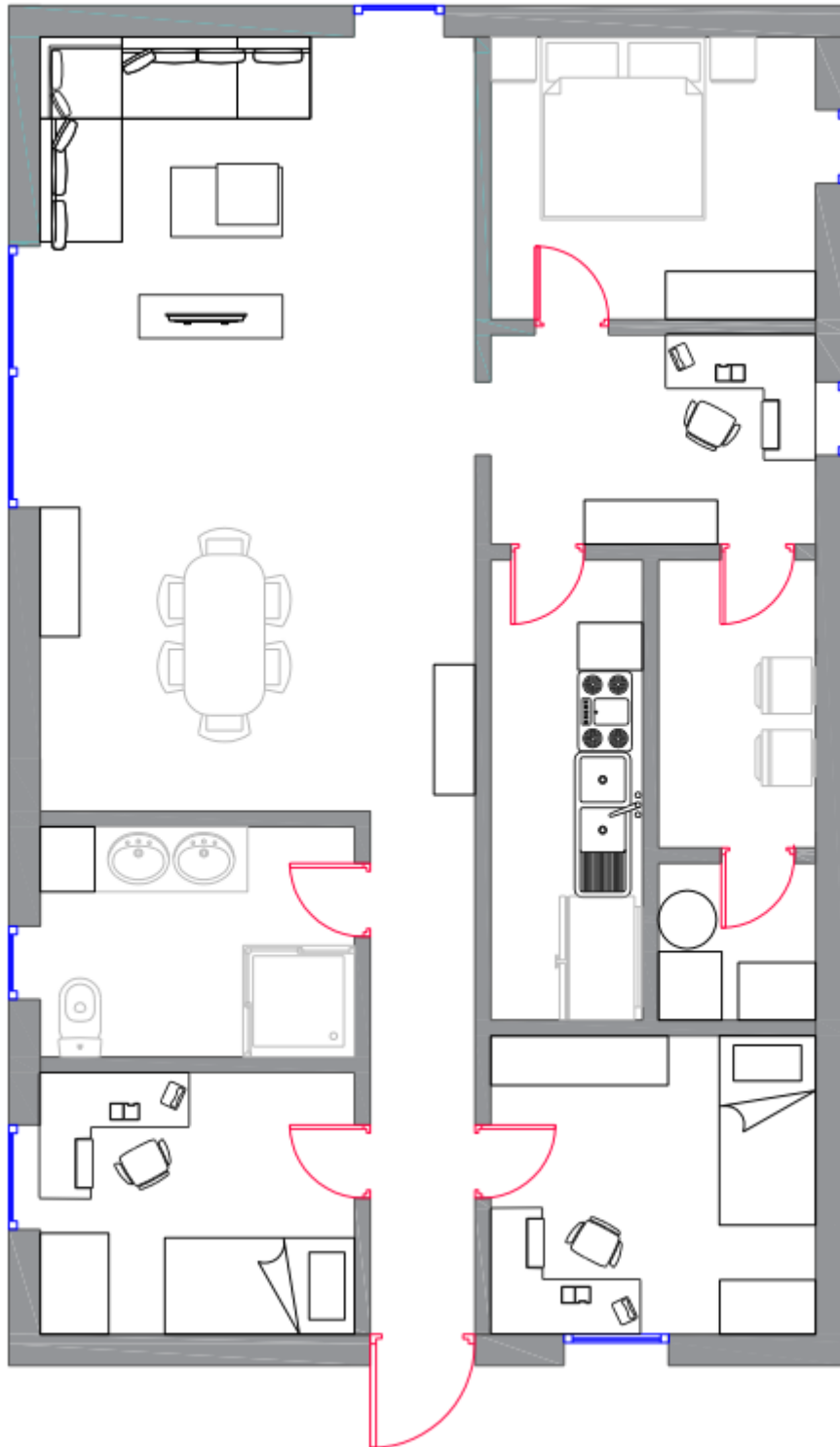
Rang de reglament:

- **Decret 114/1988, de 7 d'abril de 1988**, d'Avaluació d'Impacte Ambiental. (DOGS n°1000, de 3/06/88).
- **Decret 351/1987, de 23 de novembre**, pel qual es determinen els procediments administratius aplicables a les instal·lacions elèctriques.

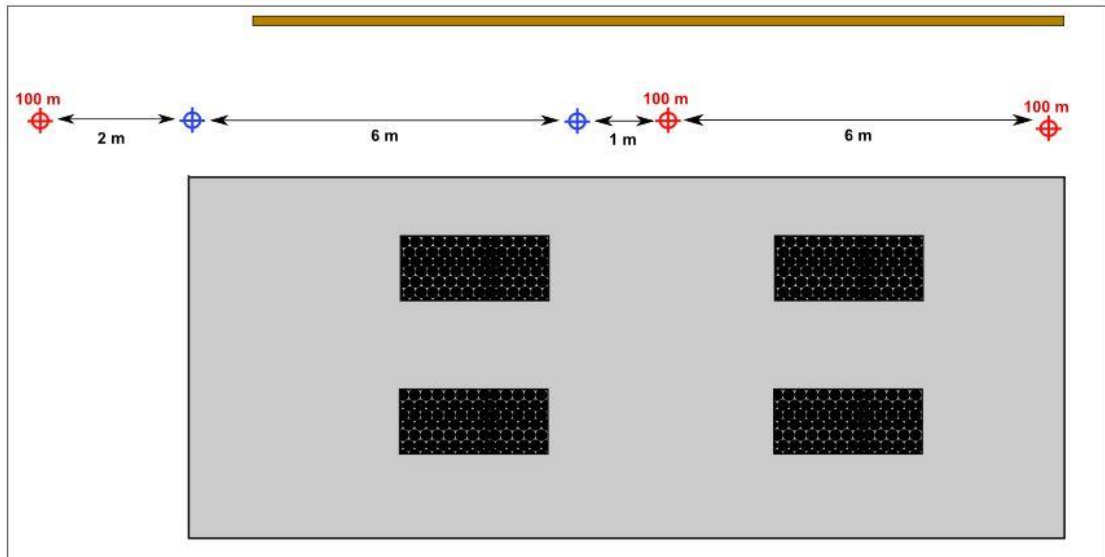
ANNEX 2: PLÀNOLS EDIFICI NZEB A SANT GREGORI



Plànol 1. Distribució i mesures bàsiques de l'edifici NZEB realitzat amb el programa AutoCAD.



Plànol 2. Vista en planta del domicili NZEB realitzat amb el programa AutoCAD. Mteixes mesures que el plànol 1.



LLEGENDA

	SONDEIG
	PIEZÒMETRE
	PANEL SOLAR

Esquema 1. Vista en planta de l'edifici NZEB. Situació dels 4 panells solars, els tres sondeigs geotèrmics i els dos piezòmetres instal·lats a la part exterior.

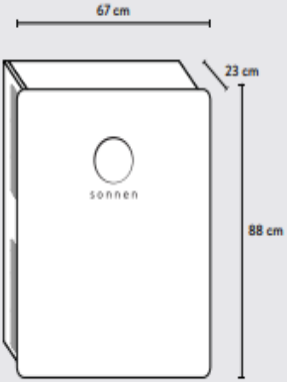
ANNEX 3: ANÀLISI ECONÒMIC, D'INVERSIÓ I RENDIBILITAT

(I) INVERSIÓ

INVERSIÓ ECONÒMICA SISTEMA 1: GEOTÈRMIA + FOTOVOLTAICA			
3 SONDEIGS	PREU €/m	METRES	PREU TOTAL
	15	100 €	4.500 €

BOMBA DE CALOR	Reversible, per calefacció i ACS + instal·lació inclosa		
Preu	11.400 €		

BATERÍA	Acumuladora Inversora i Gestió intel·ligent 6kW		
Preu			6.000 €



Capacidad nominal de la batería en kWh de 5 kWh a 15 kWh

Profundidad de descarga 90%.

Inversor max. Eficiencia 96%

Batería de máxima eficiencia 98%

Ciclos de carga 10.000

Garantía 10 años

Dimensiones (H / W / D) en cm 186/67/23

Detalles técnicos adicionales [Hoja de datos sonnenBatterie eco \(PDF\)](#)

Option 1
Batteriekapazität: 5,0kWh

FOTOVOLTAICA	Panells + instal·lació	
Preu		6.000 €
PREU TOTAL	27.900 €	

INVERSIÓ ECONÒMICA SISTEMA 2: CALDERA DE GAS + FACTOILS(*)		
CALDERA DE GAS		1.800 €
FACTOILS		5.200 €
PREU TOTAL		7.000 €

(*) "Fancoils": Equips ventiloconvectors aigua-aire formats per una bateria, intercanviador de fred o calor "coil" i un ventilador "fan".

INVERSIÓ ECONÒMICA SISTEMA : AEROTÈRMIA + FOTOVOLTAICA		
AEROTÈRMIA		11.400 €
FOTOVOLTAICA		6.000 €
BATERIA		6.000 €
PREU TOTAL		23.400 €

(II)

ANÀLISI DE RENDABILITAT

ANÀLISI DE RENDABILITAT SISTEMA 1: GEOTÈRMIA + FOTOVOLTAICA			
SISTEMA 2: (ANTIC) GAS NATURAL + ELECTRICITAT	€/DIA	€/MES	€/ANY
ELECTRICITAT PROVENIENT DE LA XARXA	2,54 €	76,06 €	925,42 €
GAS NATURAL	3,42 €	102,60 €	1.248,30 €
SISTEMA 1: GEOTÈRMIA + FOTOVOLTAICA	€/DIA	€/MES	€/ANY
ELECTRICITAT QUE NO COBREIX FOTOVOLTAICA	1,27 €	38,06 €	463,01 €

ESTALVI	
€/DIA	4,69 €
€/MES	140.61 €
€/ANY	1.710,71 €

Inversió total GEOTÈRMIA + FOTOVOLTAICA	27.900 €
---	----------

RENDABILITAT	6,13 %
--------------	--------

Si inversió fons propis (Inversió Total)	27.900,00 €
PAYBACK	16,3 ANYS

(PER UN PIS DE 100M2)

(III)

ANÀLISI ECONÒMIC

HISTÒRIC DE FACTURES	
GAS NATURAL	

Intèrval		Dies	Lloguer Comptador	Terme Fix	IVA	Factures	Nº Dies * preu /dia (€/dia)
12/08/2017	11/10/2017	61	2,51 €	16,95 €	4,09 €	23,55 €	208,62 €
12/10/2017	12/12/2017	62	2,55 €	10,18 €	2,67 €	15,40 €	212,04 €
13/12/2017	12/02/2018	62	1,60 €	10,18 €	2,47 €	14,25 €	212,04 €
13/02/2018	10/04/2018	57	1,14 €	9,36 €	2,21 €	12,71 €	194,94 €
11/04/2018	13/06/2018	64	1,28 €	10,51 €	2,48 €	14,27 €	218,88 €
14/06/2018	09/08/2018	57	1,14 €	9,36 €	2,21 €	12,71 €	194,94 €
10/08/2018	08/10/2018	60	1,20 €	9,85 €	2,32 €	13,37 €	205,20 €
09/10/2018	10/12/2018	63	1,26 €	10,35 €	2,52 €	14,13 €	215,46 €
11/12/2018	06/02/2019	58	1,11 €	9,53 €	2,23 €	12,87 €	198,36 €
Total dies		544					
Sumatori factures		133,26 €					
Preu €/dia		3,42 €					
COST GAS MENSUAL		102,60 €					
COST GAS ANUAL		1,248,30 €					

Sumatori nº dies *preu/dia	1.860,48 €
----------------------------	------------

HISTÒRIC DE FACTURES

ELECTRICITAT

		DIA							
	EMPRESA	INTÈRVAL		LECTURES (acumulatiu kW)	Nº DIES	kW/punta	kW/vall	TOTAL kW	kW/dia
			23/02/2017						
ELECTRICITAT NO RENOVABLE + GAS NATURAL	ENDESA	Març-Abril	07/05/2017	315	73	62		62	0,85
	ENDESA	Maig-Juny	06/07/2017	355	60	40		40	0,67
	ENDESA	Juliol-Agost	06/09/2017	748	62	393		393	6,34
	ENDESA	Setembre-October	07/11/2017	1371	62	623		623	10,05
	ENDESA	Novembre-Desembre	07/01/2018	1991	61	620		620	10,16
	ENDESA	Gener-Febrer	06/03/2018	2644	58	653		653	11,26
	ENDESA	Març-Abril	07/05/2018	3272	62	628		628	10,13
	ENDESA	Maig-Juny	05/07/2018	3865	59	593		593	10,05
	ENDESA	Juliol-Agost	05/09/2018	4635	62	770		770	12,42
	ENDESA	Setembre-October	22/10/2018	5154	47	519		519	11,04
ELECTRICITAT RENOVABLE + GAS NATURAL	SOM ENERGIA	October	28/10/2018	5240	6	86		86	14,33
	SOM ENERGIA	Novembre	02/12/2018	5331	35	91	103	194	11,98
	SOM ENERGIA	Desembre	06/01/2019	5525	35	194	224	418	11,98
	SOM ENERGIA	Gener	04/02/2019	5817	29	292	243	535	11,98
	SOM ENERGIA	Febrer	05/03/2019	5909	29	92	159	251	8,66
ELECTRICITAT AUTOCONSUM + GEOTÈRMIA	SOM ENERGIA	Març	02/04/2019	5927	28	18	99	117	4,18
	SOM ENERGIA	Abril	05/05/2019	5976	33	49	121	170	5,15

	Potencia (kW)	Impost (€)	Lloguer (€)	Altres (€)	Consum (kW)	IVA (€)	TOTAL (€)	€/DIA
Març-Abril	39,77	2,36	1,94	15,11	8,72	14,03	81,93	1,12
Maig-Juny	32,69	1,86	1,6	-1,92	5,63	8,37	48,23	0,80
Juliol-Agost	33,78	4,33	1,66	-4,45	55,3	19,03	109,65	1,77
Setembre-October	33,78	5,9	1,65	-6,07	87,66	25,81	148,73	2,40
Novembre-Desembre	33,3	5,86	1,64	-6,03	87,36	25,65	147,78	2,42
Gener-Febrer	32,14	6,08	1,55	-6,26	92,98	26,56	153,05	2,64
Març-Abril	34,35	6,01	1,65	-6,19	89,42	26,3	151,54	2,44
Maig-Juny	32,69	5,68	1,57	-5,85	84,28	24,86	143,23	2,43
Juliol-Agost	34,35	6,98	1,65	-7,18	109,28	30,47	175,55	2,83
Setembre-October	26,04	4,84	1,25	-4,99	73,66	21,17	121,97	2,60
October	2,88	0,73	0,16	0,12	11,27	3,18	18,34	3,06
Novembre	16,78	1,98	0,93	9,74	21,26	10,64	61,33	1,75
Desembre	16,78	3,26	0,93	0,7	46,32	14,28	82,27	2,35
Gener	13,9	4,16	0,77	0,58	66,94	18,13	104,48	3,60
Febrer	13,9	2,16	0,77	0,58	27,85	9,5	54,76	1,89
Març	13,42	1,28	0,75	0,56	11,02	5,68	32,71	1,17
Abril	15,82	1,75	0,88	0,66	17,81	7,75	44,67	1,35

(IV)

Resum de Consum econòmic

SISTEMA 1: GEOTÈRMIA +
FOTOVOLTAICA

ELECTRICITAT QUE NO COBREIX FOTOVOLTAICA	
Total (€)	77,38 €
Total dies	61
€/DIA	1,27 €
€/MES	38,06 €
€/ANY	456,72 €

SISTEMA 2: (ANTIC) GAS NATURAL +
ELECTRICITAT

ELECTRICITAT PROVINENT DE LA XARXA	
Total (€)	1.308,27 €
Total dies	516
€/DIA	2,54 €
€/MES	76,06 €
€/ANY	925,42 €

GAS NATURAL	
Total dies	544
Sumatori factures	133,26 €
Preu €/dia	3,42 €
COST GAS MENSUAL	102,60 €
COST GAS ANUAL	1.248,30 €

TOTAL	
€/DIA	5,96 €
€/MES	17866 €
€/ANY	2.173,72 €

(V)

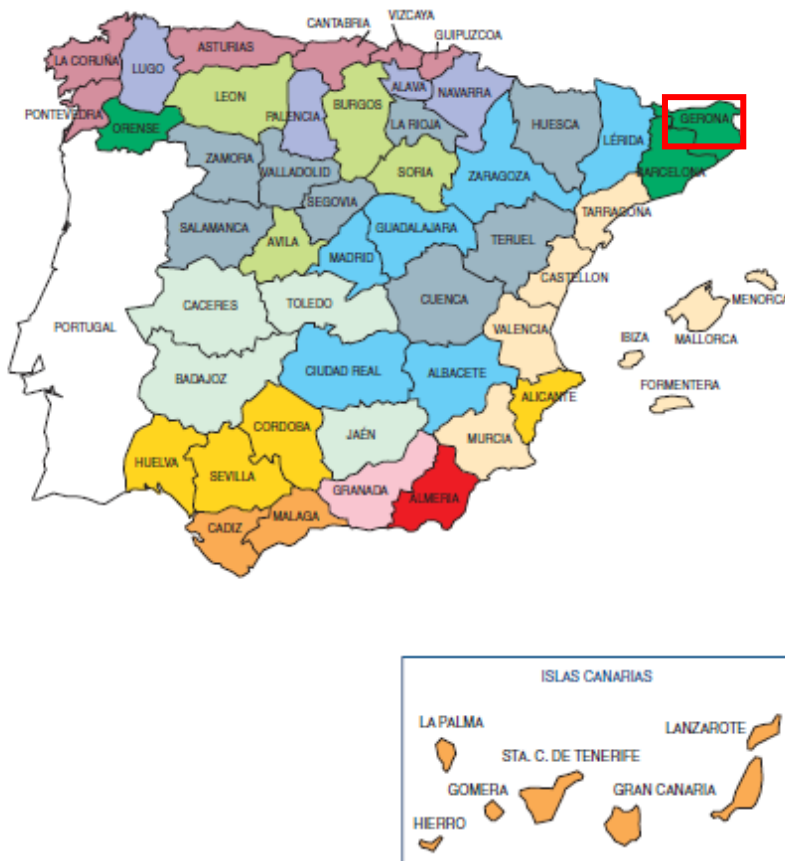
Resum de Consum energètic

PRODUCCIÓ / CONSUM kWh					
MES	MARÇ	ABRIL	MAIG	TOTAL (kWh)	
Produït per fotovoltaica	620,7	518,2	650,6	1789,5	
Consum de la casa (BCG + CLIMA+ACS)	516,6	488	470	1474,6	
Consum de la BCG (CLIMA + ACS)	198	134	118	450	
Consum xarxa elèctrica	116,5	135	82,6	334,1	
Injectat a la xarxa elèctrica	156	101,9	206,5	464,4	
				MITJA	
COP BOMBA DE CALOR	2,609090909	3,64179104	3,98305085	3,276888889	3,37770542

ANNEX 4: CERTIFICACIÓ ENERGÈTICA

Per dur a terme la certificació energètica d'aquest domicili, s'han emprat els documents següents: "Código Técnico de la Edificación Documento Básico de Ahorro de Energía DB-HE"(2006) i "Escala de calificación energética para lo edificios existentes", IDAE (2011).

- Consum ACS per persona /dia = 28 L (segons "Código Técnico de la Edificación Documento Básico de Ahorro de Energía DB-HE", 2006)
- Consum ACS 4 persones /dia = 112
- T° ACS = 60°C
- Situació = Península, Sant Gregori, Girona, 112 msnm.
- Dades climàtiques: Zona d'hivern = 2, Zona d'estiu = C (*Il·lustració 1*)
- Temperatura mitja anual = 15.3°C (segons Estació meteorològica de Sant Gregori)



■ A4	■ C4	■ D3
■ A3	■ C3	■ D2
■ B4	■ C2	■ D1
■ B3	■ C1	■ E1

Il·lustració 1. Mapa de zones climàtiques a Espanya i situació de Sant Gregori, Girona, a la zona 2C. (Código Técnico de la Edificación Documento Básico de Ahorro de Energía DB-HE", 2006)

	kg CO ₂ / kWh	Consum anual	Tones CO ₂ / any	Kg CO ₂ /m ² -any
CALDERA DE GAS NATURAL	0,29	7544 ¹	2,187	21,87
CALDERA GAS PROPÀ	0,3	7544	2,263	22,63
CALDERA GASOIL C	0,34	7544	2,565	25,65
ELECTRICITAT NO RENOVABLE	0,3	7544	2,263	22,63
CAS SANT GREGORI (A)	0,3	1336,4	0,40092	4,092
CAS SANT GREGORI (B)	0	0	0	0

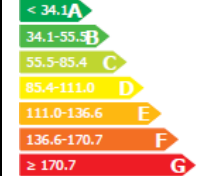
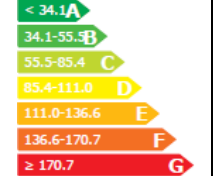
(A) Si el domicili consumeix 13.336,4 kWh anualment de una comercialitzadora que suministra energia de fonts no renovables.

(B) Si el domicili consumeix 13.336,4 kWh anualment de una comercialitzadora que suministra energia de fonts 100% RENOVABLES.

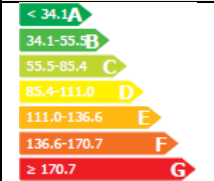
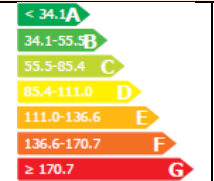
Taula 1. Dades d'emissions de CO₂ emeses anualment segons la tecnologia utilitzada.

1. CALIFICACIÓ ENERGÈTICA OBTINGUDA

CAS CALDERA DE GAS NATURAL

CONSUM D' ENERGÍA PRIMÀRIA NO RENOVABLE [kWh/m ² - any]		EMISIONS DE DIÒXID DE CARBONI [kgCO ₂ /m ² -any]	
	75,44 kWh/m ² - any C		21,87 kgCO ₂ /m ² -any A

CAS CALDERA GAS PROPÀ:

CONSUM D' ENERGÍA PRIMÀRIA NO RENOVABLE [kWh/m ² - any]		EMISIONS DE DIÒXID DE CARBONI [kgCO ₂ /m ² -any]	
	75,44 kWh/m ² - any C		22,63 kgCO ₂ /m ² -any A

¹ El consum anual "tipus" d'un domicili familiar estil pis segons la IDAE és de 7544 kWh.

CAS CALDERA GASOIL C:

CONSUM D' ENERGÍA PRIMÀRIA NO RENOVABLE [kWh/m ² · any]		EMISIONS DE DIÒXID DE CARBONI [kgCO ₂ /m ² ·any]	
	75,44 kWh/m ² · any C		25,64 kgCO ₂ /m ² ·any A

CAS SISTEMA ALIMENTAT PER ENERGIA ELÈCTRICA D'ORÍGEN NO RENOVABLE:

CONSUM D' ENERGÍA PRIMÀRIA NO RENOVABLE [kWh/m ² · any]		EMISIONS DE DIÒXID DE CARBONI [kgCO ₂ /m ² ·any]	
	75,44 kWh/m ² · any C		22,63 kgCO ₂ /m ² ·any A

Cas A: Sistema de geotèrmia per climatització i ACS + sistema fotovoltaic i bateries per consum de la bomba de calor geotèrmica, electricitat i consum d'electrodomèstics. Tenint en compte que: la companyia proveïdora d'electricitat produeix energia de fonts **no renovables**.

CONSUM D' ENERGÍA PRIMÀRIA NO RENOVABLE [kWh/m ² · any]		EMISIONS DE DIÒXID DE CARBONI [kgCO ₂ /m ² ·any]	
	13,36 kWh/m ² · any A		4,0092 kgCO ₂ /m ² ·any A

Cas B: Sistema de geotèrmia per climatització i ACS + sistema fotovoltaic i bateries per consum de la bomba de calor geotèrmica, electricitat i consum d'electrodomèstics. Tenint en compte que: la companyia proveïdora d'electricitat produeix energia de **fonts renovables**.

CONSUM D' ENERGÍA PRIMÀRIA NO RENOVABLE [kWh/m ² · any]		EMISIONS DE DIÒXID DE CARBONI [kgCO ₂ /m ² ·any]	
	0 kWh/m ² · any A		0 kgCO ₂ /m ² ·any A