

Predimensionat d'instal·lacions geotèrmiques

L'ús pràctic de la bomba de calor geotèrmica en l'edificació

Gustau Ballester i Montse Bosch / Fotos: Arxiu



L'energia geotèrmica és neta i renovable i s'obté tot aprofitant l'escalfor interior de la terra

En L'INFORMATIU 354 (pàg. 78), l'article *Avantatges de l'energia geotèrmica* va exposar que, dins els diversos sistemes d'aprofitament de l'energia geotèrmica, el més habitual a les nostres latituds, i per als usos pràctics en l'edificació, serà la bomba de calor geotèrmica.

Abans de parlar del perquè la geotèrmia amb bomba de calor és un sistema molt eficient energèticament, cal una puntualització prèvia: del sòl, com a recurs i en les condicions de treball i usos d'una bomba geotèrmica, no n'aprofitem l'energia en forma de calor a una temperatura superior a la de la nostra instal·lació sinó que aprofitem el fet que es tracta d'una font d'intercanvi infinita,

amb una gran massa (la total de la Terra) a una temperatura quasi constant dins el rang de fondàries tècnica i econòmicament assolibles en l'àmbit de l'edificació.

Una gran massa és equivalent, en termodinàmica, a una font infinita que no canvia el seu estat i per tant es manté en condicions constants. El fet que mantingui una temperatura fixa vol dir que, tant si fa fred (i vull escalfar el meu entorn) com si fa calor (i llavors el que vull és refredar-lo) el meu intercanvi amb aquest sòl es farà des de temperatures molt baixes (hivern) o molt altres (estiu) a una temperatura intermèdia constant, amb un gradient molt alt i, per tant, amb un gran rendiment.

Per tenir una dada de referència: les instal·lacions amb bomba geotèrmica treballen intercanviant calor amb el sòl des d'una cota 0 m fins a una cota que pot estar al voltant dels -120 m. Entre la cota 0 m i la cota -10 m el terreny presenta una variació de temperatura que, depenent de l'estació de l'any, va de +2°C a +12°C a l'hivern i des de +20°C a +12°C a l'estiu. És a dir, a -10 m de fondària el terreny està sempre a 12°C (aproximadament, depèn de la zona de la terra) i per cada -100 m que baixem aquesta temperatura ascendeix al voltant dels 3°C. No cal preguntar-se quina temperatura tenim a -4.000m perquè, en les nostres aplicacions pràctiques, és una fondària inassolible. Ens quedarem sobre els -120 m que és el límit pràctic de resistència mecànica de les sondes de materials plàstics que utilitzem avui dia com a bescanviadors d'energia amb el sòl.

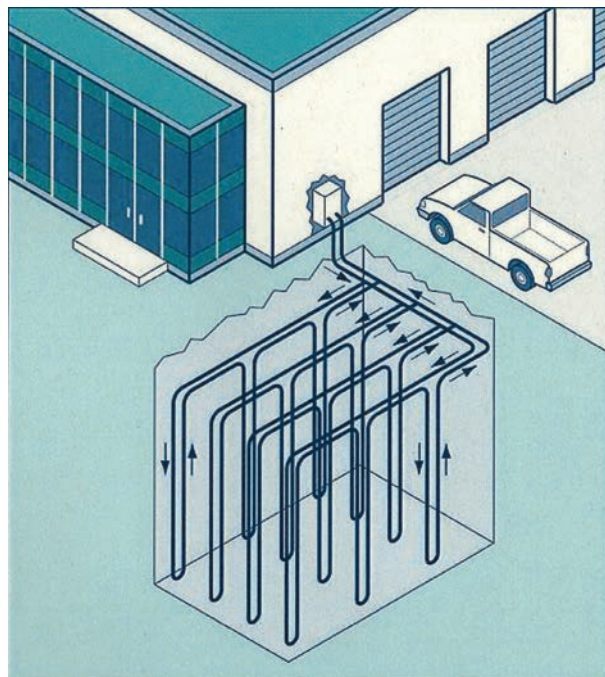
■ Alguns exemples de predimensionat

- **Cas 1:** Considerem la següent situació: és estiu i volem refredar una estança amb un sistema partit d'expansió directa, posem per cas, però condensat per aire. Això vol dir que la nostra unitat exterior (treballant com a condensadora) intercanvia energia del gas refrigerant (que condensa, cedint energia) amb l'aire exterior, el qual pot estar, per exemple, a 35°C. Si el gas condensa a 45°C (es busquen gasos refrigerants que condensin a baixa temperatura) el salt efectiu al bescanviador és de 10°C. Sense entrar en detalls, el rendiment del bescanviador, entre d'altres, és funció d'aquest ΔT .

Ara suposem que aquest intercanvi, en lloc de fer-lo amb l'aire a 35°C el féssim amb el terreny a 12°C. El salt efectiu ΔT seria ara de $45-12=33^\circ\text{C}$, valor que és més de tres vegades l'anterior. És a dir, movent tres cops menys massa aconseguim el mateix rendiment en el bescanviador. Menys massa en moviment vol dir menys potència en bombes i ventiladors i, per tant, menys energia consumida.

Afegim més coses: en un sistema d'expansió directa condensem, normalment, amb aire i l'aire és un pèssim conductor (de fet, és un gran aïllant, per això fem finestres amb càmera d'aire). El rendiment, o coeficient global de transmissió U , d'un bescanviador que utilitzi aire com un dels fluids d'intercanvi és, generalment, molt baix.

En canvi, en un sistema geotèrmic amb bomba de calor utilitzem aigua com a fluid intermedi entre el refrigerant de la bomba de calor i el terreny, bescanviant energia entre líquids o amb el terreny, per conducció, i amb valors U molt millors. Considerem, però, que l'estiu és realment punyent i arribem a temperatures



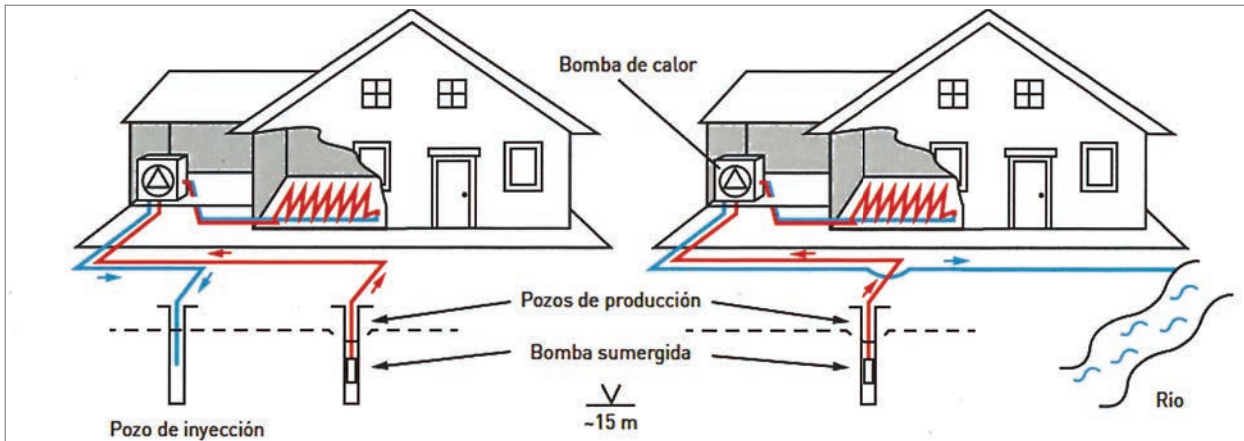
Les bombes de calor geotèrmiques utilitzen la temperatura estable del terreny com a font de calor per a escalfar edificis a l'hivern i com a col·lector per a refrigerar a l'estiu

de 40°C o 45°C. Arribarà un moment que, amb un salt efectiu de 0°C la unitat exterior serà incapaç d'intercanviar cap energia amb l'exterior, passant a tenir un rendiment 0. La nostra bomba de calor geotèrmica, en canvi, a 50°C a l'ombra, seguirà treballant tranquil·lament amb rendiments inalterables.

Cal tenir clar, a més, que aquest valor límit de disseny en les temperatures exteriors marca la potència necessària a instal·lar en compressors ja que, a valor més extrem, menys rendiment i, per tant, més potència a instal·lar per obtenir la mateixa potència efectiva. Més potència a instal·lar implica major cost d'inversió en maquinària i en infraestructura elèctrica, major consum i major contractació. És com fer servir un cotxe de 400CV per anar per ciutat. Encara que no el facis córrer, gasta més que un utilitari.

- **Cas 2:** Suposem ara que el nostre aparell partit de climatització és una bomba de calor. Arriba l'hivern i volem escalfar la nostra casa. La unitat exterior actuarà ara com a evaporador i el nostre gas refrigerant prendrà calor de l'aire exterior per evaporar-se i portar aquesta energia a l'interior. L'aire exterior està +2°C i el nostre gas evapora a -8°C (com abans, es busquen refrigerants que evaporin a la menor temperatura possible). En condicions habituals, evaporant per

L'energia geotèrmica es considera actualment una font infinita



Diagrames de funcionament de bomba de calor geotèrmica amb sondejos de captació d'aigua en sistema obert

aire, el salt efectiu és, de nou, de 10°C. En canvi, si ho féssim amb una bomba de calor geotèrmica, el salt efectiu seria de $12 - (-8) = 20^\circ\text{C}$. Resulta, doncs, que també tenim un salt major i, per tant, un major rendiment en l'intercanvi.

Tinguem en compte, a més, que en condicions de fred més extremes l'aire pot estar a 0°C , -2°C o per exemple, a -8°C . En aquestes condicions el rendiment de la unitat partida serà, literalment, zero, incapaç de captar calor de l'aire exterior. La nostra bomba de calor geotèrmica, en canvi, amb un aire exterior a -20°C seguirà treballant tranquil·lament amb un rendiment inalterable.

El fet de perdre capacitat amb les temperatures extremes pot ser una mala jugada en refrigeració (passarem calor) però pot ser un problema realment greu si parlem de calefacció.

- **Cas 3:** En aquest cas la meua necessitat és refredar un centre de dades. Un centre de dades actual pot ser un espai amb una potència elèctrica instal·lada de 80kW en un rack d'1m² de planta i disposar de centenars de racks. Durant tot l'any, 24 hores al dia, 7 dies a la setmana, amb independència de l'estació, he de produir fred per compensar la càrrega interna que provoquen els equips informàtics dins el centre de dades.

No és una demanda cíclica fred-calor al llarg de l'any com en el cas de la climatització de confort. És una demanda continua de fred, tot l'any. Si féssim servir una bomba de calor com a sistema de climatització només la utilitzaríem per fer fred, mai per fer calor, però això, a la bomba de calor, li és igual. Podem fer servir, doncs, una bomba de calor o un sistema més senzill, una refredadora. El funcionament és el mateix però mentre la bomba de calor pot invertir el cicle i fer fred o calor la refredadora només pot fer fred.

El que importa però és, que en aquest cas, el terreny

sempre rebrà energia, tot l'any. Essent el sòl una font infinita podem considerar que no elevarà la seva temperatura per molt que li cedim energia. Aquesta energia, comparada amb la infinita energia del seu nucli, que es dirigeix i difon cap a les seves capes més superficials, es podrà considerar, sempre, negligible.

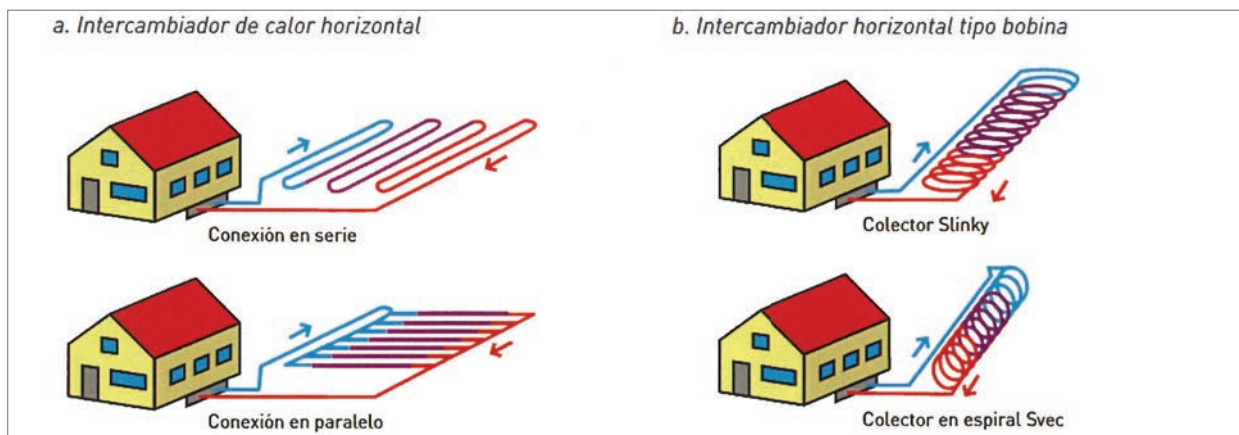
De totes maneres, cal fer esment que també considerarem la terra i la seva atmosfera com un recipient infinit i inalterable que, com estem constatant, i degut a l'alta emissió de gasos dits d'efecte hivernacle, aquest recipient infinit està canviant les seves propietats i, a resultes d'això, els efectes sobre el planeta. Amb tot l'energia geotèrmica es considera actualment una font infinita amb una energia emmagatzemada milers de vegades més gran que totes les energies utilitzades i disponibles fins al dia d'avui en tota la resta de les seves diverses varietats.

■ Els costos d'una instal·lació geotèrmica

Davant la possibilitat d'utilització d'un sistema mitjançant bomba de calor geotèrmica per climatitzar o produir ACS en un habitatge unifamiliar o en un grup d'habitatges, cal tenir presents una sèrie de consideracions: idoneïtat tècnica, disponibilitat de terreny, cost d'inversió i cost d'explotació.

Pel que fa a la idoneïtat tècnica de la solució s'ha demostrat que, en les seves diferents formes d'aplicació, sempre és possible aplicar aquest tipus de solucions. No hi ha limitacions tècniques que en desaconsellin el seu ús en cap circumstància.

Pel que fa a la disponibilitat del terreny, és clar que ha d'existir. Si existeix, hi ha diverses solucions en funció de la potència necessària i la disponibilitat: camps de captadors horitzontals si disposem d'extensió suficient (pot fer falta una superfície d'1,5 vegades la planta de l'habitatge en casos d'habitatges unifamiliars), verticals o mixtes (tipus cistelles).



Sistemes tancats amb intercanviadors de calor horitzontals

Pel que fa al cost d'inversió, aquest el podem desglossar en tres aspectes bàsics: els equips, el camp de captadors, i la potència elèctrica instal·lada.

El cost d'inversió dels equips d'un sistema de bomba de calor geotèrmica és equivalent, de fet lleugerament inferior, al d'un equip convencional equivalent. Com s'ha comentat, el rendiment d'aquests equips és superior i, a igualtat de potència lliurada, el consum i potència instal·lada és inferior. Pel mateix motiu l'espai interior requerit per aquests sistemes és lleugerament inferior ja que són equips molt compactes.

Pel que fa al camp de captadors, aquest és l'element que marca la diferència ja que els equips convencionals no el necessiten. Com s'ha comentat n'hi ha de molts tipus depenent de la disponibilitat, i la seva mida depèn de la potència a instal·lar però també de les característiques del terreny.

La determinació de les característiques del terreny és un factor clau en el disseny d'aquestes instal·lacions perquè, un cop fetes, és difícil o impossible retocar-les o modificar-les, per exemple, si construïm al damunt del camp. Paràmetres com la seva conductivitat tèrmica, la seva permeabilitat o l'existència de corrents d'aigua o irregularitats en el subsòl poden marcar la diferència entre un sistema que funcioni i un que no.

El fet que el seu cost sigui important (una sonda típica de 120 m de fondària pot costar de l'ordre de 3.000 €) fa que sigui molt interessant aprofitar pilotatges o pantalles estructurals (quan són necessàries pel tipus de terreny o pel tipus d'edificació) per deixar instal·lades les sondes. Això fa que el cost real del camp de sondes pugui arribar a ser mínim.

Finalment pel que fa a la potència elèctrica instal·lada, amb els costos derivats d'instal·lació i de contractació de potència, pel mateix motiu de requerir menys potència i disposar de més rendiment, serà també inferior. En general podem dir, amb relació a aquest factor i com a

paràmetre general, que una instal·lació de bomba de calor geotèrmica presenta els rendiments següents:

- Estalvi d'entre el 30 i el 70% en mode Calefacció
- Estalvi d'entre el 20 i el 50% en mode Refrigeració

Finalment, pel que fa a costos d'explotació i retorns de la inversió, també podem dir que:

- Amb una posada en obra acurada, un camp de captadors té una vida útil de 50 anys.
- Igualment, els equips de bomba de calor, treballant amb unes temperatures menys extremes, com s'ha explicat, tenen vides útils més llargues, que poden assolir els 20 anys. El mateix s'aplica a bombes de recirculació i a d'altres elements de la instal·lació, amb potències molt ajustades i règims de treball constants.

Aquests costos d'explotació, doncs, són clarament inferiors als valors de les instal·lacions i això compensa els costos superiors d'inversió en els camps de captadors.

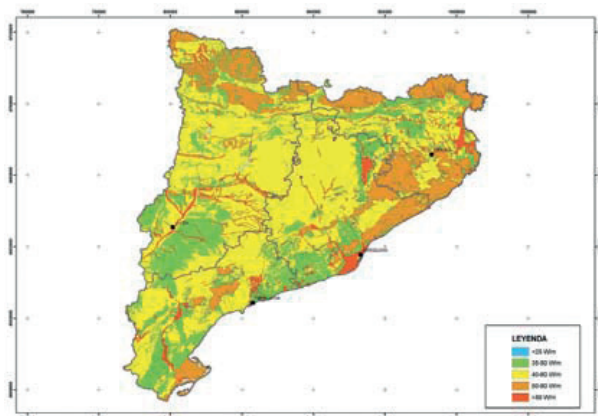
Apart, cal incloure els costos destinats al consum directe d'energia, els quals es poden veure a la taula comparativa següent:

COMPARATIVA DE COSTOS ANUALS	
Bomba de Calor Geotèrmica	383€
Radiadors Elèctrica en Tarifa Nocturna	959€
Caldera de Gas Natural	1190€
Caldera de Biomassa	1176€
Caldera de Propà	1604€
Radiadors Elèctrica en Tarifa Normal	2013€
Caldera de Gasoil	2024€

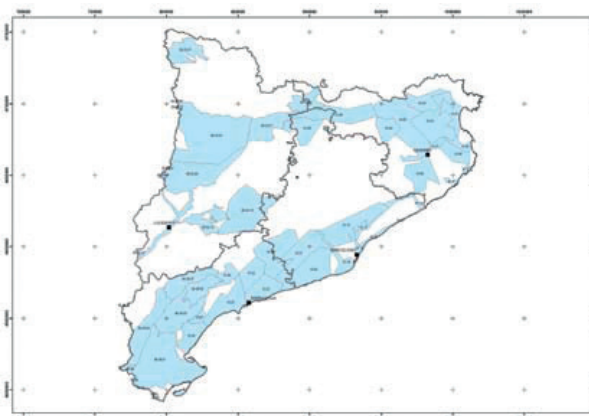
Per tant, per posar un darrer exemple pràctic: per a un habitatge unifamiliar de 150 m², amb unes necessitats de calefacció i ACS de 25 kW l'opció amb bomba de calor geotèrmica ens donaria els següents valors:

- Terreny amb una capacitat d'intercanvi mitjà de 30 W/ml de sonda.
- Sondes simples, fondària de perforació de 100

Mapa de potència tèrmica superficial de Catalunya



Mapa de situació dels aqüífers per al seu ús tèrmic amb bomba de calor a Catalunya



Font: Evaluación del potencial de energía geotérmica. Estudio Técnico 2011-2020. IDAE

metres, diàmetre exterior de la perforació 120 mm.

- Potència a instal·lar per a un equip amb coeficient d'operació de 4 (obtenim 4 kW d'energia tèrmica per cada kW emprat d'energia elèctrica). Aplicarem un coeficient de seguretat de 2. Per tant, potència de càlcul de 8 kW.
- Longitud total de sondes requerida: 270 m
- Nombre de perforacions: 2 ut
- Cost de l'equip: 4.000 €
- Cost de les sondes: 6.000 €
- Temps de retorn de la inversió (respecte de la instal·lació de caldera de gasoil): 4 anys

Si fem una comparativa amb el que fem habitualment, per obtenir aquests 25 kW en una població amb temperatures properes a zero graus a l'hivern, amb rendiments reals, la potència de la bomba de calor convencional hauria de ser, com a mínim, de 15 kW, amb un sistema convencional elèctric o amb caldera de 25 kW per disposar d'ACS simultàniament. Per tant, dos equips amb una potència molt superior, amb rendiments molt més baixos i amb vides útils inferiors i costos de consum superiors. Per no parlar de les emissions a l'atmosfera de gasos contaminants o calents i de l'impacte visual dels equips en façanes i xemeneies. ■

Els autors: *Gustau Ballester és enginyer industrial i Montse Bosch és arquitecta tècnica i doctora en Sostenibilitat*

Documents de consulta:

Evaluación del potencial de energía geotérmica. Estudio Técnico 2011-2020. Tecnología y Recursos de la tierra, S.A.: José Sánchez Guzmán, Laura Sanz López, Luis Ocaña Robles. Edita: IDEA, 2011

www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11227_e9_geotermia_A_db72b0ac.pdf

Guía de la Energía Geotérmica Guillermo Llopis Trillo, Vicente Rodrigo Ángulo Edita: Consejería de Economía y Consumo. Comunidad de Madrid

www.fenercom.com/pdf/publicaciones/guia-de-la-energia-geotermica.pdf

