



EQUIPO DE TRABAJO

Ciclo Hídrico. Diputación de Alicante

Luis Rodríguez Hernández
Miguel Fernández Mejuto
Juan Antonio Hernández Bravo
Rebeca Palencia Rocamora
Héctor Fernández Rodríguez
María Gemma Molina Pes

Instituto Geológico y Minero de España. IGME

Juan Antonio López Geta
Celestino García de la Noceda Márquez

Tecnología y Recursos de la Tierra

José Sánchez Guzmán

Colaboradores (operaciones tipo)

Instalaciones y Proyectos Eficientes, S.L.U.

Agradecimientos

Se agradece la colaboración prestada por
el Gerente del Complejo Hotelero San Juan de Alicante.

© Diputación de Alicante, 2015
© IGME, 2015

Edita: Diputación Provincial de Alicante.
Área de Ciclo Hídrico.
Diseño y maquetación: Tábula Comunicación
Impresión: Quinta Impresión
ISBN: 978-84-15327-55-4
Depósito legal: A 966-2015

ÍNDICE

1

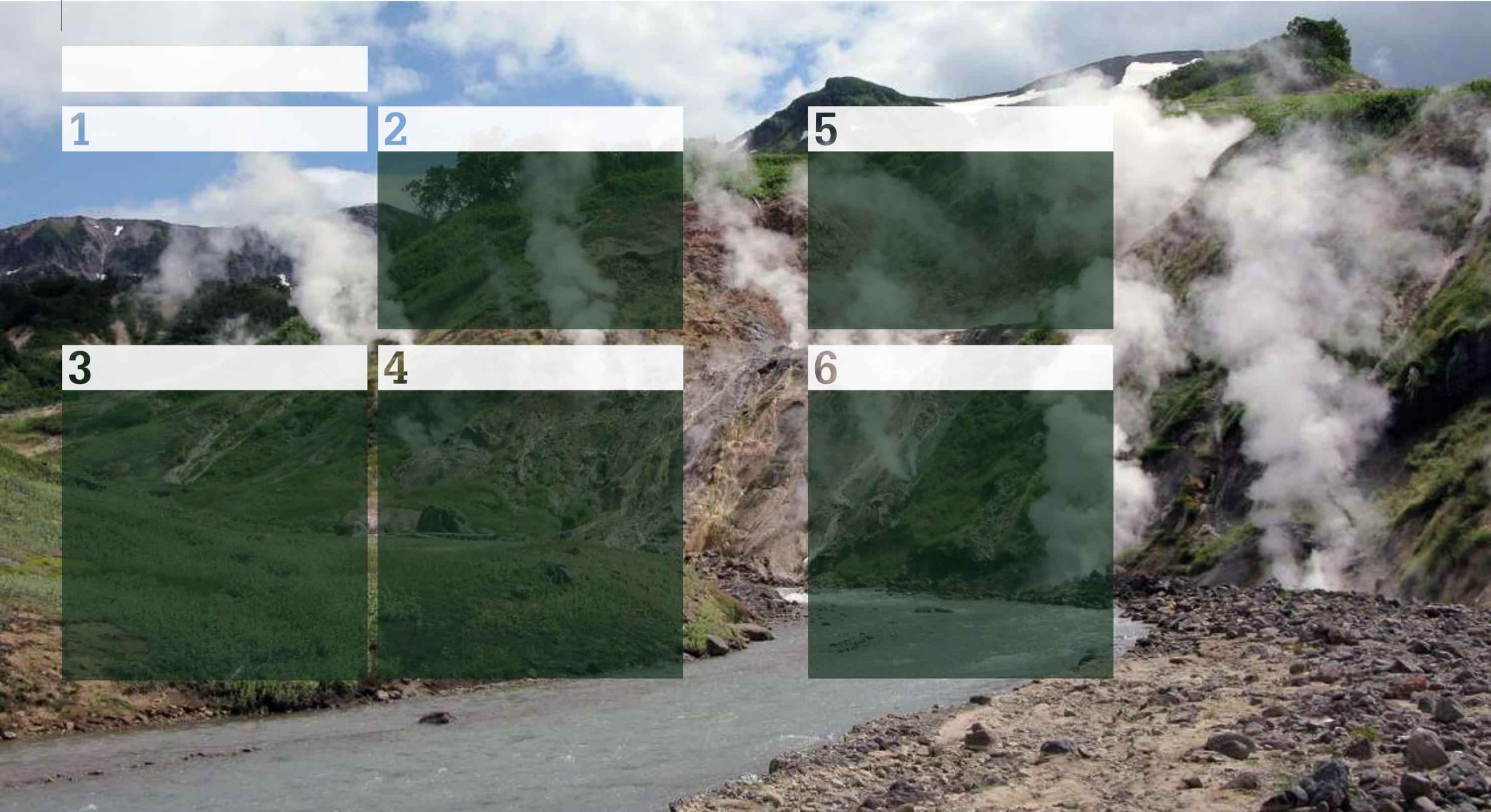
2

5

3

4

6



PRESENTACIÓN



César Sánchez Pérez
Presidente de la Diputación Provincial
de Alicante

La colección *El Agua en Alicante* que Diputación de Alicante edita conjuntamente con el Instituto Geológico y Minero de España, se amplía con este volumen que aborda las posibilidades de utilización de la energía calorífica de la Tierra y de la capacidad de intercambio de calor del subsuelo en la provincia de Alicante. Para el aprovechamiento de esta energía el conocimiento del subsuelo y la presencia de aguas subterráneas es determinante. Es precisamente el conocimiento adquirido durante más de tres décadas de colaboración entre ambos organismos, el que permite que hoy esta publicación sea una realidad.

La Diputación de Alicante realiza un esfuerzo continuo por dotar de visión estratégica a los ayuntamientos, especialmente a los de menor capacidad de gestión, insertándolos en redes para el diseño de servicios básicos, políticas comunes y corresponsables. En este sentido, el uso responsable de la energía resulta esencial, tanto por el ahorro que supone para el ciudadano como por la necesidad de preservar el medio ambiente.

En nuestra provincia el consumo de energía oscila en torno a 25.000 GWh/año, lo que supone una factura energética superior a 3.000 millo-

nes de euros/año y emisiones de CO₂ que superan 8 millones de t/año. Se comprende, pues, la importancia que supone cualquier estrategia de ahorro energético, especialmente si, además, se basa en la utilización de energías renovables. Dentro de estas, la energía geotérmica es aún una desconocida para la ciudadanía. Se trata de un tipo de energía muy particular, cuyo potencial está en relación directa con la geología del terreno y con la presencia de aguas subterráneas.

La publicación consta de dos partes: la primera, de divulgación metodológica, presenta una síntesis de las distintas tecnologías de aprovechamiento existentes; la segunda, plantea el análisis de los distintos tipos de yacimiento accesibles en la provincia y la viabilidad de utilización de esta energía sostenible en Alicante, con especial referencia a las aplicaciones relacionadas con los sectores doméstico y de servicios.

Pretendemos que la publicación contribuya al conocimiento de este tipo de energía y constituya una herramienta útil tanto para los agentes competentes en la planificación energética y urbanística como para los profesionales del sector, a los que la cartografía provincial generada puede ayudar en los estudios previos de viabilidad.

PRESENTACIÓN



Jorge Civis Llovera
Director del Instituto Geológico
y Minero de España

La dependencia energética de España de otros países es una realidad, puesta de manifiesto por los numerosos datos estadísticos conocidos. Esta dependencia exterior nos ha hecho tender a otras energías, principalmente las conocidas como renovables. Y también de estas, hacia la energía geotérmica, definida como la almacenada en forma de calor bajo la superficie de la tierra sólida (Directiva 2009/28/CE) y que la Tierra transmite desde sus capas internas hacia la parte más externa de la corteza terrestre. Por sus características, es una fuente de energía sostenible, renovable, casi infinita, que proporciona calor y electricidad las 24 horas del día a lo largo del año; esto es una ventaja frente a otras que dependen de fenómenos como el viento o el sol, no siempre disponibles.

La energía geotérmica, como recurso natural, ha sido estudiada directa o indirectamente por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), prácticamente desde su creación en el año 1849, pero muy especialmente en las décadas de los años 70 y 80 del pasado siglo XX. En este período se llevaron a cabo algunos estudios preliminares prácticamente en todo el territorio nacional, que contemplaron determinadas zonas de la provincia Alicante y que pusieron en evidencia la posible existencia de yacimientos geotérmicos relacionados con los valores elevados del gradiente geotérmico en áreas concretas. Posteriormente, el Insti-

tuto para la Diversificación y Ahorro Energético (IDAE) ha confirmado este posible potencial de la provincia de Alicante.

La existencia de esos antecedentes, nos hizo reflexionar sobre la posibilidad de considerar esta energía como un complemento a las energías actualmente disponibles. Desde la Diputación Provincial de Alicante y el IGME vimos oportuno emprender un estudio sobre la evaluación de los recursos geotérmicos existentes en la provincia de Alicante, a partir de la abundante información geológica, litoestratigráfica, hidrogeológica, geofísica y de geología del subsuelo existentes en ambas Instituciones y de la disponible en el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, procedente de antiguas prospecciones de hidrocarburos. Esta información, conjuntamente con la obtenida en este estudio, ha permitido hacer una primera evaluación de los recursos geotérmicos y de las potenciales zonas preferentes para su aprovechamiento.

Los resultados más relevantes de ese trabajo se exponen en este libro que se presenta, elaborado gracias al trabajo de un nutrido grupo de técnicos de ambas Instituciones, con la colaboración de alguna empresa privada. A todos, mi felicitación por la labor realizada y mi ánimo para seguir trabajando en áreas de tanta relevancia científico-tecnológica con el mismo rigor y entusiasmo.

1

INTRODUCCIÓN



El potencial geotérmico de la provincia de Alicante no ha sido objeto de una evaluación general hasta el presente. En las pasadas décadas de los 70 y 80, el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) llevó a cabo estudios preliminares de algunas zonas, relacionados con manifestaciones termales existentes en las mismas. Igualmente, la provincia de Alicante estaba incluida en estudios regionales de mayor ámbito geográfico. Estos estudios pusieron en evidencia la posible existencia de yacimientos geotérmicos, relacionados con valores elevados del gradiente geotérmico registrado en sondeos de hidrocarburos de determinadas zonas, como la Zona Interna de las Béticas. Entre otros, los sondeos de la cuenca baja del Segura, en un área delimitada por las poblaciones de Torrevieja, La Marina y Orihuela.

En un estudio reciente del potencial geotérmico a escala nacional llevado a cabo por el Instituto para la Diversificación y Ahorro Energético (IDAE) se ha confirmado el posible potencial de la provincia de Alicante, tanto de recursos geotérmicos de muy baja temperatura más someros, como de recursos geotérmicos profundos. Junto a esta presencia de recursos geotérmicos, tiene lugar una potencial demanda energética en todos los ámbitos geográficos de la provincia y en diversos sectores: agrícola, industrial, urbano o turístico, entre otros.

Por todo ello, la Diputación Provincial de Alicante y el Instituto Geológico y Minero de España consideraron oportuno emprender una evaluación de los recursos geotérmicos existentes en la

provincia de Alicante, tanto los más convencionales, contenidos en formaciones geológicas profundas, como los someros de muy baja temperatura, cuya explotación, actualmente en franca expansión en España, se realiza normalmente mediante el empleo de bomba de calor. Dentro de los recursos profundos se incluye un análisis de las posibilidades de existencia de recursos de alta temperatura ligados a zonas de fracturación, denominados Sistemas Geotérmicos Estimulados, cuya explotación tiene actualmente un desarrollo tecnológico importante en Europa, EEUU y otras zonas de Asia y Oceanía.

Así pues, el objetivo de este estudio es desarrollar una serie de trabajos que pusieran en evidencia el potencial geotérmico del subsuelo de la provincia de Alicante. Esta evaluación de los recursos geotérmicos se ha podido realizar a partir de la abundante información geológica, litoestratigráfica, hidrogeológica y geofísica procedente de los estudios de prospección de hidrocarburos y de almacenamiento subterráneo. Se ha completado con dos análisis temáticos importantes: de un lado, una puesta al día del conocimiento de las tecnologías de aprovechamiento de todo tipo de recursos geotérmicos y, de otro, un estudio del potencial mercado para la utilización de la energía geotérmica en las poblaciones más significativas, de más de 25.000 habitantes.

El ámbito geográfico del estudio realizado abarca toda la provincia de Alicante, encuadrada geológicamente en el dominio de las Cordilleras Béticas.

2

RECURSOS GEOTÉRMICOS Y TECNOLOGÍAS DE APROVECHAMIENTO



[2.1] LA ENERGÍA GEOTÉRMICA EN EL MARCO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

La Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de abril de 2009 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables define la energía geotérmica como **la energía almacenada en forma de calor bajo la superficie de la tierra sólida**. La Declaración de Bruselas de 2009 del Consejo Europeo de Energía Geotérmica (EGEC) califica esta última como **una fuente de energía sostenible, renovable, casi infinita, que proporciona calor y electricidad las 24 horas del día a lo largo del año**.

En sentido amplio, la energía geotérmica es **la energía calorífica que la Tierra transmite desde sus capas internas hacia la parte más externa de la corteza terrestre**, que tiene su origen en los movimientos diferenciales entre las distintas capas que la constituyen –principalmente, entre manto y núcleo–, en el calor inicial que se liberó durante su formación –que aún está llegando a la superficie–, en la desintegración de isótopos radiactivos presentes en la corteza y en el manto –básicamente, uranio 235, uranio 238, torio 282 y potasio 40–, y en el calor latente de cristalización del núcleo externo. La energía geotérmica engloba el calor almacenado en rocas, suelos y aguas subterráneas, cualquiera que sea su temperatura, profundidad y procedencia. Queda excluido el contenido en masas de aguas superficiales o marinas.

En un sentido aún más amplio, podríamos definirla como **la energía calorífica que el subsuelo de la Tierra es capaz de transmitir para su aprovechamiento**.

La citada Directiva 2009/28/CE estableció, para cada uno de los Estados miembros, la cuota de energía de origen renovable en el consumo final bruto de energía para el año 2020. El asignado a España es del 20%, valor similar al objetivo global establecido para el conjunto de la Unión Europea. Entre las novedades introducidas por esta Directiva en el capítulo concreto de la geotermia, cabe destacar la de que la energía de este origen capturada por las bombas de calor, se incluya en el cálculo del consumo final bruto de energía procedente de fuentes renovables para calefacción y refrigeración, siempre, naturalmente, que la producción final de energía supere de forma significativa el consumo de energía primaria necesaria para impulsar la bomba de calor.

La nueva Directiva señala que en los planes de acción nacionales se deberán evaluar las necesidades de construcción de nuevas infraestructuras para la calefacción y la refrigeración urbanas producidas a partir de fuentes renovables, adoptando, cuando proceda, las medidas necesarias para desarrollar infraestructuras urbanas que posibiliten la producción de calefac-

ción y refrigeración a partir de grandes instalaciones, entre otras, de energía geotérmica.

Uno de los aspectos más destacados de la Directiva 2009/28/CE es la obligación, por parte de los Estados miembros, de elaborar y notificar a la Comisión Europea (CE), a más tardar el 30 de junio de 2010, un Plan de Acción Nacional de Energías Renovables (PANER) para el periodo 2011-2020, con vistas al cumplimiento de los objetivos vinculantes fijados en la citada Directiva. Estos planes tienen por

objeto definir los objetivos nacionales en relación con las cuotas de energía procedentes de fuentes renovables consumidas en el transporte, la electricidad y la producción de calor y frío en 2020, así como las medidas propuestas para alcanzar tales objetivos. El Estado Español, a través de la Secretaría de Estado de la Energía, presentó dicho Plan dentro de los plazos establecidos por la Directiva.

En paralelo a la realización del PANER, la Secretaría de Estado de Energía del Ministerio de Industria, Turismo y

Comercio, a través del IDAE, elaboró el denominado **Plan de Energías Renovables (PER) 2011-2020**. Este Plan incluye los elementos esenciales del PANER así como análisis adicionales no contemplados en el mismo junto con un detallado análisis sectorial que contiene, entre otros aspectos, las perspectivas de evolución tecnológica y la evolución esperada de costes. Este Plan fue aprobado por Acuerdo del Consejo de Ministros de 11 de noviembre de 2011. La energía geotérmica aparece expresamente recogida en su apartado 4.6.



Surgencia termal en Furnas. Isla de Sao Miguel (Azores)



Geysir Strokkun, en Geysir (Islandia). La surgencia, cada 6 minutos, alcanza los 20 m de altura a 120°C



[2.2] CONCEPTOS BÁSICOS

Gradiente Geotérmico

Se define como gradiente geotérmico el **incremento de temperatura registrado al profundizar desde la capa más externa de la Tierra –la corteza– hacia las partes interiores de la misma**. Dicho gradiente permite estimar el **flujo de calor** que se transmite desde las zonas internas de la corteza hacia las externas, y que

representa la cantidad de calor geotérmico que se desprende por unidad de superficie y se expresa en MW/m².

El gradiente geotérmico observado en la mayor parte del Planeta, conocido como *gradiente geotérmico normal*, a partir de unos 15-30 m de profundidad, es de unos 1,5 - 3°C cada 100 m. En ciertas regiones, situadas sobre áreas geológicamente activas de la corteza terrestre, el incremento de la temperatura con la profundidad es muy superior al indicado, dando lugar a un *gradiente geotérmico anómalo*.

Recurso geotérmico

El recurso geotérmico se define como la **fracción de la energía geotérmica que puede ser aprovechada de forma técnica y económicamente viable**. Incluye tanto los recursos actualmente conocidos cuyo aprovechamiento resulta factible, como los que podrían serlo en un futuro relativamente próximo. El concepto de recurso geotérmico incluye desde el calor que puede encontrarse en los horizontes más superficiales del suelo, hasta el almacenado en rocas situadas a profundidades que sólo pueden alcanzarse mediante técnicas de perforación petrolífera.

Habitualmente los recursos geotérmicos se clasifican según su nivel térmico, factor que condiciona claramente su aprovechamiento. En la bibliografía pueden encontrarse clasificaciones realizadas según distintos rangos de temperatura. Los admitidos por la *Plataforma Tecnológica Española de Geotermia (GEOPLAT)*, elaborados de acuerdo a las últimas orientaciones de organismos supranacionales, son los siguientes:

- **Recursos geotérmicos de alta entalpía** ($T > 150^{\circ}\text{C}$). Se encuentran principalmente en zonas con gradientes geotérmicos muy eleva-

Fumarolas de gases sulfurosos en Vulcano, cuyas erupciones proceden de la cámara magmática, que se sitúa a unos 20 km de profundidad, con una temperatura superior a 1.000°C



dos y se sitúan a profundidades muy variables (suelen oscilar entre 1.500 y 3.000 m). Su aprovechamiento fundamental es la producción de electricidad.

- **Recursos geotérmicos de media entalpía** (T: 100°C–150°C). Suelen localizarse en zonas con un gradiente geotérmico relativamente elevado a profundidades inferiores a los 2.000 m y, en zonas de gradiente normal como las cuencas sedimentarias, a profundidades comprendidas entre 3.000 y 4.000 m. Su temperatura permite el uso para la producción de electricidad mediante ciclos binarios.
- **Recursos geotérmicos profundos de baja entalpía** (T: 30°C–100°C). Se localizan habitualmente en zonas con un gradiente geotérmico normal a profundidades entre 1.000 y 2.500 m, o a profundidades inferiores a los 1.000 m en zonas con un gradiente geotérmico relativamente elevado. Su explotación se destina básicamente a usos térmicos para

calefacción/climatización y ACS (agua caliente sanitaria) urbanos, usos recreativo-medicinales, y para diferentes procesos industriales o agrícolas. Los fluidos geotérmicos raras veces se utilizan directamente, lo más frecuente es el aprovechamiento mediante intercambiadores y/o bombas de calor. Suelen requerir una demanda importante de energía calorífica concentrada en las proximidades del recurso.

- **Recursos geotérmicos de muy baja entalpía** (T < 30°C). Las temperaturas de estos recursos son generalmente próximas a la media anual del lugar donde se captan. Corresponden a la energía térmica almacenada en las aguas subterráneas, incluidas las provenientes de labores mineras y drenajes de obras civiles y en el subsuelo poco profundo (normalmente, a menos de 200 m). En este último caso, la energía renovable puede captarse de manera muy eficiente, dada la estabilidad térmica del subsuelo frente a la oscilación estacional del ambiente como

consecuencia de la transmisión de calor hacia las zonas más externas de la corteza. Dicha transmisión hace posible que, a partir de 15-30 m de profundidad, la temperatura del terreno se mantenga prácticamente estable durante todo el año. Su aplicación se centra en los usos directos del calor: aporte energético a sistemas de calefacción y refrigeración de locales y/o procesos, con utilización de una bomba de calor.

Yacimiento geotérmico

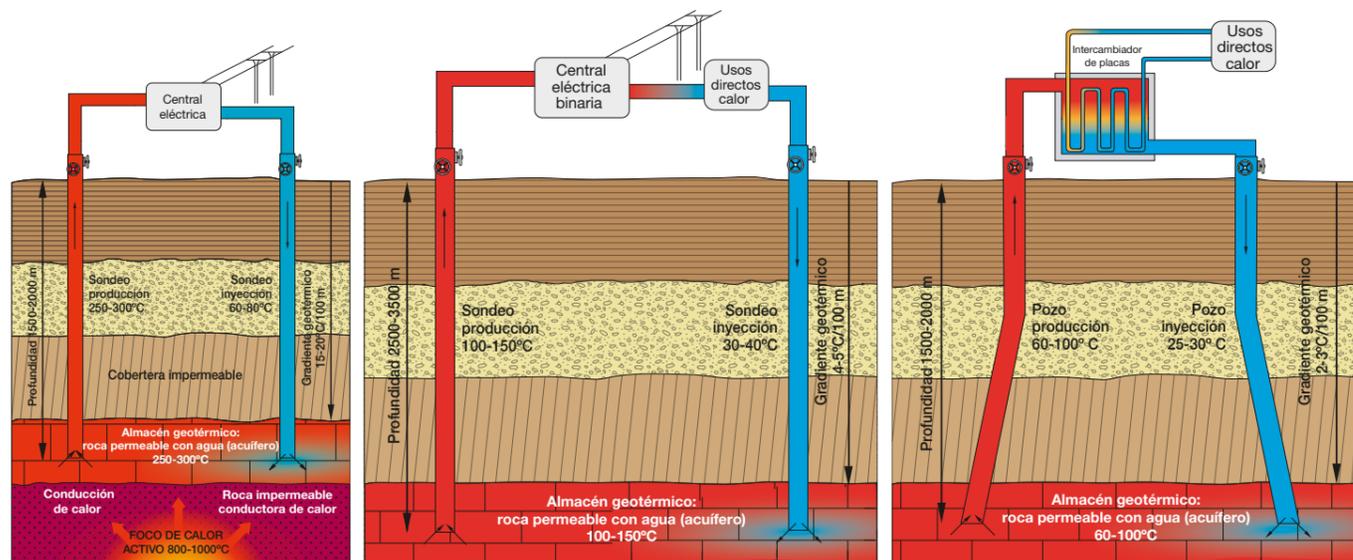
Se define como el **espacio físico situado en el interior de la corteza terrestre con unas condiciones geológicas específicas, en el que se emplaza un recurso geotérmico cuya explotación resulta económicamente viable.**

Habitualmente los yacimientos geotérmicos se clasifican en función del nivel térmico del recurso que contienen, en los siguientes tipos:

- **Yacimientos de alta entalpía**, en los que el fluido se encuentra a alta temperatura (>150°C).
- **Yacimientos de media entalpía**, en los que el fluido se encuentra a temperaturas entre 100 y 150°C.
- **Yacimientos de baja entalpía**, en los que la temperatura del fluido varía entre 30 y 100°C.

El término yacimiento no suele aplicarse a los **recursos de muy baja entalpía o temperatura** (<30°C), dado el carácter difuso de su distribución en toda la superficie terrestre.

En la **figura 1** se presentan algunos esquemas de estos tipos de yacimientos geotérmicos.

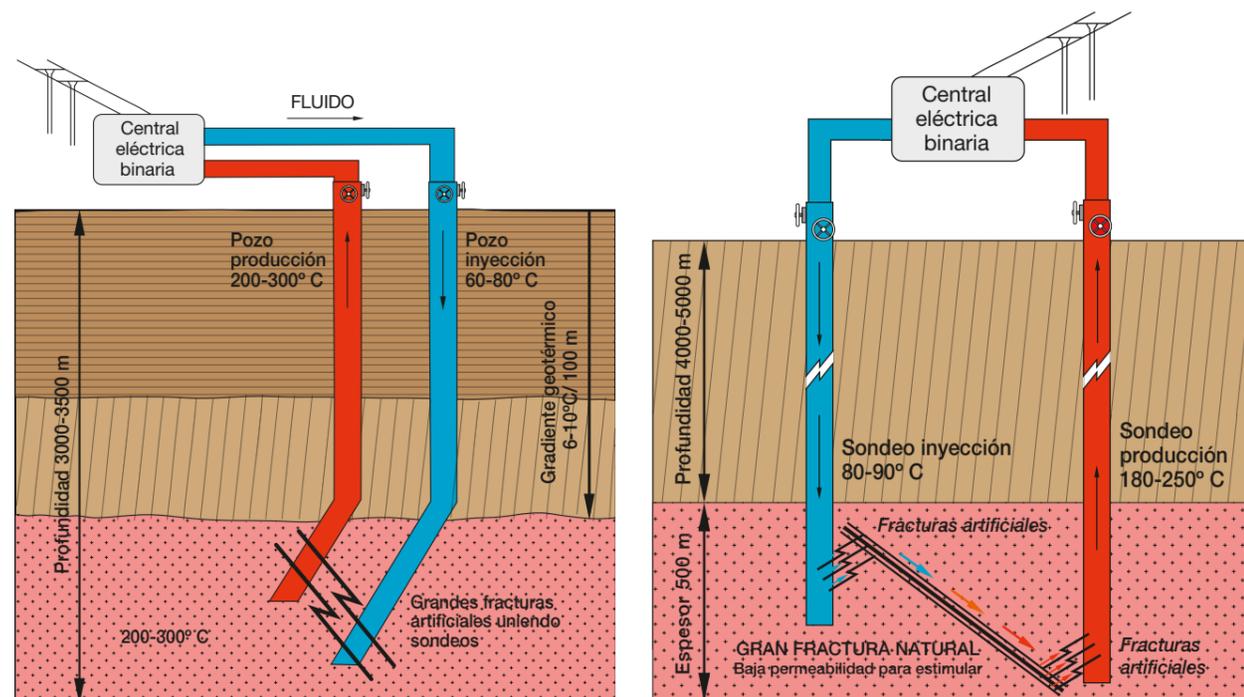


1.1. Yacimiento de alta temperatura

1.2. Yacimiento de media temperatura

1.3. Yacimiento de baja temperatura

Figura 1. Yacimientos geotérmicos convencionales



2.1. Yacimiento de roca caliente seca

2.2. Sistema geotérmico estimulado

Figura 2. Yacimientos geotérmicos no convencionales

Además de los citados, hay que considerar algunos yacimientos geotérmicos denominados *no convencionales*, que constituyen casos singulares de los yacimientos de alta entalpía ($T > 150^\circ\text{C}$). Se trata de los siguientes:

- **Yacimientos de roca caliente seca y Sistemas Geotérmicos Estimulados**, creados, mediante la acción del hombre, en materiales geológicos de escasa o nula permeabilidad y/o porosidad, carentes de fluido, situados a profundidades no muy elevadas y en condiciones de alta temperatura debido a su proximidad a cámaras magmáticas en áreas volcánicas. Las técnicas de explotación se basan en la creación de una red de fracturas que permitan la formación de una zona de intercambio térmico –almacén artificial–, por la que se hace circular un fluido inyectado desde la superficie, que retorna a esta tras haber incrementado notablemente su temperatura. La fracturación se consigue inyectando, a través de un pozo, grandes volúmenes de agua a elevada presión, en un proceso denominado *hidrofracturación* o fracturación hidráulica, usado frecuentemente en la producción de petróleo y gas. El agua caliente se extrae mediante un pozo y se envía a una central de ciclo binario para la producción de energía eléctrica, reinyectándose posteriormente en el yacimiento.

- **Yacimientos geotérmicos supercríticos** ($T > 300^\circ\text{C}$): se trata de yacimientos situados en regiones volcánicas y calentados por el magma subsuperficial, cuyas condiciones termodinámicas permitirían la producción de electricidad. La tecnología necesaria para explotar este tipo de recursos, actualmente en fase poco avanzada de investigación, supone el desarrollo de equipos que puedan funcionar adecuadamente y durante largos períodos de tiempo a temperaturas extremadamente elevadas.

- **Yacimientos geotérmicos geopresurizados**: asociados a cuencas sedimentarias muy profundas. Contienen agua a grandes presiones –entre un 40% y un 90% superiores a la presión hidrostática que correspondería a la profundidad a la que se halla–. Además de la energía térmica del agua, estos sistemas geopresurizados también contienen la energía mecánica que les proporciona el exceso de presión del fluido, así como cierto potencial de energía de combustión, ya que, normalmente, se encuentran asociados con cantidades importantes de metano.

la productividad. Estos yacimientos en los que es precisa la intervención directa del hombre para su creación y/o estimulación activa, son también denominados **Sistemas Geotérmicos Estimulados**. En la **figura 2** se presentan esquemas de estos tipos de yacimientos

- **Yacimientos geotérmicos supercríticos** ($T > 300^\circ\text{C}$): se trata de yacimientos situados en regiones volcánicas y calentados por el magma subsuperficial, cuyas condiciones termodinámicas permitirían la producción de electricidad. La tecnología necesaria para explotar este tipo de recursos, actualmente en fase poco avanzada de investigación, supone el desarrollo de equipos que puedan funcionar adecuadamente y durante largos períodos de tiempo a temperaturas extremadamente elevadas.

- **Yacimientos geotérmicos geopresurizados**: asociados a cuencas sedimentarias muy profundas. Contienen agua a grandes presiones –entre un 40% y un 90% superiores a la presión hidrostática que correspondería a la profundidad a la que se halla–. Además de la energía térmica del agua, estos sistemas geopresurizados también contienen la energía mecánica que les proporciona el exceso de presión del fluido, así como cierto potencial de energía de combustión, ya que, normalmente, se encuentran asociados con cantidades importantes de metano.

Actualmente, ningún yacimiento geopresurizado se encuentra en explotación, ya que las condiciones económicas para ello son muy desfavorables.

[2.3] TECNOLOGÍAS DE APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS GEOTÉRMICOS

El aprovechamiento de los recursos geotérmicos se centra básicamente en dos aplicaciones: la generación de energía eléctrica y los usos directos del calor.

- **Generación de energía eléctrica:** corresponde a los recursos geotérmicos de alta y media entalpía (plantas de vapor seco, plantas flash, plantas de ciclo binario). Se incluyen los sistemas geotérmicos estimulados.
- **Usos directos del calor:** corresponde a los usos de los recursos de media, baja y muy baja entalpía, en el sector residencial y de servicios (calefacción y refrigeración,

producción de ACS, redes de climatización urbanas, etc.), en el sector agro-industrial (piscifactorías, producción de algas, invernaderos, secado, evaporación, esterilización, procesos químicos, etc.), o en aplicaciones balneoterápicas, entre otros.

Las posibilidades de aprovechamiento de estos recursos dependerán del grado de desarrollo de las tecnologías disponibles y de sus propias características. A continuación se ofrece un resumen de las tecnologías destinadas a la generación de electricidad con recursos de origen geotérmico y aquellas que permiten un uso directo del calor de origen geotérmico.

Tecnologías convencionales para la generación de energía eléctrica

La producción eléctrica mundial de origen geotérmico procede, en su inmensa mayoría, de almacenes naturales de agua y/o vapor, y suele recibir el calificativo de **geotermia convencional** para diferenciarla de otros sistemas geotérmicos como, por ejemplo, los de tipo estimulado. En las **tecnologías para la generación de energía eléctrica**, el *fluido geotérmico* –líquido y/o vapor caliente, rico en minerales y, en ocasiones, muy salino– constituye el medio de transporte que conduce, a través de sondeos, la energía geotérmica desde un almacén profundo a la superficie. Dicha conducción se realiza en condiciones de total hermeticidad, por lo que el fluido geotérmico permanece aislado respecto a cualquier posible contaminación con aguas subterráneas más someras, incluso cuando, una vez realizado su aprovechamiento, el vapor condensado se reinyecta en el almacén para ser nuevamente calentado.

Los recursos geotérmicos empleados para generar energía eléctrica se clasifican habitualmente en tres categorías, correspondientes a otros tantos tipos de fluidos geotérmicos:

- **Recursos de vapor seco (alta entalpía)**, también denominados *sistemas de vapor dominante*. Proceden de yacimientos geotérmicos en los que la fase líquida no existe o es muy escasa, por lo que la roca almacén está saturada prácticamente solo por vapor. La energía que contienen estos yacimientos es relativamente fácil de aprovechar de

un modo eficiente, dado que no son necesarios procesos de separación agua/vapor, una circunstancia que los convierte en los más favorables para la producción de electricidad. Aunque este tipo de yacimientos son poco frecuentes en la naturaleza, **en la actualidad concentran el 28% de la potencia instalada** y el mismo porcentaje de la producción mundial de electricidad de origen geotérmico. Entre ellos figuran algunos de los más conocidos, como son los de Larderello (Italia) y The Geysers (California), además de algunos situados en Japón (Matsukawa) e Indonesia. Las plantas que utilizan este tipo de recurso se denominan **plantas de vapor seco**, que pueden explotar yacimientos de vapor seco mediante un ciclo directo sin condensación (**figura 3**) o con condensación (**figura 4**), como se explica en el próximo apartado.

- **Recursos de vapor húmedo (alta entalpía)**. Se trata de yacimientos que almacenan el fluido geotérmico

total o mayoritariamente en estado líquido, que se transforma en una mezcla de vapor y agua líquida cuando asciende y se descarga a través de los pozos de producción. Estos sistemas de agua caliente son, pues, capaces de producir vapor, que se aprovecha directamente para generar electricidad. Son mucho más comunes que los sistemas de vapor seco, **representando actualmente el 61% de la potencia instalada** y el 63% de la generación de electricidad de origen geotérmico. Las plantas que emplean este tipo de recurso se denominan **plantas flash** (**figuras 5 y 8**).

- **Recursos de media entalpía.** Corresponden a yacimientos que almacenan el fluido geotérmico en estado líquido que, a diferencia del anterior, no llega a transformarse en una mezcla de agua/vapor durante su ascenso desde el almacén, de manera que el transporte del calor se realiza exclusivamente en fase líquida. No obstante, aunque estos sistemas no son capaces de gene-

rar vapor a una presión suficiente como para producir directamente electricidad, poseen una temperatura lo bastante elevada como para transformar, mediante el uso de un intercambiador, un fluido secundario en vapor a alta presión, capaz de mover un grupo turbina-generator. Los datos más recientes **atribuyen a estos sistemas el 11% de la potencia instalada** y el 9% de la producción mundial de electricidad de origen geotérmico. Las plantas que utilizan este tipo de recurso se denominan **plantas de ciclo binario** (**figuras 6 y 7**).

En la **tabla 1** se reflejan los datos de producción y potencia instalada en el año 2010 para cada uno de los diferentes tipos de centrales geotérmicas convencionales de generación de energía eléctrica, entendiéndose como tales aquellas que emplean tecnologías ampliamente consolidadas e implantadas, a diferencia de las tecnologías emergentes, aún en fase de desarrollo, que serán abordadas más adelante.

USOS DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA

| USO DIRECTO DEL CALOR | GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA | |
|-----------------------|---|--|
| | RECURSOS GEOTÉRMICOS DE ALTA ENTALPÍA (T>150°C) | |
| | RECURSOS DE VAPOR SECO | |
| | Producción de energía eléctrica en ciclo directo | |
| | - Sin condensación | |
| | - Con condensación | |
| | RECURSOS DE VAPOR HÚMEDO | |
| | Producción de energía eléctrica mediante expansión súbita (flash) | |
| | - En una etapa | |
| | - En varias etapas | |
| | RECURSOS GEOTÉRMICOS DE MEDIA ENTALPÍA (100°C<T<150°C) | |
| | Producción de energía eléctrica mediante ciclo binario | |
| | Aprovechamiento de calor mediante intercambiadores | |
| | RECURSOS GEOTÉRMICOS DE BAJA ENTALPÍA (30°C<T<100°C) | |
| | Aprovechamiento de calor mediante intercambiadores | |
| | RECURSOS GEOTÉRMICOS DE MUY BAJA ENTALPÍA (T<30°C) | |
| | Aprovechamiento térmico mediante intercambiadores: bomba de calor y otros | |

| Tipo de central | Nº unidades | Potencia instalada | | Producción media (GWh/unidad) | RENDIMIENTO MEDIO $\eta\%$ ** | Costes medios €/kW.h |
|------------------------------|-------------|--------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------|
| | | TOTAL (MWe) | Media (MWe/unid) | | | |
| Vapor seco sin condensación* | 25 | 145 | 6 | 96 | 12-14 | 0,03-0,08 |
| Vapor seco con condensación | 62 | 2.878 | 46 | 260 | 25-30 | 0,03-0,05 |
| Flash | 141 | 4.421 | 31 | 199 | 15-20 | 0,04-0,10 |
| Doble flash | 61 | 2.092 | 34 | 236 | 18-22 | 0,04-0,10 |
| Ciclo binario | 236 | 1.178 | 5 | 27 | 5,5-12 | 0,05-0,11 |

*Esta denominación se corresponde en inglés con la de tipo *Back Pressure*, con descarga atmosférica.

**Rendimiento = $\frac{\text{energía producida} \times 100}{\text{energía térmica primaria}}$

Fuente: Bertani, R. *Geothermal Power Generation in the World. 2005–2010 Update Report* Proceedings World Geothermal Congress 2010 (Bali, Indonesia) y documentación propia.

Tabla 1. Producción, potencia instalada, rendimiento y costes de producción media en centrales geotérmicas de generación de energía eléctrica

Tecnologías convencionales para uso directo del calor de origen geotérmico

La **utilización directa o inmediata de la energía geotérmica** incluye una amplia variedad de usos: piscinas climatizadas y balneoterapia, calefacción y refrigeración –incluidos los sistemas energéticos de distribución urbana (tipo *District Heating*, que consiste en un sistema de calefacción centralizado)-, producción de agua caliente sanitaria (ACS), acuicultura y aplicaciones agrícolas (invernaderos y calentamiento de suelos) e industriales (extracción de minerales y seca-

do de alimentos y granos), etc. El uso del calor geotérmico en aplicaciones distintas de la generación de electricidad se ha realizado, tradicionalmente, a pequeña escala, pero los continuos avances tecnológicos han permitido su aprovechamiento en proyectos urbanos e industriales de gran envergadura.

Las temperaturas de trabajo idóneas para el aprovechamiento directo del calor geotérmico incluyen un rango muy amplio, aproximadamente entre 20°C y 150°C -recursos geotérmicos de baja y media entalpía-, en el cual no se producen pérdidas de eficiencia de conversión. La explotación de este tipo de recursos, extendida ya a más de 80 países, a menudo puede realizarse con equipos de perforación y a profundidades similares a las habituales de extracción de aguas subterráneas y en la investigación de hidrocarburos, así como con equipos calor-frío convencionales (teniendo en cuenta la temperatura y la composición química del agua geotérmica). Además, la mayor parte de estos proyectos alcanza su plena operatividad en menos de un año.

En los apartados siguientes se describen y presentan esquemas de los principales **tipos de centrales geotérmicas** de generación de energía eléctrica (recursos geotérmicos de alta y media entalpía) y de los **sistemas de uso directo del calor geotérmico** (recursos geotérmicos de media, baja y muy baja entalpía), actualmente disponibles en el mercado así como en fase de desarrollo.

Se ha optado por presentar estos modelos de aprovechamiento en función de las temperaturas, según corresponda a recursos geotérmicos de alta, media, baja o muy baja entalpía. Debe entenderse, no obstante, que en la naturaleza encontramos un continuo de temperaturas y algunos de los esquemas de aprovechamiento que se presentan, por ejemplo como óptimos para los de alta entalpía, pueden servir según las condiciones para los de media.



Prueba de producción de sondeos geotérmicos en la planta flash de Hellisheidi, Islandia



Balneario Széchenyi, en Budapest. El agua es captada a 1.246 m de profundidad, a una temperatura de 76°C

RECURSOS GEOTÉRMICOS DE ALTA ENTALPÍA. CENTRALES GEOTÉRMICAS CONVENCIONALES PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

A. Centrales de vapor seco (alta entalpía)

Las centrales de vapor seco utilizan los recursos en forma de vapor en estado de saturación o ligeramente recalentado (vapor seco) para su inyección directa en la turbina. Se trata de la primera tecnología empleada por una central geotérmica –la primera de las centrales de Larderello se puso en marcha en 1904–, con un historial acumulado de más de cien años. Sus costes de producción son inferiores a los de las demás tecnologías, debido a que ofrece la posibilidad de generar electricidad de forma directa.

El modelo más sencillo y de menor coste de este tipo de plantas es el que explota yacimientos de vapor seco mediante un **ciclo directo sin condensación** que, básicamente, consiste en que el vapor procedente del pozo pasa directamente a la turbina, desde donde se libera a la atmósfera. Estas instalaciones suelen emplearse como plantas piloto, para pequeños suministros locales a partir de pozos de producción aislados o como pequeñas centrales de punta (**figura 3**). No obstante, son de uso obligado cuando el contenido en gases no condensables supera el 50% o cuando el contenido total de gases excede del 10%, debido al alto costo que supondría su separación en los condensadores. Los rendimientos medios de estas centrales son del orden del 12-14%.

En las centrales geotérmicas se define el **rendimiento** como la relación entre la energía eléctrica producida –kWh (e)– y la energía térmica primaria del almacén geotérmico –kWh (t)– en el vapor o agua caliente suministrada a la turbina para dicha producción. Por tanto, el **rendimiento térmico** se define como la energía obtenida del fluido geotérmico respecto a la energía suministrada.

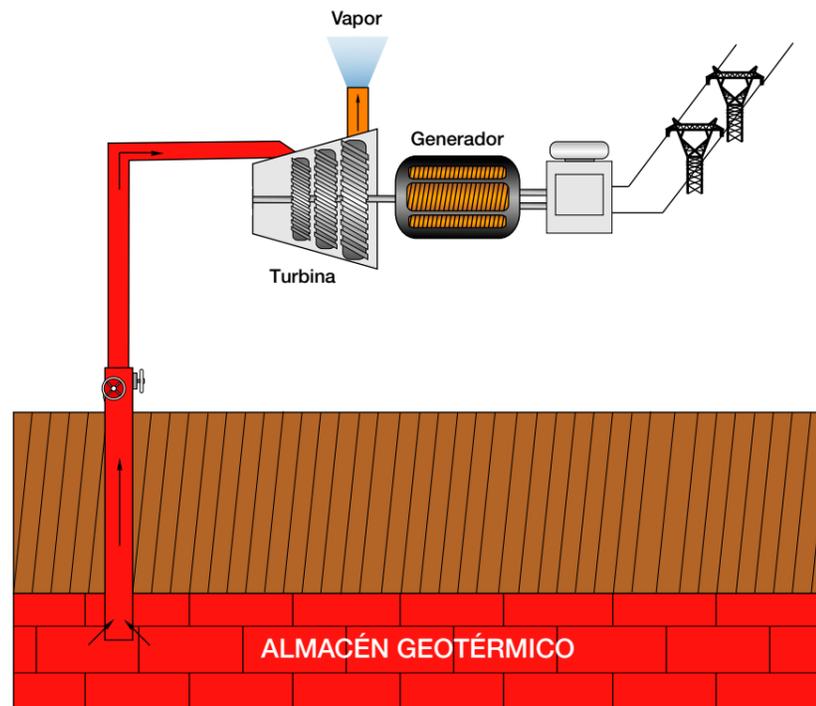


Figura 3. Ciclo directo sin condensación

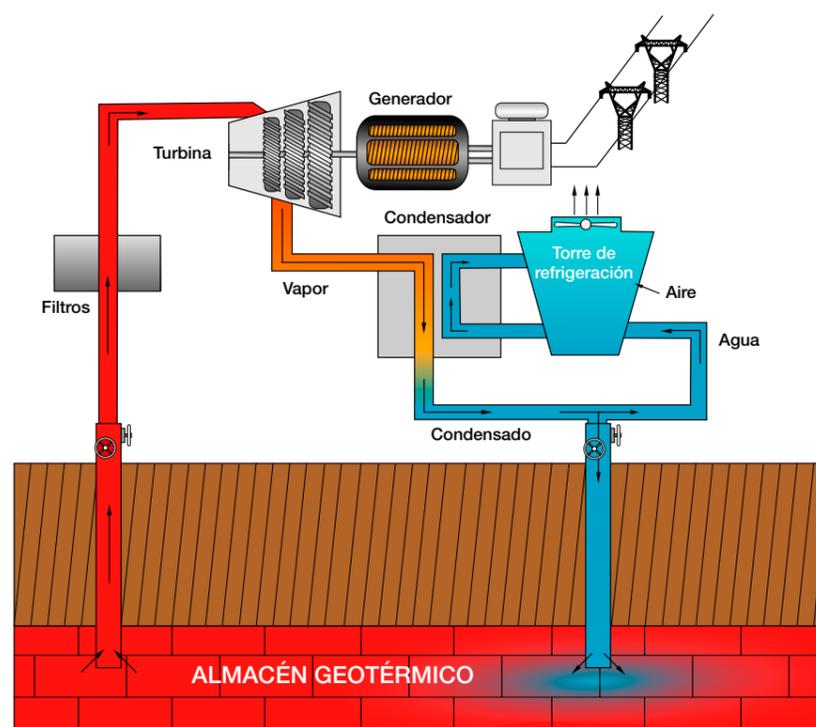


Figura 4. Ciclo directo con condensación

Más utilizado que este, es el modelo de **ciclo directo con condensación**, también relativamente simple, si bien requiere de algunos elementos adicionales (ver **figura 4**). En síntesis, el vapor seco a alta presión pasa, en primer lugar por sistema de filtros, que retiene cualquier partícula que pudiese dañar los álabes de la turbina. Desde esta última, el vapor es conducido a un sistema de condensación, previo paso por un dispositivo de separación de gases no condensables. El fluido condensado es devuelto a la formación mediante sondeos de inyección. Los rendimientos de este tipo de centrales son del orden del 25-30%, más del doble que en ciclo directo sin condensación.

B. Centrales de tipo flash de vapor húmedo (alta entalpía)

Son las de uso más extendido en el aprovechamiento de recursos geotérmicos de alta entalpía, y se emplean en el caso de fluidos geotérmicos formados por una mezcla vapor-líquido, con temperaturas que suelen oscilar entre 180°C y 250°C. Durante su ascenso desde la formación almacén hacia la superficie, se produce una disminución de presión que propicia la ebullición, con la consiguiente liberación de vapor.

La presencia de dos fases hace necesaria su separación, en la que se obtiene el vapor que será enviado a la turbina, así como una fracción líquida –puede ser una salmuera– que se rechaza, si bien puede utilizarse para otros aprovechamientos secundarios (agricultura, procesos industriales...) según la técnica conocida como *producción en cascada*.

El ciclo flash puede constar de una o varias etapas, tantas como permita la entalpía del agua separada (ver **figura 5**). La opción más común es la denominada de *doble flash* pues, aunque tiene un coste más elevado que la de *flash sencillo* y genera una fracción líquida más concentrada, incrementa la eficiencia del ciclo y el grado de aprovechamiento del recurso.

Según se observa en la citada figura, en las plantas de *doble flash* el fluido pasa a través de sucesivos separadores que se encuentran cada vez a menor presión. El vapor separado a baja presión de dicha salmuera se envía a una turbina de baja presión, o bien a la zona de baja de una turbina multi-etapas. Además de separar el vapor, este debe ser sometido a limpieza mediante el uso de filtros antes de ser enviado a la turbina; en ocasiones se somete incluso a un proceso de lavado con el fin de incrementar su pureza.



Planta geotérmica de Pico Vermelho en Sao Miguel, Azores

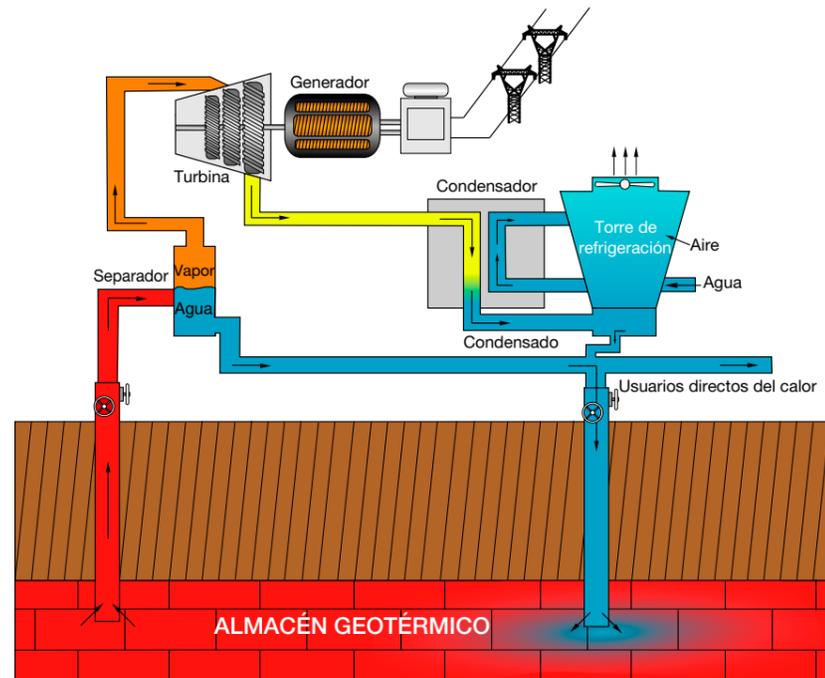


Figura 5.1. Ciclo flash sencillo

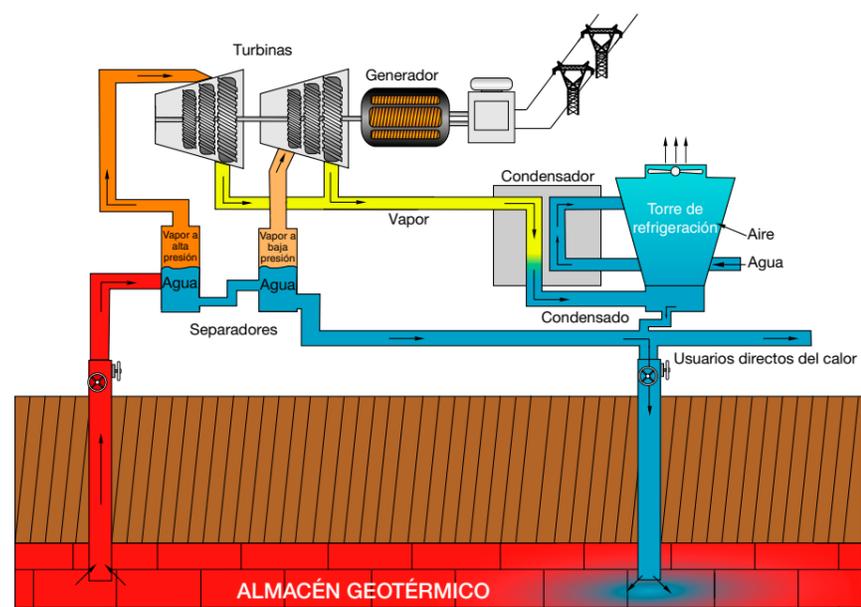


Figura 5.2. Ciclo flash doble

Figura 5. Centrales geotermoelectricas de tipo flash

RECURSOS GEOTÉRMICOS DE MEDIA ENTALPÍA. CENTRALES PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y TECNOLOGÍAS DE APROVECHAMIENTO TÉRMICO DIRECTO.

CENTRALES GEOTÉRMICAS CONVENCIONALES PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

A. Centrales de ciclo binario

Las centrales de ciclo binario se emplean en la explotación de yacimientos de media entalpía –temperaturas entre 100 y 150°C– y elevada salinidad, de forma más eficiente que las plantas flash y con un menor impacto ambiental, al no emitir gases a la atmósfera. Este tipo de planta utiliza la temperatura del agua geotérmica para calentar, en el seno de un intercambiador, otro fluido de bajo punto de ebullición y alta presión de vapor a elevadas temperaturas, como el isobutano o el isopentano (figura 6).

El fluido secundario se convierte entonces en vapor, que será el responsable del accionamiento de la turbina. Tras esta etapa pasa a un condensador, donde recupera nuevamente el estado líquido, para ser posteriormente reenviado al intercambiador, mientras que el agua es reinyectada en el subsuelo, cerrándose así el ciclo. Puesto que en este sistema el fluido geotérmico se comporta como un mero agente portador del calor, no son necesarios dispositivos de limpieza ni se produce emisión alguna a la atmósfera.

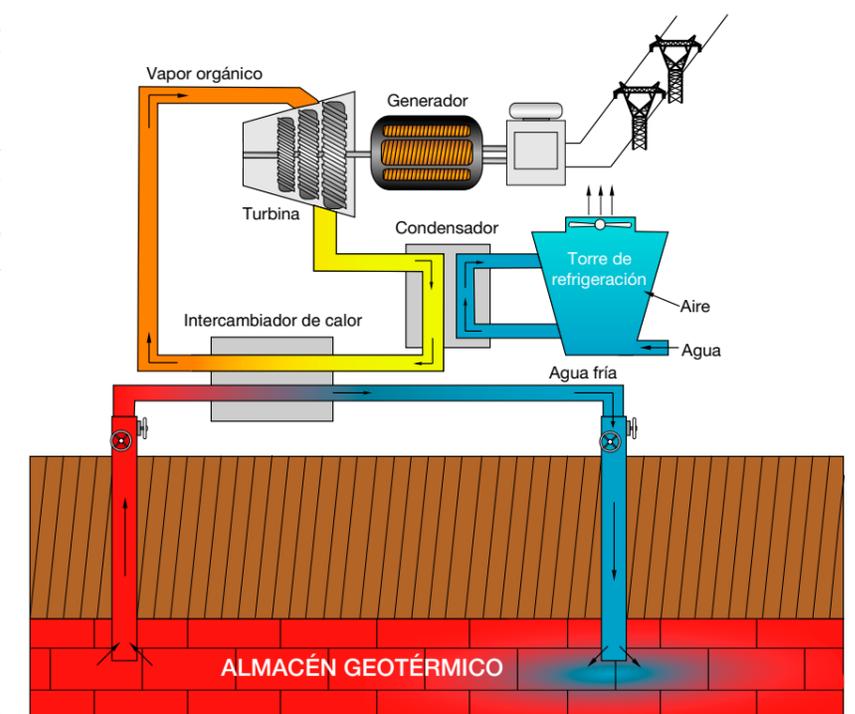


Figura 6. Ciclo binario

Los desarrollos tecnológicos de la dos últimas décadas han supuesto notables avances en la producción de energía eléctrica a partir de los recursos geotérmicos de temperaturas más bajas, de modo que, en la actualidad, las plantas de ciclo binario pueden utilizar recursos de temperaturas del orden de los 75 °C. En efecto, las dificultades de costes y rendimientos que presentaban hace años las plantas binarias han sido superadas merced al desarrollo de ciclos binarios comerciales, como los denominados ciclo *Rankine* (ORC: *Organic Rankine Cycle*) y ciclo *Kalina*, los cuales permiten la conversión en electricidad del calor procedente de recursos geotérmicos de media entalpía en condiciones económica y técnicamente viables.

- **Ciclo Rankine.**- Se trata de un sistema de ciclo binario avanzado, completamente cerrado, basado en un simple proceso de evaporación, que emplea como fluido secundario uno de naturaleza orgánica (normalmente un hidrocarburo, como propano, butano o isopentano), cuya selección depende, fundamentalmente, de la temperatura de la salmuera geotérmica. El ciclo Rankine cuenta con cuatro dispositivos principales: evaporador, turbina, torre de refrigeración y bomba de alimentación (figura 7).

Las plantas eléctricas de ciclo binario que operan con este ciclo tienen un extenso campo de aplicación con recursos de temperaturas superiores a 120°C. También pueden utilizarse en ellas recursos de temperaturas más bajas –como sucede en la central geotérmica ORC de Simbach-Braunau (Austria), que usa salmueras a 80°C para producir energía eléctrica–, pero con costes más altos y eficiencias más bajas en la conversión de calor a electricidad. De hecho, la eficiencia en la conversión de energía bruta de una central eléctrica de ciclo *Rankine* (rendimiento) aumenta desde un 5,5% para una salmuera a 80°C, hasta un 12% a una temperatura de 180°C.



Instalaciones de la central geotérmica de Paratunka, en Kamchatka (Rusia), de ciclo binario Rankine, para la producción de energía eléctrica y calefacción con el calor residual

- **Ciclo Kalina.**- Con el mismo esquema, utiliza un fluido secundario con, al menos, dos componentes químicos, normalmente amoníaco y agua. Sus proporciones pueden variar para permitir el cambio de fase a unas determinadas condiciones de presión y temperatura, lo que proporciona una mayor adaptabilidad a variaciones de temperatura de la salmuera geotérmica. Cuando el fluido secundario se calienta, los diferentes puntos de ebullición de los citados componentes generan un vapor rico en amoníaco y un agua pobre en este compuesto.

La eficiencia en la conversión de energía bruta de una central eléctrica de ciclo *Kalina* depende, igualmente, de la temperatura inicial de la salmuera geotérmica, aumentando desde el 8,5% a 80 °C hasta el 12% a 160 °C, superando, de este modo, la eficiencia de las plantas de ciclo *Rankine*, especialmente a bajas temperaturas. Entre las centrales eléctricas que emplean esta tecnología se encuentran las de Husavik, en Islandia, y Unterhaching, en Alemania.

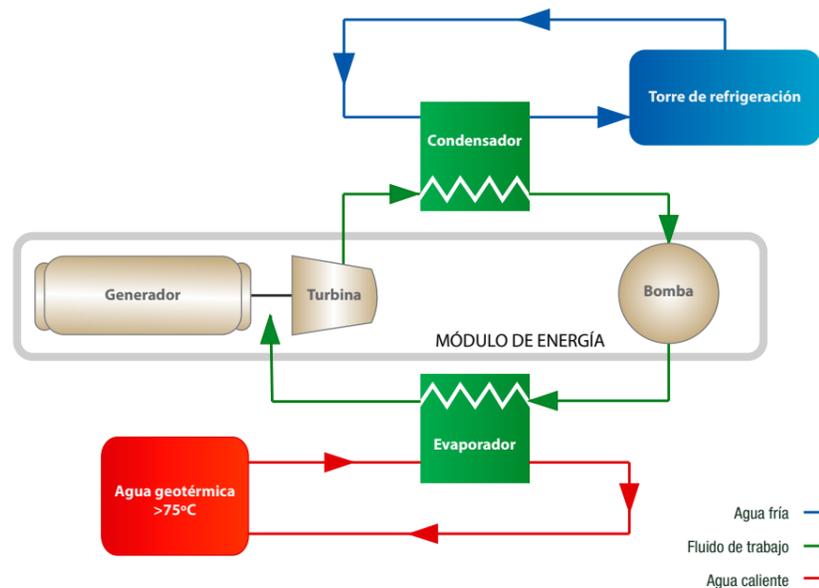


Figura 7. Ciclo binario Rankine

B. Centrales de ciclo combinado flash-binario (alta y media entalpía)

Las centrales de ciclo combinado *flash-binario* aprovechan los beneficios de estas dos tecnologías mediante una combinación de ambas. En estas centrales, el vapor separado mediante un proceso flash se aprovecha en una turbina para generar electricidad, mientras que el vapor que sale de dicha turbina a baja presión se condensa en un sistema binario. De este modo, se hace un uso eficaz de las torres de refrigeración por aire en aplicaciones flash y se aprovechan las ventajas del proceso binario. En la figura 8 se presenta un esquema de este ciclo.

El sistema flash-binario alcanza su máxima eficacia en yacimientos con vapor a alta presión. En sistemas de alta entalpía de agua dominante, la configuración más eficaz consiste en la integración en una sola planta de un ciclo combinado para vapor y una unidad binaria convencional para la salmuera separada. Las plantas de ciclo combinado requieren un control estricto de la temperatura del agua de inyección, ya que un descenso de la misma podría suponer un recorte de producción.

La única central eléctrica geotérmica de Hawaii denominada *Puna Geothermal Venture*, en funcionamiento desde el año 1991, emplea un ciclo combinado flash-binario. Esta planta genera el 20% del consumo de energía eléctrica de la mayor de las islas de este archipiélago.

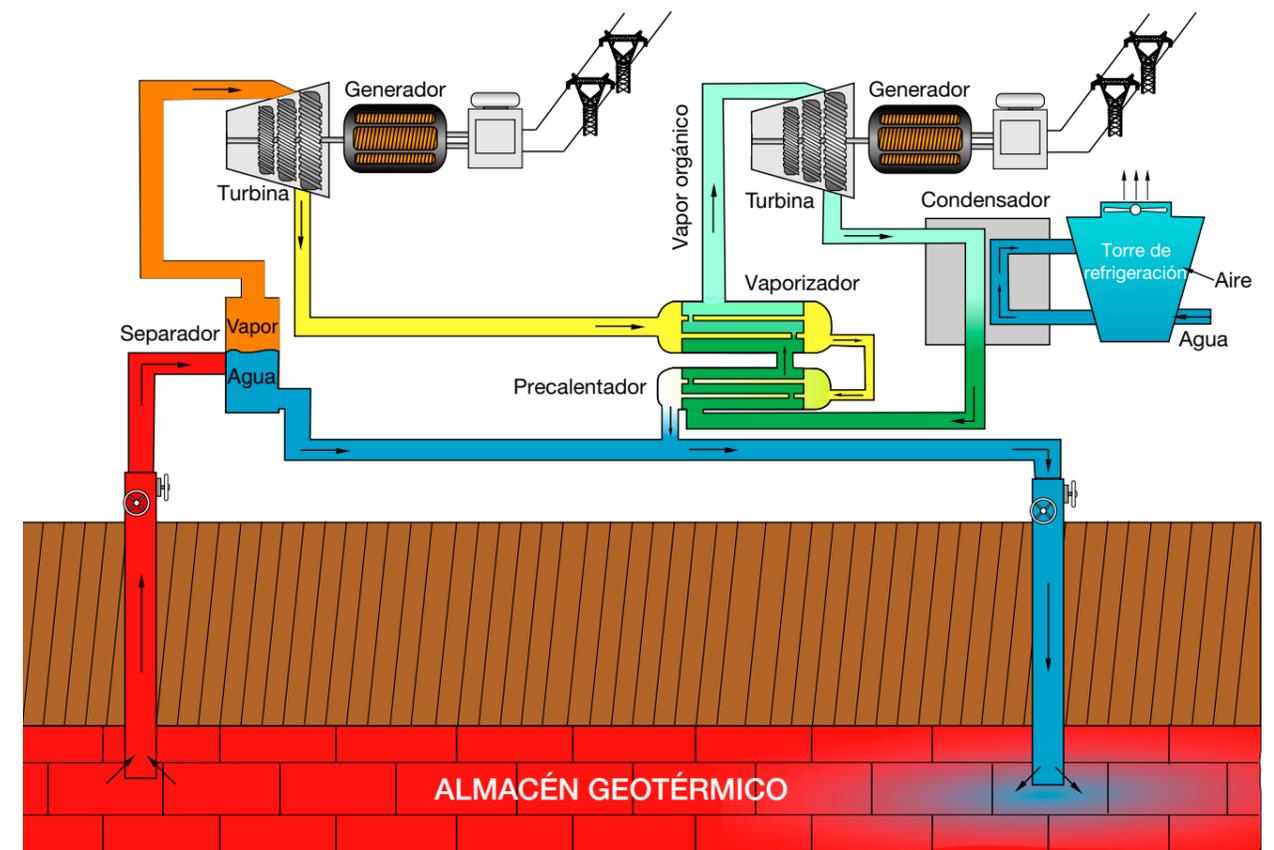


Figura 8. Ciclo combinado flash-binario

OTRAS TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA (ALTA Y MEDIA ENTALPÍA)

Las tecnologías de conversión de energía geotérmica en electricidad hasta aquí descritas pueden catalogarse como *convencionales*, dado su avanzado estado de consolidación e implantación. Sin embargo, la existencia de un importante recurso de base aún sin explotar está propiciando el desarrollo de nuevas tecnologías *emergentes* así como de nuevas aplicaciones, algunas incluso ya demostradas con éxito y con cierta experiencia comercial, que podrían contribuir a ampliar el potencial geotérmico disponible. A continuación se describen brevemente las más importantes.

1. Sistemas geotérmicos híbridos

Los sistemas geotérmicos híbridos son aquellos que integran en una central eléctrica geotérmica otras fuentes de energía de diverso origen, incluyendo biomasa, carbón o energía hidroeléctrica, por lo que pueden generar más electricidad sin incrementar el uso del recurso geotérmico, aumentando así su rendimiento. Estos sistemas ofrecen la posibilidad de determinar la temperatura óptima del vapor independientemente de la que presente la fuente geotérmica. Algunos ejemplos:

- **Biomasa.**- La compañía *Infinifuel Biodiesel* ha construido una instalación para la fabricación de biodiesel en una pequeña planta geotérmica situada en Wabuska (Nevada). Dicha instalación es prácticamente autónoma, debido, principalmente, al calor que le suministra la planta geotérmica. Esta, que utiliza vapor de agua a 104 °C, genera la electricidad necesaria para el funcionamiento de la planta de biodiesel y vende la producción restante.

- **Uso combinado de calor y electricidad (utilización en cascada).**- En ciertas localizaciones y bajo determinadas circunstancias, los recursos geotérmicos pueden utilizarse para producir electricidad y también para usos directos. Este modelo híbrido, conocido como *uso combinado de calor y electricidad* (CHP: *Combined Heat and Power*) o *producción en cascada*, aprovecha el calor residual producido por las plantas eléctricas utilizándolo para otros fines, incrementando así la eficiencia energética total del sistema. Ejemplos de este tipo son los aprovechamientos para usos directos, tales como redes de climatización urbanas, invernaderos, piscicultura, aplicaciones industriales y balneoterapia (ver **figura 9**).

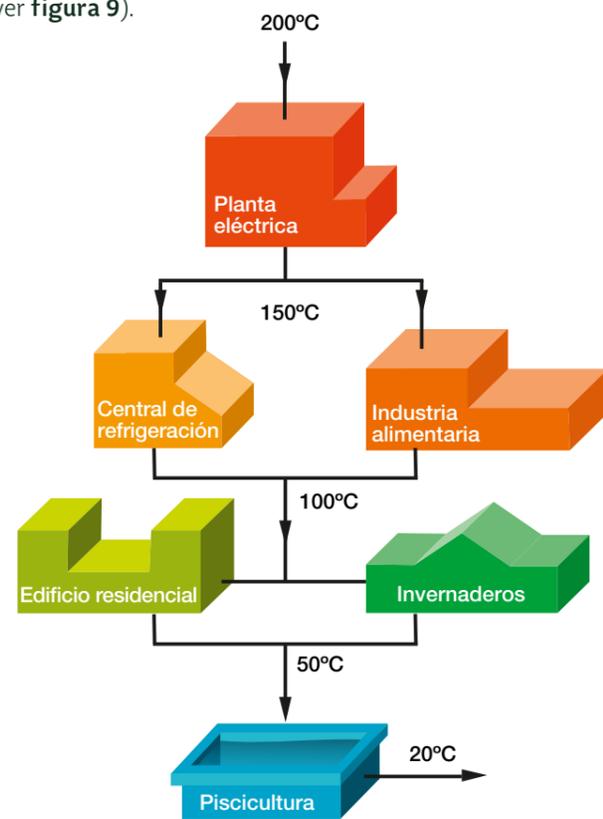


Figura 9. Uso combinado en cascada

- **Energía solar.**- Existen algunas propuestas de utilización conjunta de ambas energías (*SAGE: Solar Augmented Geothermal Energy*). Por ejemplo, en el año 1979 el Departamento de Energía de Estados Unidos propuso un sistema híbrido mediante el cual se presurizaba el fluido geotérmico en cabeza de pozo y se aplicaba energía solar antes del proceso *flash*. La energía solar también se ha propuesto como una fuente de calor adicional, que permitiría mantener la capacidad productiva de un yacimiento geotérmico en el caso de que aquella pudiera verse comprometida, así como ciertas aplicaciones relacionadas con el uso de ambas energías para recuperar petróleo y gas de yacimientos agotados.
- **Recursos geotérmicos geopresurizados.**- Se basan en una combinación del recurso geotérmico con un combustible fósil (gas natural). El Departamento de Energía de Estados Unidos desarrolló una experiencia de este tipo en Pleasant Bayou (Texas), mediante una planta de demostración de 1 MW que operó durante el año 1990.

2. Sistemas Geotérmicos Estimulados (EGS)

Los recursos geotérmicos no convencionales y, en particular, los Sistemas Geotérmicos Estimulados (EGS), constituyen nuevas vías para incrementar el potencial de generación de energía geotérmica e incrementar sus reservas a través de:

- la estimulación (aumento de la permeabilidad) de almacenes en *Roca Caliente Seca* (*Hot Dry Rock*),
- el incremento de la extensión de los campos geotérmicos mejorando/estimulando la permeabilidad de las rocas del entorno,
- la mejora de la viabilidad de las zonas hidrotermales actuales y potenciales mediante el uso de tecnologías de estimulación y la mejora de los ciclos termodinámicos,
- la definición de nuevos objetivos y nuevas herramientas para la explotación de sistemas que contienen fluidos supercríticos (con comportamiento híbrido entre líquido y gaseoso),

- la mejora de las tecnologías de perforación y de evaluación de reservas, y

- la mejora de los métodos de explotación de los recursos geotérmicos profundos.

La **figura 10** refleja un esquema simplificado de un aprovechamiento tipo EGS, mientras que en la **figura 11** se describe de forma sintética el proceso de desarrollo de uno de estos sistemas. El Departamento de Energía de Estados Unidos define los Sistemas EGS como **aquellos almacenes geotérmicos que han sido creados mediante técnicas de ingeniería, con el fin de extraer de forma rentable calor procedente de recursos geotérmicos de baja permeabilidad y/o porosidad**. La idea es, en sí misma, una simple extrapolación que emula la circulación en los sistemas geotérmicos naturales que actualmente generan electricidad y calor para aplicaciones comerciales en 71 países de todo el mundo.

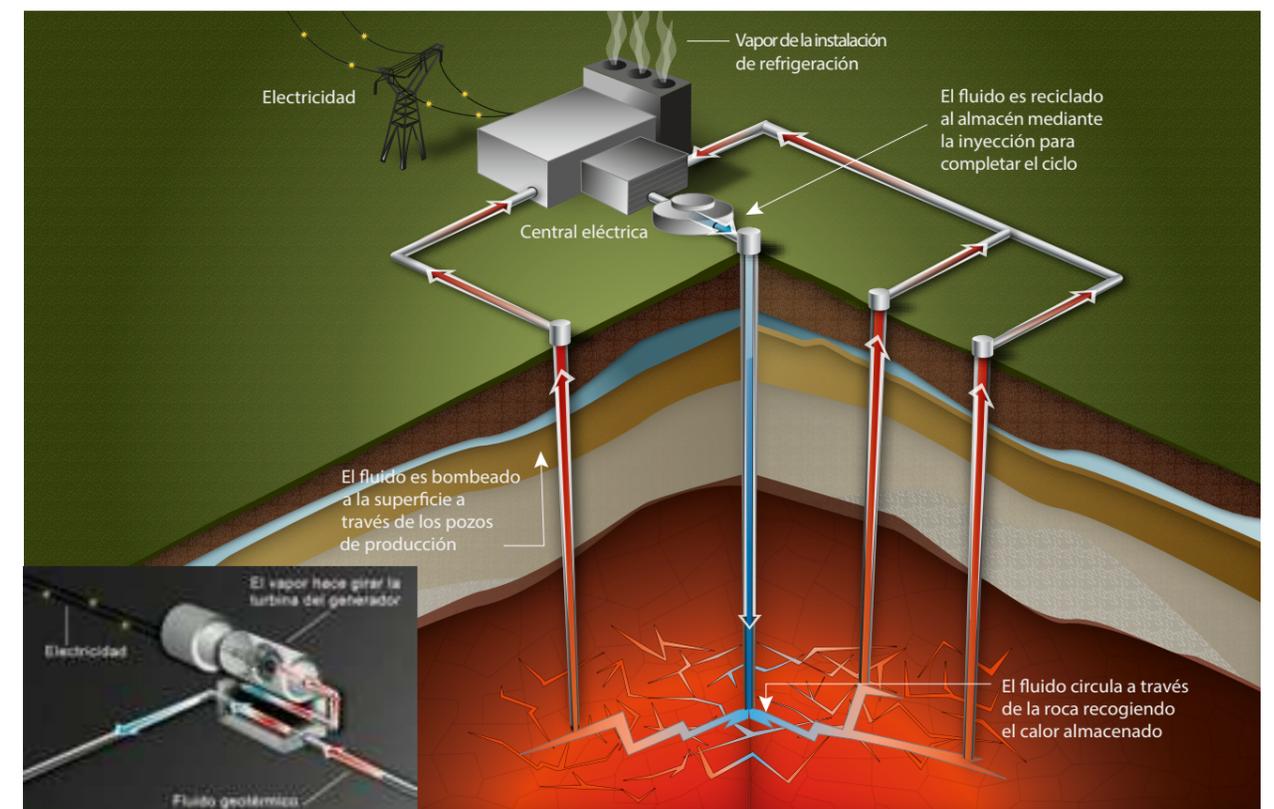
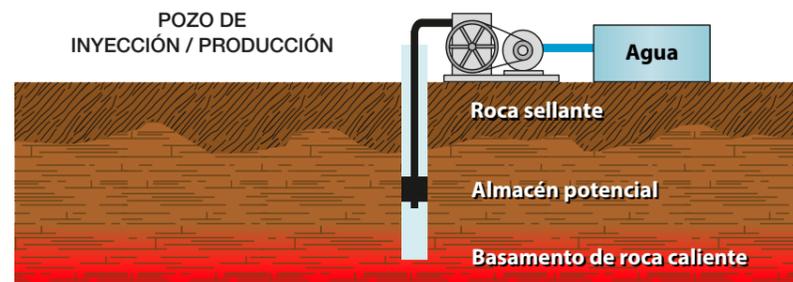
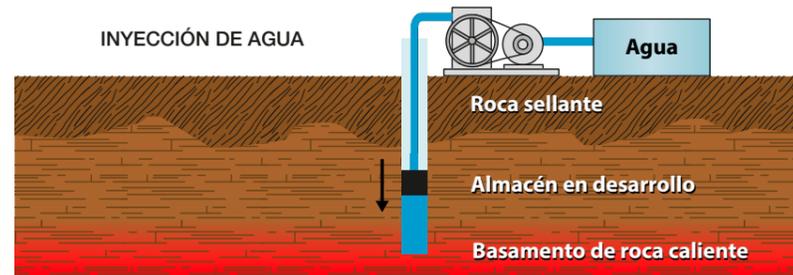


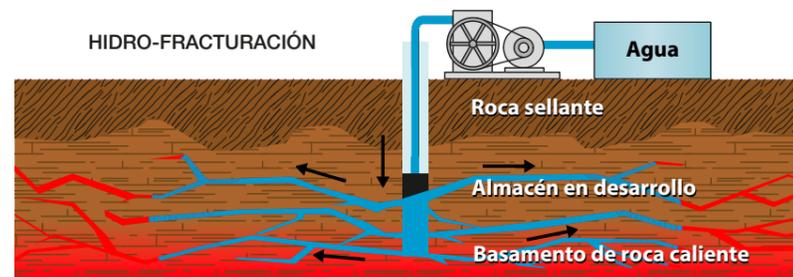
Figura 10. Esquema simplificado de un aprovechamiento EGS. Fuente: U.S. Department of Energy



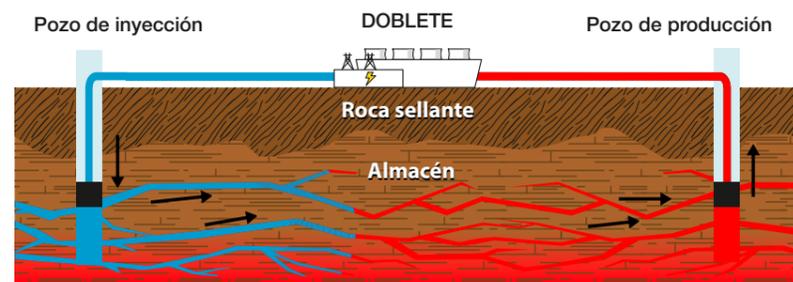
1. Se perfora un pozo de inyección/producción en el basamento rocoso caliente de permeabilidad y contenido de fluido limitados.



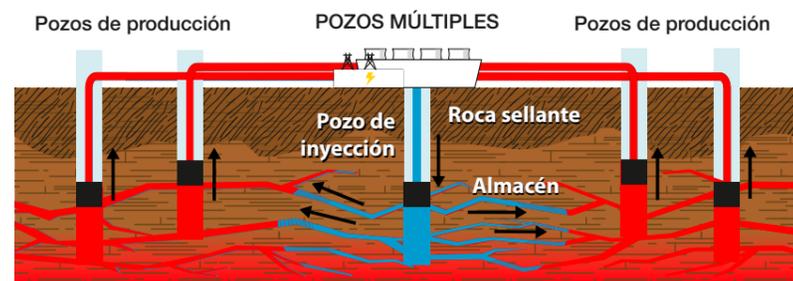
2. Se inyecta agua a una presión suficiente para asegurar la fracturación y/o la apertura de las fracturas existentes.



3. Se continúa bombeando agua con el fin de extender las fracturas a cierta distancia del pozo de inyección y hacia el resto del potencial almacén geotérmico. Es una etapa crucial en el proceso de desarrollo del EGS.



4. Se perfora un segundo pozo de producción con el fin de intersectar el sistema de fracturas creado en el paso anterior y hacer circular agua para extraer el calor de la roca.



5. Se perforan pozos de producción adicionales con objeto de extraer calor en cantidad suficiente para satisfacer los requisitos de generación de energía.

Las experiencias de sistemas EGS desarrolladas hasta la fecha en diversas localizaciones de todo el mundo han demostrado la viabilidad técnica de obtener calor a partir de rocas con alta temperatura y reducido contenido de agua, si bien los costes de tal recuperación son aún elevados. Los escasos datos existentes indican que para el actual estado de la tecnología de aprovechamiento los rendimientos de los sistemas EGS no superan el 5-7% y costes de producción de 0,15-0,25 €/kWh.

Los recursos proporcionados por los EGS son similares a los recursos hidrotermales tradicionales, salvo en que reúnen alguna o todas las características siguientes:

- Un almacén de roca densa que el líquido no puede atravesar fácilmente por carecer de la porosidad y permeabilidad necesarias.
- Cantidades insuficientes de vapor y/o agua caliente.

- Profundidades de perforación mayores a las habituales en geotermia.

Existe la posibilidad de utilizar como fluido de transmisión de calor en almacenes EGS, en lugar de agua, CO_2 a presión supercrítica (funcionando como híbrido gas-líquido) (BROWN, 2000). Este planteamiento supone la recuperación de energía geotérmica junto con el almacenamiento simultáneo de CO_2 , un gas de conocido efecto invernadero.

3. Coproducción con petróleo y gas

Los sistemas de coproducción en yacimientos petrolíferos consisten en aprovechar los pozos ya perforados de extracción de petróleo y gas, cuya profundidad es tal que permiten encontrar agua caliente e, incluso, ser reprofundizados en zonas particularmente calientes.

Para la industria petrolera, producir agua caliente supone, en el mejor de los casos, un inconveniente –en ciertos yacimientos de la Costa del Golfo (EEUU), el 95% de la producción de los pozos de petróleo y gas es agua–, debido a que es difícil de manejar, su bombeo tiene un coste económico y hay que reinyectarla, lo que implica un coste añadido. La utilización de este agua caliente en una central de ciclo binario proporcionaría una fuente de ingresos adicional. Hay que tener en cuenta que el agua recuperada puede incorporarse sin problemas al ciclo binario de una planta geotérmica en funcionamiento, ya que la mayoría del fluido producido en pozos de gas y petróleo pasa por una instalación donde se separan los hidrocarburos y el agua. Además, esta aplicación resulta económicamente favorable, incluso a pequeña escala, ya que, al aprovechar pozos ya perforados y conocerse la existencia del recurso, se eliminan los costes previos de investigación.

TECNOLOGÍAS DE APROVECHAMIENTO TÉRMICO DIRECTO DE YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS PROFUNDOS

Como se señaló con anterioridad, los recursos geotérmicos profundos de media entalpía ($T: 100^\circ\text{C}-150^\circ\text{C}$), al igual que los de baja entalpía ($T < 100^\circ\text{C}$), permiten el aprovechamiento directo del calor si bien, en el caso de los primeros, también pueden destinarse a la producción de electricidad mediante ciclos binarios.

Los de media entalpía pueden encontrarse a profundidades inferiores a los 2.000 m en zonas con un gradiente geotérmico anómalo, y entre 3.000 y 4.000 m. en cuencas sedimentarias con gradiente geotérmico normal. Para que su uso en sistemas de calefacción resulte rentable, se requiere una importante demanda a poca distancia del aprovechamiento, al objeto de minimizar los costes asociados a los mecanismos de transporte del calor. La eficiencia del intercambio térmico en este tipo de aprovechamiento supera el 90%.

La **figura 12** ofrece el esquema simplificado de un sistema de uso directo del calor geotérmico para calefacción. El equipamiento de estos sistemas incluye básicamente, además de los sondeos de extracción e inyección, bombas sumergidas y de circulación, intercambiadores de calor –normalmente, de placas–, líneas de transmisión y distribución aisladas, equipos de extracción de calor y generadores de apoyo para cubrir picos de demanda o bien para limitar el número de pozos.

Los fluidos geotérmicos procedentes de almacenes sedimentarios profundos generalmente presentan elevados contenidos de sales disueltas, motivo por el que no pueden conducirse directamente hasta los puntos de demanda final. Por ello, se utilizan intercambiadores que permiten la cesión del calor contenido en el fluido geotérmico a otro fluido (normal-

Figura 11. Proceso de desarrollo de un sistema EGS
Fuente: U.S. Department of Energy

mente, agua), que forma parte de un circuito cerrado o secundario, correspondiente a la red de distribución a los puntos de demanda. El fluido geotérmico, tras ser bombeado al intercambiador y ceder su calor, se reinyecta en el yacimiento, con objeto de mantener la presión en el mismo y de evitar el deterioro ambiental que, dado su alto contenido salino, podría causar su vertido superficial.

Además de elevadas cantidades de sales disueltas, el fluido geotérmico puede contener ciertos elementos y/o compuestos como el boro, arsénico, sulfuro de hidrógeno o CO₂, que pueden generar problemas de corrosión y precipitación que dañen y obstruyan las tuberías, en cuyo caso puede hacerse necesaria su eliminación.

La perforación de sondeos para el aprovechamiento de estos almacenes sedimentarios profundos puede realizarse mediante sistemas convencionales, idénticos a los empleados en

investigaciones geológicas o mineras. Los sondeos de extracción e inyección se pueden perforar en superficie a pocos metros de distancia entre sí, utilizando una sola plataforma de perforación. En profundidad, dichos sondeos pueden ser totalmente verticales o con un cierto grado de desviación. La separación en profundidad entre los dos sondeos debe determinarse previamente, con el fin de evitar que el avance del frente frío producido por la inyección del fluido enfriado pueda llegar a afectar significativamente al pozo de extracción (la vida de un **doblete** geotérmico suele ser de unos 20-25 años).

Los sondeos se aíslan de la formación de cobertera para imposibilitar fugas contaminantes y pérdida de calor.

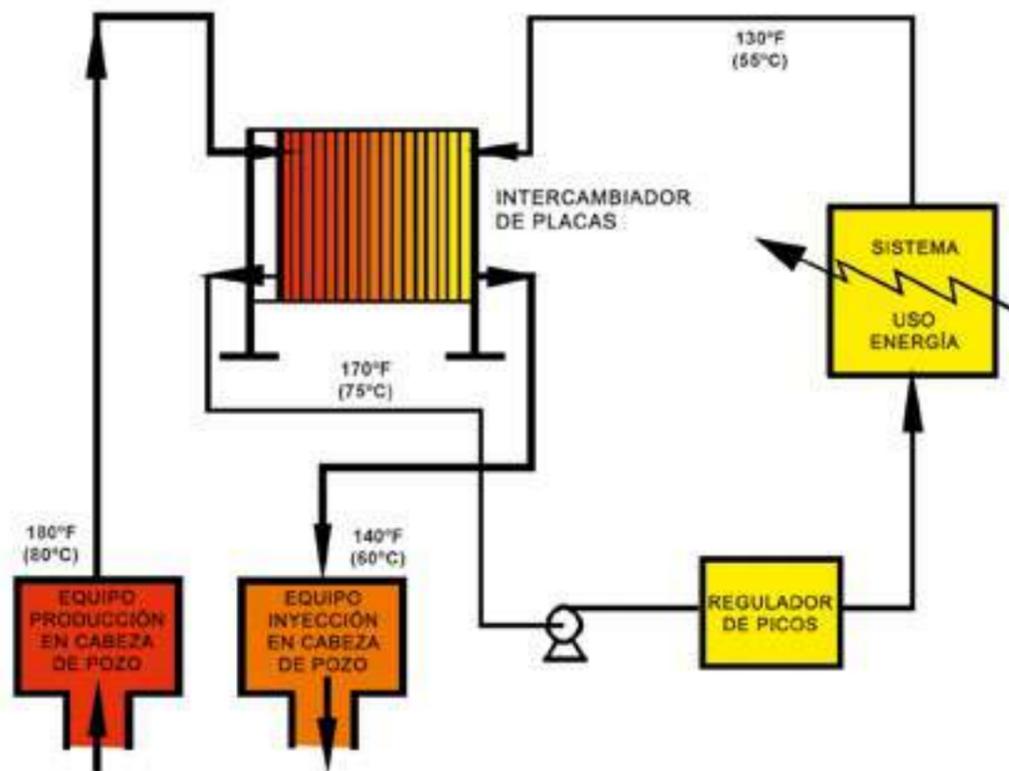


Figura 12. Esquema simplificado de un sistema de uso directo del calor geotérmico para calefacción

Fuente: KAGEL, A. *The State of Geothermal Technology - Part II: Surface Technology*. Geothermal Energy Association. January 2008

RECURSOS GEOTÉRMICOS DE BAJA ENTALPÍA. TECNOLOGÍAS DE APROVECHAMIENTO TÉRMICO DIRECTO DE YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS PROFUNDOS

Los recursos geotérmicos de baja entalpía se localizan habitualmente en zonas con un gradiente geotérmico normal, a profundidades entre 1.500 y 2.500 m, o bien a profundidades inferiores a los 1.000 m en zonas con un gradiente geotérmico más elevado.

En los sistemas de uso directo que explotan los recursos de baja temperatura localizados en almacenes sedimentarios profundos, se perfora un sondeo en el almacén geotérmico para obtener un flujo constante de agua caliente (fluido geotérmico). A través de este sondeo, el agua es elevada, generalmente por bombeo, hasta la superficie y conducida por un sistema de tuberías a un intercambiador, en el que se obtiene el calor necesario para el uso previsto. La explotación se realiza mediante **doblete** de sondeos, uno para extraer el fluido geotérmico –sondeo de extracción o explotación– y otro para reinjectarlo –sondeo de inyección–, tras ceder el calor, en el mismo yacimiento del que se obtuvo (figura 13).

La figura 13 refleja esquemáticamente una explotación de este tipo aplicada a un sistema de distribución urbana (tipo *District Heating*), mediante el cual se presta servicio a un conjunto de edificaciones pertenecientes al sector residencial y de servicios. Este sistema comprende tres circuitos:

- **Circuito primario**, formado por el equipo de bombeo y acondicionamiento del fluido geotérmico –situado en la boca del sondeo de extracción–, un intercambiador de placas, que transfiere el calor al circuito de distribución, y el sistema de reinyección de agua geotérmica fría al yacimiento.

- **Red de distribución**, constituida por un circuito cerrado de tuberías que distribuye el agua caliente a los puntos de demanda.

- **Circuito de distribución privado**, que se desglosa en otros dos circuitos, debido a su distinto nivel térmico: uno abierto de agua caliente sanitaria (ACS) formado por un intercambiador de calor, un depósito acumulador y un sistema de apoyo para suplir un posible déficit de calor geotérmico, y uno cerrado de calefacción, constituido por un intercambiador, las tuberías de distribución, los emisores de calor y un sistema de regulación y control.

Cabe señalar que los sistemas de climatización geotérmicos se adaptan mejor a las instalaciones de calefacción de baja temperatura –suelos radiantes o radiadores de baja temperatura– que a los sistemas tradicionales que emplean radiadores con agua a alta temperatura (70-80 °C).

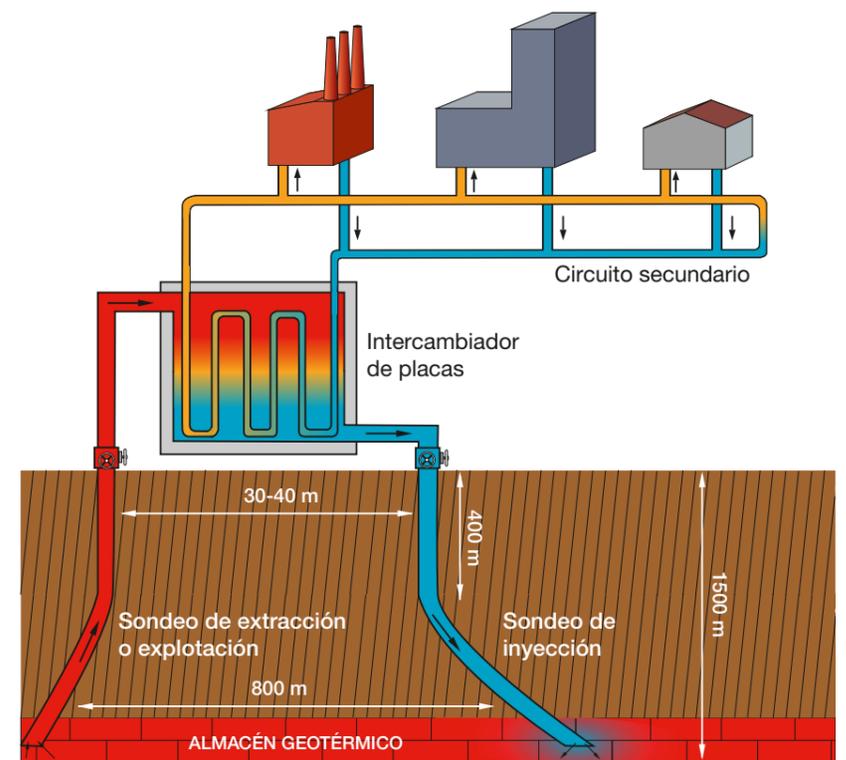


Figura 13. Aprovechamiento de recurso geotérmico profundo de baja temperatura con doblete geotérmico

RECURSOS GEOTÉRMICOS DE MUY BAJA ENTALPÍA. TECNOLOGÍAS DE APROVECHAMIENTO TÉRMICO DIRECTO EN GEOTERMIA SOMERA

Dada su estabilidad térmica frente a los cambios estacionales a partir de 15 m de profundidad, el subsuelo, en sus primeros 100-200 m, resulta un medio adecuado para proporcionar y almacenar energía térmica. El terreno presenta una conductividad térmica (capacidad para transmitir la energía) baja y una alta capacidad de almacenamiento de calor, de manera que su temperatura varía muy lentamente, tanto más cuanto mayor es la profundidad. Dicha temperatura se estabiliza a partir de unos 15-30 m de profundidad, pasando a estar controlada por el gradiente geotérmico, particularmente a partir de los 50 m de profundidad, y manteniéndose prácticamente constante para una misma profundidad a lo largo de todo el año. En la **figura 14** se observa un perfil de evolución en profundidad de la temperatura realizado en la localidad de Schwalbach (Alemania).

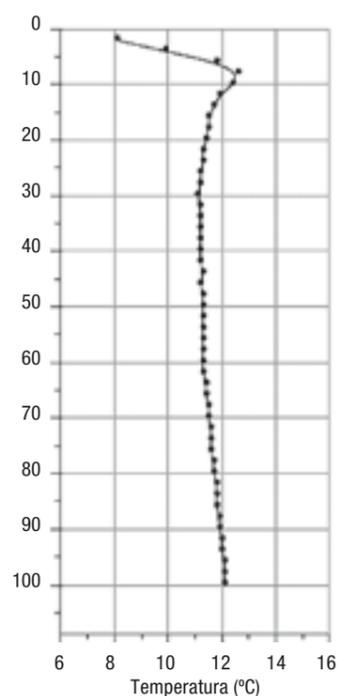


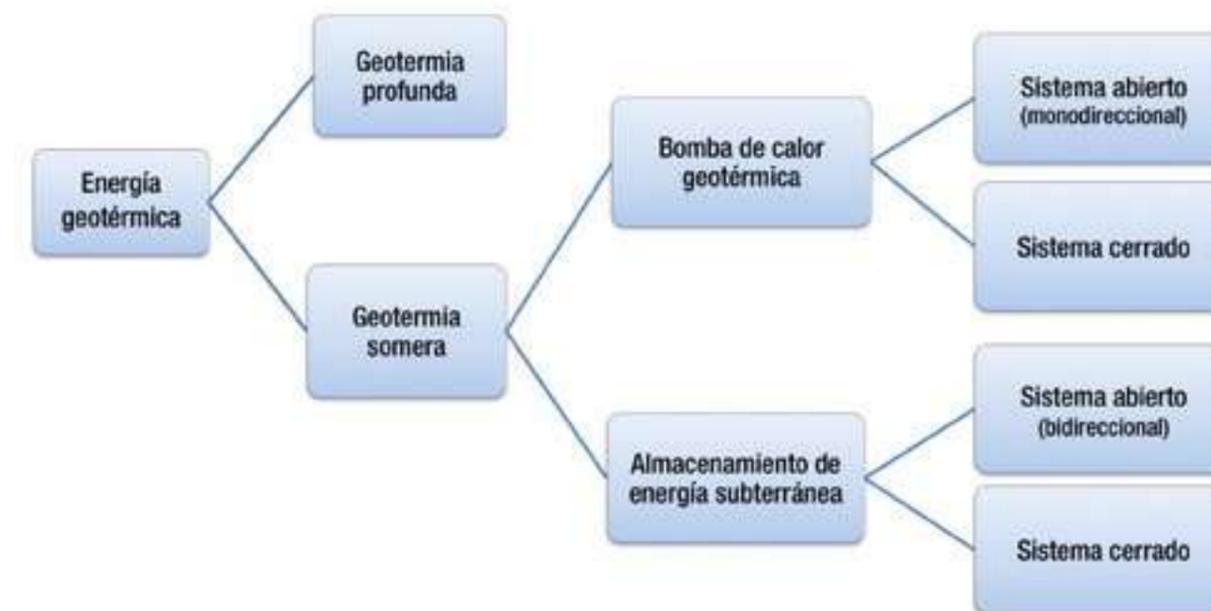
Figura 14. Evolución de la temperatura en profundidad en los 100 primeros metros (Fuente: UBeG GbR)

Las tecnologías para aprovechar esta energía almacenada en los primeros metros de la corteza terrestre son básicamente dos:

- **Bomba de calor geotérmica** (GHP: *Geothermal Heat Pump*), que puede ser reversible y actuar como máquina de refrigeración.
- **Almacenamiento subterráneo de energía térmica** (UTES: *Underground Thermal Energy Storage*).

En ambos casos, las tecnologías desarrolladas para aprovechar el calor del subsuelo son función de la accesibilidad del recurso geotérmico, y pueden clasificarse en dos tipologías principales que, a su vez, incluyen diferentes subtipos:

- **Circuitos abiertos**, basados en el uso de aguas subterráneas extraídas de un acuífero para su aprovechamiento. En este caso, el agua subterránea es el medio de transporte del calor. Implican la realización de una captación (pozo de bombeo) y, habitualmente, otro de inyección.
- **Circuitos cerrados**, cuyo fundamento es el empleo de un fluido –básicamente, agua con algún aditivo–, para extraer el calor de los materiales existentes a poca profundidad en el subsuelo o para disipar el calor portado y ser utilizado en refrigeración. Implican la instalación de un intercambiador –vertical u horizontal– en el terreno para el aprovechamiento energético, cuya pared separa el fluido termoportador de la roca y del agua subterránea.



La **tabla 2** refleja un conjunto de datos de particular interés para valorar la importancia de los diferentes usos directos de la energía geotérmica a escala mundial, correspondientes al año 2010.

| Usos | Año 2010 | | | RENDIMIENTO MEDIO GLOBAL $\eta\%$ |
|-------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------------|
| | POTENCIA INSTALADA (MW _t) | UTILIZACIÓN (TJ/año) | FACTOR DE CAPACIDAD* | |
| Bomba de calor geotérmica | 35.236 | 214.782 | 0,19 | COP**: 4-6 |
| Calefacción de recintos | 5.391 | 62.984 | 0,37 | 90-95 |
| Calentamiento invernaderos | 1.544 | 23.264 | 0,48 | 95-97 |
| Calentamiento estanques acuicultura | 653 | 11.521 | 0,56 | 89-90 |
| Secado productos agrícolas | 127 | 1.662 | 0,42 | 70-85 |
| Usos industriales | 533 | 11.746 | 0,70 | 70-75 |
| Baño y natación | 6.689 | 109.032 | 0,52 | -- |
| Refrigeración/fusión de nieve | 368 | 2.126 | 0,18 | -- |
| Otros | 41 | 956 | 0,73 | -- |
| TOTAL | 50.583 | 438.071 | 0,27 | -- |

*Porcentaje equivalente de horas de funcionamiento anual a plena carga de un determinado tipo de instalación (p. ej., un factor de capacidad de 0,70 significa un 70% de horas/año de funcionamiento a plena carga, es decir, 6.132 horas/año equivalentes)

**COP (Coefficient of Performance): ratio entre el calor extraído (para calefacción) y el consumo energético

Tabla 2. Potencia instalada, energía térmica utilizada y factor de capacidad correspondientes a usos directos de la energía geotérmica durante el año 2010
Fuente: Lund, J.W., & Others *Direct Utilization of Geothermal Energy 2010 Worldwide Review. Proceedings World Geothermal Congress 2010* (Bali, Indonesia)

Uno de los parámetros más importantes en el diseño de un sistema de captación de energía geotérmica es la longitud de la captación o de la perforación que será necesario realizar. En los **sistemas cerrados**, dicha longitud viene determinada principalmente por las propiedades térmicas del terreno, concretamente por la capacidad que tenga el terreno para transmitir la energía, esto es, la **conductividad térmica** del terreno.

La conductividad térmica es una propiedad característica de cada material que indica su capacidad de conducción del calor y se refiere al flujo de calor transmitido por conducción a través de un cuerpo sometido a un gradiente de temperatura de $1^{\circ}\text{C}/\text{m}$. Se expresa en $\text{W}/(\text{m}^{\circ}\text{C})$.

Este parámetro puede calcularse *in situ* realizando ensayos de respuesta térmica,

tales como el “Test de Respuesta Térmica”, método que permite conocer el valor de la conductividad térmica efectiva del terreno y de la resistencia térmica. Sin embargo, tiene difícil medida en laboratorio ya que las condiciones se ven modificadas y el resultado puede variar notablemente respecto del valor real.

Esta conductividad se expresa por medio del **coeficiente de conductividad del terreno**, que determina la cantidad de energía que pasa por unidad de tiempo y por una superficie de 1 m^2 , a una distancia de un metro, para crear un aumento de temperatura de 1 K . Dado que este parámetro es poco intuitivo, para el dimensionamiento de los sondeos o las sondas geotérmicas se emplea la **potencia térmica**, entendida como la capacidad de extracción de calor del terreno y expresada en W/m . Este parámetro

indica la potencia de extracción de calor por metro lineal de sonda, que varía generalmente entre 20 y $70\text{ W}/\text{m}$.

En el caso de los **sistemas abiertos**, la capacidad de intercambio térmico del terreno no resulta crítica. En este caso los parámetros básicos serían las propiedades hidráulicas, ya que determinan la capacidad para extraer/inyectar caudales suficientes. Pueden calcularse a partir de ensayos de bombeo convencionales. Además, se ven afectados por la calidad/propiedades químicas del agua, ya que pueden deteriorar la bomba y producir problemas, por ejemplo de corrosión o acumulación de sales, en las instalaciones. Por lo que la mala calidad de las aguas puede hacer inviable la instalación de este tipo de sistemas.

LA BOMBA DE CALOR EN LOS APROVECHAMIENTOS GEOTÉRMICOS

A. Fundamentos físicos

Una **bomba de calor** es una máquina que transfiere el calor desde un foco frío a otro caliente utilizando una cantidad de trabajo relativamente pequeña. Dado que, de forma natural, el calor fluiría en sentido contrario –del foco caliente al frío– hasta alcanzar un equilibrio de temperaturas, es necesario aportar energía para lo cual suele emplearse un compresor accionado por un motor. Las bombas de calor de uso más extendido están basadas en ciclos de compresión de un fluido refrigerante; sus componentes esenciales son los siguientes:

- El refrigerante: la sustancia que circula por la bomba de calor y que se encarga, alternativamente, de la absorción, transporte y liberación de calor.
- La válvula de inversión: controla la dirección del flujo del refrigerante en la bomba de calor.

- El evaporador: un intercambiador encargado de extraer el calor, en el cual el refrigerante absorbe el calor de su entorno y hierve para convertirse en vapor a baja temperatura.

- El compresor: comprime las moléculas del gas refrigerante, incrementando su temperatura.

- El condensador: un intercambiador encargado de ceder calor, en el que el refrigerante emite calor a su entorno y se transforma en un líquido.

- La válvula de expansión: libera la presión creada por el compresor y baja la temperatura del refrigerante.

La **figura 15** refleja, mediante un esquema muy sencillo, el funcionamiento de una bomba de calor. La ventaja de estos dispositivos frente a otros sistemas reside, pues, en su capacidad para aprovechar la energía existente en el ambiente (foco frío) –en

el aire, el agua o la tierra–, para proporcionar calor a las dependencias interiores (foco caliente) con una aportación relativamente pequeña de energía eléctrica. Cuando se realiza la transferencia de calor en sentido inverso, es decir, desde el recinto que requiere frío hacia el ambiente que se encuentra a temperatura superior, la bomba de calor trabaja en modo refrigeración.

El rendimiento de estas bombas de calor está relacionado con el rango de temperaturas entre la fuente de calor y el pozo al que se evacua el calor. En las bombas de calor utilizadas en los aprovechamientos geotérmicos, también denominadas bombas de calor geotérmicas o bombas geotérmicas, el rendimiento es mayor que en las bombas aire-aire ya que la temperatura del agua subterránea o el terreno es mucho más constante que la del aire y tiene unos valores relativamente próximos a los de calefacción o refrigeración. En definitiva, es necesaria menos energía por parte del compresor para mover el líquido caloportador que para mover el aire.

Esta es la razón por la que estas bombas geotérmicas tienen un rendimiento mucho más elevado que las bombas de calor aire-aire que tienen que extraer calor del aire exterior frío en invierno y evacuar calor al aire exterior caliente en verano.

Como cifras básicas de referencia se puede afirmar que, para una bomba de calor que opera en régimen de calefacción, por cada kWh de trabajo del compresor se introducen en el espacio a calentar $4,5\text{ kWh}$ de calor, de los cuales $3,5\text{ kWh}$ proceden del terreno, lo que significa que el consumo de energías convencionales es considerablemente inferior al de la energía geotérmica que se obtiene del subsuelo (ver **figura 15.b**).

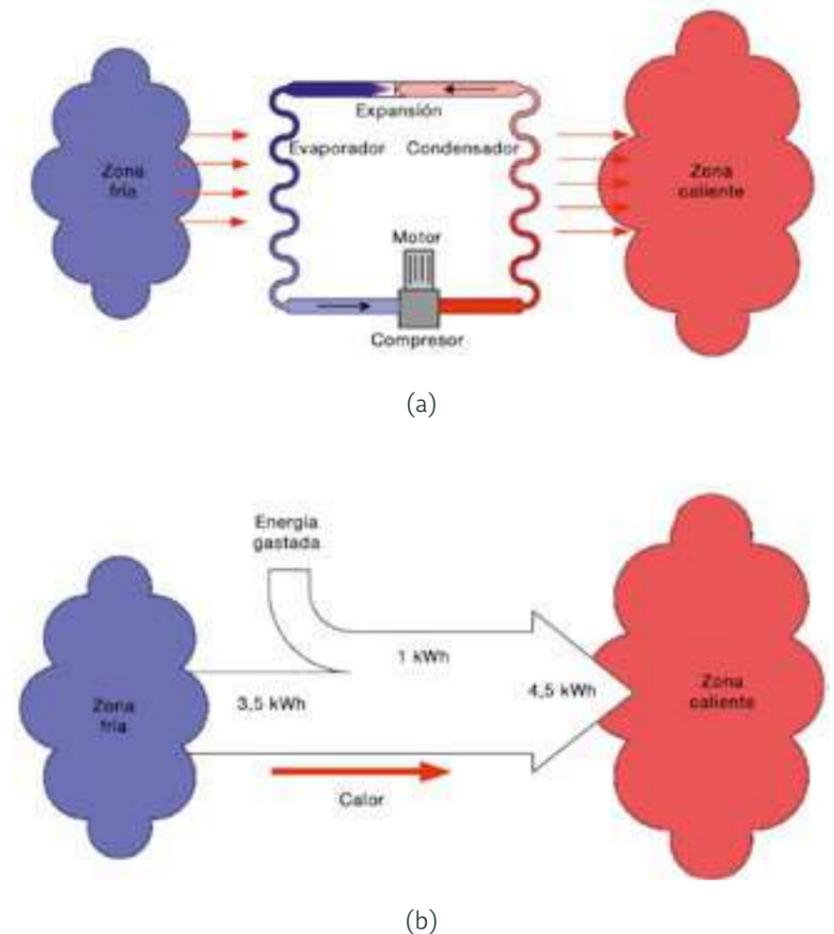


Figura 15. Componentes básicos (a) y balance de energía (b) de una bomba de calor por compresión en régimen de calentamiento. Fuente: *Guía Técnica de Bombas de Calor Geotérmicas*. FENERCOM (2009)

La **figura 16** muestra sendos esquemas de funcionamiento de la bomba de calor en modo invierno (calefacción) y verano (refrigeración), en los que aparecen los diferentes componentes anteriormente descritos. Cuando la máquina opera en modo calefacción (**figura 16.a**), en el evaporador el fluido refrigerante, a baja presión y temperatura, absorbe el calor transportado desde los colectores dispuestos en el subsuelo, que estarán recorridos por un fluido termoportador que puede ser la propia agua del acuífero (circuito abierto) o un fluido específico (circuito cerrado), generalmente una mezcla de agua y glicol, este último para evitar la congelación de la mezcla.

En el circuito de la bomba de calor existen tres fluidos diferentes:

- **Fluido calefactor o enfriador:** es el que circula desde la bomba de calor hasta los elementos finales del recinto (radiadores, suelo radiante, etc.).
- **Agente refrigerante:** es el que circula en circuito cerrado por los elementos de la bomba de calor.
- **Fluido geotérmico:** es el que extrae el calor del terreno en invierno o cede calor al terreno en verano.

El fluido refrigerante está en fase gaseosa desde la salida del evaporador (1) hasta la entrada al condensador (2) y en fase líquida desde la salida del condensador (3) hasta la entrada al evaporador (4).

Al absorber el calor, el fluido refrigerante pasa del estado 4 al 1, evaporándose completamente a presión constante. A continuación, el refrigerante, ya en estado vapor, pasa a un compresor accionado por un motor, que eleva su presión, temperatura y contenido energético hasta el estado 2. El refrigerante pasa entonces

al condensador, en el que cede a presión constante su energía en forma de calor al fluido de distribución de calefacción del recinto que se quiere calentar, como puede ser el agua que circula por los radiadores o por el suelo radiante. Debido a esta transformación, al salir del condensador –estado 3– el refrigerante vuelve a estado líquido, para pasar seguidamente a través de la válvula de expansión, donde se acondiciona el fluido rebajando su presión y temperatura hasta el estado 4, formado por una mezcla de vapor y líquido, con predominio de este último, completándose así el ciclo.

La **figura 16.b** muestra el funcionamiento de la bomba de calor en sentido inverso (modo refrigeración). Al absorber el calor Q_2 del recinto refrigerado, el fluido pasa del estado 4 (baja presión y temperatura) al estado vapor pero a baja presión. En este estado pasa por el compresor que eleva su presión y temperatura, pasando del estado 1 al estado 2. En este estado pasa por el condensador en el que cede su calor (paso de vapor a líquido) al fluido que circula por los sondeos geotérmicos (colectores) cediendo calor al terreno. El refrigerante en el estado 3 (baja temperatura y alta presión) debe pasar por la válvula de expansión donde su presión desciende hasta el estado 4 inicial.

En resumen, en modo calefacción (invierno) se extrae un calor Q_2 del terreno, para ceder Q_1 al recinto, siendo $Q_1 = Q_2 + W$ (energía consumida por el compresor), mientras que en modo refrigeración (verano) se extrae del recinto un calor Q_2 para ceder al terreno Q_1 , siendo $Q_2 = Q_1 + W$ (energía consumida por el compresor).

El **rendimiento o eficiencia energética** de la bomba de calor es el ratio que indica la relación entre la potencia térmica producida por la bomba de calor y la potencia eléctrica consumida para suministrarla. En modo cale-

facción, el rendimiento de la bomba se conoce como COP (*Coefficient of Performance*) y vendría, pues, definido como la cantidad de calor que se introduce en el recinto por cada kWh consumido en el compresor, es decir:

$$\text{COP} = \frac{Q_1}{W} = \frac{Q_2}{W} + 1$$

En modo refrigeración, el rendimiento de la bomba se conoce como EER (*Energy Efficiency Ratio*) vendría definido como la cantidad de calor que se consigue extraer del recinto a refrigerar por cada kWh consumido en el compresor, es decir:

$$\text{EER} = \frac{Q_2}{W} = \frac{Q_1}{W} + 1$$

Ello significa que, por ejemplo, para un COP = 5, de cada 5 kW introducidos en el recinto, 4 procederían del terreno y 1 de la propia energía que consume el compresor, mientras que para un EER = 5, por cada kWh del compresor se consigue evacuar 5 kWh del interior del recinto a refrigerar, cediendo al terreno 4 kWh.

En síntesis, la bomba de calor geotérmica extrae, pues, calor del subsuelo a una temperatura relativamente baja, aumentándola, mediante el consumo de energía eléctrica, para posibilitar su uso posterior en sistemas de calefacción. Asimismo, existe la opción de invertir el proceso en verano, inyectando en la tierra el calor absorbido en la refrigeración del recinto a climatizar. Esta tecnología representa, en muchos casos, la única posibilidad de aprovechamiento de los recursos de muy baja entalpía ($T < 30 \text{ }^\circ\text{C}$) asociados a la denominada **geotermia somera**, presentes prácticamente bajo cualquier terreno, y es, sin duda, la que mejor se adapta a las necesidades de climatización de edificios.

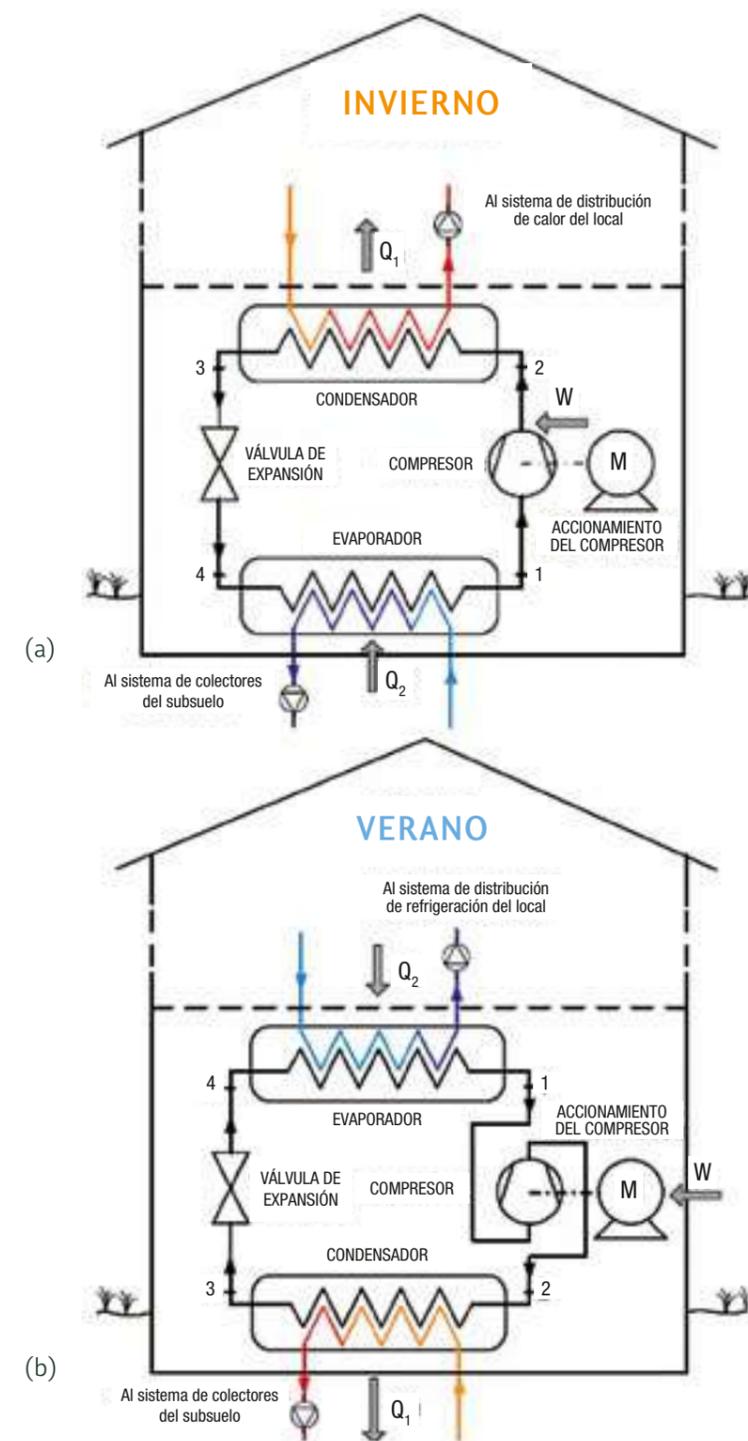


Figura 16. Bomba de calor geotérmica funcionando en modo calefacción (a) y refrigeración (b)
Fuente: Guía Técnica de Bombas de Calor Geotérmicas. FENERCOM (2009)

Según se indicó anteriormente, los sistemas que conectan la bomba de calor geotérmica con el subsuelo son, básicamente, de dos tipos: abiertos o cerrados; si bien existen otras modalidades que también serán objeto de consideración en el presente documento. Su elección dependerá de diversos factores, tales como las características geológicas e hidrogeológicas del terreno, dimensiones y uso de la superficie disponible, existencia de fuentes potenciales de calor y demanda de calefacción y refrigeración de los edificios. La **tabla 3** ofrece un resumen de las ventajas e inconvenientes de los sistemas abiertos (sondeos de extracción de aguas subterráneas) y los sistemas cerrados que emplean intercambiadores de calor verticales.

B. Sistemas abiertos

Se caracterizan porque el agente portador del calor es el agua subterránea que actúa, además, como medio para el intercambio del mismo. Estos sistemas precisan, al menos, de dos sondeos: uno de extracción y otro de inyección. El rendimiento de los sondeos de extracción debe ser el necesario para garantizar a largo plazo el flujo nominal necesario para el funcionamiento de las bombas de calor asociadas al sistema. Dicho rendimiento dependerá de las características hidrogeológicas locales, básicamente de los caudales extraíbles y de la temperatura del agua. En el caso de que el conocimiento previo de estas últimas fuese insuficiente, sería necesario perforar un primer sondeo con el fin de realizar los oportunos ensayos de bombeo o, incluso, la aplicación de técnicas geofísicas; dicho sondeo se emplearía posteriormente como pozo de extracción o inyección.

Como ya se ha indicado, la calidad del agua subterránea puede tener una

influencia considerable en el diseño y operación de la bomba de calor, especialmente en la sección de materiales a utilizar, por lo que debe ser objeto de una investigación previa. En numerosos casos, el fabricante de la bomba de calor exige la instalación previa de un intercambiador para que el agua subterránea no llegue a la bomba de calor y mantenga la garantía del equipo.

Las aguas con un potencial rédox bajo y las que presentan contenidos apreciables de hierro y manganeso, deben ser objeto de especial atención con el fin de prevenir incrustaciones, al igual que la de pH elevado, para evitar la precipitación de carbonatos. Asimismo, debe valorarse el riesgo de corrosión de la instalación asociado a su contenido salino. En tal sentido, todos los elementos metálicos que entren en contacto con el agua subterránea, tales como bombas sumergidas, tuberías, accesorios y válvulas, intercambiadores de calor, etc. deberán ser resistentes a la corrosión. También podría ser necesaria la instalación de filtros para proteger los intercambiadores.

La **figura 17** ofrece un sencillo esquema de aplicación de un sistema abierto al caso de una vivienda unifamiliar. Estos sistemas, bastante difundidos en España –sobre todo en zonas con acuíferos aluviales con buenas productividades y niveles piezométricos someros–, son sencillos, con bajos costes de inversión y elevados rendimientos, aunque con el inconveniente de que su explotación está sujeta a una tramitación administrativa compleja y dilatada.

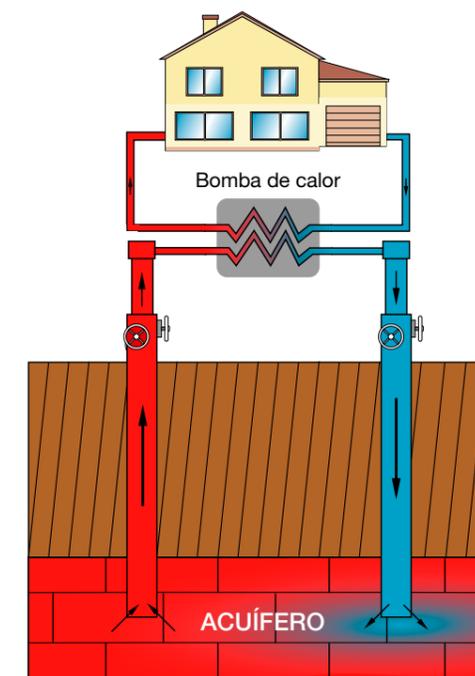


Figura 17. Aprovechamiento de recurso geotérmico contenido en acuífero. Sistema abierto

C. Sistemas Cerrados

Se basan en el empleo de intercambiadores enterrados. En el interior de dichos intercambiadores circula, en circuito cerrado, un fluido termoprotector –en los sistemas abiertos era el agua subterránea–, que cede la energía captada del subsuelo a la bomba de calor y viceversa. Obviamente, en estos sistemas las propiedades térmicas del terreno (conductividad y potencia térmica), muy favorables en formaciones saturadas de alta permeabilidad, desempeñan un papel esencial.

Como ya se ha comentado, la energía aportada por la radiación solar, precipitaciones y otros efectos atmosféricos es transferida diariamente a y desde la superficie de la tierra, produciéndose un equilibrio térmico. Como consecuencia de este equilibrio, la temperatura del suelo a partir de ciertas profundidades –aproximadamente 15-30 m– se mantiene constante y se aproxima a la temperatura media anual del aire ambiente en esa zona concreta. En este tramo superior la

temperatura variará dependiendo de la profundidad y de las propiedades térmicas del suelo.

Por debajo de los primeros metros y hasta una profundidad de unos 30 m, la temperatura del terreno es básicamente constante, y viene determinada por el intercambio térmico con la atmósfera y el sol, así como, en su caso, por la presencia de aguas subterráneas. Por debajo de dicha profundidad y hasta unos 50 m existe un gradiente geotérmico variable, al estar aún las temperaturas bajo la influencia de dichos fenómenos de intercambio superficial.

A partir de 50 m suele establecerse ya un gradiente geotérmico claro, lo que deviene en un incremento de la temperatura con la profundidad. Dicho incremento puede ser muy variable según las condiciones tectónicas y propiedades térmicas de los materiales –unos 15-30 °C/km en áreas tectónicamente estables y medios sedimentarios– y, además, puede presentar, según las zonas, una considerable heterogeneidad incluso sobre distancias horizon-

| SISTEMA ABIERTO (Sondeos de extracción de aguas subterráneas) | SISTEMA CERRADO (Intercambiadores de calor verticales) |
|---|--|
| Transporte de calor desde el subsuelo al pozo o viceversa por diferencia de presión (bombeo). | Transporte de calor desde el subsuelo al pozo o viceversa por diferencia de temperatura. |
| Ventajas: <ul style="list-style-type: none"> Alta capacidad con un coste relativamente bajo. Máxima eficiencia, al aprovechar directamente la fuente de calor/frío, a temperatura constante. | Ventajas: <ul style="list-style-type: none"> Sin mantenimiento regular. Seguro. Puede utilizarse prácticamente en cualquier lugar. |
| Desventajas: <ul style="list-style-type: none"> Autorizaciones requeridas. Mantenimiento de los pozos. Requiere de un acuífero con suficiente rendimiento y agua relativamente somera. La composición del agua es un factor limitante. | Desventajas: <ul style="list-style-type: none"> Capacidad limitada por pozo. Menor eficiencia térmica por requerir una fase más de intercambio. |

Tabla 3. Ventajas e inconvenientes de los sistemas abiertos y cerrados con sondeos
Fuente: Elaboración propia a partir de *Geotrained training manual for designers of shallow geothermal systems*.
GEOTRAINNET, EFG, Brussels 2011

tales pequeñas. Estas circunstancias deberán tenerse en cuenta a la hora de diseñar y dimensionar los intercambiadores geotérmicos para aplicaciones de muy baja entalpía basados en sistemas verticales.

Los intercambiadores de calor en circuito cerrado suelen clasificarse en dos grupos según su disposición en el terreno: horizontales y verticales.

- Intercambiadores horizontales.

Son los sistemas cerrados más fáciles de instalar, si bien para alcanzar el rendimiento proyectado requieren de superficies de terreno suficientemente amplias. Por ello, muy rara vez se utilizan en las instalaciones urbanas o suburbanas mientras que, en entornos rurales o en regiones de baja densidad de desarrollo, estos intercambiadores pueden tener ventajas sobre los colectores geotérmicos verticales, especialmente si existe un suelo suficientemente desarrollado. De hecho, la mayoría de los proyectos basados en intercambiadores horizontales se refieren a viviendas unifamiliares o a pequeñas instalaciones comerciales, mientras que los sistemas verticales son apropiados para grandes instalaciones, puesto que permiten una perfecta integración en la edificación sin comprometer grandes superficies de terreno.

En los sistemas horizontales, la realización de complejos análisis térmicos para diseñar los colectores no resulta justificada, entre otros motivos debido a que las mediciones de temperatura a corto plazo resultan, en estos casos, escasamente útiles, por cuanto están fuertemente condicionadas por las variaciones estacionales. En la práctica, la información que es imprescindible conocer para diseñar un sistema de colectores horizontales es, básicamente, la siguiente:

- Energía térmica que se necesita importar y exportar anualmente para satisfacer la demanda.
- Promedios de temperatura, radiación solar global, lluvia y nieve en la zona.
- Características del suelo.
- Productividad térmica estimada del suelo y posibilidad de mejorarla.
- Adecuación de la superficie de terreno disponible para proporcionar un rendimiento aceptable de la bomba de calor geotérmica.

Los intercambiadores horizontales pueden clasificarse de diferentes modos. Considerando el número de tubos, los hay sencillos, dobles, etc. y, según la dirección del fluido, se construyen en serie o en paralelo (figura 18).

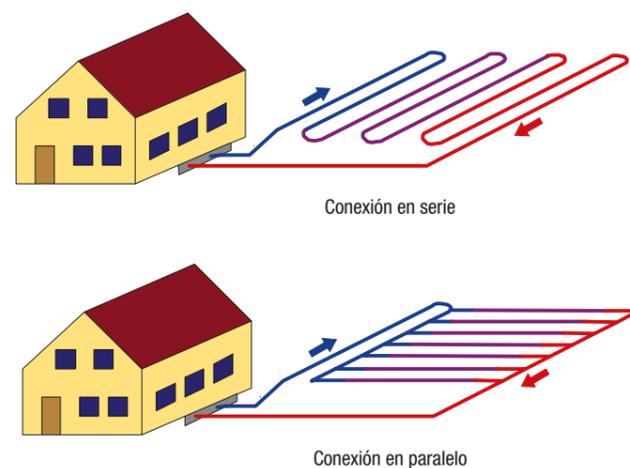


Figura 18. Sistema cerrado con intercambiador de calor horizontal en serie y en paralelo. Fuente: Mands, E., Sanner, B. *Shallow Geothermal Energy*. UBeG GbR, Zum Boden 6, D-35580 Wetzlar

En estas distribuciones con alta densidad de tuberías, lo habitual es retirar completamente la capa superficial del terreno, colocar las conducciones y, finalmente, cubrirlas con la tierra retirada. En el Norte de Europa y de América, donde el terreno es más barato, se prefiere un circuito más amplio, con tuberías situadas en zanjas (figura 19).

Las tuberías, normalmente de polietileno, de 25 a 40 mm de diámetro, por las que circula el líquido de intercambio térmico –agua o agua glicolada– se instalan en zanjas a una profundidad mínima de 0,90 m, en disposiciones que incluyen hasta seis tubos por zanja, si bien lo habitual es que sólo se coloquen dos.

Para solventar los problemas de espacio que, en ocasiones, se plantean con este tipo de colectores, se han desarrollado unos intercambiadores de calor especiales especialmente adecuados para sistemas que trabajan con bombas de calor para usos en calefacción y refrigeración. Un tipo de estos intercambiadores, los de tipo *slinky*, se basa en la colocación de bobinas de polietileno en el terreno, extendiendo las sucesivas espiras e intercalando tierra seleccionada o arena (figura 20). Dichas espiras pueden disponerse horizontalmente, en una zanja ancha, o verticalmente, en una zanja estrecha.

Estos colectores son ampliamente utilizados en EEUU pero sólo uno de sus tipos, el colector en zanja (*trench collector*), ha alcanzado cierta difusión en Europa, sobre todo en Austria y en el Sur de Alemania. En este caso, varias tuberías de pequeño diámetro se sujetan a las paredes inclinadas de una zanja, a varios metros de profundidad (figura 21).

La incidencia de la radiación solar sobre la superficie terrestre constituye el principal medio de recarga térmica de estos sistemas, por lo que es importante no cubrir la superficie situada por encima de las tuberías instaladas en el terreno. Normalmente, estos sistemas tienen un coste inferior al que supone la perforación de sondeos, pero presentan el inconveniente de requerir una considerable superficie con espesores ripables superiores a un metro,



Figura 19. Sistema cerrado con intercambiador de calor horizontal de un bucle. Fuente: Mands, E., Sanner, B. *Shallow Geothermal Energy*. UBeG GbR, Zum Boden 6, D-35580 Wetzlar

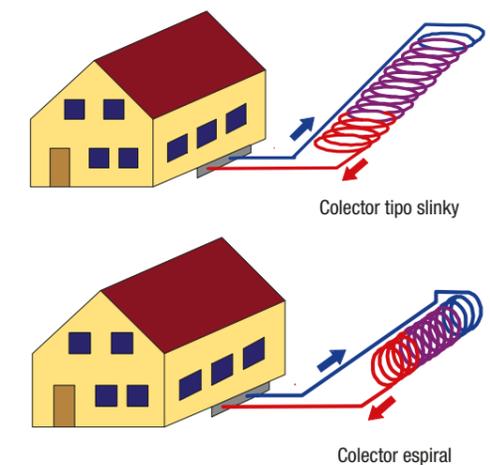


Figura 20. Sistemas cerrados con intercambiadores de calor de tipo bobina. Fuente: Mands, E., Sanner, B. *Shallow Geothermal Energy*. UBeG GbR, Zum Boden 6, D-35580 Wetzlar

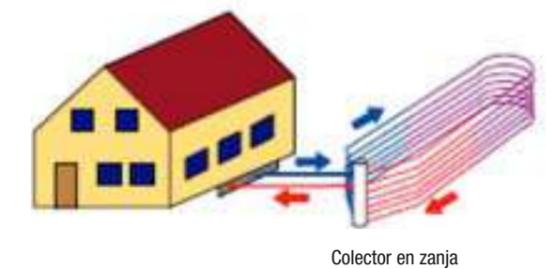


Figura 21. Sistema cerrado con colector en zanja. Fuente: Mands, E., Sanner, B. *Geothermal Heat Pumps*. UBeG GbR, Zum Boden 6, D-35580 Wetzlar

lo que no siempre es fácil de conseguir, además de estar sometidos a importantes variaciones de temperatura y humedad que afectan al rendimiento estacional.

Una variante de los sistemas cerrados con intercambiador horizontal son los denominados *sistemas de expansión directa*, en los que el intercambio térmico se realiza mediante la circulación del fluido refrigerante –el medio de trabajo de la bomba de calor– directamente por el circuito situado en el terreno. La ventaja de esta tecnología, limitada a las unidades más pequeñas, es que evita uno de los procesos de intercambio de calor, ofreciendo, de este modo, la posibilidad de mejorar la eficacia del sistema. En Francia y Austria, la expansión directa también se ha combinado con la condensación directa en los sistemas de calefacción de suelos. La **figura 22** ofrece algunas imágenes de intercambiadores horizontales enterrados.

- **Intercambiadores verticales.** Los sistemas cerrados con intercambiador vertical requieren la perforación de sondeos de profundidad variable –normalmente, entre 60 y 200 m– y pequeño diámetro –de 10 a 18 cm–, en los que se introducen colectores de calor –un doble tubo en el caso más sencillo– por los que circula el fluido termoportador. Estos dispositivos verticales de captación de calor se denominan *sondas geotérmicas* (**figura 23**).



Intercambiador horizontal de lazo.
Fuente: Davofrio



Intercambiador horizontal en bucles de tipología slinky horizontal.
Fuente: Green Building Advisor

Figura 22. Intercambiadores horizontales

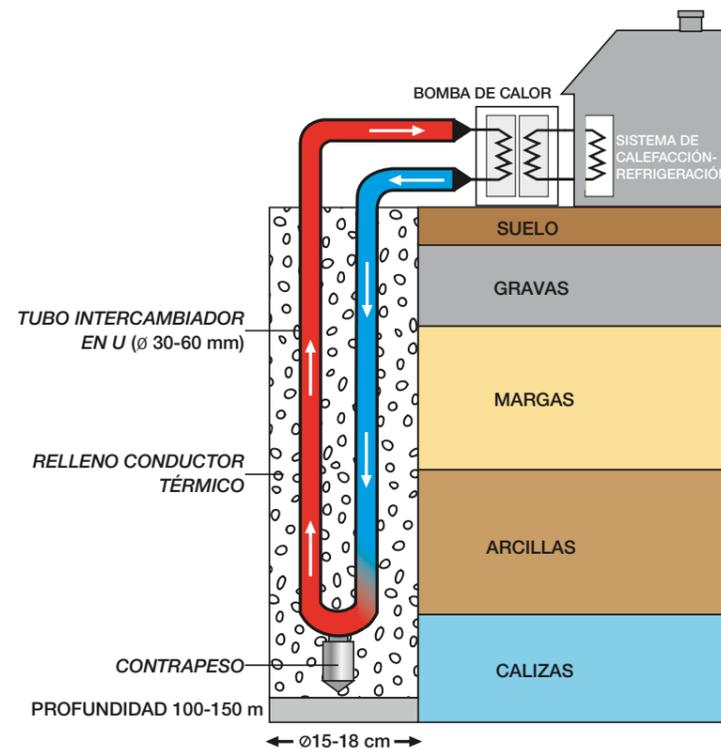


Figura 23. Sonda geotérmica vertical. Sistema cerrado

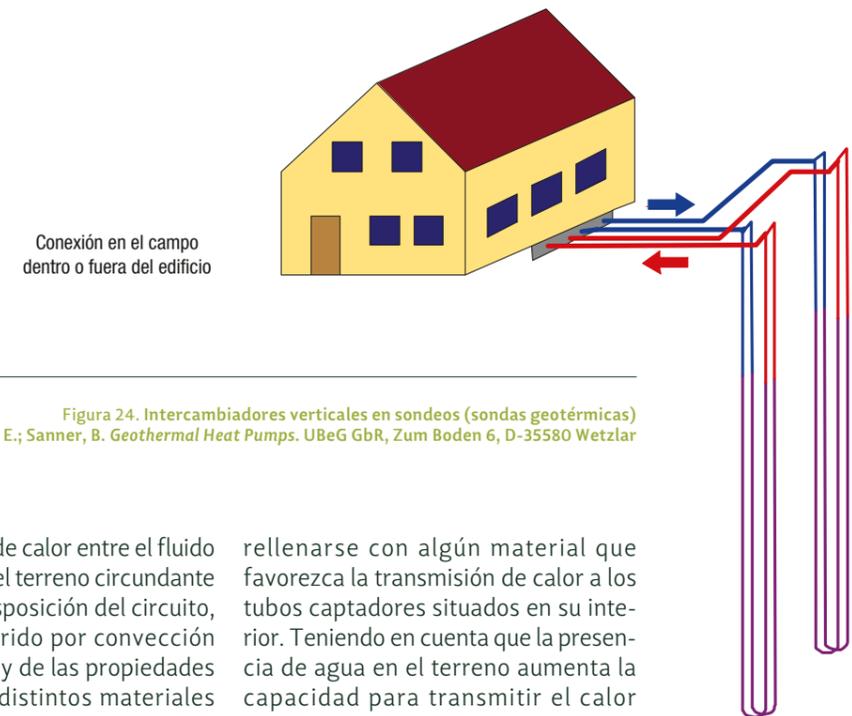


Figura 24. Intercambiadores verticales en sondeos (sondas geotérmicas)
Fuente: Mandt, E.; Sanner, B. *Geothermal Heat Pumps*. UBeG GbR, Zum Boden 6, D-35580 Wetzlar

La transferencia de calor entre el fluido termoportador y el terreno circundante depende de la disposición del circuito, del calor transferido por convección en los conductos y de las propiedades térmicas de los distintos materiales implicados en el proceso térmico. Las resistencias térmicas asociadas con estos diferentes elementos pueden agruparse en dos: la resistencia térmica entre el fluido portador de calor y la pared del pozo –comúnmente denominada como *resistencia térmica del pozo*–, y la resistencia térmica del terreno que rodea a dicha pared. Es importante señalar que la influencia del tipo seleccionado de intercambiador de calor del pozo es baja en comparación con la influencia del terreno circundante.

La fuente de recarga de la energía térmica captada por los intercambiadores verticales es, en la zona superficial, la radiación solar y, en la zona inferior, el flujo de calor geotérmico, con cierta influencia, en su caso, del agua subterránea circulante o de las aguas percoladas. Durante el funcionamiento de la bomba de calor geotérmica, en calefacción se registra un descenso de la temperatura del terreno en torno al sondeo, al que hay que unir el derivado de la resistencia térmica del propio sondeo antes mencionada, del que son responsables el material de relleno del mismo y las paredes del intercambiador.

Para reducir las pérdidas de temperatura en los sondeos, éstos deben

rellenarse con algún material que favorezca la transmisión de calor a los tubos captadores situados en su interior. Teniendo en cuenta que la presencia de agua en el terreno aumenta la capacidad para transmitir el calor geotérmico, en el caso de que en el sondeo no la haya, lo más recomendable es un relleno de gravas, arenas permeables u otros materiales térmicamente mejorados para incrementar la conductividad térmica y disminuir las referidas pérdidas.

Para el diseño de una sonda geotérmica, se requiere el conocimiento previo de la conductividad térmica del terreno, la humedad natural del suelo, la presencia o no de aguas subterráneas y el tipo de requerimientos de la instalación prevista. Además, resulta clave la potencia de extracción de calor por metro lineal de sonda. En los casos en que se precisan potencias mayores a las habituales –entre 20 y 70 W/m–, pueden emplearse campos de sondas geotérmicas, en número de 4 a 50 y profundidades que oscilan entre 50 y 200 m, dependiendo de la potencia requerida y de las condiciones geológicas locales. Los colectores de las sondas pueden disponerse junto a las edificaciones o debajo de ellas, o bien pueden situarse en el exterior, en zanjas realizadas en el terreno (**figura 24**). Los campos de sondas geotérmicas pueden constituir una base adecuada para los sistemas de almacenamiento subterráneo de energía térmica, a los que se hará referencia más adelante.

Las instalaciones que disponen de bomba de calor acoplada a circuitos cerrados con intercambiadores verticales son de dimensiones muy variadas: desde viviendas unifamiliares con un solo intercambiador hasta grandes edificios que requieren campos con un importante número de sondas geotérmicas. Una de las instalaciones dotada con mayor número de intercambiadores verticales instalados en Europa para dar servicio a un único edificio corresponde a las oficinas centrales de Control del Tráfico Aéreo Alemán (*Deutsche Flugsicherung*): un total de 154 perforaciones de 70 m de profundidad cada una.

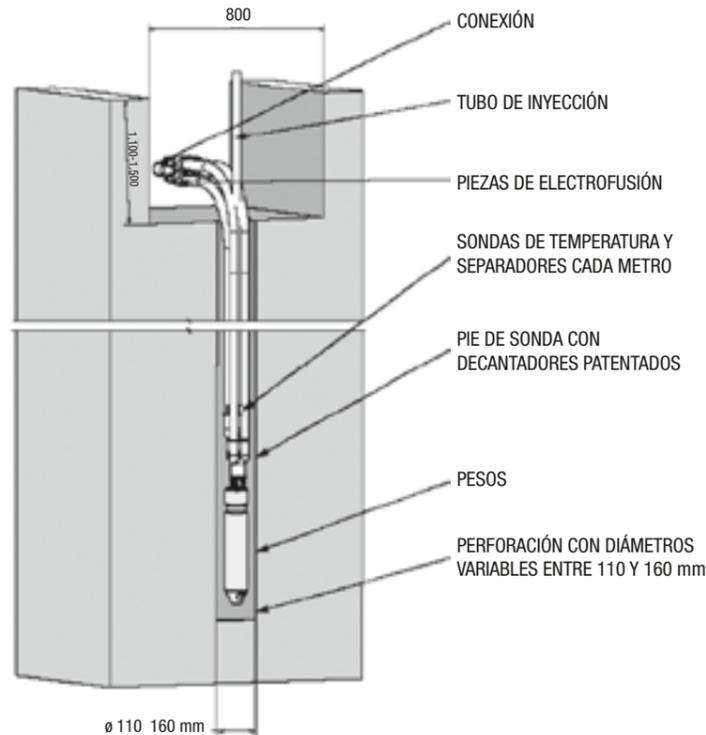


Figura 26. Intercambiador de calor vertical

Para un número considerable de instalaciones de pequeña envergadura –por ejemplo, una comunidad de 60 viviendas unifamiliares con dos sondas geotérmicas por vivienda–, cuanto menor sea la distancia entre perforaciones, mayor deberá ser la profundidad de los intercambiadores.

- **Con tubos coaxiales.** El sistema de captación, en su disposición más simple, consta de dos tubos concéntricos de diferente diámetro. Existen configuraciones más complejas que incluyen un mayor número de tubos colectores.

Los tubos captadores a instalar en el interior del sondeo pueden presentar distintas configuraciones que, básicamente, se ajustan a los siguientes tipos básicos (figura 25):

Los intercambiadores de calor del pozo suelen suministrarse prefabricados. Están formados por tuberías de polietileno o polipropileno, cuyo diámetro varía normalmente entre 3/4" (25 mm) y 2" (63 mm), en función del caudal circulante y la longitud del circuito (figura 26). Su instalación habitualmente corre a cargo de la propia empresa de perforación.

- **Con tubos en U.** El sistema de captación consiste en un par de tubos unidos en su base mediante un codo de 180°, cuyas salidas se conectan al circuito primario de las bombas de calor geotérmicas. En cada sondeo pueden instalarse, dependiendo de su diámetro de perforación, hasta cuatro de estos pares de tubos en U, existiendo también la posibilidad de dar a estos pares un mayor recorrido a lo largo de varias sondas. La ventaja de esta configuración es el bajo coste del material de los tubos, circunstancia que ha contribuido a que los intercambiadores verticales de este tipo sean los más utilizados en Europa.

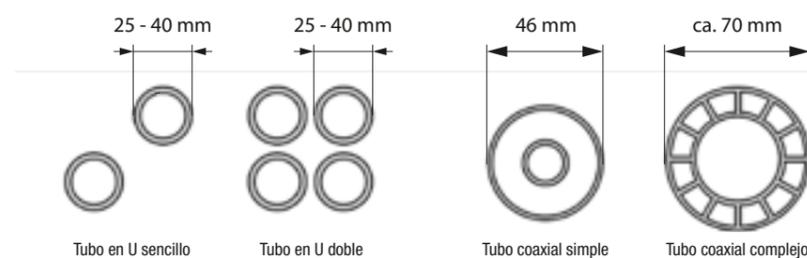


Figura 25. Secciones de diferentes tipos de intercambiadores verticales. Fuente: Mands, E.; Sanner, B. *Geothermal Heat Pumps*. UBeG GbR, Zum Boden 6, D-35580 Wetzlar

D. Pilotes geotérmicos

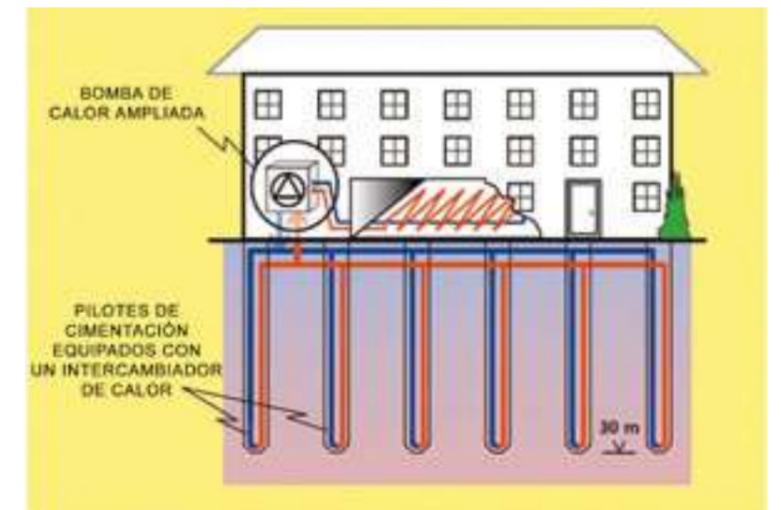
Reciben también el nombre de *cimientos geotérmicos*, *energéticos* o *termoactivos*, *geoestructuras* o *pilotes intercambiadores de calor*. Constituyen una variante de los sistemas cerrados, que aprovecha las estructuras de cimentación profunda de los edificios para captar y disipar la energía térmica del/al terreno. En este caso, los propios pilotes de la cimentación –piezas de hormigón armado– actúan como sondas geotérmicas, lo que convierte a la estructura en un campo de sondas (figura 27). Los pilotes utilizados pueden ser prefabricados o montados *in situ*, con diámetros que varían entre 40 cm y más de 1 m. También puede aplicarse en zapatas, losas, muros pantalla, etc.

Este sistema se basa en insertar en la totalidad o en una parte de los pilotes, una red de tubos de polietileno, propileno o PVC en forma de conductos en U, por los que se hace circular agua con un anticongelante, que se conectan en circuito cerrado a una bomba de calor o a una máquina de refrigeración. En cada pilote, sujetos a la armadura metálica de este, pueden situarse varios pares de tubos independientes (figura 27), que convergen en superficie en un colector común. Una vez colocada la armadura del pilote en la excavación, este se rellena con hormigón, de forma maciza o dejando el centro hueco.

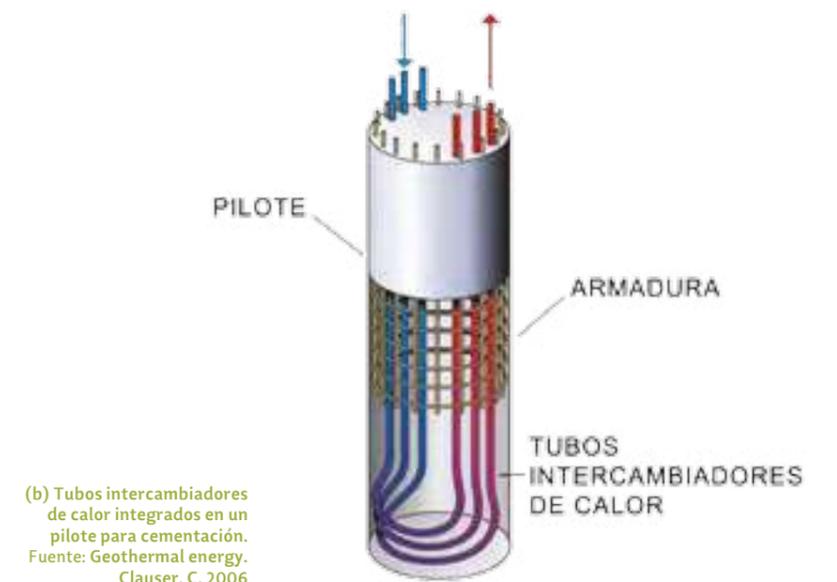
La red de tubos intercambiadores constituye la alimentación a la bomba de calor geotérmica –una o varias, en función de las necesidades del edificio–, conformando la instalación de climatización e, incluso, de agua caliente sanitaria.

Para realizar un proyecto de cimentación termoactiva es preciso integrar esta tecnología dentro de la propia

planificación de la obra desde el primer momento. Asimismo, es necesario conocer en detalle las condiciones mecánicas del suelo, las características hidrogeológicas del emplazamiento así como los distintos sistemas de cimentación a utilizar. Para lograr el máximo aprovechamiento del recurso geotérmico, se debe realizar una simulación tridimensional de todas las condiciones dinámicas que intervienen en el proyecto, así como realizar un estudio energético detallado del proyecto geotérmico completo, incluyendo la bomba de calor y los restantes subsistemas. La figura 28 ofrece unas imágenes de estos sistemas.



(a) Sistema pilotes energéticos para calefacción y refrigeración. Fuente: Infos-Geothermie n° 1. Suisse énergie. 2001



(b) Tubos intercambiadores de calor integrados en un pilote para cimentación. Fuente: Geothermal energy. Clauser, C. 2006

Figura 27. Pilotes geotérmicos

Esta tecnología, que años atrás solo se utilizaba en viviendas individuales y plurifamiliares, es en la actualidad una de las más empleadas para calentar y refrigerar edificios de grandes dimensiones. Ofrece, como ventajas, un considerable ahorro de trabajo, al desarrollarse de forma conjunta los proyectos de climatización y de construcción, así como de espacio, al situarse todo el circuito de intercambio debajo del edificio a climatizar. Su principal inconveniente es la dificultad o, prácticamente, la imposibilidad de reparar los tubos captadores una vez instalado y hormigonado el pilote. Por este motivo, lo habitual es sobredimensionar el número de pares de tubos captadores para, en caso de que alguno quede inutilizado, contar con el mínimo necesario para garantizar el suministro de calor a las bombas geotérmicas.



(a) Vista axial de un pilote activado con sondas geotérmicas
Fuente: Technische Universität Darmstadt

También es posible embutir tubos captadores que alimenten bombas de calor geotérmicas en estructuras de sostenimiento lateral o de bóveda de túneles de ferrocarriles subterráneos que circulan bajo grandes ciudades, con el objetivo de climatizar las propias estaciones o los edificios situados en zonas próximas. La climatización de la estación U2/3 Praterstern del ferrocarril subterráneo de Viena constituye un ejemplo de esta aplicación.



(b) Losa de cimentación con capacidad de intercambio geotérmico
Fuente: Ingeosolum

Figura 28. Cimentaciones geotérmicas

E. Otros sistemas

En este grupo se incluyen los sistemas que no pueden calificarse, de forma categórica, como abiertos o cerrados. Sería el caso de los pozos de tipo columna y de los aprovechamientos de aguas de minas y túneles.

- **Pozos de tipo columna.**- El emplazamiento idóneo resulta en acuíferos multicapa. El agua se bombea desde un pozo y, tras abandonar la bomba de calor, se devuelve al mismo a través de la grava que rellena el anular del sondeo (figura 29). Los pozos de este tipo necesitan alcanzar cierta profundidad para que el aporte de energía sea suficiente para que el agua no se congele, de modo que, en la mayoría de las instalaciones, las perforaciones tienen varios cientos de metros de profundidad. Se conocen ejemplos en Europa (Suiza y Alemania) y en EEUU. Considerando los costes perforación, esta tecnología no resulta adecuada para pequeñas instalaciones.

- **Aguas de minas y túneles.**- Se trata de aguas subterráneas procedentes de grandes obras de tunelación, que atraviesan macizos rocosos y cortan los correspondientes niveles. Por ello, su temperatura se mantiene constante durante todo el año y es fácilmente accesible. Estas aguas pueden llegar a constituir un potencial geotérmico importante, como sucede en Suiza, donde alcanzan, en grandes túneles, temperaturas de hasta 30°C. Este país ofrece varios e interesantes ejemplos, como es, en la localidad suiza de Oberwald, el acceso oeste del túnel ferroviario de Furka, donde las aguas de este (5.400 L/min de caudal y 16°C de temperatura) se transportan por gravedad hasta la ciudad para su aprovechamiento en la climatización de apartamentos y de un centro deportivo. Igualmente, en Airolo, también en Suiza, el agua del túnel de la carretera de Gotthard (6.700 L/min a 17 °C) constituye la fuente de calor que alimenta una bomba geotérmica instalada para climatizar el centro de mantenimiento de la carretera.

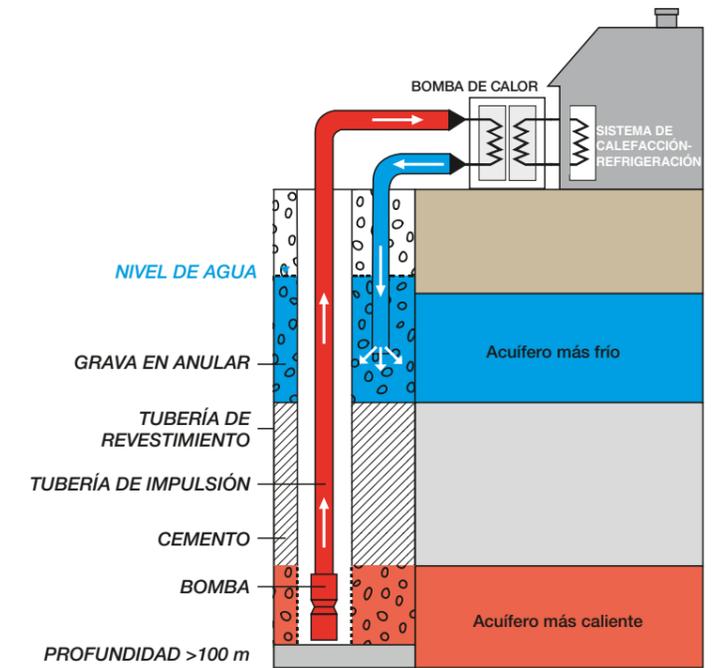


Figura 29. Pozo tipo columna

Las antiguas explotaciones mineras subterráneas representan un caso particular de este tipo de aprovechamientos, pues muchas de ellas proporcionan aguas subterráneas con un considerable potencial geotérmico. Cabe citar, como ejemplo, el Proyecto Barredo, en Asturias, que prevé concentrar las aguas de varios pozos cerrados o en vías de cierre en

un solo caudal, que se estima alcanzará los 10 hm³/año, a una temperatura de 20 °C, para uso en una bomba geotérmica destinada a la calefacción de instalaciones. Otro ejemplo es el de Ehrenfriedersdorf (Alemania), donde se aprovecha el agua de una mina de estaño abandonada en la instalación de climatización de una escuela (figura 30 A).

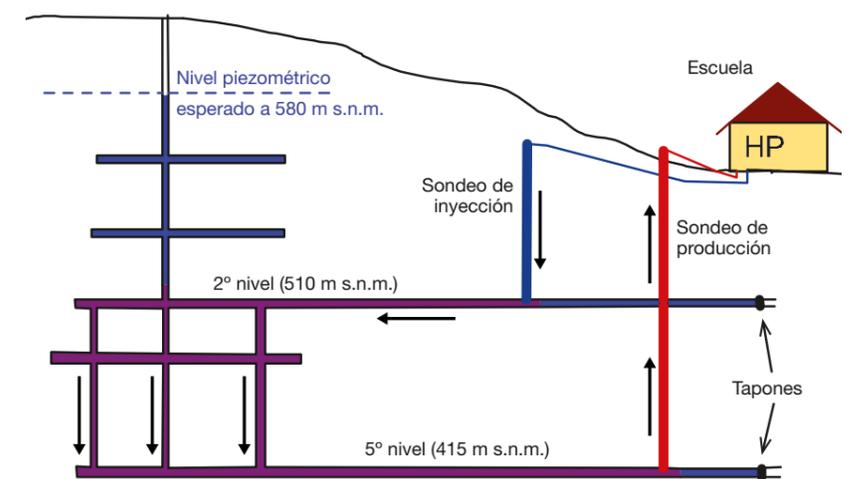


Figura 30 A. Funcionamiento de una bomba de calor geotérmica con agua de mina.
Fuente: Mands, E.; Sanner, B. Geothermal Heat Pumps. UBeG GbR, Zum Boden 6, D-35580 Wetzlar

- **Sistemas tierra-aire.**- Permiten el pretratamiento del aire de renovación del sistema de climatización de un edificio, mediante su circulación por un conjunto de tuberías enterradas –los denominados *pozos provenzales* o *pozos canadienses*–, que permiten, con un mínimo consumo, reducir el salto térmico existente entre el exterior y el interior del edificio. El aire así pre-acondicionado se conduce al recuperador de calor y a las climatizadoras reduciendo la carga térmica de la climatización de manera notable. El edificio industrial y administrativo *Schwerzenbacherhof*, cerca de Zurich (Suiza), constituye un ejemplo de aplicación de estos sistemas, cuyo uso aún no está muy extendido.

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO SUBTERRÁNEO DE ENERGÍA TÉRMICA

Mientras las bombas de calor permiten aumentar o disminuir la temperatura procedente de una fuente de calor geotérmica a un nivel utilizable, los sistemas de almacenamiento subterráneo de energía térmica, conocidos en inglés como *Underground Thermal Energy Storage (UTES)*, aumentan o disminuyen la temperatura del suelo mediante el almacenamiento o la extracción de calor. En la **tabla 4** se ofrece una valoración de la aplicabilidad de uno y otro sistema en función de las condiciones climáticas:

| Tipo de clima | Condiciones climáticas | Bomba de calor | Almacenamiento subterráneo |
|---------------|---------------------------------------|--------------------------|---|
| Tropical | Calor Sin estaciones | Ocasionalmente aplicable | No aplicable |
| Árido | Calor Noches frías | Ocasionalmente aplicable | Almacenamiento de frío noche/día |
| Mediterráneo | Veranos calurosos Inviernos suaves | Ocasionalmente aplicable | Almacenamiento estacional de calor y frío |
| Marino | Veranos calurosos Inviernos más fríos | Aplicable | Almacenamiento estacional de calor y frío |
| Continental | Veranos calurosos Inviernos fríos | Muy aplicable | Almacenamiento estacional de calor y frío |

Tabla 4. Factibilidad de la bomba de calor y del almacenamiento subterráneo de energía térmica según las condiciones climáticas
Fuente: Elaboración propia a partir de *Geotrained training manual for designers of shallow geothermal systems*. GEOTRAINET, EFG, Brussels 2011

Como en el caso de la bomba de calor geotérmica, la conexión con el subsuelo puede realizarse mediante sistemas abiertos o cerrados:

- **Sistemas abiertos: almacenamiento en acuíferos** o *Aquifer Thermal Energy Storage (ATES)*.- Estos sistemas, en los que el agua subterránea es el medio de transporte del calor, se caracterizan por una alta porosidad, una conductividad y transmisividad hidráulicas medias a bajas y un flujo de agua subterránea reducido o nulo. Son un ejemplo los acuíferos porosos en arenas y gravas y

los acuíferos fracturados en calizas, areniscas y rocas ígneas o metamórficas (**Figura 30 B**).

- **Sistemas cerrados: almacenamiento en perforaciones** o *Borehole Thermal Energy Storage (BTES)*. Los almacenes de este tipo incluyen perforaciones y tuberías, y requieren un terreno con alto calor específico, conductividad térmica media y ausencia de flujo de agua subterránea. La mayoría de las rocas del subsuelo pueden adaptarse a este tipo de uso.

El almacenamiento de frío es cada vez más frecuente, ya que los costes de refrigeración de espacios son, habitualmente, bastante elevados. Los sistemas UTES se emplean también para almacenar el calor de la radiación solar para su posterior utilización en calefacción en el invierno. Ejemplos de estas aplicaciones son la instalación de Neckarsulm (Alemania), donde un sistema BTES se recarga con calor procedente de placas solares y se aprovecha en un sistema de calefacción urbano o la existente en Berlín, donde el calor residual procedente de una planta de cogeneración de calor y electricidad en el verano, se almacena en un ATES para su uso en calefacción durante el invierno. La planta berlinesa suministra calor y frío a los edificios del Parlamento Alemán y, por vez primera, incorpora dos sistemas ATES a diferentes niveles: el superior para el almacenamiento de frío y el inferior para el almacenamiento de calor (hasta 70 °C).

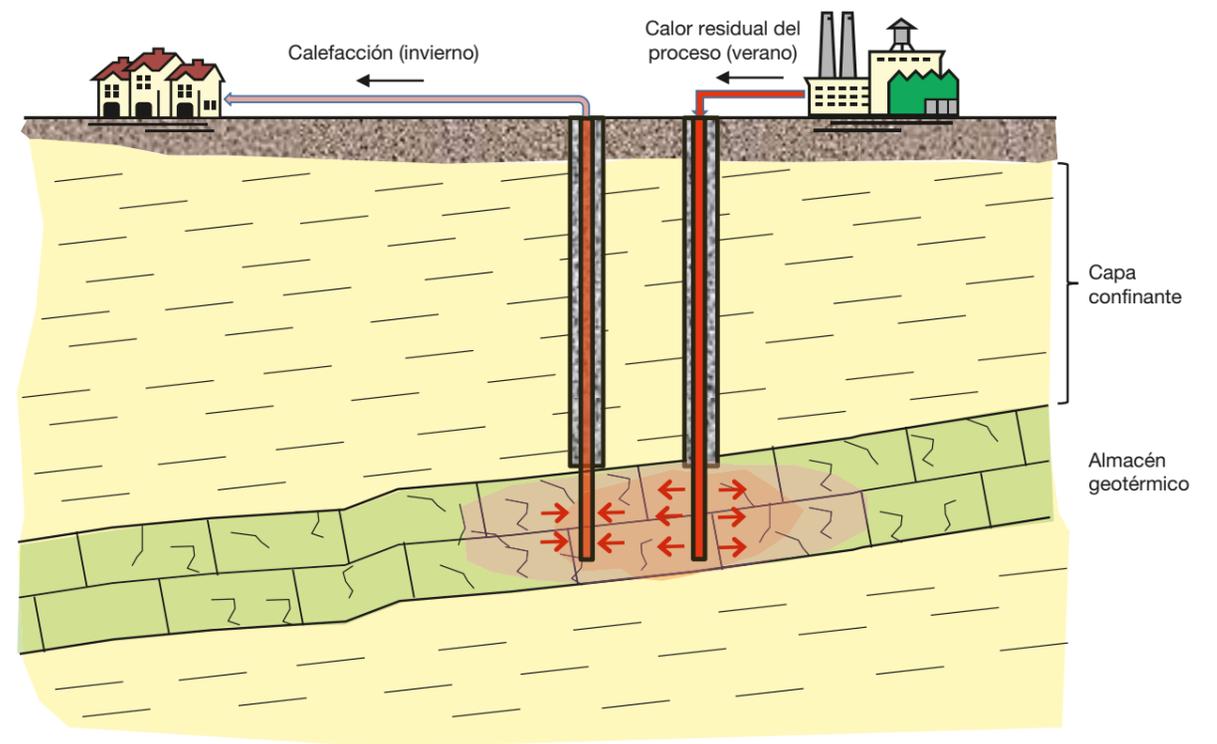


Figura 30 B. Sistema abierto de almacenamiento en acuífero (ATES)

3

POSIBILIDADES DE APROVECHAMIENTO EN LA PROVINCIA DE ALICANTE

[3.1] YACIMIENTOS DE ALTA TEMPERATURA MUY PROFUNDOS. SISTEMAS GEOTÉRMICOS ESTIMULADOS (EGS)

Metodología

Los emplazamientos de proyectos de Sistemas Geotérmicos Estimulados (EGS) llevados a cabo hasta la fecha en EEUU, Europa, Asia y Australia son de muy diversa índole geológica y condiciones estructurales, desde masas de roca dura compactas e impermeables a áreas de fracturas distensivas abiertas y permeables pasando por masas de roca fisurada pero con muy baja permeabilidad. Prácticamente todas las experiencias llevadas a cabo han sufrido una notable evolución en su desarrollo, separándose el modelo final investigado de lo inicialmente programado

Solo dos condiciones son comunes a todos los tipos de situaciones geológicas: por una parte, los almacenes de roca caliente están constituidos por materiales duros, del tipo de los basamentos graníticos y metamórficos, generalmente recubiertos por potentes series sedimentarias; y por otra parte, existe en menor o mayor medida, una ligera anomalía térmica respecto al gradiente geotérmico medio de la Tierra, que se considera del orden de 1,5-3 °C/100 m. Esta anomalía puede ser del orden de 4-5 °C/100 m.

De acuerdo con los criterios actuales de la tecnología, las condiciones más propicias para el desarrollo de un sistema geotérmico estimulado (EGS) se pueden resumir en los siguientes puntos:

- a) Presencia de masa de roca dura, ígnea o metamórfica, con baja permeabilidad en su matriz.
- b) Existencia de fracturación regional, preferentemente de tipo distensivo que afecte a la masa rocosa en profundidad, pero con muy baja permeabilidad.
- c) Existencia de un cierto grado de anomalía geotérmica.

Con estos criterios, dos de ellos geológicos de tipo litológico-estructural y el tercero relacionado con la estructura interna de la Tierra y el flujo de calor, es posible realizar una selección de áreas de interés en un ámbito geográfico determinado. Para ello será necesario analizar los siguientes temas:

- 1) Para satisfacer el primer criterio se debe estudiar la localización de las rocas del basamento paleozoico: áreas de existencia y profundidad.

Ello se puede plasmar en un mapa de isobatas o profundidad del techo de dicha formación geológica o un mapa de isopacas o espesores de los materiales sedimentarios suprayacentes.

- 2) Para satisfacer el segundo criterio se debe estudiar la sismicidad y fracturación en el ámbito geográfico analizado plasmando el resultado en mapas de sismicidad y fracturación, con selección de áreas de mayor actividad y fracturación.

- 3) Finalmente para el último criterio, se debe estudiar la distribución de temperaturas en el subsuelo con la elaboración de mapas de gradientes geotérmicos, para detectar la existencia de zonas con cierto grado de anomalía que pueden ser seleccionadas.

En los apartados siguientes se analizan el cumplimiento de estas tres condiciones en el ámbito territorial de la provincia de Alicante.

EXISTENCIA DE ROCA DURA, ÍGNEA O METAMÓRFICA DE BAJA PERMEABILIDAD

Este tipo de roca constituyente del basamento paleozoico del Macizo Ibérico, se presenta en el subsuelo de la provincia de Alicante, subyaciendo a los materiales sedimentarios plegados del Subbético y Prebético (zonas externas). En el área Bética (zona interna) del sur de Alicante, este tipo de roca está representada por el basamento Nevado-Filábride en sus términos inferiores de tipo micaesquistos, gneises y cuarcitas, que se encuentra cubierto por materiales carbonatados de los mantos Alpujarrides, y superficialmente por los rellenos neógenos de las depresiones.

En las zonas externas, a partir de los datos del estudio de la prospección sísmica y geológica llevado a cabo por el IGME, ha sido posible elaborar un mapa de isobatas del basamento paleozoico-hercínico (varisco) presentado en la **figura 31**, que muestra un hundimiento desde los 2.500 a 3.500 m en el límite noroccidental de la provincia, hasta cerca de los 8.000 m en el contacto con la zona interna de la Cordillera Bética, debajo de los materiales prebéticos y subbéticos. Este tipo de mapa no ha sido posible prolongarlo para la zona interna, por la difícil obtención de datos a partir de la prospección sísmica. Sin embargo el conocimiento geológico de la sucesión de mantos típica de esta área permite predecir profundidades de 3-5 km hasta el techo de las formaciones más compactas e impermeables de los mantos Nevado-Filábride de la zona interna de la Cordillera Bética.

EXISTENCIA DE FRACTURACIÓN REGIONAL ACTIVA Y PROFUNDA

La existencia de una fracturación de tipo regional y profunda –segunda condición favorable– se pone en evidencia de dos modos complementarios. Por una parte, mediante mapas de fracturación de diferente índole y mapas de neotectónica elaborados por el IGME, y por otra, mediante mapas de la actividad sísmica ocurrente en el área considerada. Ambos fenómenos geológicos –neotectónica y sísmica– coinciden habitualmente en el espacio.

Fracturación

En cuanto a la primera, para la provincia de Alicante se han analizado, sintetizado y recogido en el mapa provincial la información proveniente de las siguientes fuentes:

- Proyectos QAFI (*Quaternary Active Faults of Iberia*); Base de datos de fallas activas en el Cuaternario, que evidencia una actividad tectónica profunda, reciente y actual.
- Mapa Neotectónico de España a escala 1:1.000 realizado por el IGME y la Empresa Nacional de Residuos Radioactivos
- Mapa Geológico de España 1:50.000 (Magna) realizado por el IGME y que incluye la gran mayoría de fallas y fracturas existentes en la zona estudiada.

Con ello se ha elaborado el mapa de fracturación de la provincia de Alicante que se recoge en la **figura 32**, en la que se han marcado las zonas de mayor densidad de fracturación reciente.

Sismicidad

En cuanto a la segunda vía para analizar la fracturación profunda se ha estudiado la actividad sísmica en la provincia, a partir de la información de sismos existente en el Catálogo de Sismos del Instituto Geográfico Nacional (IGN) que este organismo publica en su web (www.ign.es).

Los datos proporcionados por el IGN de los sismos se refieren a tres variables: intensidad, magnitud y profundidad.

Por su carácter más objetivo se han analizado y se presentan los resultados de los mapas de magnitud y profundidad de sismos. El mapa de magnitud permite valorar las áreas de mayor actividad sísmica y el mapa de profundidad de los sismos permite definir la envergadura de las fallas o fracturas que originan el mismo.

En el Mapa de Magnitud de sismos, **figura 33**, se han remarcado las áreas de mayor actividad sísmica que junto al mapa ya presentado en la **figura 32** permite seleccionar la zona más favorable desde el punto de vista de la fracturación. En la **figura 34** se presenta el mapa de profundidad de los sismos que permite identificar las fracturas de mayor envergadura.

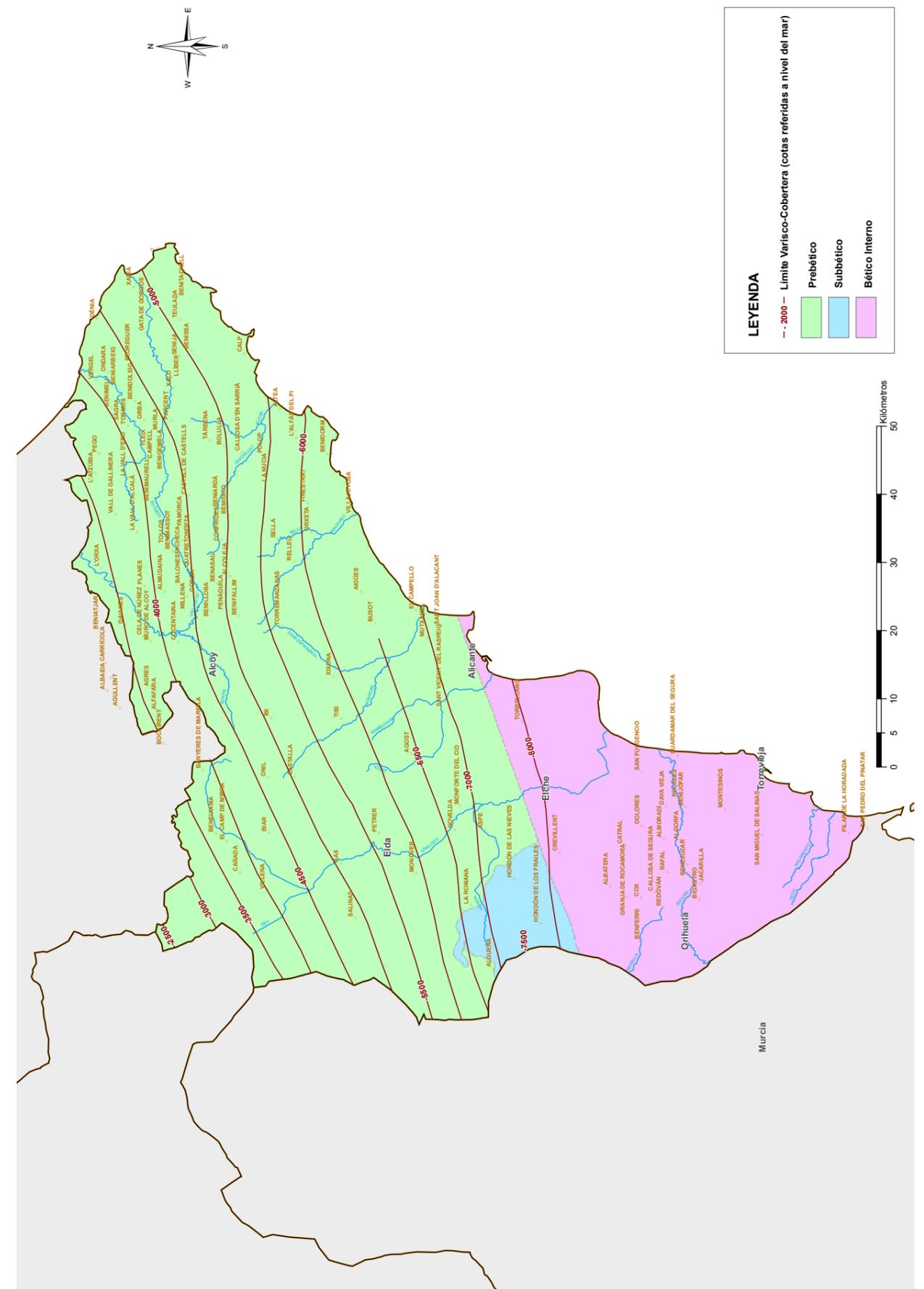


Figura 31. Mapa de isobatas del Varisco

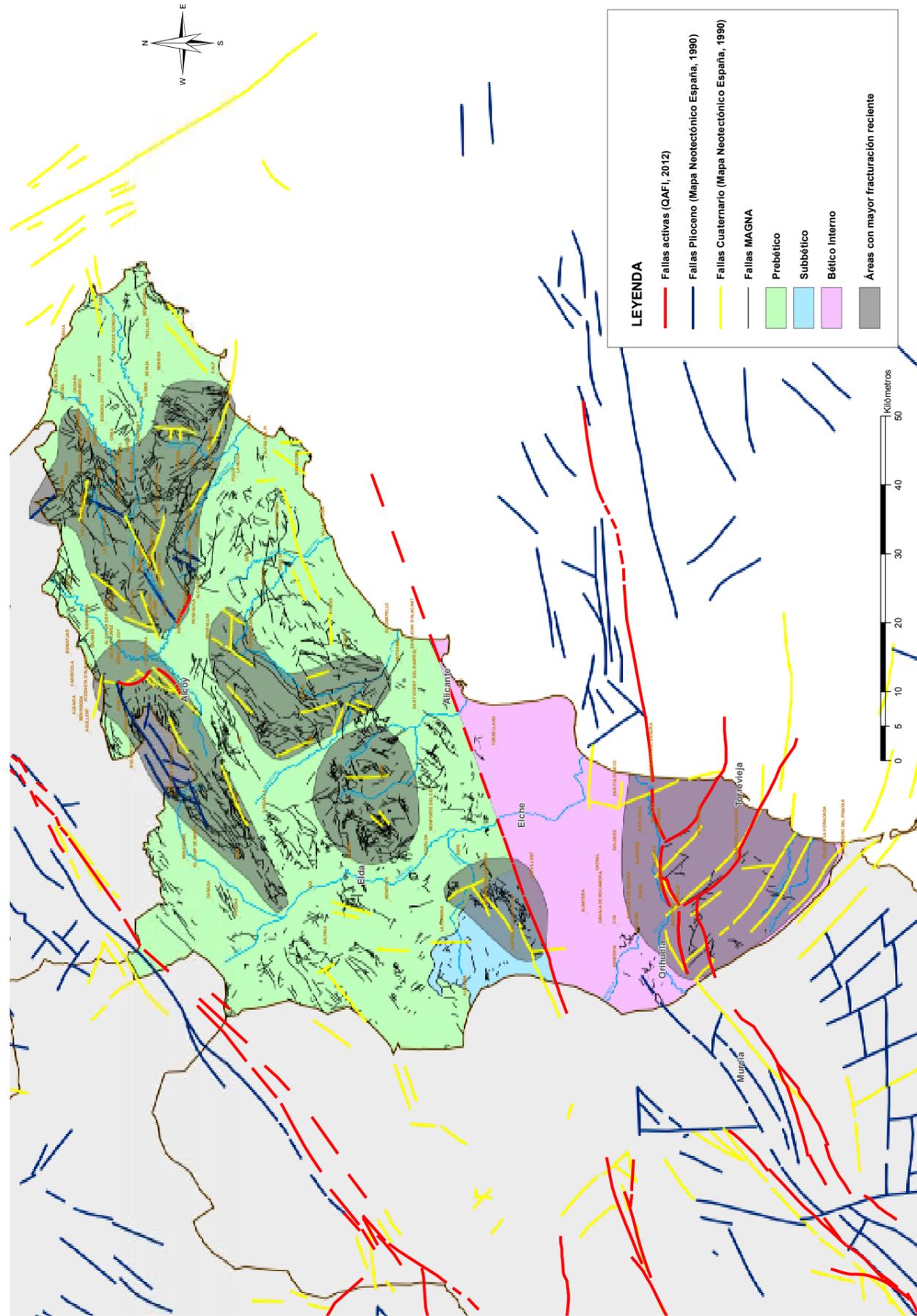


Figura 32. Mapa fracturación con áreas favorables

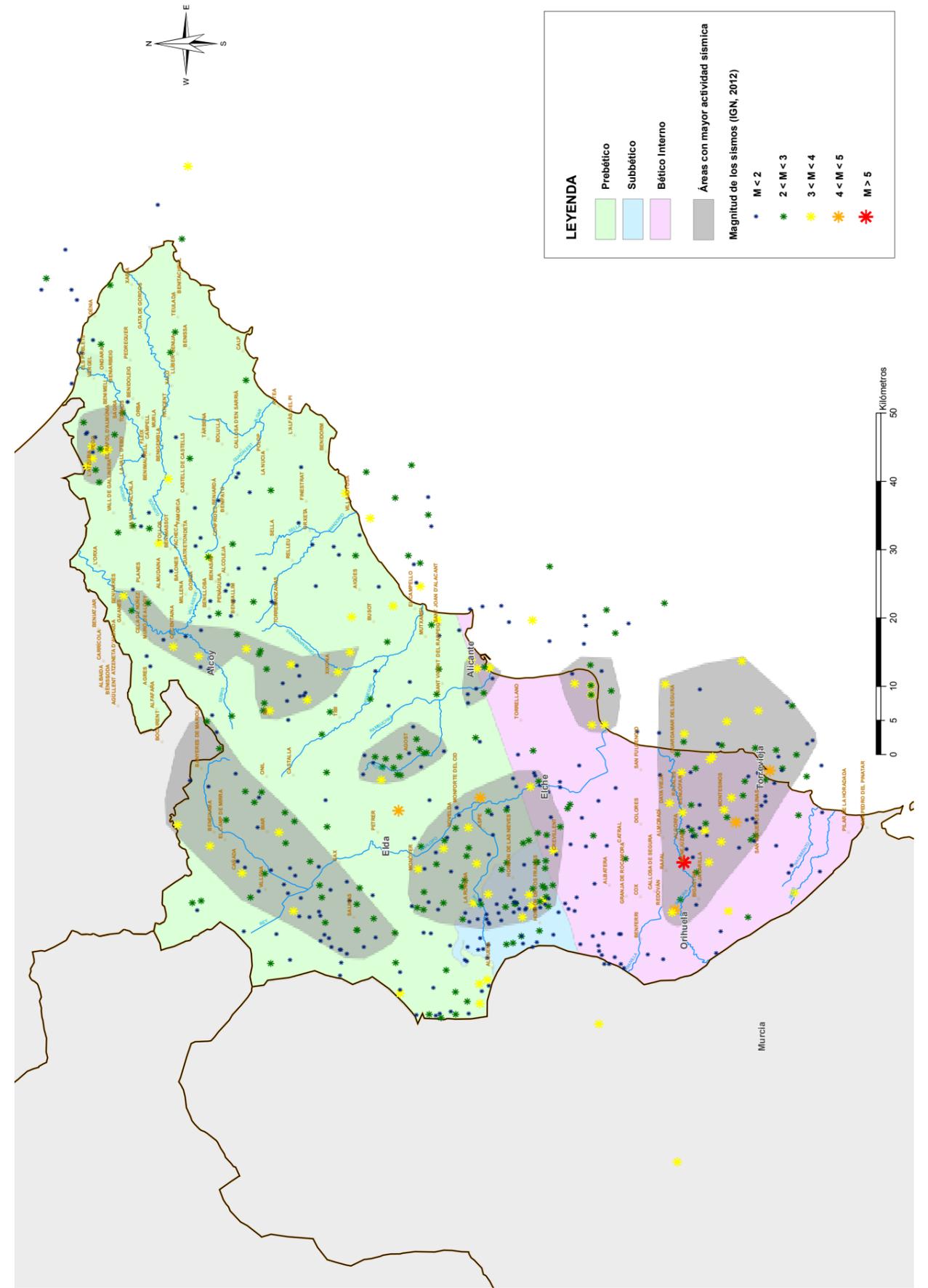


Figura 33. Mapa de magnitud sismos y de áreas de mayor actividad sísmica

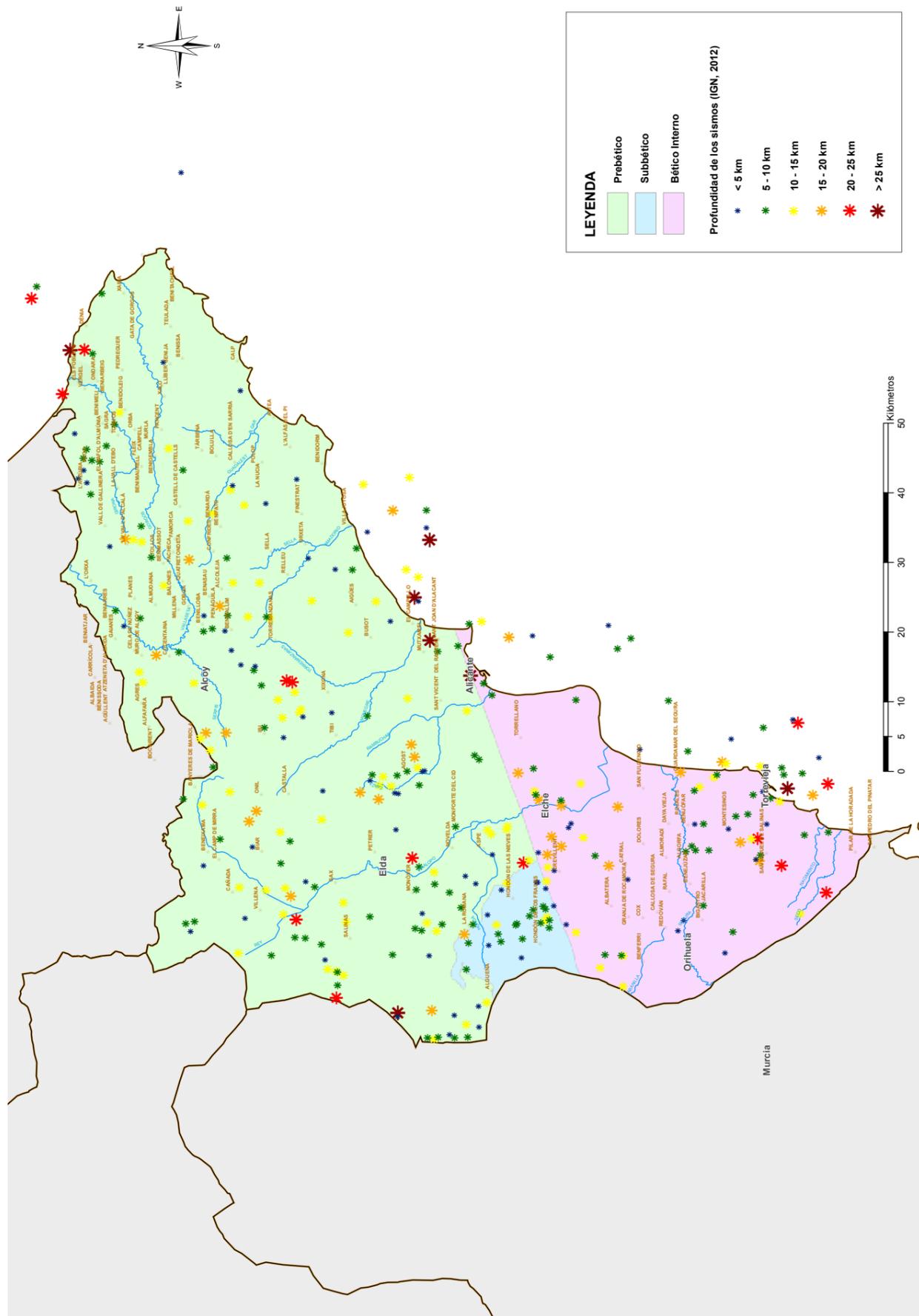


Figura 34. Mapa de profundidad de los sismos

GRADIENTE GEOTÉRMICO EN LA PROVINCIA DE ALICANTE

Generalidades

Como ya se ha expuesto en el capítulo de Conceptos Básicos, el gradiente geotérmico se define como la variación de temperatura con la profundidad en el subsuelo. El gradiente geotérmico medio observado en la mayor parte del Planeta, es de unos 1,5-3 °C cada 100 m, si bien en regiones muy delimitadas y específicas, el incremento de la temperatura con la profundidad es muy superior al indicado. Estas regiones, de *gradiente geotérmico anómalo*, se sitúan principalmente sobre áreas geológicamente activas de la corteza terrestre.

El aumento de la temperatura con la profundidad, y por lo tanto el gradiente geotérmico, es consecuencia del flujo de calor existente desde el interior de la Tierra a su superficie. Este flujo de calor es generado por diversas fuentes o procesos internos de la Tierra:

- Calor inicial liberado en la formación de la Tierra
- Calor latente de cristalización del núcleo externo
- Movimientos de masas fundidas del núcleo externo y manto
- Desintegración de isótopos radiactivos de la corteza terrestre, U_{235} , Th_{282} y K_{40} .

Este último factor, es el más importante cuantitativamente.

Elaboración del Mapa de Gradientes Geotérmicos de la provincia de Alicante

a) Recopilación de información bibliográfica de sondeos con datos de temperatura

Para la elaboración del mapa de gradientes geotérmicos de la provincia de Alicante, ha sido necesario realizar previamente una recopilación de información bibliográfica de sondeos con datos de temperatura. Esta información de temperaturas en sondeos se ha obtenido de las siguientes fuentes:

- Sondeos existentes en el Sistema de Información Hidrológica del Área de Ciclo Hídrico de la Diputación de Alicante.
- Sondeos profundos realizados para la investigación de hidrocarburos (Datos de profundidad y temperatura obtenidos del informe *Inventario General de Manifestaciones Geotérmicas en Territorio Nacional*. IGME, 1976.)

b) Cálculo de los gradientes geotérmicos

Para la elaboración del mapa se necesitan los gradientes naturales de cada sondeo. Para ello, con la información existente, se han buscado sondeos que tuvieran registrado el dato de temperatura en profundidad. Una vez obtenidos estos datos, para evitar perturbaciones someras se han considerado solamente sondeos con profundidades mayores a unos 200 m y temperaturas superiores a los 20 °C.

Posteriormente, para el cálculo del gradiente, es preciso disponer de la temperatura media ambiental en superficie, es decir, la temperatura media anual de la localidad más cercana. Este dato se ha obtenido de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) o de las webs de las localidades correspondientes.

Con la temperatura media ambiental, la temperatura medida en el sondeo y su respectiva profundidad, se ha obtenido el gradiente geotérmico mediante la siguiente relación:

$$\text{Gradiente geotérmico } (^\circ\text{C}/100) = \frac{T_p(\text{sondeo}) - T_a(\text{ambiental})}{\text{Profundidad de medida de } T_p} \times 100$$

En la que T_p : temperatura en el sondeo a la profundidad P
 T_a : temperatura media anual en superficie.

c) Mapa de gradientes geotérmicos de la provincia de Alicante

Se han incorporado al formato digital –GIS– los valores de gradientes geotérmicos anteriormente obtenidos, que se han representado en el mapa de Alicante mediante una capa de puntos (*shape*) con la ubicación del sondeo, y su correspondiente valor de gradiente geotérmico. Se ha incorporado como fondo del mapa una distribución de los materiales geológicos según el dominio al que pertenecen: Prebético (verde claro), Subbético (azul claro) y Bético Interno (violeta claro). Con los valores existentes del gradiente geotérmico se han trazado mediante interpolación las líneas de isogradientes.

Partiendo de que los gradientes geotérmicos considerados normales, son del orden de 1,5-3 °C/100 m, se puede observar en el mapa resultante obtenido (**figura 35**), que existen zonas con anomalías geotérmicas en la provincia de Alicante. Estas son:

- *Zona de Alcoy*: con gradientes puntuales de hasta casi 9 °C/100 m.
- *Zona de Aigües-Busot*: con gradientes de hasta 5,7 °C/100 m, donde se conoce la existencia de termalismo en sus aguas, puesto en evidencia en diversos informes del IGME.
- *Zona del Bajo Segura*: con gradientes de entre 3,7-4,7 °C/100 m.

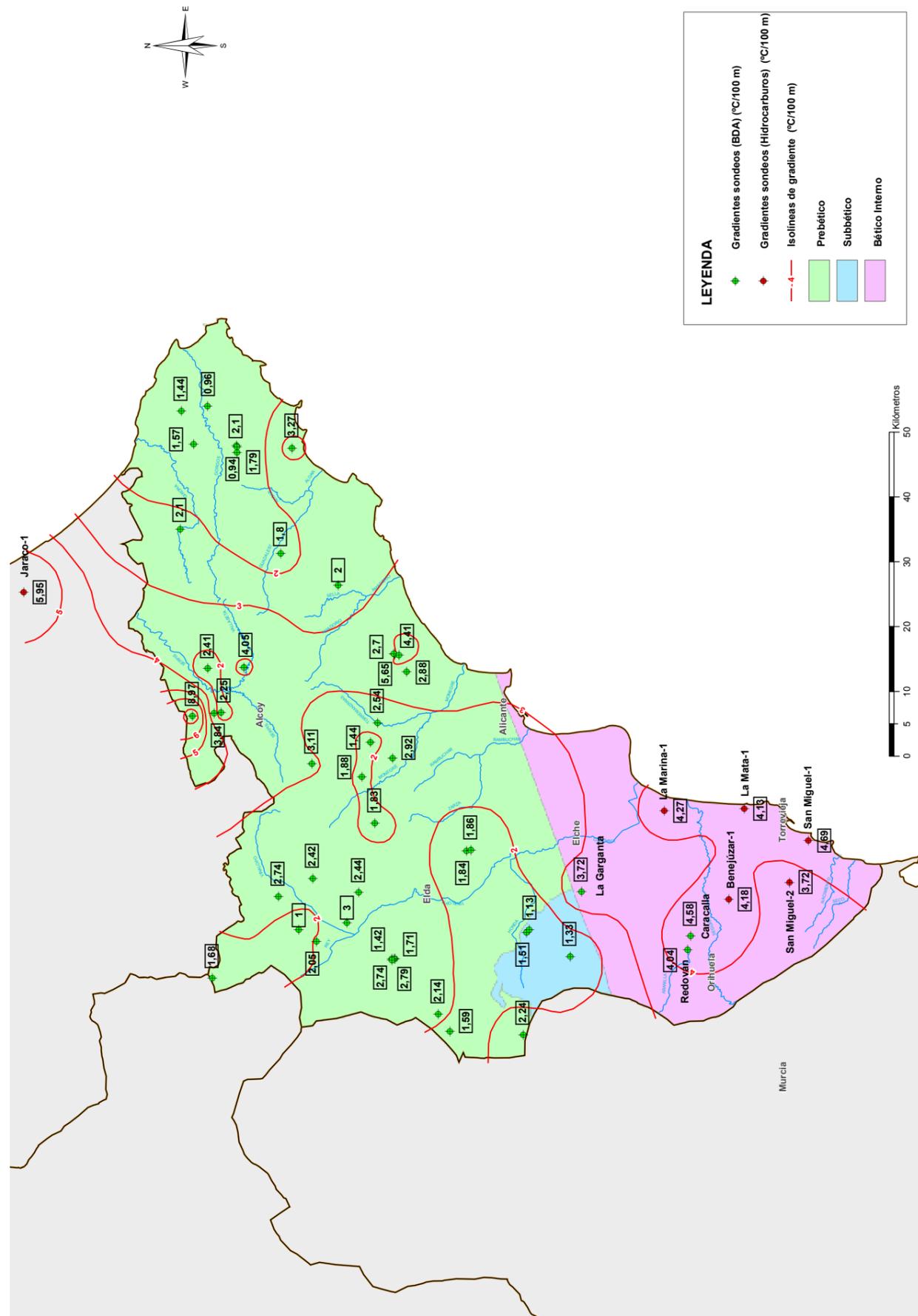


Figura 35. Mapa de gradientes geotérmicos de la provincia de Alicante (Fuente: elaboración propia)

Áreas favorables para investigación de proyectos de EGS en la provincia de Alicante

Como síntesis de la labor realizada y correlacionando los mapas de fracturación y actividad sísmica (magnitud y profundidad) con el mapa de gradiente, se ha elaborado el mapa de la figura 36, donde se señalan las dos áreas más favorables para la investigación de sistemas geotérmicos profundos estimulados: zona sur de Alicante en la Vega Baja del Segura dentro del dominio interno de las Cordilleras Béticas, siendo el posible almacén a desarrollar los materiales metamórficos –micasquistos, gneises y cuarcitas– del Nevado-Filábride Inferior con importante fracturación neotectónica; y zona del nordeste de Alcoy dentro del dominio Prebético, con posible almacén a desarrollar en materiales metamórficos del Paleozoico del basamento hercínico-ibérico.



Máquina de sondeo en estructuras profundas

[3.2] YACIMIENTOS PROFUNDOS DE BAJA Y MEDIA TEMPERATURA

Mapa de formaciones geológicas profundas

De acuerdo con los criterios admitidos actualmente para la clasificación de recursos geotérmicos profundos, el conjunto de baja y media temperatura abarca todos aquellos recursos cuya temperatura se encuentra entre los 30 y los 150 °C. El límite de profundidad a partir del cual hay que considerar este tipo de recursos, se establece en 500 m. Las formaciones permeables

a menor profundidad, que contengan recursos de baja temperatura, se incluyen habitualmente en los recursos geotérmicos de los acuíferos, que se presentan en un apartado posterior.

Este tipo de recursos geotérmicos profundos de baja y media temperatura puede estar localizado en dos tipos de yacimientos: por una parte en formaciones sedimentarias permeables extensas (depresiones, cubetas, etc.), y por otra en áreas de fracturación de gran envergadura cuyas

zonas profundas son alcanzadas por la circulación preferente de las aguas. En este último caso, su existencia se revela por la presencia de surgencia de aguas termales asociada a fracturas profundas. Este caso es muy poco habitual en la provincia de Alicante, donde las escasas surgencias termales están asociadas a escapes de acuíferos profundos por las fallas de borde de las cuencas que las contienen.

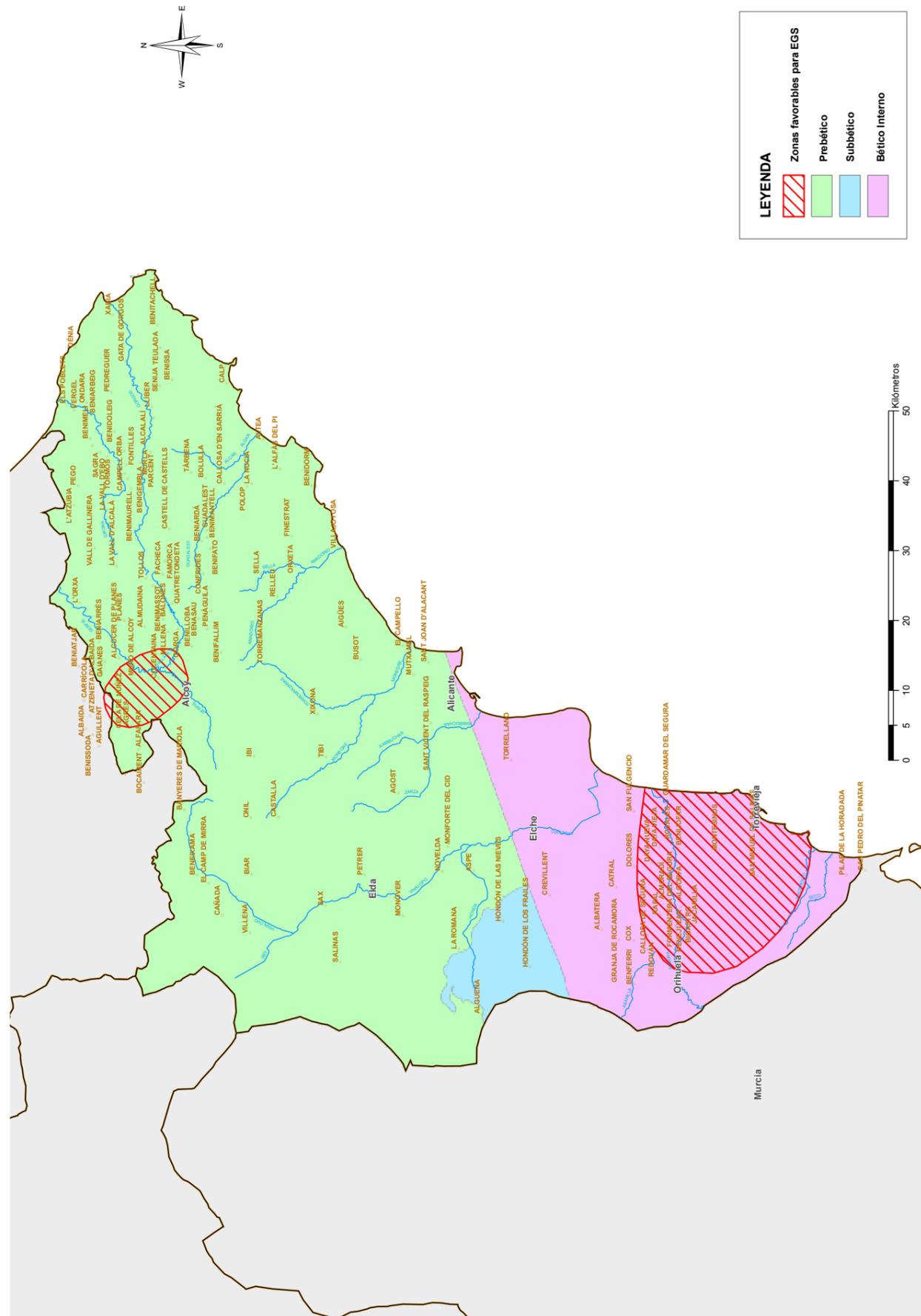


Figura 36. Mapa de áreas favorables para proyectos EGS

En cuanto a las formaciones sedimentarias permeables extensas, su localización y delimitación es posible mediante un conocimiento detallado de la geología profunda del subsuelo, que se alcanza bien en la investigación de hidrocarburos o bien en la investigación para almacenamiento profundo en estructuras geológicas subterráneas. Ambos tipos de información han sido analizadas para la provincia de Alicante. En el área sur de la provincia, dominio interno de la Cordillera Bética, se ha analizado la información relativa a los sondeos de hidrocarburos perforados en la zona:

- Benejúzar-1
- La Marina-1
- La Mata-1
- Rojales-1
- San Miguel-1
- San Miguel-2

Esta información ha permitido delimitar una zona con existencia de formaciones geológicas constituidas por carbonatos alpujarrides permeables por fracturación y fisuración.

En el resto de la provincia, ámbito de existencia de los dominios Subbético y Prebético, se ha analizado la información relativa al proyecto de investigación de formaciones permeables profundas para almacenamiento de CO₂ llevado a cabo por el IGME, denominado **Plan de selección y caracterización de áreas y estructuras favorables para el Almacenamiento Geológico de CO₂ en España 2009-2010, PROYECTO IV-1. Cadenas Béticas y Cuenca del Guadalquivir. Geología.** La información ha sido facilitada para el presente informe por D. José Luis García Lobón, Jefe del Área de Investigación del Subsuelo y Almacenamientos Geológicos, en forma de archivos *shape* de las cuatro superficies geológicas siguientes:

- Superficie 1**
Límite Varisco-Cobertera
- Superficie 2**
Techo del Triásico
- Superficie 3**
Límite Jurásico-Cretácico
- Superficie 4**
Límite Terciario-Infrayacente

En la **figura 37** se presenta el mapa elaborado de estas cuatro superficies en el ámbito de los dominios externos de la Cordillera Bética: Subbético y Prebético.

Partiendo del conocimiento general que se tiene de la serie mesozoica en la provincia de Alicante, se ha seleccionado como ámbito más favorable de posibles almacenes geotérmicos profundos las formaciones jurásicas de naturaleza carbonatada existentes entre las superficies 2 y 3, es decir, techo del Triásico y base del Cretácico. El conjunto geológico existente entre ambas superficies comprende formaciones carbonatadas permeables y formaciones de naturaleza margosa y/o arcillosa impermeables. La ausencia de sondeos profundos que alcancen esas profundidades impide una mayor precisión en su delimitación por lo que se ha tomado como límite inferior la superficie 2 y como límite superior la superficie 3.

Junto a la información de profundidades de existencia de la formación permeable, la caracterización geotérmica de los yacimientos viene definida por su temperatura y por la salinidad del fluido de formación. Respecto a este último factor, se carece de información detallada al no existir sondeos que lo alcancen. En principio se supone que el agua debe ser de salinidad media-alta, debido a la profundidad y confinamiento general de las formaciones, si bien en casos excepcionales podrían encontrarse fluidos de baja salinidad.

Respecto al tercer factor, la temperatura, se ha podido hacer una estimación de la misma mediante un análisis de la variación espacial del gradiente geotérmico que se ha presentado en un capítulo anterior.

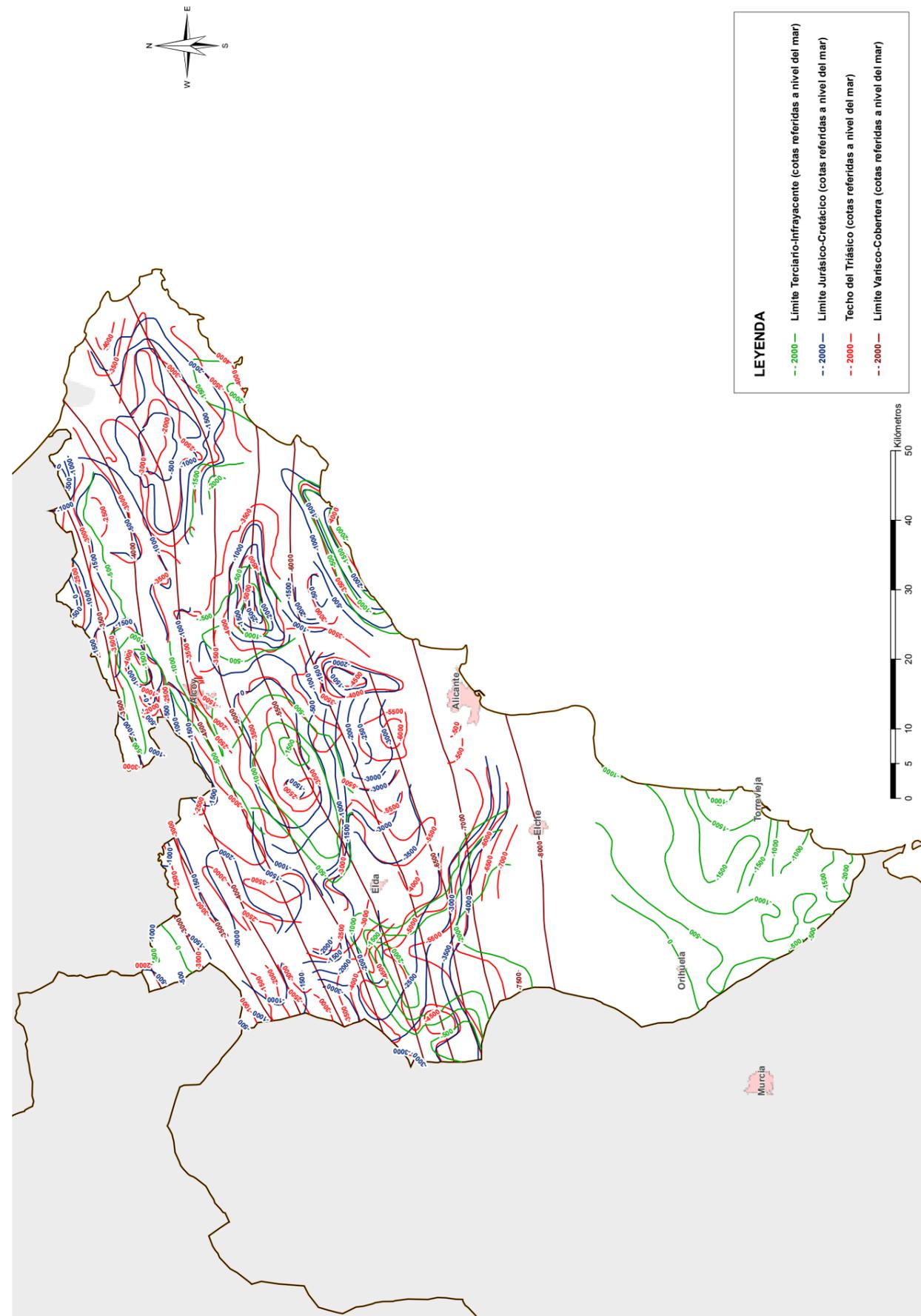


Figura 37. Mapa de isobatas de distintas superficies del subsuelo

Mapa de áreas con formaciones geológicas aptas para contener recursos geotérmicos profundos de media y baja temperatura

A partir de los mapas de formaciones geológicas profundas y de gradientes geotérmicos elaborados, se ha realizado un mapa de delimitación y caracterización de áreas con formaciones geológicas jurásicas que podrían albergar recursos geotérmicos de baja y media temperatura, es decir, los materiales comprendidos entre las superficies 2 (Techo de Triásico) y 3 (Techo de Jurásico) definidas en el primer apartado de este capítulo. Se han seleccionado las formaciones jurásicas por estimarse que son las que, con más probabilidad, contienen materiales permeables a las profundidades consideradas. Este mapa se presenta en la **figura 38**.

Las áreas marcadas en color amarillo representan la delimitación espacial aproximada de las zonas de probable existencia de formaciones permeables, de acuerdo con la información de subsuelo analizada. Para cada una de las ocho áreas delimitadas, se ha estimado un rango de profundidades

respecto al suelo, en función de las isobatas de las superficies 2 y 3 antes mencionadas, y un rango de temperatura en función de dicha profundidad y de los valores de gradientes geotérmicos expresados en la **figura 35**. Hay que señalar que no todo el rango de profundidad considerado contiene materiales permeables, ya que en el conjunto jurásico existen también bastantes formaciones de naturaleza margo-arcillosa impermeables.

Para la zona interna de la Cordillera Bética presente en el sur de Alicante, el posible almacén está ubicado en materiales carbonatados fracturados del Trias Alpujárride, como se ha explicado anteriormente. Las áreas seleccionadas se recogen en la **tabla 5**.

Estos resultados se presentan en la mencionada **figura 38**, Mapa de Baja y Media Entalpía Profunda.

| Zona | Rango de profundidad (m) | Rango de Temperaturas (°C) |
|------------------------|--------------------------|----------------------------|
| Sur Provincia Alicante | 800-2.000 | 80-100 |
| Xixona-Busot | 1.500-5.000 | 65-130 |
| Costera-Villajoyosa | 1.100-4.000 | 55-110 |
| Sella | 1.800-5.800 | 65-120 |
| Depresión Benisa | 1.750-4.000 | 80-135 |
| Muro de Alcoy | 1.400-4.400 | 85-200 |
| Alto Vinalopó | 2.000-3.000 | 65-90 |
| Salinas | 2.000-4.500 | 60-100 |

Tabla 5. Áreas de la zona interna de la Cordillera Bética en la provincia de Alicante con posible almacén geotérmico

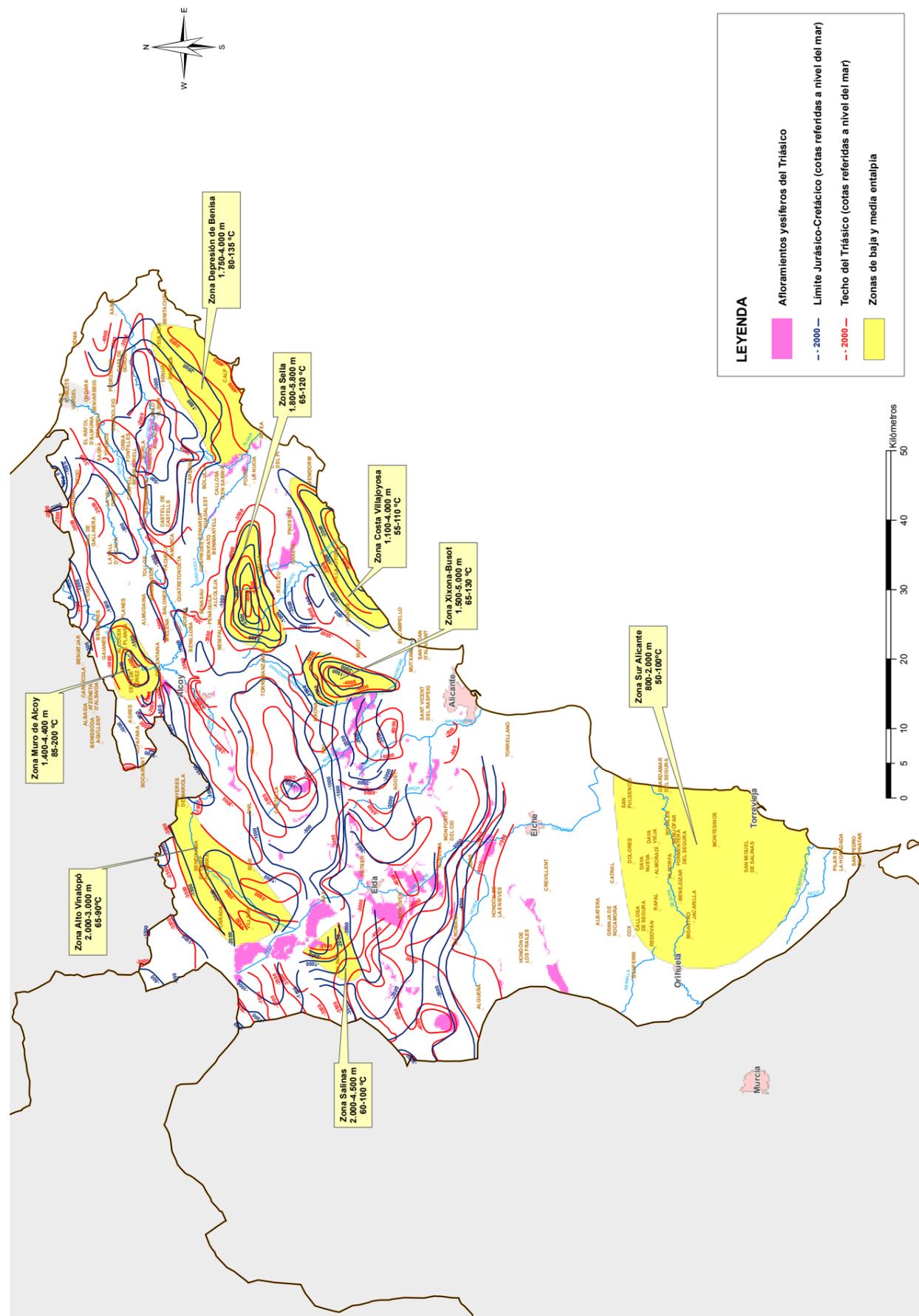


Figura 38. Mapa de Baja y Media Entalpía Profunda

[3.3] RECURSOS GEOTÉRMICOS DE MUY BAJA TEMPERATURA (GEOTERMIA SOMERA)

Introducción

Como se puso de relieve en el capítulo de tecnologías de aprovechamiento, los recursos geotérmicos de muy baja temperatura se explotan, fundamentalmente, mediante la utilización de la bomba de calor que realiza el intercambio de energía con el subsuelo. Este intercambio se puede llevar a cabo a partir de dos sistemas diferentes conocidos como circuitos cerrados y circuitos abiertos.

En los primeros no hay captación de agua subterránea, se emplea un fluido –generalmente agua con algún aditivo– mediante su circulación continua, aprovechando el mecanismo de conducción para extraer el calor contenido en las rocas a poca profundidad, en el caso de su uso en invierno para calefacción, o bien para disipar el calor durante el verano (refrigeración). Esto implica la instalación de un intercambiador herméticamente cerrado en el subsuelo.

En el segundo sistema, denominado circuito abierto, se emplea el agua subterránea contenida en los acuíferos menos profundos del subsuelo para el intercambio de energía. Esta agua subterránea extraída mediante bombeo cede su calor o se calienta según el uso (calefacción/refrigeración, respectivamente) en el intercambiador de la bomba de calor y una

vez utilizada para calentar/enfriar es devuelta al acuífero para su integración en el mismo. En este caso, se aprovechan los mecanismos de convección y conducción.

En los apartados siguientes se pasa revista al potencial de recursos geotérmicos de muy baja temperatura de las rocas presentes en el subsuelo de la provincia de Alicante, tanto para su explotación con circuitos cerrados como para circuitos abiertos (acuíferos).

Circuitos cerrados

Los recursos geotérmicos de muy baja temperatura contenidos en las rocas del subsuelo a poca profundidad pueden ser aprovechados gracias al empleo de la bomba de calor y a la capacidad de extracción o cesión de calor de cada tipo de roca.

Como se ha visto en el capítulo dedicado a las tecnologías de aprovechamiento, en sistemas horizontales las temperaturas están fuertemente condicionadas por las variaciones estacionales, mientras que, en el caso de los sistemas cerrados verticales, en los cuales se sobrepasan los primeros metros de profundidad influenciados por la temperatura y las condiciones atmosféricas, se requiere llevar a cabo un análisis de las propiedades térmicas del terreno.

Las propiedades térmicas de las rocas del subsuelo son muy variables y dependen de una multitud de parámetros físicos y geológicos. Para proyectos de aprovechamiento importantes, es necesario calcular dichas propiedades mediante los mencionados ensayos denominados “Test de Respuesta Térmica” que se realizan en un sondeo perforado para dicha finalidad y que posteriormente puede ser utilizado para intercambio de calor. Estos test suelen ser caros debido a su duración y al coste de la perforación, por lo que en los estudios preliminares a nivel de anteproyecto de instalaciones se suele utilizar valores estandarizados de las propiedades del terreno. Estos valores sirven de guía para una primera estimación del número de sondeos necesarios, si bien posteriormente, antes del diseño final de la instalación debe realizarse el ensayo mencionado.

Las **tablas 6 y 7** presentan, para una serie de tipos de rocas, valores de la capacidad de intercambio de calor y de la conductividad térmica de las rocas, incluidos en la publicación: *VDI4640 Parte 2-Usos térmico del subsuelo*. Norma Alemana de 2001 específica para geotermia somera y almacenamiento térmico. Son valores medios de un conjunto numeroso de determinaciones realizadas en Alemania. A falta de disponibilidad de datos obtenidos en ensayos o test, sobre terrenos propios de la provincia, pueden tomarse como indicativos aplicables a terrenos similares en la zona de Alicante.

Como se observa en la **tabla 6**, las gravas y arenas con gran circulación de agua alcanzarían el valor más elevado de potencia térmica de los rangos presentados. En general, la presencia de agua situaría la potencia térmica del terreno en los valores más elevados del rango establecido para cada tipo de roca. Además, este parámetro se ve influenciado por la permeabilidad y la transmisividad de los materiales litológicos, que siendo elevadas, facilitan el flujo del agua incrementando considerablemente el valor de potencia térmica del terreno.

En cuanto a la conductividad térmica de las rocas (**tabla 7**), también puede consultarse la *Norma UNE 100715-1:2014. Diseño, ejecución y seguimiento de una instalación geotérmica somera. Parte 1: Sistemas de circuito cerrado vertical*, que incluye en su Anexo F, a título informativo, una tabla de conductividades en W/m·K por tipos de roca agrupados según se trate de materiales consolidados, rocas sedimentarias, rocas magmáticas o rocas metamórficas, y que añade las conductividades de otros materiales como agua, hielo, hormigón, etc.

A partir de esta información y teniendo presente las rocas existentes en la provincia de Alicante, se han elaborado dos mapas de potencia térmica del terreno (capacidad de extracción de calor): uno atendiendo a las características térmicas de la roca en seco para intercambiadores horizontales, generalmente situados en zona no saturada debido a la poca profundidad de la instalación, y otro considerando la presencia de agua y la profundidad a la que se encuentra para el empleo de intercambiadores verticales; siguiendo la metodología que se explica a continuación.

| Tipo de Roca | Potencia Térmica (W/m) |
|--|------------------------|
| Gravas y arenas secas | < 25 |
| Arcillas y margas húmedas | 35-70 |
| Calizas y dolomías masivas | 55-70 |
| Areniscas | 60-80 |
| Granitos | 60-85 |
| Rocas básicas (basaltos) | 40-65 |
| Rocas metamórficas (gneises) | 70-85 |
| Gravas y arenas saturadas de agua | 65-80 |
| Gravas y arenas con gran circulación de agua | 80-100 |

Tabla 6. Capacidad de extracción de calor de las rocas. (Potencia térmica del terreno) en W/m

| Tipo de Roca | Conductividad térmica (W/m·°C) |
|--------------------------|--------------------------------|
| Arenas y gravas secas | < 1,5 |
| Arcillas y limos secos | |
| Turba | |
| Arcillas y limos húmedos | 1,5 - 2 |
| Gravas saturadas en agua | |
| Micasquistos | 2 - 2,5 |
| Esquistos | |
| Mármoles | |
| Margas | |
| Arenas saturadas en agua | |
| Areniscas | |
| Gneises | 2,5 - 3 |
| Calizas | |
| Dioritas | |
| Granitos | > 3 |
| Pteridotitas | |
| Cuarcitas | |
| Riolitas | |
| Sal (halita) | |
| Dolomía | |

Tabla 7. Conductividad térmica de las rocas en W/m°C

MAPAS DE POTENCIA TÉRMICA DEL TERRENO

Recopilación y selección de bases de datos de litología de la provincia de Alicante

Se ha realizado, en primer lugar, una recopilación de toda la información litoestratigráfica disponible en diferentes organismos y entidades en formato digital de la provincia de Alicante, llegando a la recopilación de las siguientes bases:

- Mapa Geológico de Alicante a escala 1:200.000 (IGME)
- Mapa Hidrogeológico de Alicante a escala 1:150.000 (Diputación de Alicante)
- Cartografía Geológica continua a escala 1:50.000 del PLAN GEODE (IGME)

De estas tres opciones se ha elegido, por su mayor facilidad de tratamiento, por su conocimiento y disponibilidad de información, el segundo, es decir, el mapa hidrológico, que incluye el de permeabilidad, a su escala original 1:50.000, elaborado por el Área de Ciclo Hídrico de la Diputación de Alicante.

La información contenida en este mapa se ha complementado en aspectos importantes con la disponible en el mapa provincial de isopiezas, a partir del cual se ha elaborado un mapa de isopropiedades del agua.

Clasificación de los terrenos en función de su potencia térmica (W/m)

Partiendo de las litologías presentes en la provincia de Alicante y de la tabla de valores indicativos de capacidad de extracción de calor de las rocas (**tabla 6**), se ha elaborado una nueva tabla resumen específica para la provincia de Alicante (**tabla 8**). A cada unidad litológica tipo definida se le ha asignado un grupo de potencia térmica superficial (W/m) en función de sus propiedades físicas (térmicas e hidráulicas). Se ha tenido presente por lo tanto, como se ha mencionado, no sólo la capacidad térmica intrínseca (potencial térmico en seco o en húmedo) sino también la presencia de agua en la roca y su profundidad. Esta tabla se ha estructurado en cinco grandes grupos con potencia térmica superficial (W/m) creciente.

Esta tabla resumen de características térmicas ha servido de guía para realizar un análisis detallado de todos y cada uno de los grupos de litologías presentes en la provincia.

| Grupo | Litologías | Agua-nivel | Potencia Térmica Superficial (W/m) |
|-------|---|--|------------------------------------|
| A | Arenas, gravas, arcillas y limos | Muy secos o nivel muy profundo | < 30 W/m |
| B | Arcillas y limos | Húmedos | 30-45 W/m |
| C | Calizas, margas, dolomías margosas y calcarenitas | Húmedos | 45-60 W/m |
| D | Gravillas, gravas, arenas, areniscas, dolomías y rocas metamórficas | Más o menos saturadas, dependiendo del nivel piezométrico | 60-80 W/m |
| E | Gravas y arenas | Muy permeables, nivel muy somero y elevada circulación de agua | 80-100 W/m |

Tabla 8. Grupos de litologías establecidos para la provincia de Alicante en función de las características térmicas de la roca y la presencia de agua

Mapa de potencia térmica (roca seca) para intercambiadores horizontales de la provincia de Alicante

El empleo de intercambiadores horizontales no tiene tantas implicaciones hidrogeológicas como en el caso de los sistemas verticales, siendo los principales aspectos de estudio para determinar la viabilidad de su implantación las características de los primeros metros de profundidad del terreno. Estos primeros metros suelen encontrarse en condiciones no saturadas en la provincia de Alicante, con las excepciones del acuífero de la Vega Baja, así como aquellas áreas a pocas decenas de metros del mar y algunos casos puntuales con presencia de agua cercana a la superficie en acuíferos detríticos.

Por ello, se ha elaborado un mapa de potencia térmica de la roca seca orientado al uso de sistemas horizontales. A partir de los valores indicativos de capacidad de extracción de calor de las rocas (tabla 6) y teniendo en cuenta la

tabla resumen de grupos de litologías de la provincia (tabla 8), se ha asignado un rango de valores medios de potencia térmica en seco a cada tipo de litología, es decir, sin tener en cuenta la presencia de agua con el fin de generar un mapa de potencia térmica en función únicamente de las características de los materiales litológicos, denominado *Mapa de potencia térmica en seco o de roca seca*.

Este mapa se presenta en la figura 39.

No obstante, partiendo de esta primera aproximación a las áreas más favorables para la implantación de intercambiadores horizontales según su potencia térmica en seco, es necesario analizar para cada caso concreto diferentes variables, como son: la viabilidad o la aptitud del terreno para la excavación de zanjas; el promedio de temperaturas del terreno debido a la incidencia de la temperatura atmosférica y la radiación solar directa; y el espacio o la superficie disponible, así como la accesibilidad (topografía, presencia de infraestructuras, etc.)

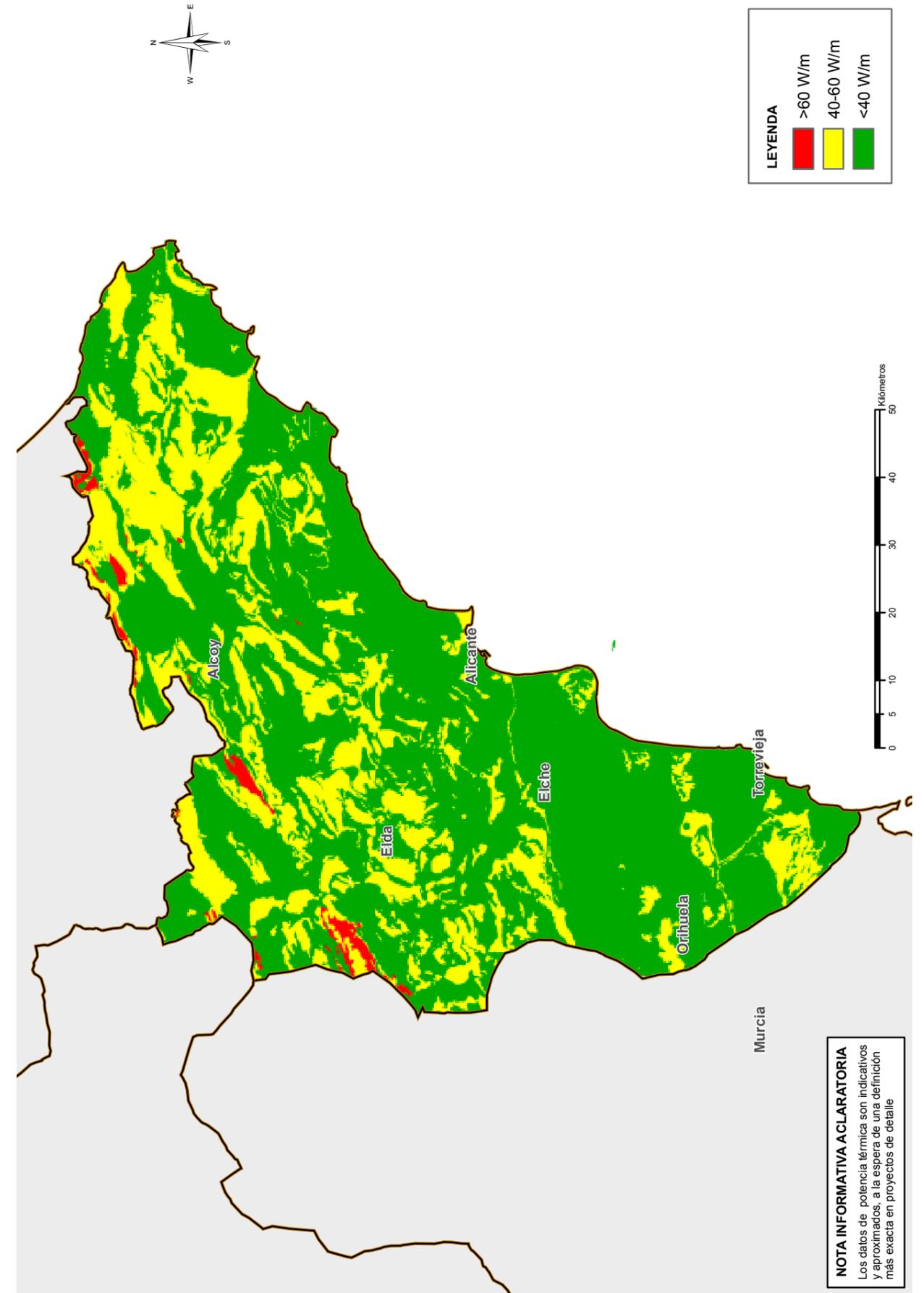


Figura 39. Mapa de Potencia Térmica de la roca seca de la provincia de Alicante

Mapa de potencia térmica de la provincia de Alicante para intercambiadores verticales

Para conocer el potencial térmico hidrogeológico de la provincia de Alicante, esto es, teniendo en cuenta tanto la geología como la presencia de agua y la profundidad a la que se encuentra, se ha elaborado un segundo mapa de potencia térmica media considerando las condiciones de saturación o presencia de agua (materiales húmedos) y teniendo en cuenta las características de permeabilidad y transmisividad de los distintos tipos de materiales y los valores de potencia térmica. A este mapa se le ha denominado *Mapa de potencia térmica húmeda*.

A continuación, se han unido y cruzado este nuevo mapa y el anterior mapa de potencia térmica en seco, con el mapa de isoprofundidades del agua. De esta forma, en función de la profundidad a la que se encuentre el agua, el porcentaje de potencia térmica en seco y el porcentaje de potencia térmica con presencia de agua considerados varían para el cálculo de la potencia térmica del terreno.

Con el fin de generar un mapa de potencia térmica del terreno para sistemas verticales representativo y práctico, se ha estimado una profundidad de terreno útil para la realización de un sondeo medio de 100 m, teniendo en cuenta la viabilidad para la implantación de un sistema de aprovechamiento geotérmico de muy baja entalpía.

Partiendo de dicho espesor, se han multiplicado los valores de potencia térmica en seco (primer mapa) y potencia térmica húmeda (segundo mapa) por coeficientes de 0,1 a 1, en función de la profundidad del agua (de 10 a 100 m), y se han sumado, de manera que, para una profundidad media de un sondeo de 100 m, el valor de potencia térmica calculada tenga en cuenta la proporción del sondeo en contacto con material seco y el porcentaje del mismo influido por materiales húmedos

Por tanto, para una profundidad del agua de 10 m, el porcentaje de potencia térmica húmeda considerado será del 90%, y el 10% restante corresponderá a la potencia térmica en seco. En las áreas con agua surgente, el porcentaje de potencia térmica húmeda será del 100%, por tanto, los valores de potencia térmica obtenidos serán los del segundo mapa. Por el contrario, en el caso de las zonas sin acuífero o con profundidades del agua superiores a los 100 m, la potencia térmica del terreno considerada será la del material litológico en seco, por lo que los valores obtenidos serán los del primer mapa.

Se considera que la proporción de material húmedo en caso de realizar sondeos de mayor profundidad con presencia de agua a partir de los 100 m, influiría poco en la potencia térmica resultante, ya que la mayor parte del sondeo se encontraría en contacto con materiales secos y la potencia térmica aumentaría únicamente en los últimos metros del sondeo.

El mapa obtenido a partir de esta metodología puede ser utilizado en una primera aproximación para el diseño preliminar de sistemas de aprovechamiento geotérmico de muy baja temperatura, teniendo en cuenta una profundidad media del sondeo de 100 m, pudiendo resultar útil también para sondeos más profundos.

Este mapa se presenta en la **figura 40**.

Es preciso resaltar el carácter general y de síntesis del mapa que se ha elaborado. Por lo tanto para la realización de un estudio concreto de posibilidades de cualquier localidad, habría que profundizar en los datos aquí presentados. Además, el mapa de isoprofundidades empleado, que marca la diferencia de cota entre la superficie del terreno y el nivel piezométrico del agua, no permite reflejar el comportamiento de aquellos acuíferos confinados que requieren de profundidades del sondeo de extracción muy elevadas para "liberar" el agua subterránea y captarla a la cota del nivel piezométrico.

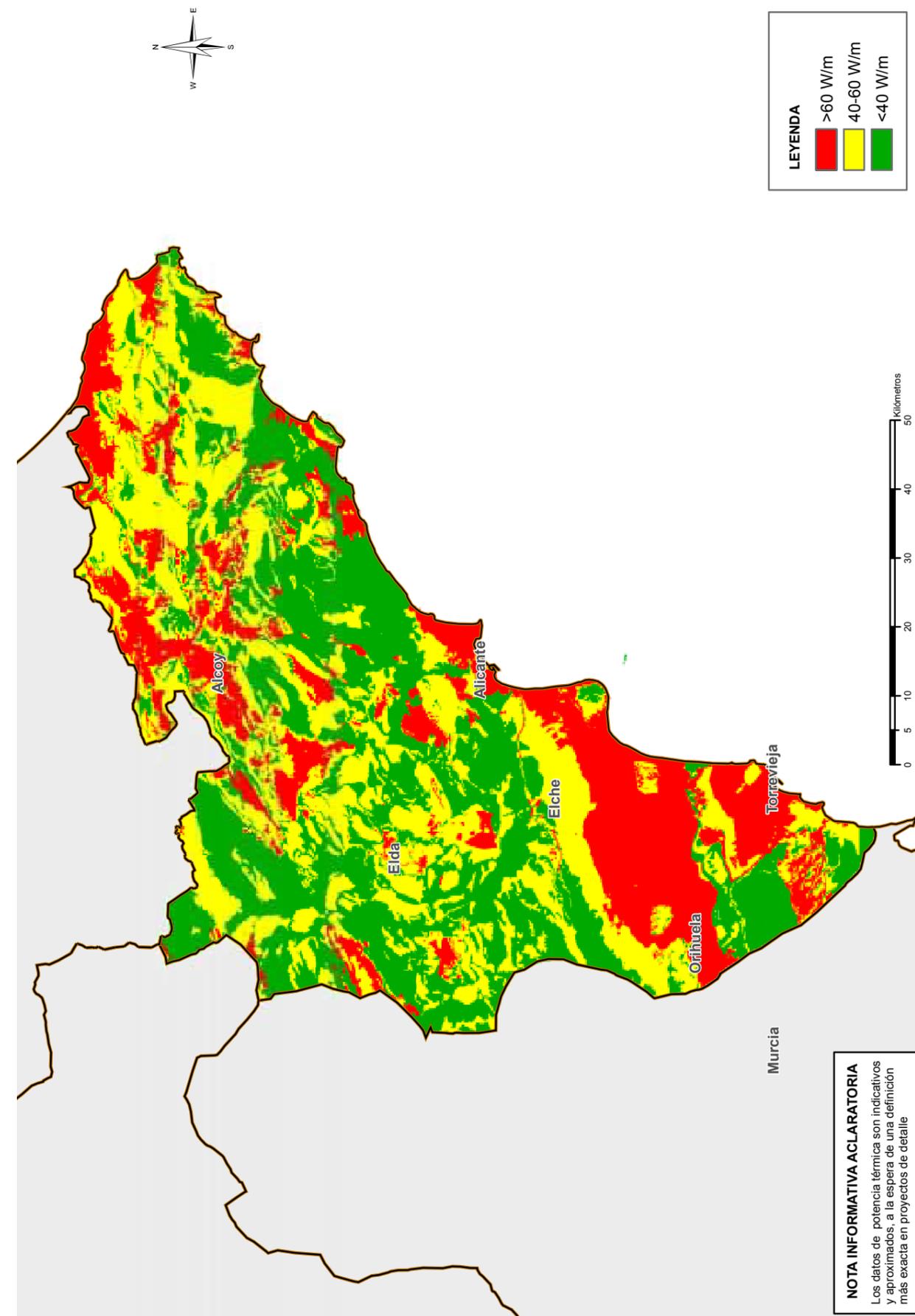


Figura 40. Mapa de Potencia Térmica de los primeros 100 m de profundidad del terreno en la provincia de Alicante

CIRCUITOS ABIERTOS

La bomba de calor y los acuíferos. Aspectos técnico-económicos

Como ya se ha mencionado en el capítulo dedicado a tecnologías de aprovechamiento, la bomba de calor es una máquina cuyo principio es aprovechar una caída térmica en un fluido para producir un incremento de temperatura en otro distinto. Se trata, por lo tanto, de una transferencia de calor entre dos fluidos. Esta transferencia se consigue gracias al empleo de un fluido secundario o binario que circula por un circuito intermedio cerrado y que por sus características físicas, permite la elevación/reducción en el nivel térmico.

Los sistemas geotérmicos abiertos de muy baja entalpía constan de uno o varios pozos de extracción, en los que se instala un equipo de bombeo que impulsa el agua subterránea a la temperatura a la que se encuentra en el acuífero hasta la bomba de calor, y uno o varios pozos de inyección, en los que una tubería devuelve el agua al acuífero con un determinado salto térmico.

En este caso, el agua subterránea es el fluido que intercambia calor desde o hacia el subsuelo pasando por la bomba de calor. Esta opción es especialmente interesante, sobre todo en acuíferos someros, ya que la extracción y utilización del agua puede ser muy económica. El problema está

en conocer su disponibilidad en los puntos de consumo energético, de manera que su localización no constituya una carga económica excesiva para el proyecto, por lo que es necesario partir del conocimiento hidrogeológico de los acuíferos.

En sistemas abiertos que explotan acuíferos poco profundos se requiere un estudio hidrogeológico local y la realización de ensayos hidráulicos para comprobar que los pozos de extracción e inyección no se vean interferidos entre ellos hidráulica y térmicamente. Además, deben realizarse análisis de calidad de las aguas para evitar problemas de corrosión, sarro y colmatación de conducciones debidos al contenido en hierro y al elevado potencial redox que puedan tener las aguas subterráneas.

La viabilidad de aprovechamiento geotérmico de un acuífero es función de dos aspectos básicos: potencia térmica extraíble y factores económicos (inversiones y costes de operación).

La **potencia geotérmica de la bomba de calor** depende del caudal de bombeo, del salto térmico y del calor específico del agua.

$$P_t \text{ (kW)} = 1,16 Q \text{ (m}^3\text{/h)} \Delta T \text{ (K)}$$

La **potencia térmica de un sondeo** es función directa del caudal extraíble y del salto térmico. Esta potencia térmica será $P_t = Q (T_p - T_i)$, siendo P_t potencia en termias/hora, Q caudal

en $\text{m}^3\text{/h}$, T_p temperatura producción pozo de extracción y T_i temperatura de rechazo en pozo de inyección en $^{\circ}\text{C}$.

El caudal que se puede extraer de un pozo o sondeo depende de las características hidrogeológicas del acuífero, especialmente transmisividad y por lo tanto permeabilidad y espesor, y del acabado del sondeo. El salto térmico es función de la temperatura del agua en el acuífero y de la temperatura de retorno del agua desde la bomba de calor al acuífero, y depende del tipo de bomba de calor seleccionado.

Si la temperatura del agua subterránea es mayor que la temperatura atmosférica en invierno, el salto entre la temperatura del agua subterránea extraída y la temperatura de rechazo en el pozo de inyección será grande y el sistema será más eficiente para calefacción. Por el contrario, si se pretende refrigerar en verano, conviene una temperatura baja del agua en el acuífero, ya que el salto térmico respecto a la temperatura de inyección será mayor y, por tanto, también la eficiencia del sistema.

El sistema será más eficiente en ambas estaciones del año, para calefacción y refrigeración, cuando las temperaturas de verano e invierno sean extremas (climas continentales) y se aproveche la temperatura constante del agua del subsuelo, que en estos casos tendrá una diferencia grande respecto a la temperatura del aire. En cualquier caso, puede servir como referencia el Mapa general de caracterización de los acuíferos de la provincia respecto

a su temperatura que se recoge en el siguiente apartado según el uso que quiera darse a la instalación.

Los **factores económicos** (inversiones y costes de operación) dependen también de parámetros técnicos ligados al acuífero. Ambos términos económicos dependen del tipo de bomba de calor utilizada y de la profundidad del acuífero (por su incidencia en la profundidad de los sondeos a construir). También influye la profundidad del nivel de agua en el sondeo, por la energía requerida para su extracción.

El tipo de bomba de calor depende básicamente de dos factores ligados al agua geotérmica: la temperatura de la misma y su composición o calidad química. La primera incide en el modelo de bomba utilizable y en la determinación del coeficiente de rendimiento del sistema. La segunda, afecta a la elección de los materiales más adecuados para el intercambiador o para el evaporador por posibles problemas de incrustación y corrosión que pueda causar.

En síntesis, la viabilidad técnica y económica de una operación de aprovechamiento geotérmico de aguas subterráneas en circuito abierto mediante bomba de calor depende de los siguientes parámetros hidrogeológicos:

- Profundidad del agua subterránea (nivel piezométrico), directamente relacionada con la profundidad de captación del acuífero y, por lo tanto, de los sondeos, y con la energía requerida para elevar el agua.

- Caudal extraíble y, por lo tanto, permeabilidad y espesor del acuífero, resultando la primera también trascendente para la disipación térmica.

- Temperatura del agua subterránea (particularmente en caso de climatización directa).

- Composición química del agua subterránea, que habitualmente en estudios preliminares se concreta con la conductividad eléctrica.

Por lo tanto, para evaluar la energía geotérmica extraíble de un acuífero, es necesario conocer el rango de variación de estos parámetros en el mismo. Esta es la labor realizada para preparar los mapas generales de caracterización de los acuíferos de la provincia de Alicante atendiendo a su Permeabilidad, a la Temperatura del agua, a su Conductividad eléctrica, y a la Profundidad a la que se encuentra, partiendo de un mapa de síntesis de los acuíferos y de los datos disponibles para cada uno de los parámetros.



Perforación del sondeo de investigación Caracalla de aguas termales, en Callosa de Segura, ejecutado por Ciclo Hídrico. Este sondeo de 349 m de profundidad capta agua del acuífero de Sierra de Callosa a 33,8°C

Mapa de síntesis de acuíferos en la provincia de Alicante

Recopilación de información de los acuíferos de la provincia de Alicante

En primer lugar, se ha realizado una recopilación de la información hidrogeológica disponible existente en formato digital en la provincia de Alicante, llegando a la recopilación de las siguientes bases:

- Mapa Hidrogeológico de Alicante a escala 1:150.000 (Diputación de Alicante. Área de Ciclo Hídrico)
- Distribución de las Masas de Agua Subterránea de la Confederación Hidrográfica del Segura.
- Distribución de las Masas de Agua Subterránea de la Confederación Hidrográfica del Júcar.

De estas tres opciones se ha elegido, como más apropiada al objetivo perseguido, la primera, es decir, el Mapa Hidrogeológico de Alicante a escala 1:150.000 perteneciente a la Diputación de Alicante, y más concretamente, la distribución de los acuíferos, es decir, la capa de polígonos (*shape*) de la distribución de los acuíferos.

Una vez obtenida la distribución de los acuíferos, como se ha dicho anteriormente, los datos que hay que conocer sobre el recurso agua para elaborar posteriormente estudios concretos de aplicación de la utilización de las aguas subterráneas con bomba de calor, son fundamentalmente: **profundidad** del agua, que dependerá de la cota del nivel piezométrico (y de si se trata de

acuífero libre o confinado) y que condicionará la profundidad de la obra de extracción y la altura de elevación del agua; la **permeabilidad**, directamente relacionada con el caudal extraíble y con la disipación térmica; la **temperatura** del agua; y su **calidad química**.

Los datos se han obtenido principalmente del Sistema de Información Hidrológica del Área de Ciclo Hídrico de la Diputación de Alicante, aunque se han empleado también informes técnicos realizados por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) en convenio con la Diputación de Alicante, otros informes técnicos realizados por diferentes organismos, etc.

1) *Profundidad del agua*: en este trabajo se ha empleado el mapa de isopropiedades del agua elaborado a partir del mapa provincial de isopiezas, sin tener en cuenta aquellas zonas sin acuíferos significativos.

2) *Permeabilidad*: es función directa de las características hidráulicas del acuífero. Estos datos se han obtenido del Mapa Hidrogeológico de Alicante y de los datos procedentes de los sondeos existentes en el Sistema de Información Hidrológica de Ciclo Hídrico de la Diputación de Alicante inventariados en cada acuífero.

3) *Temperatura del agua*: este es un dato importante para el estudio técnico de la implantación de la bomba de calor, sobre todo para la elección del modelo de bomba y el cálculo del coeficiente de rendimiento del sistema. Estos datos se han obtenido preferentemente del Sistema de Información Hidrológica del Área de Ciclo Hídrico de la Diputación de Alicante.

En los estudios de detalle hay que tener en cuenta, si el acuífero es muy somero, la posible proximidad de cauces de ríos que ante un bombeo intenso pueden enfriar el acuífero.

4) *Calidad química*: este factor afecta sobre todo a la elección de los materiales más adecuados para el intercambiador primario o el evaporador, así como a las instalaciones de extracción e inyección, por los posibles problemas de corrosión o incrustación que se puedan causar por la composición química de las aguas. Se ha escogido el parámetro de la *conductividad eléctrica* (en $\mu\text{S/cm}$) porque representa la mineralización del agua. Estos datos se han obtenido preferentemente de los análisis químicos que se encuentran en el Sistema de Información Hidrológica del Área de Ciclo Hídrico de la Diputación de Alicante.

Elaboración del Mapa de síntesis de tipos de acuíferos de la provincia de Alicante

Con la capa de acuíferos perteneciente al Mapa Hidrogeológico de Alicante a escala 1:150.000 (Diputación de Alicante), se ha elaborado un mapa de síntesis de todos los acuíferos de la provincia de Alicante. Estos acuíferos se han clasificado en tres grupos en función de su naturaleza, distinguiéndolos por colores y tramas:

- Detríticos (color azul y trama de puntos)
- Carbonatados (color verde y trama de ladrillos)
- Mixtos (color naranja y trama de ladrillos con puntos)

Y posteriormente, en función de su permeabilidad, con el tamaño de la trama (siendo la trama más amplia la de mayor permeabilidad) y el color (el más claro para la permeabilidad más baja):

- Alta (trama más grande y color oscuro)
- Media (trama media y color intermedio)
- Baja (trama pequeña y color claro)

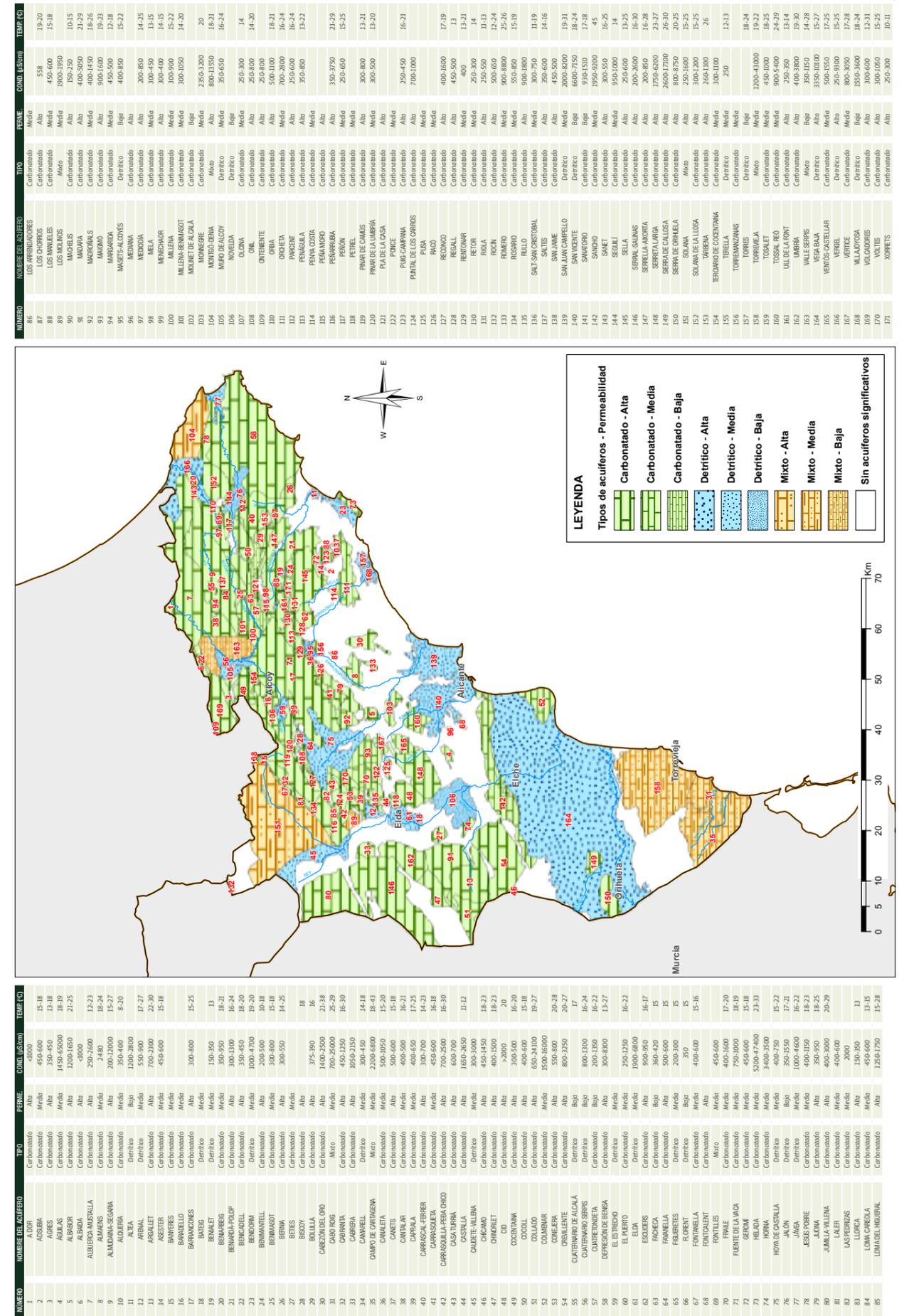
En cada uno de los acuíferos, se han asignado valores medios a los parámetros antes mencionados, siempre en función de la disponibilidad de datos existentes en las fuentes originales de información, a excepción de la profundidad del agua, obtenida a partir de los datos del mapa de isopropiedades. Como resultado final, se presenta una tabla con los acuíferos y características asignadas que se incluyen en el mapa general elaborado (figura 41).

A este respecto, cabe señalar que en el caso de la permeabilidad, únicamente se ha especificado su clasificación en Alta, Media o Baja a partir de las características hidráulicas del acuífero y de los datos disponibles de obras de captación. Respecto a los parámetros de conductividad y temperatura, para aquellos casos en los que no se disponía de datos/valores concretos, se ha estimado su clasificación (Alta, Media o Baja) en función de las características del acuífero correspondiente y de los datos existentes sobre su uso, en el primer caso, y de los datos de la zona circundante/más cercanos disponibles en acuíferos similares, en el segundo caso.

Mapas de caracterización de acuíferos en la provincia de Alicante

A partir del mapa de isopropiedades del agua y de la información contenida en la tabla de síntesis de los acuíferos, se han elaborado cuatro mapas generales de caracterización de los acuíferos en función de los parámetros estudiados y que influyen directamente en la viabilidad técnica y económica de la utilización de la bomba de calor, atendiendo a la profundidad del agua, a los rangos de valores registrados de conductividad y temperatura del agua, y a la clasificación de la permeabilidad (figuras 42-45).

Figura 41. Mapa de síntesis de tipos de acuíferos de la provincia de Alicante atendiendo a su naturaleza y permeabilidad. Fuente: elaboración propia



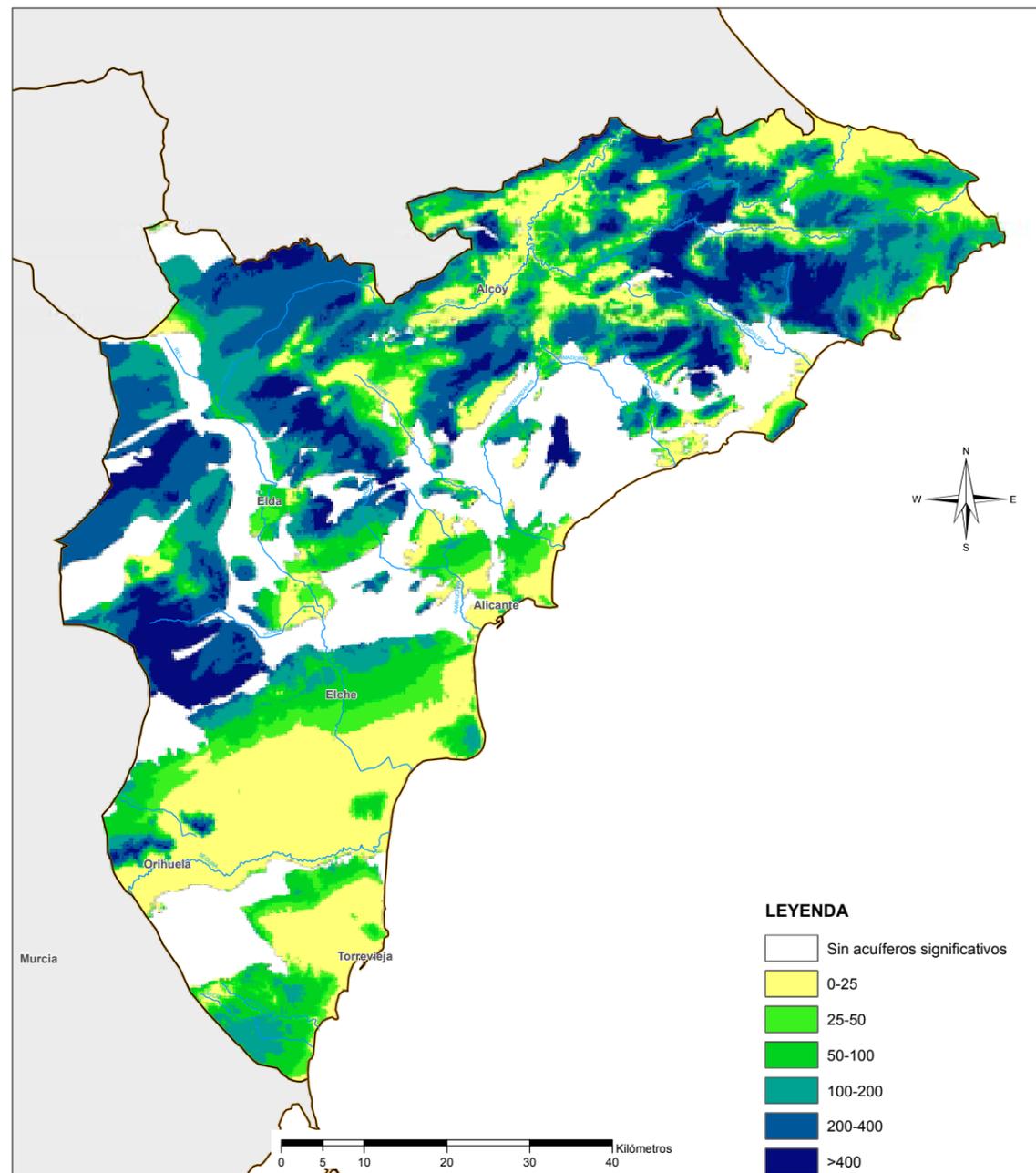
Mapa de caracterización de acuíferos según la profundidad del nivel del agua

Se han establecido los siguientes rangos de profundidad:

- 0-25 m
- 25-50 m
- 50-100 m
- 100-200 m
- 200-400 m
- >400 m

El mapa se presenta en la **figura 42**.

Figura 42. Caracterización de acuíferos según la profundidad del nivel del agua



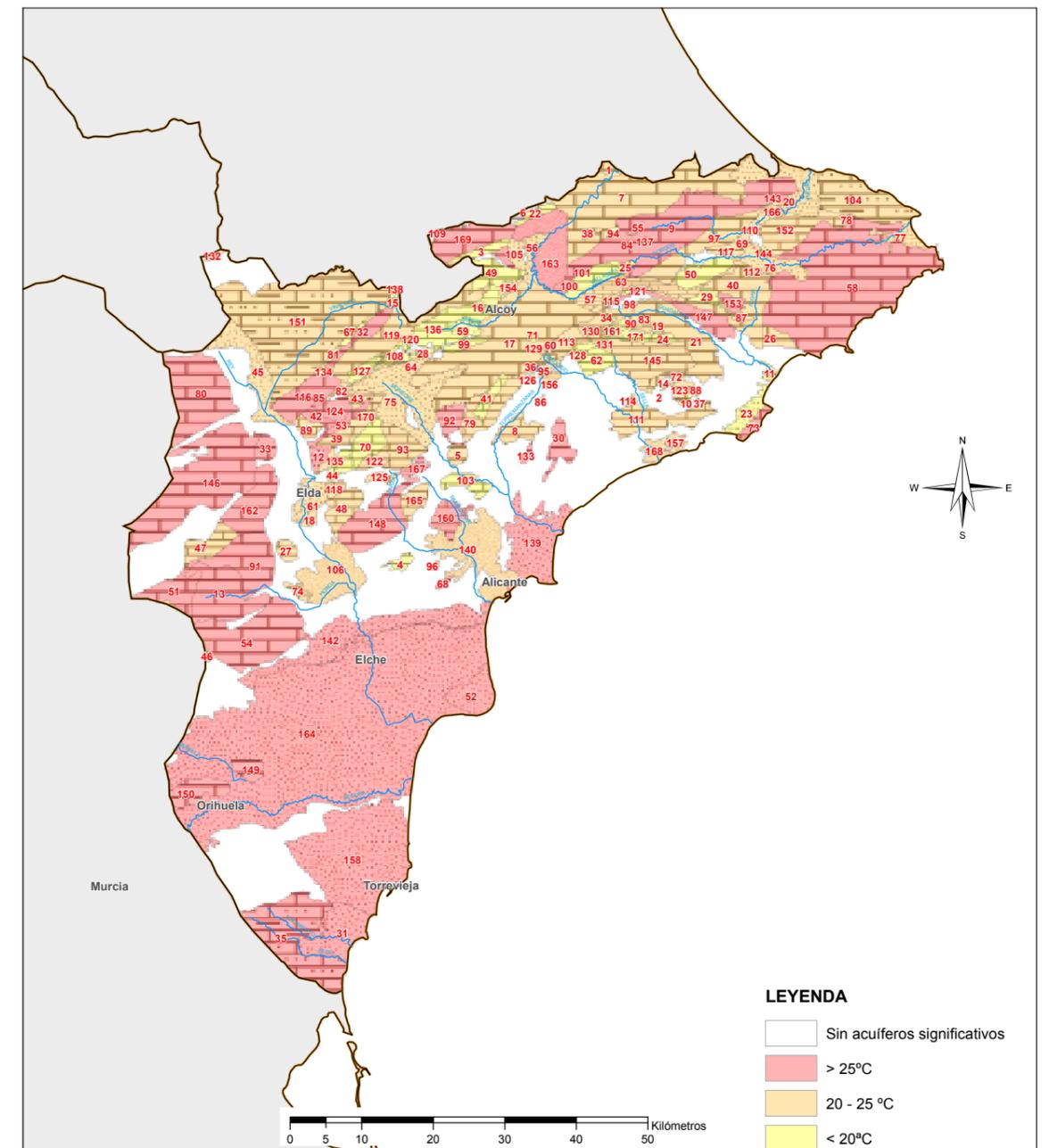
Mapa de caracterización de acuíferos según la temperatura del agua

Se han establecido los siguientes rangos:

- Temperatura > 25°C
- Temperatura 20-25°C
- Temperatura < 20°C

El mapa se presenta en la **figura 43**.

Figura 43. Caracterización de acuíferos según la temperatura del agua



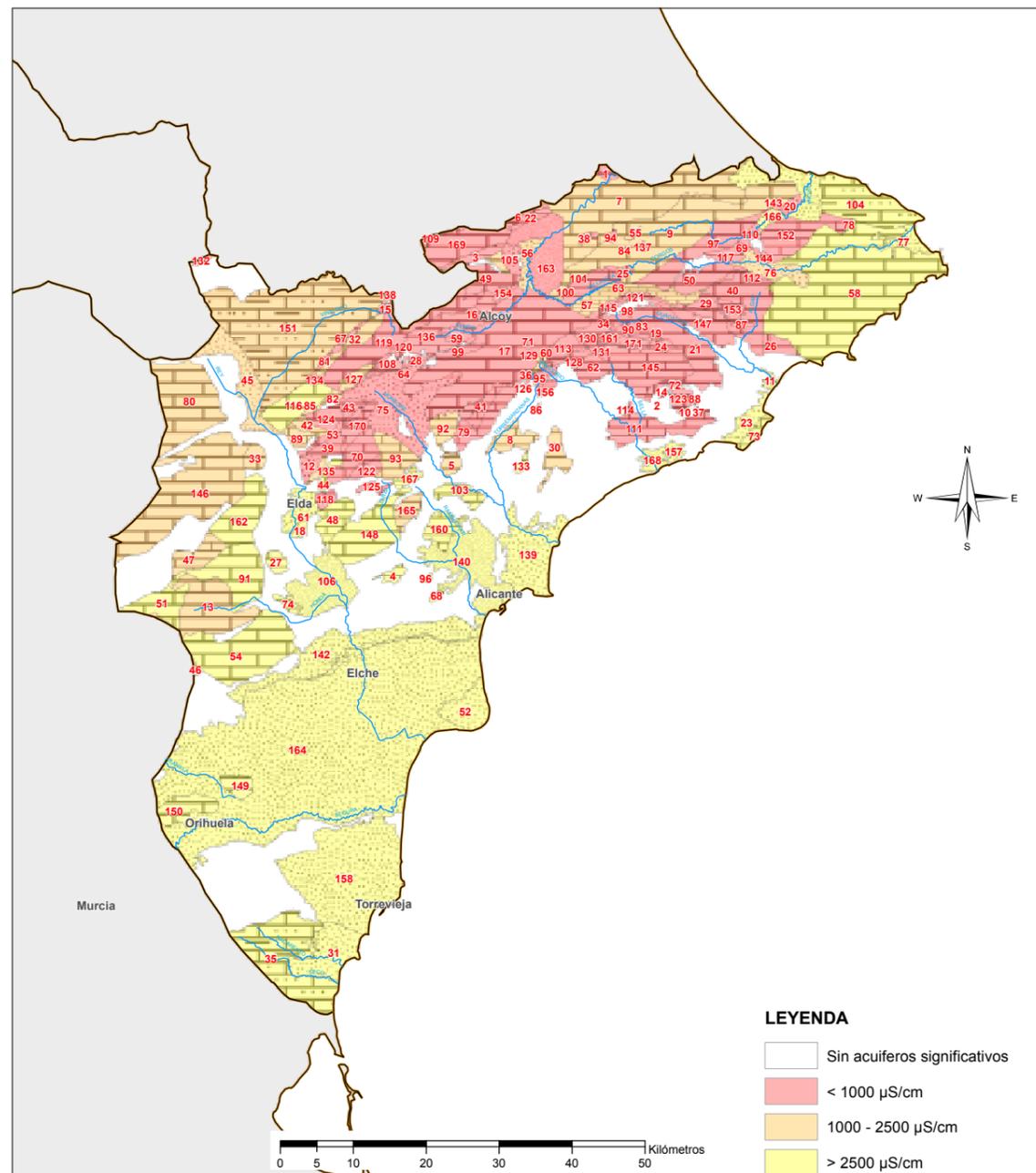
Mapa de caracterización de acuíferos según la conductividad del agua

Se han establecido los siguientes rangos:

- Conductividad < 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- Conductividad 1.000-2.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- Conductividad > 2.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$

El mapa correspondiente se presenta en la **figura 44**.

Figura 44. Caracterización de acuíferos según la conductividad del agua



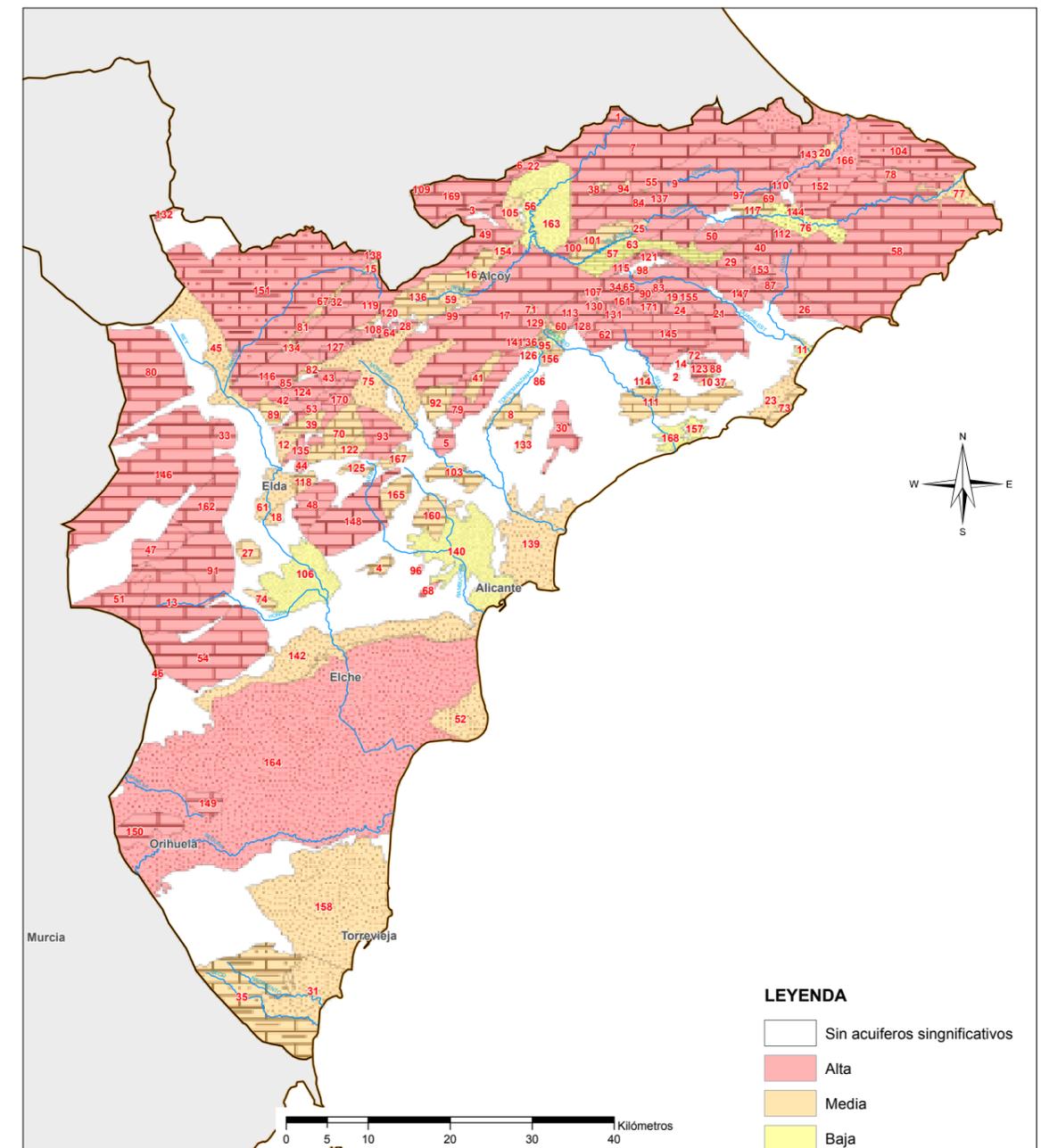
Mapa de caracterización de acuíferos según su permeabilidad

Se han establecido los siguientes rangos:

- Permeabilidad alta
- Permeabilidad media
- Permeabilidad baja

El mapa correspondiente se presenta en la **figura 45**.

Figura 45. Caracterización de acuíferos según su permeabilidad



[3.4] ANÁLISIS DEL MERCADO POTENCIAL DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA DE BAJA Y MUY BAJA TEMPERATURA EN ALICANTE

Presentación

El presente apartado tiene por objeto la realización de una estimación aproximada del mercado potencial de la energía geotérmica de baja y muy baja temperatura en el territorio de la provincia de Alicante. A efectos de definir las zonas de la misma que, *a priori*, ofrecen un mayor potencial de cara a esta posible utilización de recursos geotérmicos, se ha adoptado, como primer criterio, la distribución de la población. En tal sentido, se han seleccionado como áreas de interés prioritario los **dieciocho (18) términos municipales** cuya población supera los **25.000 habitantes**, a los que se han añadido otros **siete (7), considerados de interés** por parte de Ciclo Hídrico de la Diputación de Alicante, de población inferior a la citada. Este conjunto de municipios concentra un total de **1.397.780 habitantes**, cifra que representa el **71,8%** de la población total de la provincia.

Según se observa en la **tabla 9**, la superficie conjunta de dichos municipios supone el **44%** de la provincial, mientras que la **superficie urbana edificada** incluida en los mismos – excluidas las áreas urbanas sin edificar – constituye, según los datos del año 2012 publicados de la Dirección General del Catastro del Ministerio de

Hacienda y Administraciones Públicas, el **60,8%** de la superficie urbana edificada total de la provincia.

En cada uno de los municipios seleccionados se ha realizado el inventario de un total de **15 categorías de instalaciones** consideradas como potenciales consumidoras de este tipo de energía. Se trata de las siguientes:

- Centros comerciales, hipermercados, supermercados y centros de ocio.
- Palacios de congresos, recintos feriales y auditorios.
- Centros sanitarios.
- Residencias de mayores.
- Instalaciones deportivas (polideportivos y pabellones cubiertos).
- Hoteles.
- Apartamentos turísticos.
- Universidades.
- Centros de negocios.
- Centros logísticos.
- Polígonos industriales, parques empresariales y parques tecnológicos.
- Instalaciones aeroportuarias.
- Puertos.
- Estaciones de ferrocarril.
- Estaciones de autobuses.

Asimismo, se ha procedido también a incorporar a este inventario la superficie y algunos otros datos adicionales de algunas de estas categorías de instala-

ciones, de especial interés a efectos de valorar posibles aprovechamientos geotérmicos en las mismas. Tal es el caso de los centros comerciales y de ocio, palacios de congresos, recintos feriales y auditorios, centros sanitarios, residencias de mayores, instalaciones deportivas, hoteles y apartamentos turísticos, cuya superficie aparece recogida en diversos documentos o bien ha sido estimada de forma indirecta.

| Término municipal | Población ¹ (hab.) | Superficie (ha) | | Relación entre población del municipio y de la provincia | Relación entre superf. total municipal y superf. total provincial | Relación entre superf. urbana edif. municipal y superf. urbana edif. provincial |
|---|-------------------------------|--------------------|-------------------------------|--|---|---|
| | | Total ¹ | Urbana edificada ² | | | |
| Alcoy/Alcoi | 60.105 | 12.986 | 589,60 | 3,1% | 2,2% | 2,0% |
| Alicante/Alacant | 335.052 | 20.127 | 2.824,41 | 17,2% | 3,5% | 9,6% |
| Benidorm | 73.768 | 3.851 | 1.016,83 | 3,8% | 0,7% | 3,5% |
| Calp | 29.442 | 2.351 | 689,63 | 1,5% | 0,4% | 2,4% |
| Campello (EI) | 28.184 | 5.527 | 449,93 | 1,4% | 1,0% | 1,5% |
| Cocentaina-Muro de Alcoy-L'Alqueria d'Asnar | 21.132 | 8.426 | 468,12 | 1,1% | 1,4% | 1,6% |
| Crevillent | 28.382 | 10.455 | 346,70 | 1,5% | 1,8% | 1,2% |
| Dénia | 44.450 | 6.618 | 1.304,14 | 2,3% | 1,1% | 4,5% |
| Elche/Elx | 230.224 | 32.607 | 2.257,89 | 11,8% | 5,6% | 7,7% |
| Elda | 54.056 | 4.579 | 340,84 | 2,8% | 0,8% | 1,2% |
| Ibi-Castalla-Onil-Tíbi | 43.514 | 29.591 | 636,48 | 2,2% | 5,1% | 2,2% |
| Jávea/Xàbia | 33.149 | 6.859 | 1.518,65 | 1,7% | 1,2% | 5,2% |
| Novelda | 26.517 | 7.565 | 220,51 | 1,4% | 1,3% | 0,8% |
| Orihuela | 91.260 | 36.544 | 1.692,65 | 4,7% | 6,3% | 5,8% |
| Petrer | 34.757 | 10.420 | 304,63 | 1,8% | 1,8% | 1,0% |
| San Vicente del Raspeig/Sant Vicent del Raspeig | 55.781 | 4.055 | 867,16 | 2,9% | 0,7% | 3,0% |
| Santa Pola | 34.134 | 5.816 | 559,69 | 1,8% | 1,0% | 1,9% |
| Torre Vieja | 105.205 | 7.144 | 1.109,87 | 5,4% | 1,2% | 3,8% |
| Villajoyosa/Vila Joiosa (La) | 33.834 | 5.925 | 349,74 | 1,7% | 1,0% | 1,2% |
| Villena | 34.834 | 34.537 | 267,72 | 1,8% | 5,9% | 0,9% |
| SUBTOTAL | 1.397.780 | 255.983 | 17.815,19 | 71,8% | 44,0% | 60,8% |
| Resto municipios | 547.862 | 325.662 | 11.462,46 | 28,2% | 56,0% | 39,2% |
| TOTAL | 1.945.642 | 581.645 | 29.277,65 | 100,0% | 100,0% | 100,0% |

1. Datos extraídos del Padrón Municipal a 1/1/2013 (Instituto Nacional de Estadística)

2. Datos 2013 de la Dirección General del Catastro (Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas)

Tabla 9. Población, superficie total y superficie urbana edificada de los 18 municipios de la provincia de Alicante cuya población supera los 25.000 habitantes

ANÁLISIS DEL MERCADO POTENCIAL

Fuentes de información

En lo referente al cálculo de superficies, las fuentes empleadas para su estimación han sido las siguientes:

CENTROS COMERCIALES, HIPERMERCADOS, SUPERMERCADOS Y CENTROS DE OCIO

- *Los centros comerciales en la Comunitat Valenciana 2010*. Oficina Comercio y Territorio del Consejo de Cámaras de Comercio, Industria y Navegación de la Comunidad Valenciana.
- Asociación Española de Centros Comerciales (AECC)
- Páginas WEB de los propios centros

PALACIOS DE CONGRESOS, RECINTOS FERIALES Y AUDITORIOS

- Asociación de Palacios de Congresos de España
- Páginas WEB de los propios recintos

CENTROS SANITARIOS

- *Catálogo 2012 de Hospitales del Sistema Nacional de Salud* (Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad)
- *Catálogo 2012 de Centros de Atención Primaria del Sistema Nacional de Salud* (Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad)

RESIDENCIAS DE MAYORES

- *Buscador de Centros* (Consellería de Bienestar Social de la Generalitat Valenciana).
- *Infoelder* (Ayuda a la tercera edad y cuidado de mayores).

INSTALACIONES DEPORTIVAS (POLIDEPORTIVOS Y PABELLONES CUBIERTOS)

- *Instalaciones Deportivas de la Comunitat Valenciana*. Censo Nacional de Instalaciones Deportivas 2005. Consejo Superior de Deportes y Generalitat Valenciana

- Páginas WEB municipales

HOTELES Y APARTAMENTOS TURÍSTICOS

- *Oferta Turística Municipal y Comarcal de la Comunitat Valenciana 2011*. Conselleria de Turismo, Comercio y Deporte. Generalitat Valenciana
- Decreto 153/1993, de 17 de agosto, del Gobierno Valenciano, regulador de los establecimientos hoteleros de la Comunidad
- Decreto 91/2009, de 3 de julio, del Consell, por el que aprueba el reglamento regulador de los bloques y conjuntos de viviendas turísticas de la Comunitat Valenciana
- Decreto 92/2009, de 3 de julio, del Consell, por el que aprueba el reglamento regulador de las viviendas turísticas denominadas apartamentos, villas, chalés, bungalows y similares, y de las empresas gestoras, personas jurídicas o físicas, dedicadas a la cesión de su uso y disfrute, en el ámbito territorial de la Comunitat Valenciana

- Decreto 47/2004, de 10 de febrero, de establecimientos hoteleros - Junta de Andalucía

Centros Comerciales, Hipermercados, Supermercados y Centros de Ocio

La **tabla 10** refleja la superficie estimada de los centros comerciales, hipermercados, supermercados y centros de ocio inventariados, cuyo resultado final se resume en la **figura 46**. Estos datos indican que los dos municipios más poblados entre los seleccionados –Alicante y Elche– concentran el **52,1%** de la superficie bruta alquilable total.

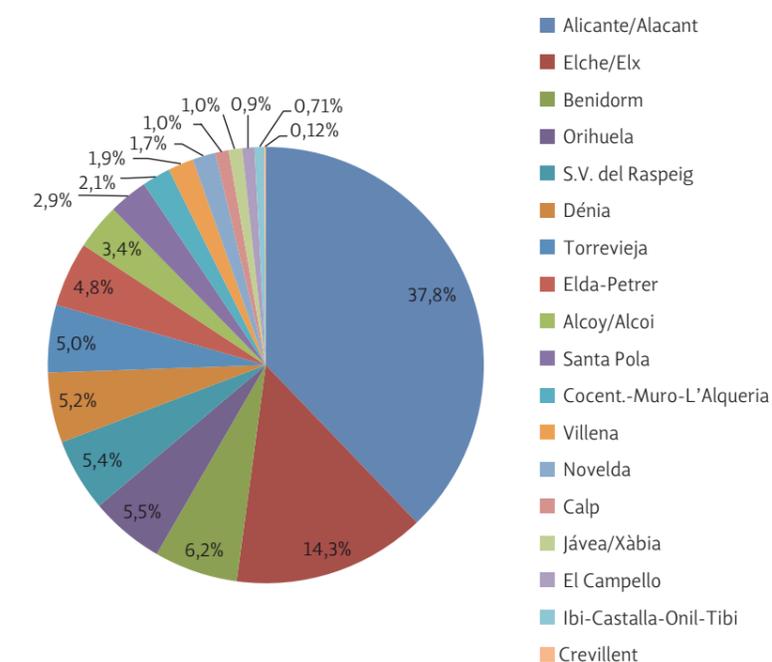


Figura 46. Distribución porcentual de la S.B.A. de los centros comerciales, hipermercados, supermercados y centros de ocio inventariados

| Término municipal | Nombre del centro | SBA* (m ²) |
|---|--|--|
| Alcoy / Alcoi | Hipermercado Eroski | 8.541 |
| | Centro comercial y de Ocio Alzamora | 19.070 |
| | SUBTOTAL | 27.611 |
| Alicante / Alacant | Centro comercial Plaza Mar 2 | 43.684 |
| | Centro comercial Carrefour Sant Joan d'Alacant | 17.806 |
| | Centro comercial Bulevar Plaza | 6.300 |
| | Parque comercial Vistahermosa | 34.000 |
| | Centro comercial Gra Vía | 37.372 |
| | Centro comercial Panoramis | 16.000 |
| | Centro comercial Puerta de Alicante | 34.500 |
| | Área comercial Corfú | 15.000 |
| | El Corte Inglés (Avda. de Federico Soto) | 37.009 |
| | El Corte Inglés (Avda. de Maisonnave, 53) | 43.083 |
| | El Corte Inglés (Calsteller, 3) | 3.000 |
| | Hipermercado Carrefour San Juan (Carrefour Planet) | 17.806 |
| | SUBTOTAL | 305.560 |
| | Benidorm | Centro comercial La Marina (Finestrat) |
| Hipermercado CARREFOUR Benidorm Finestrat | | 12.909 |
| Benidorm Palace | | 3.027 |
| Aqualandia Benidorm | | - |
| Mundomar Benidorm | | - |
| Terra Natura/Aqua Natura | | - |
| Terra Mítica | | - |
| SUBTOTAL | 50.175 | |
| Calp | Centro comercial Plaza Central | 8.000 |
| Cocentaina-Muro-L'Alqueria | Centro comercial L'Altet | 16.812 |
| Crevillent | Supermercado DIA | 1.000 |
| Dénia | Hipermercado EROSKI | 1.300 |
| | Centro comercial Portal de La Marina (Ondara) | 40.613 |
| | SUBTOTAL | 41.913 |
| El Campello | Centro comercial Las Tiendas de Villa Marco | 7.600 |
| Elche/Elx | Centro comercial Ciudad de Elche | 43.790 |
| | Ruta Outlet Elche Parque Industrial | - |
| | Centro comercial L'Aljub | 43.800 |
| | Centro comercial CARREFOUR | 27.600 |
| SUBTOTAL | 115.190 | |

Continúa página siguiente

| Término municipal | Nombre del centro | SBA* (m ²) |
|--|---|------------------------|
| Elda-Petrer | Centro comercial Bassa el Moro (Petrer) | 19.300 |
| | Hipermercado CARREFOUR (Petrer) | 19.370 |
| | SUBTOTAL | 38.670 |
| Ibi-Castalla-Onil-Tibi | Supermercados Consum y Aldi (Ibi) | 4.250 |
| | Supermercado Aldi (Castalla) | 1.500 |
| | SUBTOTAL | 5.750 |
| Jávea/Xàbia | Supermercados MERCADONA | 4.500 |
| | Supermercado CONSUM | 1.500 |
| | Supermercado LIDL | 1.100 |
| | Supermercado DIA | 1.300 |
| SUBTOTAL | 8.400 | |
| Novelda | Ledua Park | 13.653 |
| Orihuela | Hipermercado EROSKI | 10.800 |
| | Hipermercado CARREFOUR Playas de Orihuela | 4.000 |
| | Centro comercial Ociopía | 30.000 |
| | SUBTOTAL | 44.800 |
| San Vicente del Raspeig / San Vicent del Raspeig | Centro comercial Almazara Center | 7.600 |
| | Centro comercial San Vicente Outlet Park | 36.300 |
| | SUBTOTAL | 43.900 |
| Santa Pola | Hipermercado EROSKI | 5.457 |
| | Centro comercial Polamax | 10.632 |
| | Centro comercial Gran Alacant | 7.500 |
| | SUBTOTAL | 23.589 |
| Torrevieja | Centro comercial Habaneras | 24.000 |
| | Mercado Central La Plaza | 1.386 |
| | Hipermercado CARREFOUR | 8.704 |
| | Centro de Ocio Ozone | 6.006 |
| SUBTOTAL | 40.096 | |
| Villajoyosa / La Vila Joiosa | - | 0 |
| Villena | Centro comercial Ferri | 15.000 |
| TOTAL | 807.719 | |

*SBA = Superficie Bruta Alquilable

Tabla 10. Superficie bruta alquilable estimada de los centros comerciales y de ocio inventariados

Palacios de Congresos, Recintos Feriales y Auditorios

La **tabla 11** refleja la superficie de los palacios de congresos, recintos feriales y auditorios inventariados en los municipios seleccionados. Según se observa en la **figura 47**, nuevamente, los dos municipios más poblados entre los seleccionados –Alicante y Elche– concentran más de la mitad de la superficie destinada a estos usos, concretamente un **56,4%**. El Auditorio de la Diputación de Alicante (28.580 m²) y la Institución Ferial Alicantina (28.924 m²), situados, respectivamente en los municipios de Alicante y Elche, constituyen los recintos destinados a estos usos de mayor superficie cubierta de la provincia.

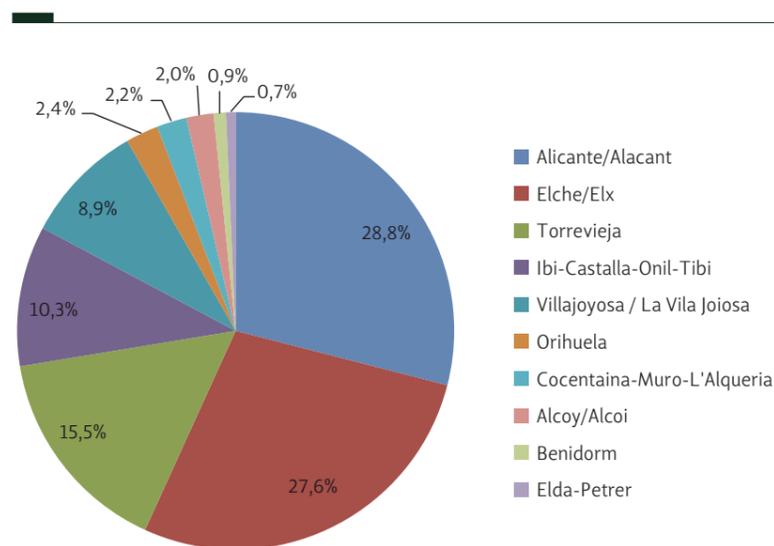


Figura 47. Distribución porcentual de la superficie de los palacios de congresos, recintos feriales y auditorios inventariados

| Término municipal | Denominación del recinto | Superficie (m ²) |
|---|--|------------------------------|
| Alcoy/Alcoi | Centre Cultural d'Alcoi | 2.250 |
| | Palacio de Congresos de Alicante | 3.522 |
| Alicante/Alacant | Auditorio de la Diputación de Alicante-ADDA | 28.580 |
| | SUBTOTAL | 32.102 |
| Benidorm | Auditorio de Cristal | 1.000 |
| Calp | - | - |
| Campello (El) | - | - |
| Cocentaina-Muro de Alcoy - L'Alqueria d'Asnar | Centro Cultural El Teular (Cocentaina) | 2.500 |
| Crevillent | - | - |
| Dénia | - | - |
| Elche/Elx | Centro de Congresos "Ciutat d'Elx" | 1.800 |
| | Institución Ferial Alicantina (IFA) | 28.924 |
| | SUBTOTAL | 30.724 |
| Elda-Petrer | Auditorio ADOC (Elda) | 760 |
| | Casa de Cultura (Castalla) | 1.900 |
| Ibi-Castalla-Onil-Tibi | Auditorio Municipal (Castalla) | 2.000 |
| | Centro Cultural de la Villa (Ibi) | 3.800 |
| | Centro Cultural de Onil | 3.000 |
| | SUBTOTAL | 10.700 |
| | Jávea/Xàbia | - |
| Novelda | - | - |
| Orihuela | Auditorio, Centro Social y de la 3ª Edad San Bartolomé | 1.300 |
| | Auditorio La Lonja | 1.405 |
| SUBTOTAL | 2.705 | |
| San Vicente del Raspeig / Sant Vicent del Raspeig | Auditorio Centro Social San Vicente | 638 |
| Santa Pola | - | - |
| Torrevieja | Palacio de la Música | - |
| | Auditorio-Conservatorio Internacional de Música | 16.166 |
| | Teatro Auditorio Municipal | 1.100 |
| | SUBTOTAL | 17.266 |
| Villajoyosa/Vila Joiosa (La) | Teatro Auditorio Municipal | 9.869 |
| Villena | - | - |
| TOTAL | TOTAL | 110.514 |

Tabla 11. Superficie estimada de los palacios de congresos, recintos feriales y auditorios inventariados

Centros Sanitarios

En lo referente a los centros sanitarios de la provincia de Alicante, el inventario realizado incluye tanto los hospitales y centros de salud públicos como los centros privados de mayor entidad. Los datos de superficie de estas instalaciones no se incluyen entre los que figuran en el *Catálogo 2012 de Hospitales* ni en el *Catálogo 2012 de Centros de Atención Primaria* del Sistema Nacional de Salud (Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad), y tampoco aparecen en la WEB de la Agència Valenciana de Salut; no obstante, en el caso de los centros que prestan atención hospitalaria sí se dispone del número de camas.

Aprovechando esta circunstancia, así como el hecho de que, en la Comunidad de Madrid, sí se han podido obtener datos de superficie hospitalaria, a partir de estos últimos se ha calculado un coeficiente medio de 134 m² por cama, el cual se ha aplicado con todas las reservas inherentes a la naturaleza de esta estimación, a los centros hospitalarios de la provincia de Alicante. El resultado aparece reflejado en la **tabla 12** y, en términos porcentuales, en la **figura 48**. Según se observa en esta última figura, las dos ciudades más pobladas de la provincia –Alicante y Elche– concentran el 51% del total de superficie hospitalaria correspondiente a los municipios inventariados.

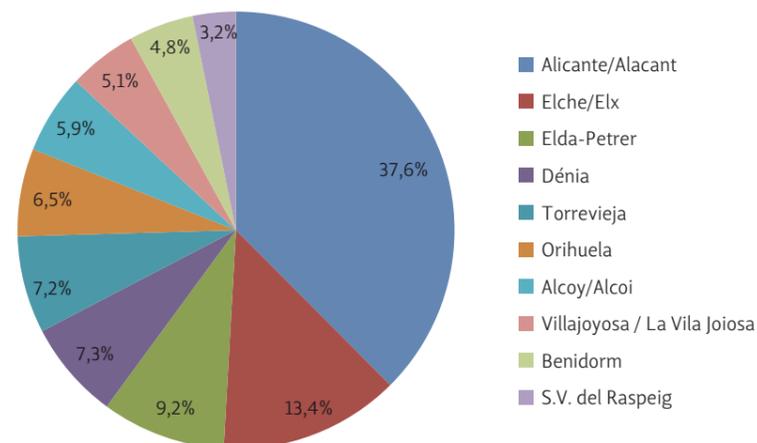


Figura 48. Distribución porcentual de la superficie de los centros hospitalarios inventariados

| Término municipal | Denominación del centro | Nº camas | Superficie ¹ (m ²) |
|--|---|---------------|---|
| Alcoy/Alcoi | Hospital Virgen de los Lirios | 305 | 40.870 |
| | Sanatorio San Jorge, s.l. | 26 | 3.484 |
| | SUBTOTAL | 331 | 44.354 |
| Alicante/Alacant | Hospital General Universitario de Alicante | 825 | 110.550 |
| | Hospital Psiquiátrico Penitenciario | 432 | 57.888 |
| | Hospital Internacional Medimar, S.A. | 66 | 8.844 |
| | Clínica Cazorla | 22 | 2.948 |
| | Clínica Vistahermosa, S.A. | 104 | 13.936 |
| | Clínica Mediterránea de Neurociencias | 51 | 6.834 |
| | Casa de Reposo y Sanatorio del Perpetuo Socorro | 103 | 13.802 |
| | Hospital Universitario San Juan de Alicante | 396 | 53.064 |
| | Centro Socio-Sanitario Dr. Esquerdo | 100 | 13.400 |
| | SUBTOTAL | 2.099 | 281.266 |
| Benidorm | Hospital Clínica Benidorm | 166 | 22.244 |
| | Hospital de Levante | 100 | 13.400 |
| SUBTOTAL | 266 | 35.644 | |
| Calp | - | - | - |
| El Campello | - | - | - |
| Cocentaina-Muro-L'Alqueria | - | - | - |
| Crevillent | - | - | - |
| Dénia | Centro Médico Dénia | 10 | 1.340 |
| | Hospital de Dénia | 266 | 35.644 |
| | Hospital la Pedrera | 107 | 14.338 |
| | Policlínico San Carlos, S.L. | 23 | 3.082 |
| SUBTOTAL | 406 | 54.404 | |
| Elche/Elx | Hospital General Universitario de Elche | 492 | 65.928 |
| | Clínica médico-quirúrgica Ciudad Jardín, S.A. | 40 | 5.360 |
| | Hospital de Vinalopó | 214 | 28.676 |
| SUBTOTAL | 746 | 99.964 | |
| Elda-Petrer | Hospital General de Elda "Virgen de la Salud" | 513 | 68.742 |
| Ibi-Castalla-Onil-Tibi | - | - | - |
| Jávea / Xàbia | - | - | - |
| Novelda | - | - | - |
| Orihuela | Hospital de la Vega Baja | 361 | 48.374 |
| San Vicente del Raspeig / San Vicent del Raspeig | Hospital San Vicente | 179 | 23.986 |
| Santa Pola | - | - | - |
| Torreveja | Hospital de Torreveja | 269 | 36.046 |
| | Hospital San Jaime | 132 | 17.688 |
| SUBTOTAL | 401 | 53.734 | |
| Villajoyosa/La Vila Joiosa | Hospital de la Marina Baja | 286 | 38.324 |
| Villena | - | - | - |
| TOTAL | | 5.588 | 748.792 |

1. Calculada aplicando un coeficiente medio de 134 m² por cama

Tabla 12. Superficie estimada de los centros hospitalarios inventariados

Residencias de Mayores

La **tabla 13** recoge los datos correspondientes al número de residencias de mayores y de plazas en los municipios seleccionados, procedentes de la Consellería de Bienestar Social de la Generalitat Valenciana, buscadores WEB privados de residencias y las propias páginas WEB de estas últimas. El total de residencias inventariadas asciende a **70**.

De acuerdo con estos resultados y según refleja la **figura 49**, del conjunto de municipios estudiados Alicante y Elche –los más poblados de la provincia– concentran el mayor número de plazas residenciales, con el **24%** y el **10,1%** respectivamente, seguidos de Alcoy (**9,2%**) y Torrevieja (**6,9%**). Todos los restantes se sitúan por debajo del 6%. En lo referente a la superficie construida de estos centros, la variabilidad es considerablemente amplia y tampoco es posible disponer, al menos en el marco del presente estudio, de datos específicos de cada uno de ellos. En tales circunstancias, se ha optado por asignar un valor medio de superficie construida por plaza residencial, obtenido a partir de un estudio realizado por la Universidad de Cantabria en el año 2012. Dicho valor es de **34,42 m²** por plaza. Según se observa en la **tabla 14**, la aplicación este coeficiente proporciona una superficie total construida de estos establecimientos de **215.915 m²**.

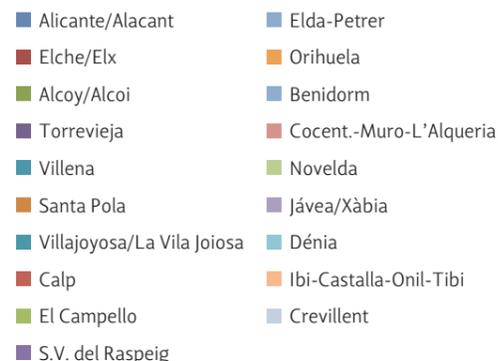


Figura 49. Distribución porcentual del nº de plazas residenciales en los municipios seleccionados

| Término municipal | Nº plazas | Superficie construida ¹ (m²) |
|---|--------------|---|
| Alicante/Alacant | 1.508 | 51.905 |
| Elche/Elx | 636 | 21.891 |
| Alcoy/Alcoi | 577 | 19.860 |
| Torrevieja | 430 | 14.801 |
| Villena | 372 | 12.804 |
| Santa Pola | 340 | 11.703 |
| Villajoyosa / Vila Joiosa (La) | 314 | 10.808 |
| Calp | 297 | 10.223 |
| Campello (El) | 274 | 9.431 |
| San Vicente del Raspeig / Sant Vicent del Raspeig | 236 | 8.123 |
| Elda-Petrer | 229 | 7.882 |
| Orihuela | 200 | 6.884 |
| Benidorm | 191 | 6.574 |
| Cocentaina-Muro de Alcoy-L'Alqueria d'Asnar | 190 | 6.540 |
| Novelda | 140 | 4.819 |
| Jávea/Xàbia | 121 | 4.165 |
| Dénia | 100 | 3.442 |
| Ibi-Castalla-Onil-Tibi | 87 | 2.995 |
| Crevillent | 32 | 1.101 |
| TOTAL | 6.274 | 215.951 |

1. Suponiendo un coeficiente medio de 34,42 m²/plaza

Tabla 14. Estimación aproximada de la superficie construida de las residencias inventariadas

| Término municipal | Denominación del centro | Nº plazas | Término municipal | Denominación del centro | Nº plazas |
|--------------------------------------|--|--|---|---|-------------|
| Alcoy/Alcoi | Residencia Novaire Alcoy-Hospital Oliver (concertada) | 140 | Elche/Elx | Residencia Novaire Elche (privada concertada) | 140 |
| | Centro de respiro Solroja para e. de Alzheimer (privado) | 17 | | Residencia Novaire Elche Carrús (privada concertada) | 140 |
| | Residencia Emilio Sala (pública) | 160 | | Residencia de 3ª edad Elche (pública) | 116 |
| | Residencia asistida de 3ª edad Mariola (pública) | 60 | | Centro Residencial Elche Seniors (privada concertada) | 90 |
| | Asilo Hogar San José (privado) | 200 | | Asilo Hogar San José (privada) | 150 |
| SUBTOTAL | | 577 | SUBTOTAL | | 636 |
| Alicante/Alacant | Residencia Alacant (pública) | 230 | Elda-Petrer | Residencia Novaire Elda (privada concertada) | 140 |
| | Residencia La Florida (pública) | 96 | | Residencia de 3ª edad de Elda el Cati (pública) | 89 |
| | Residencia Aitana (pública) | 49 | | SUBTOTAL | |
| | Residencia Nuestra Sra. De Lourdes (privada) | 64 | Ibi-Castalla-Onil-Tibi | Hogar - Asilo San Joaquín (privada) | 36 |
| | Residencia el Paular (privada) | 45 | | Residencia de 3ª edad Casseta Sarrió (pública) | 51 |
| | Residencia Vistahermosa (concertada) | 33 | | SUBTOTAL | |
| | Residencia Doña Rosa (privada) | 70 | Jávea/Xàbia | Residence Xàbia Bela (privada) | 31 |
| | Residencia Beanda (privada) | 31 | | Fundación Residencia Asilo Hermanos Cholbi (privada) | 60 |
| | Residencia Hogar Provincial (pública - Dpción Alicante) | 125 | | Residencial de 3ª edad Bon Repòs - Jávea (privada) | 30 |
| | Residencia Ballesol Vía Parque (privada) | 148 | SUBTOTAL | | 121 |
| | Residencia Ballesol San Juan (privada) | 112 | Novelda | Asilo Hnitas. de los Ancianos Desamparados (privada) | 140 |
| | Residencia Novaire Alicante Condomina (concertada) | 140 | | Residencia de la 3ª edad Orihuela (pública) | 100 |
| | Residencia Novaire Alicante Babel (cconcertada) | 140 | Orihuela | Hogar Nuestra Señora de los Desamparados (privada) | 100 |
| | Residencia San Martín de Porres (privada) | 19 | | SUBTOTAL | |
| | Residencia Virgen del Remedio (privada) | 70 | San Vicente del Raspeig/Sant Vicent del Raspeig | Residencia Novaire S. V. Raspeig (privada concertada) | 140 |
| Centro Geriátrico Torremar (privada) | 25 | Residencia de la 3ª edad San Vicente (privada) | | 52 | |
| Residencia Nazaria, C.B. (privada) | 18 | Residencia Nuestra Sra. de la Victoria (privada) | | 20 | |
| Residencia 3ª Edad Vicent (privada) | 10 | Residencia Corazón de María, S. L. (privada) | | 24 | |
| Residencia Gerusia (privada) | 83 | SUBTOTAL | | 236 | |
| SUBTOTAL | | 1.508 | Santa Pola | Residencia Novaire Santa Pola (privada concertada) | 140 |
| Benidorm | Residencia Geriátrica Ciudad Patricia (privada) | 70 | | Residencia de 3ª edad Suecia (pública) | 60 |
| | Residencia Mezaest (privada) | 21 | | Residencia Solimar Santa Pola (privada concertada) | 140 |
| | Residencia de 3ª edad de Benidorm (pública) | 100 | SUBTOTAL | | 340 |
| SUBTOTAL | | 191 | Torrevieja | Residencia Mar Bella (privada) | 39 |
| Calp | La Saleta Calp (privada) | 131 | | Los Jardines de Clara (privada) | 48 |
| | Residencia Colina (privada) | 20 | | Residencia Mar de Levante (privada) | 30 |
| | Residencia Pare Pere (privada) | 12 | | Residencia de 3ª edad de Torrevieja (pública) | 248 |
| | Costa Blanca Senior Services (privado) | 36 | | Santo Hospital Residencia de Ancianos La Inmaculada (pública) | 65 |
| | Hábitat Calpe (privada-concertada) | 98 | SUBTOTAL | | 430 |
| SUBTOTAL | | 297 | Villajoyosa /La Vila Joiosa | Residencia Ballesol Costa Blanca Senior Resort (privada) | 185 |
| Campello (El) | Residencia Orpea Campello (privada) | 134 | | Centro Municipal de Asistencia Santa Marta (pública) | 100 |
| | Residencia Novaire El Campello (privada concertada) | 140 | | Residencia Noruega Vistamar (privada) | 29 |
| SUBTOTAL | | 274 | SUBTOTAL | | 314 |
| Cocentaina-Muro-L'Alqueria d'Asnar | Residencia Novaire Cocentaina (privada concertada) | 140 | Villena | Residencia Nuestra Sra. de las Virtudes (privada) | 80 |
| | Fundación Casa de Beneficiencia (privada) | 50 | | Centro Geriátrico La Morenica (privada) | 292 |
| SUBTOTAL | | 190 | SUBTOTAL | | 372 |
| Crevillent | Residencia La Purísima (privada) | 32 | TOTAL | | 6274 |
| Dénia | Residencia Municipal Sta. Lucía (pública) | 100 | | | |

Tabla 13. Número de plazas en residencias de mayores

Instalaciones Deportivas

La **tabla 15** refleja las superficies de las instalaciones deportivas inventariadas, en las que se incluyen poli-deportivos, pabellones cubiertos y piscinas climatizadas. La información de partida proviene del Censo Nacional de Instalaciones Deportivas 2005 de la Comunitat Valenciana, actualizado a partir de la información recogida en las respectivas páginas WEB municipales y de instalaciones privadas, en las que también se obtuvieron los datos de superficie dado que éstos no figuran en el citado Censo.

Respecto a este último aspecto conviene destacar la dificultad existente para determinar exclusivamente la superficie cubierta de estas instalaciones –la única de interés a efectos de un posible aprovechamiento geotérmico– pues, en los casos en que aparece especificada una superficie concreta, esta suele incluir también las áreas deportivas al aire libre (campos deportivos, piscinas de verano, etc.), a menudo muy superiores a las de las instalaciones cubiertas.

Estas consideraciones han de tenerse en cuenta a la hora de valorar los datos reflejados en la citada **tabla 15** así como en la **figura 50**, en la que se representa la distribución porcentual calculada para la superficie de las instalaciones deportivas cubiertas inventariadas. Estos resultados sitúan en las tres primeras posiciones, por este orden, a los términos municipales de Elche, Benidorm y Alicante.

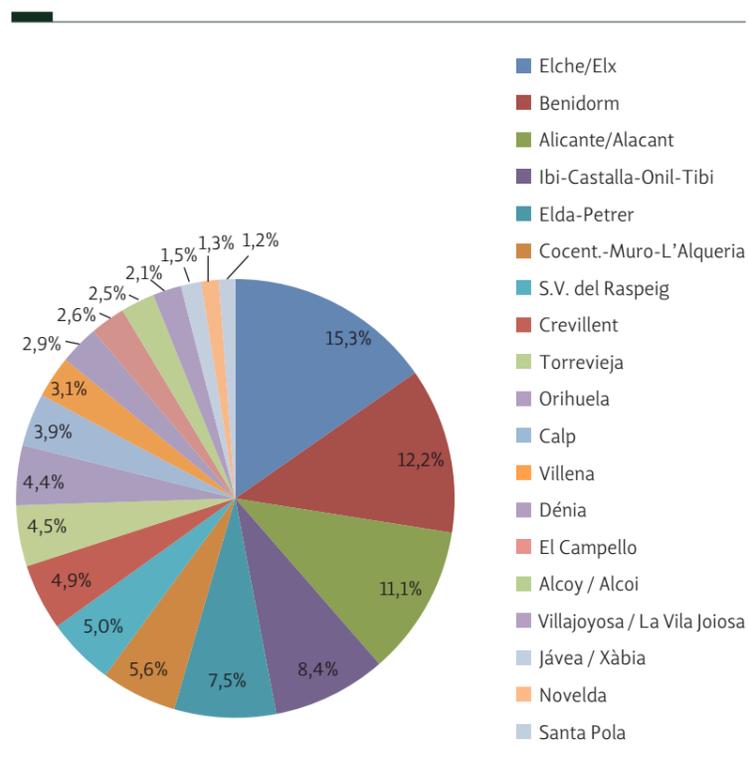


Figura 50. Distribución porcentual de la superficie de las instalaciones deportivas cubiertas inventariadas

| Término municipal | Denominación de la instalación | Superficie (m²) |
|---|--|-------------------------------------|
| Alcoy/Alcoi | Polideportivo Municipal Francisco Laporta | 1215 |
| | Complejo Deportivo Municipal Eduardo Latorre | 1197 |
| | SUBTOTAL | 2412 |
| Alicante/Alacant | Pabellón Municipal Central Pitiu Rochel | 1777 |
| | Pabellón Municipal Rafael Pastor Micó | 1316 |
| | Pabellón Municipal Florida Babel | 1599 |
| | Pabellón Ciudad Jardín | 1125 |
| | Piscina cubierta Monte Tossal | 528 |
| | Piscina cubierta Antigua Cochera de Tranvías - Babel | 400 |
| | Centro de Tecnificación de Alicante | 3850 |
| | SUBTOTAL | 10595 |
| Benidorm | Polideportivo Municipal de Foyetes | 1369 |
| | Palacio de Deportes L'Illa de Benidorm | 10282 |
| | SUBTOTAL | 11651 |
| Calp | Pabellón municipal de Deporte | 500 |
| | Piscina Municipal cubierta de Calpe "Fernando Delgado" | 1554 |
| | Pabellón deportivo Ifach | 1660 |
| SUBTOTAL | 3714 | |
| Campello (El) | Complejo Deportivo Municipal de Campello | 2465 |
| Cocentaina-Muro-L'Alqueria d'Asnar | Polideportivo municipal de Cocentaina | 2000 |
| | Polideportivo municipal de Muro de Alcoy | 3000 |
| | Piscina cubierta L'Alqueria d'Asnar | 350 |
| SUBTOTAL | 5350 | |
| Crevillent | Pabellón Deportivo Municipal | 1215 |
| | Pabellón Polideportivo Félix Candela | 1408 |
| | Crevi - Squash | 2052 |
| SUBTOTAL | 4675 | |
| Dénia | Polideportivo Municipal | 2806 |
| Elche/Elx | Pabellón Municipal Esperanza Lag | 2776 |
| | Polideportivo El Toscar - Carrús oeste | 1620 |
| | Polideportivo Carrús este | 1044 |
| | Polideportivo El Plá | 1202 |
| | Polideportivo Isabel Fernández | 1684 |
| Elche (cont.) | Polideportivo EL Altet | 2361 |
| | Polideportivo La Hoya | 2742 |
| | Elche Squash Club | 1140 |
| | SUBTOTAL | 14569 |
| | Elda-Petrer | Polideportivo Municipal de Deportes |
| Polideportivo Florentino Ibáñez | | 1408 |
| Pista Azul | | 1188 |
| Centro Excursionista Eldense | | 936 |
| Ciudad Deportiva San Fernando | | 384 |
| Polideportivo de Petrér | | 1841 |
| SUBTOTAL | 7144 | |
| Ibi-Castalla-Onil-Tibi | Polideportivo municipal y piscina climatizada (Ibi) | 6000 |
| | Polideportivo Castalla | 2000 |
| SUBTOTAL | 8000 | |
| Jávea / Xàbia | Palau Municipal de Deportes "Miguel Buigues Andrés" | 1411 |
| Novelda | Pabellón Municipal | 1215 |
| Orihuela | Pabellón Municipal Bernardo Ruiz | 1056 |
| | Piscina Cubierta y Complejo Deportivo "Palacio del Agua" | 3100 |
| SUBTOTAL | 4156 | |
| San Vicente del Raspeig/ San Vicent del Raspeig | Ciudad Deportiva Municipal | 2135 |
| | Instalaciones deportivas Universidad Alicante | 2651 |
| SUBTOTAL | 4786 | |
| Santa Pola | Polideportivo Municipal Els Xiprerets | 1188 |
| Torreveija | Palacio de Deportes Infanta Cristina | 2318 |
| | Pabellón Municipal Cecilio Gallego | 1956 |
| SUBTOTAL | 4274 | |
| Villajoyosa | Polideportivo El Pantano | 1965 |
| Villena | Pabellón municipal | 2220 |
| | Polideportivo de Villena | 750 |
| | SUBTOTAL | 2970 |
| TOTAL | 95346 | |

Tabla 15. Superficie estimada de las instalaciones deportivas cubiertas inventariadas

Hoteles y Apartamentos Turísticos

La información recogida en el documento *Oferta Turística Municipal y Comarcal de la Comunitat Valenciana 2012* ofrece datos acerca del número de establecimientos, plazas y habitaciones de cada categoría –sólo se han considerado los de tres o más estrellas–, los cuales aparecen recogidos en la **tabla 17**. Sin embargo, el citado documento no proporciona información alguna acerca de la superficie de estos establecimientos.

Con el fin de disponer, al menos, de una estimación aproximada de aquella, y teniendo en cuenta que el número de habitaciones es el factor determinante de tal superficie –aunque no el único–, se ha optado por emplear como dato de referencia la superficie de las habitaciones sencillas y dobles especificadas para cada categoría en el *Decreto 153/1993, de 17 de agosto, del Gobierno Valenciano, regulador de los establecimientos hoteleros de la Comunidad*. Este Decreto no refleja la superficie de baños por lo que, a este respecto, se empleó el recogido en el *Decreto 47/2004, de 10 de febrero, de establecimientos hoteleros de la Junta de Andalucía*.

En tales circunstancias, las superficies calculadas corresponden, exclusivamente, a las de las habitaciones + baño, por lo que se trata de valores siempre inferiores a los reales, dado que no incluyen los restantes espacios del hotel –vestíbulo, salones, comedores, cocinas, pasillos y demás áreas comunes y de servicio–, de los que no se dispone de datos concretos ni de ratios de referencia que permitan estimarlos. El resultado de estos cálculos aparece recogido en la **tabla 16**.

| Término municipal | Superficie habs. sencillas ¹ (m ²) | | | | Superficie habs. dobles ¹ (m ²) | | | | Superficie mínima hotel ² (m ²) | | | |
|---|---|--------------|----------|---------------|--|----------------|---------------|----------------|--|----------------|---------------|----------------|
| | 3 | 4 | 5 | Total | 3 | 4 | 5 | Total | 3 | 4 | 5 | Total |
| Alcoy/Alcoi | | | | | 1.862 | 1.722 | | 3.584 | 1.862 | 1.722 | | 3.584 |
| Alicante/Alacant | 1.248 | 1.161 | | 2.409 | 21.527 | 34.686 | 1.760 | 57.973 | 22.775 | 35.847 | 1.760 | 60.382 |
| Benidorm | 8.376 | 1.688 | | 10.064 | 181.298 | 145.284 | 11.198 | 337.780 | 189.674 | 146.971 | 11.198 | 347.843 |
| Calp | | | | | 8.911 | 22.591 | | 31.502 | 8.911 | 22.591 | | 31.502 |
| Campello (El) | 312 | | | 312 | 1.159 | 2.030 | | 3.189 | 1.471 | 2.030 | | 3.501 |
| Cocentaina-Muro-L'Alquería | 288 | | | 288 | 1.197 | | | 1.197 | 1.485 | | | 1.485 |
| Crevillent | | | | | | | | | | | | |
| Dénia | 228 | | | 228 | 8.056 | 5.597 | 4.026 | 17.679 | 8.284 | 5.597 | 4.026 | 17.907 |
| Elche/Elx | 360 | | | 360 | 3.344 | 6.376 | | 9.720 | 3.704 | 6.376 | | 10.080 |
| Elda-Petrer | | 513 | | 513 | | 1.046 | | 1.046 | | 1.559 | | 1.559 |
| Ibi-Castalla-Onil-Tibi | 120 | | | 120 | 1.349 | 677 | | 2.026 | 1.469 | 677 | | 2.146 |
| Jávea/Xàbia | | | | | 2.850 | 3.260 | | 6.110 | 2.850 | 3.260 | | 6.110 |
| Novelda | 48 | | | 48 | 209 | | | 209 | 257 | | | 257 |
| Orihuela | 72 | 162 | | 234 | 1.102 | 7.216 | | 8.318 | 1.174 | 7.378 | | 8.552 |
| San Vicente del Raspeig / Sant Vicent del Raspeig | | | | | | | | | | | | |
| Santa Pola | 780 | | | 780 | 5.966 | | | 5.966 | 6.746 | | | 6.746 |
| Torreveija | | 54 | | 54 | 10.317 | 1.353 | | 11.670 | 10.317 | 1.407 | | 11.724 |
| Villajoyosa / Vila Joiosa (La) | | | | | 2.394 | 2.030 | 1.870 | 6.294 | 2.394 | 2.030 | 1.870 | 6.294 |
| Villena | | | | | | | | | | | | 0 |
| TOTAL | 11.832 | 3.578 | 0 | 15.410 | 251.541 | 233.868 | 18.854 | 504.263 | 263.373 | 237.445 | 18.854 | 519.672 |

¹ Como superficie de referencia de las habitaciones (sencillas y dobles) se han empleado las especificadas para cada categoría en el *Decreto 153/1993, de 17 de agosto, del Gobierno Valenciano, regulador de los establecimientos hoteleros de la Comunidad*, recientemente derogado por el Decreto 75/2015, de 15 de mayo, del Consell. Este Decreto no refleja la superficie de baños, por lo que se ha empleado como referencia la recogida en el *Decreto 47/2004, de 10 de febrero, de establecimientos hoteleros de la Junta de Andalucía*.

² Las superficies calculadas corresponden exclusivamente a las de las habitaciones + baño, por lo que los datos que se ofrecen son siempre inferiores a los reales, dado que no incluyen el resto de la superficie del hotel (vestíbulo, salones, comedores, cocinas, pasillos y demás áreas comunes y de servicio) debido a que no se dispone ni de los datos concretos ni de ratios de referencia.

Tabla 16. Superficie mínima estimada de los establecimientos hoteleros de 3, 4 y 5 estrellas ubicados en los municipios seleccionados

| Término municipal | Nº establecimientos | | | Nº plazas | | | Nº habitaciones sencillas ¹ | | | Nº habitaciones dobles ¹ | | | |
|---|---------------------|-----------|----------|---------------|---------------|--------------|--|---------------|------------|-------------------------------------|---------------|------------|---------------|
| | 3 | 4 | 5 | 3 | 4 | 5 | 3 | 4 | 5 | 3 | 4 | 5 | Total |
| Alcoy/Alcoi | 1 | | | 199 | 170 | | 98 | 84 | | 98 | 84 | | 182 |
| Alicante/Alacant | 15 | 10 | 1 | 2.370 | 3.470 | 162 | 1.237 | 1.778 | 86 | 104 | 86 | | 190 |
| Benidorm | 58 | 35 | 3 | 19.782 | 14.299 | 1.024 | 10.240 | 7.212 | 125 | 698 | 125 | | 823 |
| Calp | 3 | 5 | | 942 | 2.212 | | 469 | 1.102 | | | | | |
| Campello (El) | 3 | 1 | | 148 | 202 | | 87 | 99 | | 26 | 61 | | 26 |
| Cocentaina | 1 | | | 94 | | | 59 | | | 24 | 35 | | 24 |
| Muro | 1 | | | 56 | | | 28 | | | | | | |
| L'Alqueria d'Asnar | | | | | | | | | | | | | |
| Crevillent | | | | | | | | | | | | | |
| Dénia | 8 | 5 | 1 | 867 | 591 | 372 | 443 | 273 | | 19 | 424 | 183 | 880 |
| Elche/Elx | 3 | 4 | | 382 | 627 | | 206 | 311 | | 30 | 176 | | 487 |
| Elda-Petrer | | 1 | | | 140 | | 140 | 89 | 38 | | 51 | | 51 |
| Ibi | | 1 | | | 40 | | 40 | 20 | | | 20 | | 20 |
| Castalla | | | | 152 | | | 81 | | | 10 | 71 | | 71 |
| Onil | | | | | | | | | | | | | |
| Tibi | | 1 | | | 26 | | | 13 | | | 13 | | 13 |
| Jávea/Xàbia | 1 | 3 | | 300 | 365 | | 150 | 159 | | | 150 | 159 | 309 |
| Novelda | 1 | | | 26 | | | 15 | | | 4 | 11 | | 11 |
| Orihuela | 1 | 3 | | 122 | 716 | | 64 | 364 | 12 | 6 | 58 | 352 | 410 |
| San Vicente del Raspeig / Sant Vicent del Raspeig | | | | | | | | | | | | | |
| Santa Pola | 3 | | | | | | 379 | | | 65 | 314 | | 314 |
| Torreveija | 7 | 1 | | 1.146 | 136 | | 543 | 70 | 4 | 4 | 543 | 66 | 609 |
| Villajoyosa/Vila Joiosa (La) | 1 | 1 | | 252 | 200 | 172 | 126 | 99 | | | 126 | 99 | 310 |
| Villena | | | | | | | | | | | | | |
| TOTAL | 109 | 72 | 6 | 27.531 | 23.194 | 1.730 | 14.225 | 11.673 | 265 | 986 | 11.408 | 857 | 25.504 |

¹ El Anuario no segrega las habitaciones en sencillas o dobles, por lo que ha sido necesario estimarlas a partir del número de plazas de cada establecimiento.

Tabla 17. Establecimientos hoteleros de 3, 4 y 5 estrellas ubicados en los municipios seleccionados

Según refleja la **figura 51**, el municipio de Benidorm concentra el **66,9%** de la superficie hotelera total estimada, seguido, a gran distancia, por los de Alicante (**11,6%**), Calp (**6,1%**) y Dénia (**3,4%**).

La **figura 52a** refleja la distribución del número de hoteles, mientras que las **figuras 52b y 52c** hacen lo propio con el número de plazas hoteleras y el de habitaciones, en todos los casos con la ciudad de Benidorm muy por delante del resto de municipios considerados.

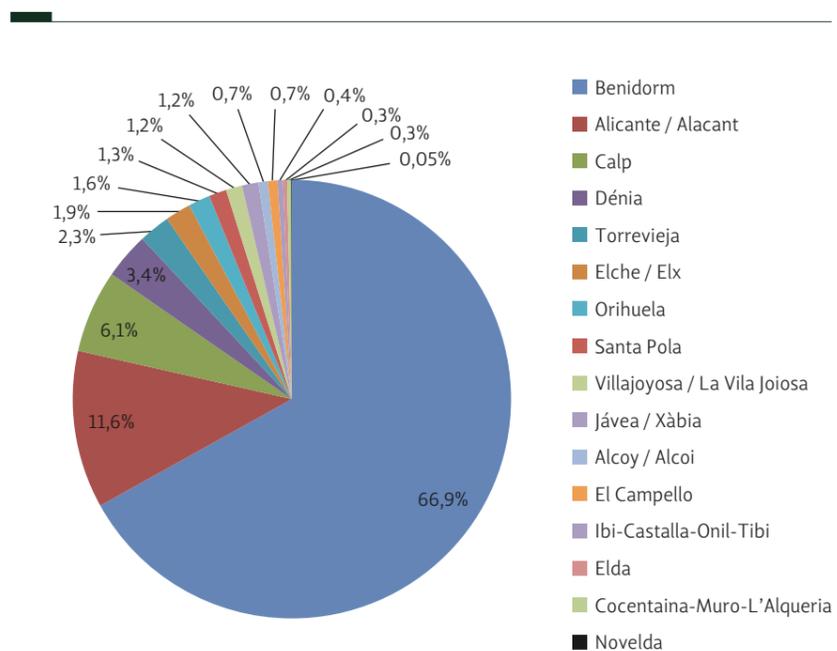


Figura 51. Distribución porcentual de la superficie hotelera mínima estimada

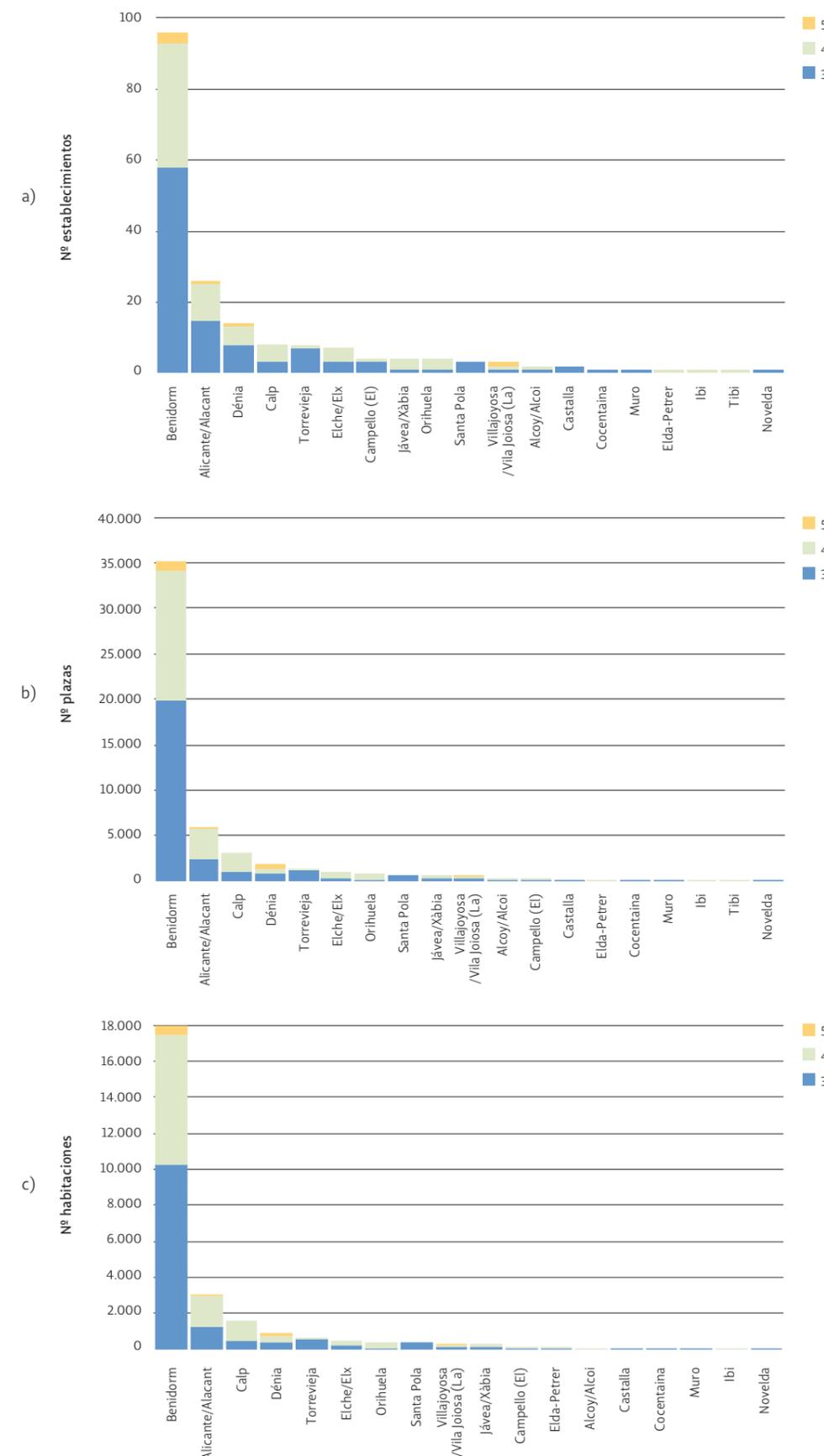


Figura 52. Distribución del número de establecimientos (a), plazas (b) y habitaciones (c), por categorías hoteleras, según el número de estrellas

En el caso de los apartamentos turísticos, la fuente de información es la misma que la de los hoteles, por lo que la estimación de su superficie está sujeta a las mismas reservas que en estos últimos. Los resultados, reflejados en la **tabla 18**, muestran los detalles de la citada estimación. Los municipios que, según estos últimos,

concentran la mayor superficie mínima total de estas instalaciones, son, por este orden: Benidorm (**37,6%**), Calp (**17,9%**), Dénia (**11,8%**) y Jávea (**11,2%**). La **figura 54** (página 107) refleja estos resultados y los del resto de municipios considerados, mientras que la figura 53 recoge el número de apartamentos (a) y el número de

plazas que incluyen (b), y expresa la superficie mínima estimada según la categoría de los mismos (c).

| Término municipal | Nº apartamentos ¹ | | | | Nº plazas ² | | | | Superficie mínima apartamentos ³ (m ²) | | | |
|--------------------------------|------------------------------|--------------|--------------------|---------------|------------------------|--------------|--------------------|---------------|---|---------------|--------------------|----------------|
| | Superior / Lujo | Primera | Estándar / Segunda | TOTAL | Superior / Lujo | Primera | Estándar / Segunda | TOTAL | Superior / Lujo | Primera | Estándar / Segunda | TOTAL |
| Alcoy/Alcoi | | | 23 | 23 | | | 46 | 46 | | | 932 | 932 |
| Alicante/Alacant | 119 | 5 | 631 | 755 | 552 | 37 | 2.321 | 2.910 | 6.902 | 245 | 25.556 | 32.703 |
| Benidorm | 1 | 886 | 5.401 | 6.288 | 4 | 2.888 | 18.497 | 21.389 | 58 | 43.414 | 218.741 | 262.213 |
| Calp | 14 | 148 | 2.878 | 3.040 | 62 | 824 | 14.544 | 15.430 | 812 | 7.252 | 116.559 | 124.623 |
| Campello (El) | | 121 | 208 | 329 | | 351 | 908 | 1.259 | | 5.929 | 8.424 | 14.353 |
| Cocentaina | | | | | | | | | | | | |
| Muro de Alcoy | | 10 | 69 | 79 | | 74 | 383 | 457 | | 490 | 2.795 | 3.285 |
| L'Alqueria d'Asnar | | | | | | | | | | | | |
| Crevillent | | | | | | | | | | | | |
| Dénia | 2 | 182 | 1.819 | 2.003 | 14 | 940 | 8.891 | 9.845 | 116 | 8.918 | 73.670 | 82.704 |
| Elche/Elx | 2 | | 70 | 72 | 19 | | 351 | 370 | 116 | | 2.835 | 2.951 |
| Elda-Petrer | | | 1 | 1 | | | 10 | 10 | | | 41 | 41 |
| Ibi | | | | | | | | | | | | |
| Castalla | | | 1 | 1 | | | 10 | 10 | | | 41 | 41 |
| Onil | | | 4 | 4 | | | 12 | 12 | | | 162 | 162 |
| Tibi | | | | | | | | | | | | |
| Jávea/Xàbia | 6 | 113 | 1.792 | 1.911 | 38 | 658 | 10.665 | 11.361 | 348 | 5.537 | 72.576 | 78.461 |
| Novelda | | | | | | | | | | | | |
| Orihuela | | 28 | 804 | 832 | | 135 | 3.565 | 3.700 | | 1.372 | 32.562 | 33.934 |
| Santa Pola | | 142 | 408 | 550 | | 346 | 2.081 | 2.427 | | 6.958 | 16.524 | 23.482 |
| Torreveija | | 8 | 383 | 391 | | 36 | 1.716 | 1.752 | | 392 | 15.512 | 15.904 |
| Villajoyosa / Vila Joiosa (La) | | 24 | 519 | 543 | | 122 | 2.371 | 2.493 | | 1.176 | 21.020 | 22.196 |
| Villena | | | | | | | | | | | | |
| TOTAL | 144 | 1.667 | 15.011 | 16.822 | 689 | 6.411 | 66.371 | 73.471 | 8.352 | 81.683 | 607.950 | 697.985 |

1. Los datos de nº establecimientos, plazas y habitaciones proceden del Anuario de la Oferta Turística Municipal y Comarcal de la Comunitat Valenciana 2011 (Conselleria de Turismo, Cultura y Deporte de la Generalitat Valenciana). Según consulta realizada a la Agencia Valenciana de Turismo, la información referente a apartamentos turísticos que contiene dicho Anuario incluye todos los apartamentos turísticos, tanto los regulados a través del Decreto 91/2009, de 3 de julio, del Consell (bloques y conjuntos de apartamentos) como los regulados a través del Decreto 92/2009, de 3 de julio, del Consell (apartamentos aislados).

2. El promedio de plazas por apartamento que proporciona el Anuario es de 4,3, por lo que se ha tomado como referencia un apartamento de 4 plazas. Se ha supuesto que estaría integrado, según la tipología de elementos descrita en el Decreto 91/2009, por el que se aprueba el reglamento regulador de los bloques y conjuntos de viviendas turísticas de la Comunitat Valenciana, por: estar-comedor-cocina + dormitorio principal + dormitorio doble + cuarto de baño, cuyas respectivas superficies mínimas aparecen especificadas en el citado Decreto. Las cifras resultantes son de 58 m2 para un apartamento de categoría superior, 49 m2 para uno de primera y 40,5 m2 para el de segunda categoría.

3. Las superficies calculadas corresponden exclusivamente a los apartamentos. No se incluye el resto de las superficies del bloque (vestíbulo, salones, comedores, cocinas, pasillos y demás áreas comunes y de servicio) debido a que no se dispone de tales datos ni de ratios de referencia para calcularlos.

Tabla 18. Superficie mínima estimada de los apartamentos turísticos de categorías superior, primera y segunda ubicados en los municipios seleccionados

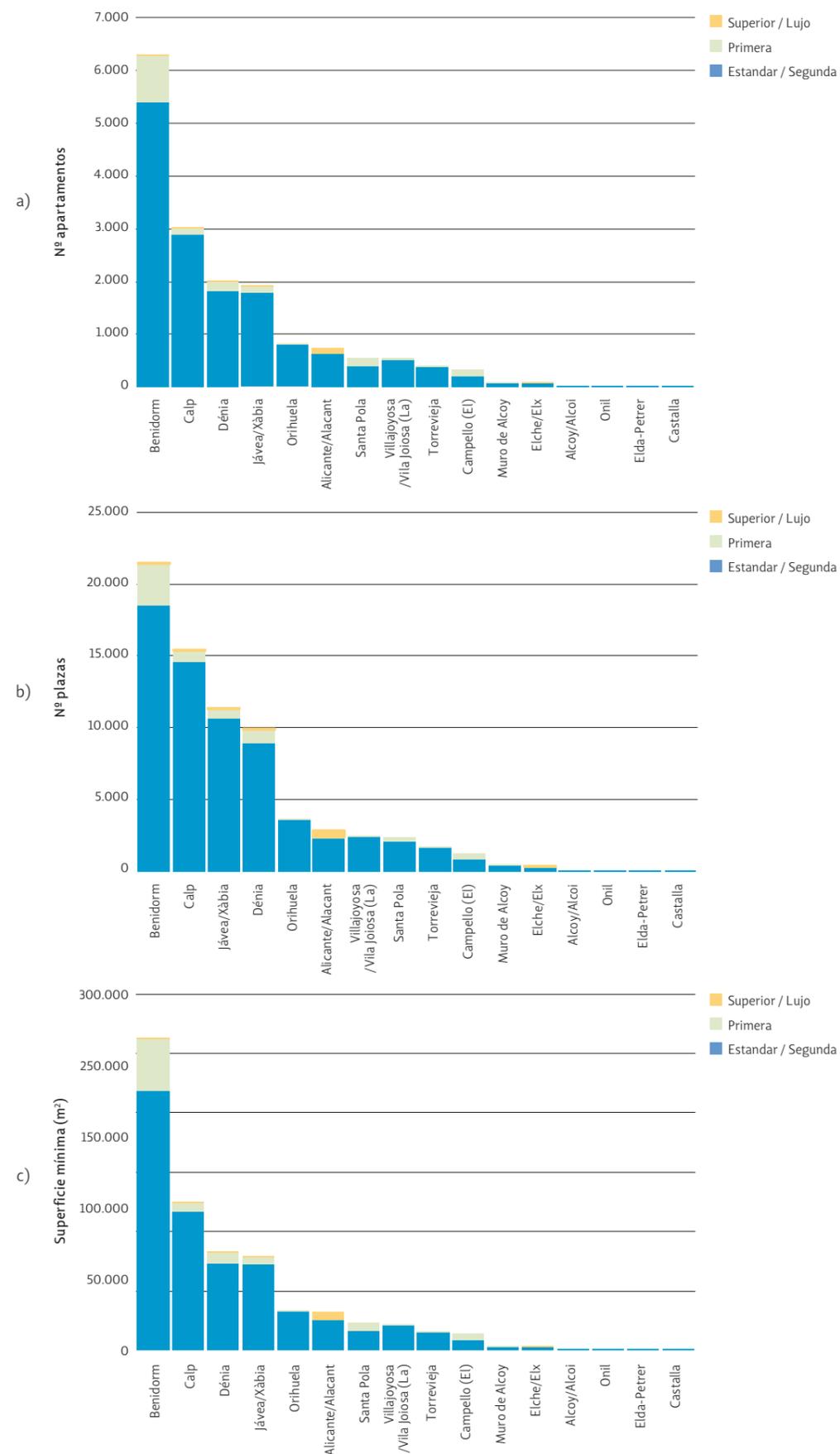


Figura 53. Distribución por categorías del número de apartamentos turísticos (a), el número de plazas de los mismos (b) y la superficie mínima estimada (c)

Por último, la **tabla 19** ofrece un resumen del inventario descrito, en la que se refleja tanto el número de instalaciones de cada categoría como las superficies de aquellas que han podido ser estimadas.

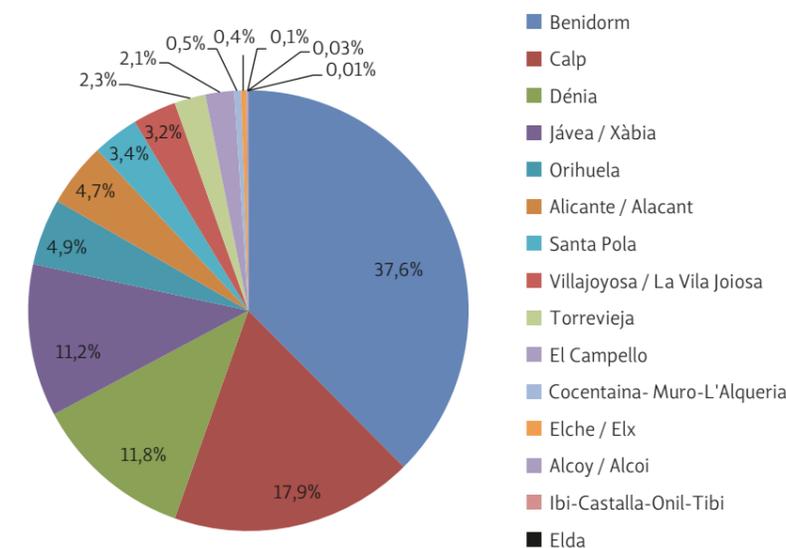


Figura 54. Distribución porcentual de la superficie mínima de apartamentos turísticos

Tabla 19. Resumen del inventario de instalaciones que constituyen el mercado potencial de energía geotérmica de baja y muy baja temperatura en Alicante

| Término municipal | Población | Cent. Comerciales y de ocio | | Pal. congresos, rec. feriales y auditorios | | Centros sanitarios | | | Residencias de mayores | | | Instal. Deportivas | | Hoteles | | Aptos. turísticos | | Univer-sidades | Cent. negocios | Cent. logísticos | Pol. indus-triales | Aero-puertos | Puertos | Estac. tren | Estac. autobús | | | |
|---|------------------|-----------------------------|--------------------------|--|----------------|--------------------|--------------|---------------------------|------------------------|-----------|----------------------|--------------------|--------------|----------------|--------------|-------------------|--------------|----------------|----------------|------------------|--------------------|--------------|----------|-------------|----------------|-----------|----------|----------|
| | | Nº | S.B.A. ¹ (m²) | Nº | Superf. (m²) | Nº ² | Nº camas | Superf. ³ (m²) | Nº | Nº plazas | Superf. constr. (m²) | Nº | Superf. (m²) | Nº | Superf. (m²) | Nº | Superf. (m²) | | | | | | | | | | | |
| Alcoy/Alcoi | 60.105 | 2 | 27.611 | 1 | 2.250 | 5 | 331 | 44.354 | | | | 5 | 1.508 | 51.905 | 2 | 2.412 | 2 | 3.584 | 23 | 932 | 1 | | | | | | 1 | |
| Alicante/Alacant | 335.052 | 12 | 305.560 | 2 | 32.102 | 20 | 2.099 | 281.266 | | | | 19 | 636 | 21.891 | 7 | 10.595 | 26 | 60.382 | 755 | 32.703 | | 1 | 2 | 9 | | 4 | 1 | 1 |
| Benidorm | 73.768 | 7 | 50.175 | 1 | 1.000 | 5 | 266 | 35.664 | | | | 3 | 577 | 19.860 | 2 | 11.651 | 96 | 347.843 | 6.288 | 262.213 | | 1 | | 1 | | | | 1 |
| Calp | 29.442 | 1 | 8.000 | | | 1 | | | | | | 5 | 430 | 14.801 | 3 | 3.714 | 8 | 31.502 | 3.040 | 124.623 | | | | 1 | | 2 | | |
| Campello (El) | 28.184 | 1 | 7.600 | | | 1 | | | | | | 2 | 372 | 12.804 | 1 | 2.465 | 4 | 3.501 | 329 | 14.353 | | | | 1 | | 1 | | |
| Cocentaina-Muro de Alcoy-L'Alqueria d'Asnar | 21.132 | 1 | 16.812 | 1 | 2.500 | 2 | | | | | | 2 | 340 | 11.703 | 3 | 5.350 | 2 | 1.485 | 79 | 3.285 | | | | 9 | | | | |
| Crevillent | 28.382 | 1 | 1.000 | | | 1 | | | | | | 1 | 314 | 10.808 | 3 | 4.675 | | | | | | | 4 | | | | | |
| Dénia | 44.450 | 2 | 41.913 | | | 5 | 406 | 54.404 | | | | 1 | 297 | 10.223 | 1 | 2.806 | 14 | 17.907 | 2.003 | 82.704 | | | | 1 | | 3 | | |
| Elche/Elx | 230.224 | 4 | 115.190 | 2 | 30.724 | 12 | 746 | 99.964 | | | | 5 | 274 | 9.431 | 8 | 14.569 | 7 | 10.080 | 72 | 2.951 | 2 | 2 | 1 | 3 | 1 | | | 1 |
| Elda-Petrer | 88.813 | 2 | 38.670 | 1 | 760 | 5 | 513 | 68.742 | | | | 2 | 236 | 8.123 | 6 | 7.144 | 1 | 1.559 | 1 | 41 | | | | 5 | | | | 1 |
| Ibi-Castalla-Onil-Tibi | 43.514 | 2 | 5.750 | 4 | 11.460 | 4 | | | | | | 2 | 229 | 7.882 | 2 | 8.000 | 4 | 2.146 | 5 | 203 | | | | 14 | | | | |
| Jávea/Xàbia | 33.149 | 4 | 8.400 | | | 2 | | | | | | 3 | 200 | 6.884 | 1 | 1.411 | 4 | 6.110 | 1.911 | 78.461 | | | | | | 1 | | |
| Novelda | 26.517 | 1 | 13.653 | | | 1 | | | | | | 1 | 191 | 6.574 | 1 | 1.215 | 1 | 257 | | | | | | 1 | | | | |
| Orihuela | 91.260 | 3 | 44.800 | 1 | 2.705 | 4 | 361 | 48.376 | | | | 2 | 190 | 6.540 | 2 | 4.156 | 4 | 8.552 | 832 | 33.934 | 1 | | | 2 | | 2 | | 1 |
| San Vicente del Raspeig / Sant Vicent del Raspeig | 55.781 | 2 | 43.900 | 2 | 638 | 3 | 179 | 23.986 | | | | 4 | 140 | 4.819 | 2 | 4.786 | | | | | 1 | | | 5 | | | | |
| Santa Pola | 34.134 | 3 | 23.589 | | | 1 | | | | | | 3 | 121 | 4.165 | 1 | 1.188 | 3 | 6.746 | 550 | 23.482 | | | | 2 | | 1 | | |
| Torrevieja | 105.205 | 4 | 40.096 | 3 | 17.266 | 5 | 401 | 53.734 | | | | 5 | 100 | 3.442 | 2 | 4.274 | 8 | 11.724 | 391 | 15.904 | | | | 1 | | 1 | | 1 |
| Villajoyosa/Vila Joiosa (La) | 33.834 | 1 | 0 | 1 | 9.869 | 2 | 286 | 38.324 | | | | 3 | 87 | 2.995 | 1 | 1.965 | 3 | 6.294 | 543 | 22.196 | | | | 1 | | 1 | | |
| Villena | 34.834 | 1 | 15.000 | | | 2 | | | | | | 2 | 32 | 1.101 | 2 | 2.970 | | | | | | | | 3 | | | | |
| TOTAL | 1.397.780 | 54 | 807.719 | 19 | 111.274 | 81 | 5.588 | 748.814 | | | | 70 | 6.274 | 215.951 | 50 | 95.346 | 187 | 519.672 | 16.822 | 697.985 | 5 | 4 | 3 | 68 | 1 | 17 | 2 | 7 |

1. S.B.A. = Superficie Bruta Alquilable
 2. Incluye centros con/sin hospitalización
 3. Incluye solo los centros con hospitalización

[3.5] MAPAS DE SÍNTESIS DE ÁREAS FAVORABLES PARA POTENCIALES RECURSOS GEOTÉRMICOS

ÁREAS FAVORABLES PARA EL APROVECHAMIENTO DE RECURSOS GEOTÉRMICOS PROFUNDOS

Como se ha puesto de manifiesto en apartados anteriores, es posible seleccionar un total de 8 áreas con condiciones favorables para la existencia de recursos geotérmicos profundos de baja y/o media temperatura y dos áreas con condiciones para el desarrollo de Sistemas Geotérmicos Estimulados (EGS) de alta temperatura. En la **figura 55** se presenta un mapa de síntesis en el que se delimitan estas áreas y se definen las condiciones geotérmicas estimadas para cada una de ellas.

Áreas con recursos geotérmicos profundos de baja y media temperatura

Como se han definido anteriormente, estas zonas han sido seleccionadas por la probable existencia de formaciones jurásicas de naturaleza carbonatada a profundidades probables de 1.500 a 4.000 m aproximadamente, con la excepción de la zona sur de Alicante en la que las formaciones carbonatadas son de edad Triásica Alpujárride pertenecientes a las zonas internas de las Cordilleras Béticas. Junto a la profundidad a que se encuentran, en su selección ha intervenido también el factor del gradiente geotérmico. A continuación se resume brevemente las características de cada una de estas zonas.

Zona Sur de Alicante

Esta zona se localiza en la Vega Baja del Segura, aproximadamente limitada por el triángulo Torrevieja-Orihuela-Santa Pola. Los recursos geotérmicos deben encontrarse en formaciones carbonatadas (calizas, dolomías y mármoles) del Triásico Alpujárride, que han sido intersectadas por varios sondeos de hidrocarburos (Benejúzar, La Marina, San Miguel 1 y 2, etc.).

Las profundidades estimadas de estas formaciones son de 800 a 2.000 m con temperatura posible en almacén de 50-100 °C. El gradiente geotérmico estimado en la zona es del orden de 4-4,5°C/100 m.

Zona Xixona-Busot

Esta zona se localiza entre ambas localidades de Xixona y Busot. Los recursos geotérmicos deben contenerse en materiales carbonatados (calizas, calizas dolomíticas y dolomía) de edad Jurásica. El techo de estas formaciones lo constituye el contacto Jurásico-Cretácico, que de acuerdo con la información sísmica elaborada por el IGME se encuentra en sus bordes entre 1.000 y 2.000 m b.n.m., mientras que en el centro de la cuenca se encuentra a 1.500 m b.n.m. El muro o límite inferior de las formaciones está constituido por el techo del Triásico, que alcanza en el centro de la cuenca cotas de hasta 4.500 m b.n.m. El

gradiente geotérmico mínimo estimado en esta zona es del orden de 2-3°C/100 m, aunque localmente puede superar los 5°C/100 m, lo que permite estimar temperaturas mínimas de formación de 65-130°C.

Zona costera Villajoyosa

Esta zona se encuentra entre las poblaciones de El Campello y Benidorm, en una franja costera de unos 3 km de ancho, situándose en el centro de la misma la población de Villajoyosa. Los posibles recursos geotérmicos profundos se deben encontrar en calizas y dolomías jurásicas. De acuerdo con los estudios realizados por el IGME el límite superior se encuentra entre 1.000 y 2.500 m b.n.m., mientras que su límite inferior (techo de las formaciones triásicas) se encuentra entre 3.000 y 4.000 m b.n.m. La estimación del gradiente geotérmico realizada para esta zona es del orden de 2-2,5°C/100 m y la estimación de temperatura en las formaciones permeables es de 55-110°C.

Zona Sella

Esta zona se encuentra en el interior de un polígono limitado por las poblaciones de Sella, Relleu, Torremanzanas, Benifallim y Alcoleja. Los recursos geotérmicos se encuentran contenidos en calizas y dolomías jurásicas. De acuerdo con la información de prospección sísmica su límite superior se

encontraría entre 1.000 y 2.500 m b.n.m, mientras que su muro o límite inferior alcanzaría los 4.000-5.000 m b.n.m. Las temperaturas estimadas de las formaciones permeables es de 65-120°C para un gradiente geotérmico estimado de 2-2,5°C/100 m.

Zona Depresión de Benisa

Situada en la comarca de La Marina Alta, esta zona se encuentra entre las poblaciones de Teulada y Benitachell al NE y las intrusiones triásicas localizadas en el Rio Algar al SO. Los materiales carbonatados de edad jurásica que contienen recursos geotérmicos se encuentran entre un límite superior marcado por el contacto Jurásico-Cretácico a 1.500-2.500 m b.n.m. y el techo del Triásico a 3.000-4.000 m b.n.m. Los gradientes geotérmicos estimados en esta zona son de 2-3°C/100 m, lo que permite estimar un rango de temperatura en las formaciones permeables del orden de 80-120°C.

Zona Muro de Alcoy

Esta zona se encuentra en el entorno del río Serpis, al noreste de Cocentaina, incluyendo poblaciones como Muro de Alcoy y Alcocer de Planes. Los recursos geotérmicos deben encontrarse contenidos en los materiales carbonatados del Jurásico. En esta área, su límite superior marcado por la base del Cretácico está localizado, de acuerdo con la información de subsuelo del

IGME, entre los 1.000 y 1.500 m b.n.m., mientras que el límite inferior, techo de las formaciones triásicas se encuentra entre 3.500 y 4.000 m b.n.m. En esta zona se han calculado gradientes geotérmicos elevados, por encima de 3,5-4°C/100 m, y superando puntualmente los 8°C/100 m. Esto permite estimar temperaturas de las formaciones permeables en el rango de 85-200°C, llegando al rango de la alta temperatura, si bien muy profunda.

Zona Alto Vinalopó

Esta cuenca abarca el entorno del Alto Vinalopó entre Villena y Bañeres, incluyendo otras poblaciones como Cañada, Benejama y Biar. Las formaciones carbonatadas jurásicas que contendrían los recursos geotérmicos probables en esta zona, se encuentran a profundidades que van desde el contacto Jurásico-Cretácico a 1.500-2.000 m b.n.m., hasta el techo de las formaciones triásicas entre 2.500-3.500 m b.n.m. Para los gradientes geotérmicos estimados en un rango de 2,5-3°C/100 m se han estimado temperaturas de formación en el rango de 65-90°C.

Zona Salinas

Esta pequeña zona seleccionada se encuentra al sureste de los afloramientos diapíricos triásicos de Sax, en el entorno de la población de Salinas. Se trata de una pequeña cuenca, donde

las formaciones jurásicas carbonatadas se encuentran entre los 2.500-4.000 m b.n.m. del techo del Triásico y los 1.500-2.000 m b.n.m. del límite Jurásico-Cretácico. Los gradientes geotérmicos calculados en esta zona son de 1,5-2,8°C/100 m, lo que permite estimar las temperaturas de formación en un rango de 60-100°C.

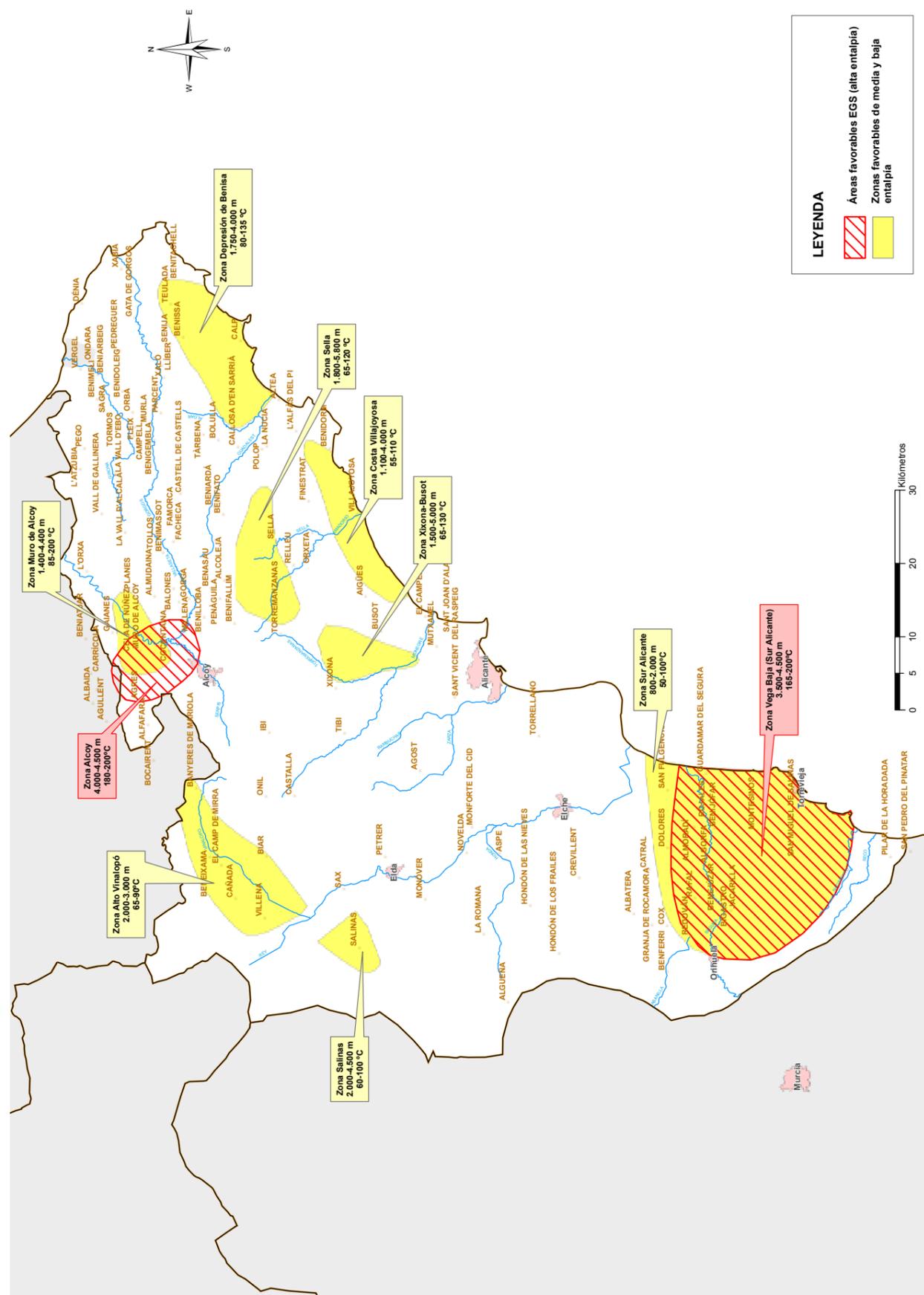


Figura 55. Mapa de favorabilidad para aprovechamiento geotérmico profundo

Áreas con posibles ubicaciones de Sistemas Geotérmicos Estimulados (EGS)

El estudio de fracturación y sismicidad de la provincia de Alicante, junto a los valores estimados del gradiente geotérmico han permitido seleccionar 2 áreas como favorables al desarrollo de sistemas geotérmicos estimulados, en el entorno del área Sur de Alicante (Vega Baja del Segura) y en la zona de Muro de Alcoy (figura 55).

Zona Muro de Alcoy

En esta área, el basamento paleozoico-metamórfico con materiales duros de tipo cuarcita-esquistos, se encuentra a cotas de 3.500-4.000 m b.n.m. El estudio de fracturación y actividad sísmica ha revelado la posibilidad de existencia de áreas fracturadas profundas. Finalmente el gradiente geotérmico estimado en esta zona alcanza en varios puntos valores superiores a 4°C/100 m, superando puntualmente los 8°C/100 m. Estos tres factores permiten seleccionar el área como favorable al desarrollo de Sistemas Geotérmicos Estimulados, con localización de los posibles almacenes a desarrollar o estimular a profundidad de 4.000-4.500 m y temperaturas en el rango de 180-200°C.

Zona Vega Baja

En esta zona, a profundidades de 3.500-4.500 m se encuentran materiales del basamento Nevado-Filábride de naturaleza dura -cuarcitas, esquistos, gneises, micaesquistos- con baja permeabilidad, con fracturación y actividad neotectónica, y que debido al gradiente geotérmico de la zona (4-4,5°C/100 m) podrían alcanzar temperaturas del rango de 165-200°C, apropiada para el desarrollo de un Sistema Geotérmico Estimulado, ya que se cumplen las tres condiciones geológicas: materiales duros, fracturación profunda con actividad neotectónica y gradiente geotérmico ligeramente anómalo.

ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD DE DESARROLLO DE EXPLOTACIONES GEOTÉRMICAS DE BAJA TEMPERATURA PROFUNDA

La conjunción del análisis de posibles recursos geotérmicos profundos de baja temperatura, con el análisis de potencial mercado geotérmico en instalaciones de uso público realizado en el anterior apartado, ha permitido elaborar el mapa de la **figura 56**. En él se superponen a las zonas de posibles recursos geotérmicos profundos, la localización de instalaciones importantes de consumo energético: Centros Comerciales, Hospitales, Hoteles, Instalaciones Aeroportuarias e Industrias.

El análisis de este mapa permite predecir, como viables técnicamente, el aprovechamiento de recursos geotérmicos profundos de baja temperatura en las siguientes zonas:

- **Vega Baja del Segura.** En la que a la zona de recursos geotérmicos se superponen importantes demandas en los sectores sanitario –hospitales-, hotelero y de centros comerciales. Además, cuenta con un importante desarrollo agrícola e industrial asociados.
- **Zona Depresión de Benisa.** Por último también en el área costera de La Marina Alta se localizan centros de consumo energético –Hoteles y Centros Comerciales– sobre los posibles recursos geotérmicos profundos.
- **Zona Villajoyosa.** En el área de Villajoyosa-Benidorm se encuentran simultáneamente recursos geotérmicos profundos e instalaciones consumidoras de energía térmica, tanto de calor como de refrigeración, ligados a los mismos sectores hoteleros, sanitarios y de centros comerciales.



Este pozo alcanza los 721 m de profundidad y capta agua del acuífero Sancho. Se registran 45°C de temperatura del agua en boca de pozo

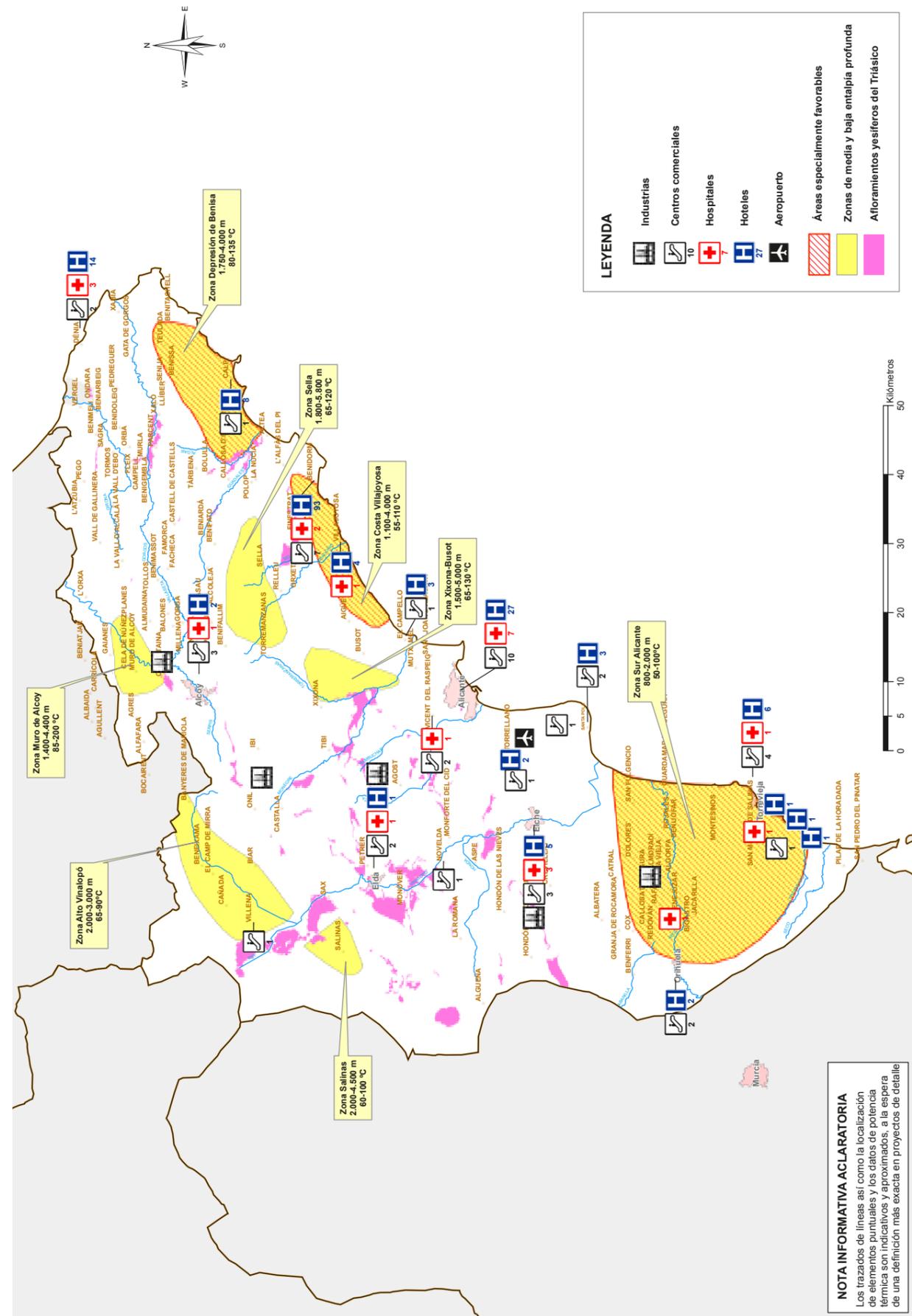


Figura 56. Mapa de favorabilidad para aprovechamiento geotérmico de media y baja entalpia profunda, con áreas de demanda

NOTA INFORMATIVA ACLARATORIA
 Los trazados de líneas así como la localización de elementos puntuales y los datos de potencia térmica son indicativos y aproximados, a la espera de una definición más exacta en proyectos de detalle

ÁREAS FAVORABLES PARA EL APROVECHAMIENTO DE RECURSOS GEOTÉRMICOS DE MUY BAJA TEMPERATURA

Circuito cerrado

Los Mapas de potencia térmica del terreno presentados en el apartado 3.3. *Recursos geotérmicos de muy baja temperatura* pueden servir de guía para una primera identificación de zonas favorables, a gran escala, para el aprovechamiento de este tipo de recursos geotérmicos mediante sistemas cerrados horizontales (figura 39) y verticales (figura 40). A partir de estos, se han elaborado los mapas de favorabilidad para recursos geotérmicos de muy baja entalpía mediante sistema cerrado horizontal y mediante sistema cerrado vertical.

En el caso de los sistemas cerrados horizontales, los dos aspectos que condicionan la favorabilidad son: por una parte, la potencia térmica seca, y por otra, la facilidad de excavar (excavabilidad del suelo) para la instalación de intercambiadores horizontales. Por ello, se ha cruzado el mapa de potencia térmica de la roca seca (figura 39) con la cartografía de suelos incluida en el Mapa de Vulnerabilidad de los Acuíferos de la provincia de Alicante. Esta cartografía de suelos

se elaboró a partir de la cartografía geológica teniendo en cuenta diversos estudios edafológicos locales y el modelo morfoclimático provincial. Para este trabajo ha sido necesario completar la cartografía existente para aquellas áreas en las que no había definidos acuíferos e interpretar el mapa de suelos en función de la excavabilidad de cada tipo de suelo.

En la tabla 20 se muestra la clasificación utilizada para la elaboración de las clases del mapa de favorabilidad definitivo (figura 57).

En este mapa de favorabilidad no se han destacado las áreas de demanda potenciales por dos motivos. En primer lugar, porque las mismas se encuentran distribuidas por todo el territorio, ya que incluyen pequeños usuarios potenciales como viviendas unifamiliares, urbanizaciones, etc. En segundo lugar, porque la viabilidad de estos proyectos está más condicionada por las características locales del terreno, que por la concentración de grandes demandas.

Para elaborar el mapa de favorabilidad para sistemas cerrados verticales, se

han clasificado los rangos de valores de potencia térmica del terreno establecidos en el mapa de la figura 40 atendiendo a la preferencia para su aprovechamiento de la siguiente forma:

Favorabilidad alta:
Potencia térmica >60 W/m

Favorabilidad media:
Potencia térmica 40-60 W/m

Favorabilidad baja:
Potencia térmica <40 W/m

Así, las zonas en rojo representan áreas de favorabilidad alta, en amarillo favorabilidad media, y por último en verde favorabilidad baja.

A continuación, se ha superpuesto la localización de áreas con importante demanda de energía (Centros Comerciales, Hospitales, Hoteles, Instalaciones Aeroportuarias e Industrias) con el fin de identificar aquellas zonas con posibles recursos geotérmicos someros/de muy baja entalpía especialmente favorables.

El mapa resultante se muestra en la figura 58.

| Favorabilidad según la excavabilidad del suelo | Favorabilidad según la potencia térmica de la roca seca (W/m) | | Clases de favorabilidad definitivas |
|--|---|---------|-------------------------------------|
| Alta | Alta | > 60 | Muy alta |
| | Media | 60 - 40 | Muy alta |
| | Baja | < 40 | Alta |
| Media | Alta | > 60 | Media |
| | Media | 60 - 40 | Media |
| | Baja | < 40 | Media |
| Baja | Alta | > 60 | Baja |
| | Media | 60 - 40 | Muy baja |
| | Baja | < 40 | Muy baja |

Tabla 20. Clases de favorabilidad establecidas para aprovechamiento geotérmico de muy baja entalpía mediante sistema cerrado horizontal

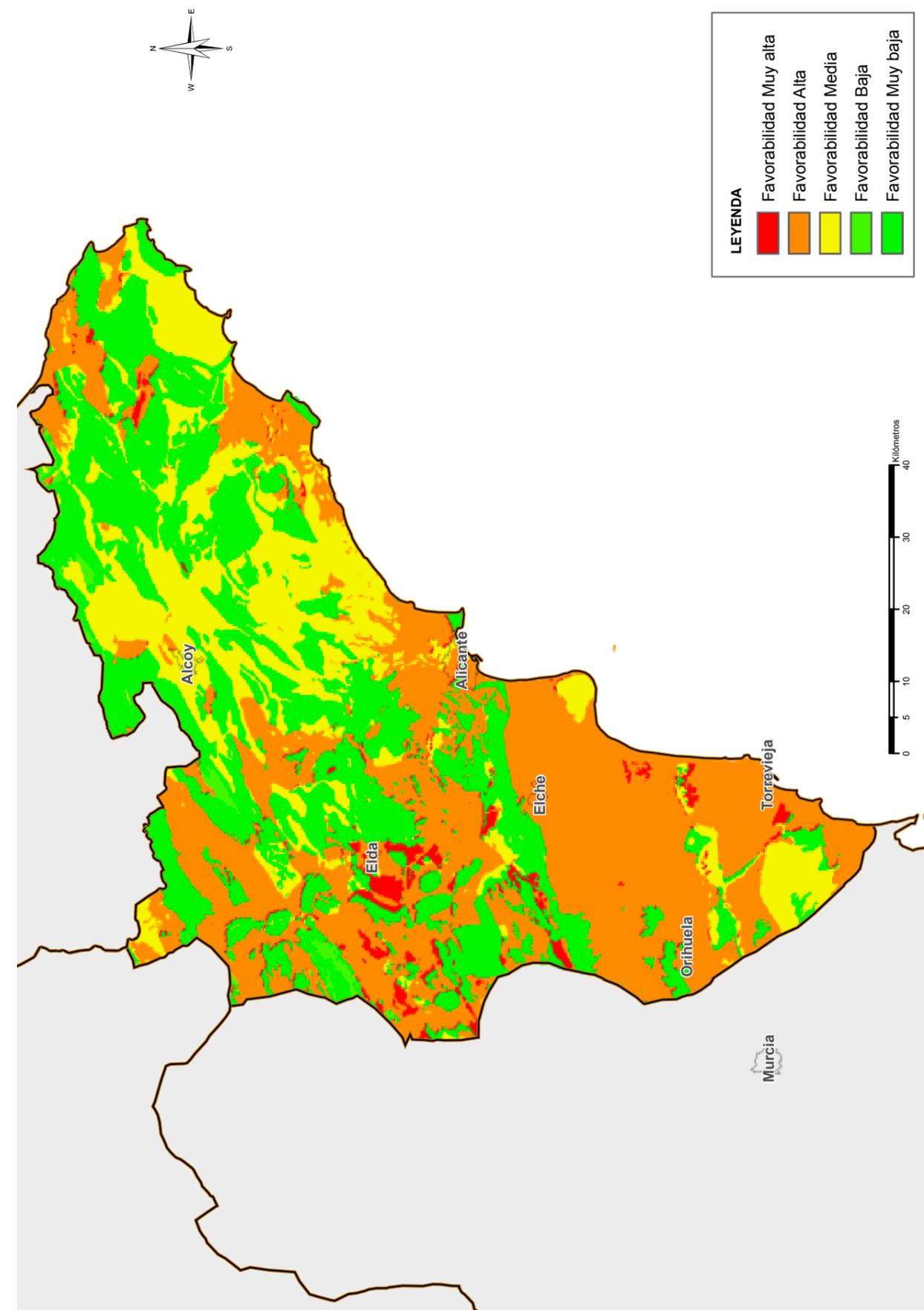


Figura 57. Mapa de favorabilidad para aprovechamiento geotérmico de muy baja entalpía mediante sistema cerrado horizontal

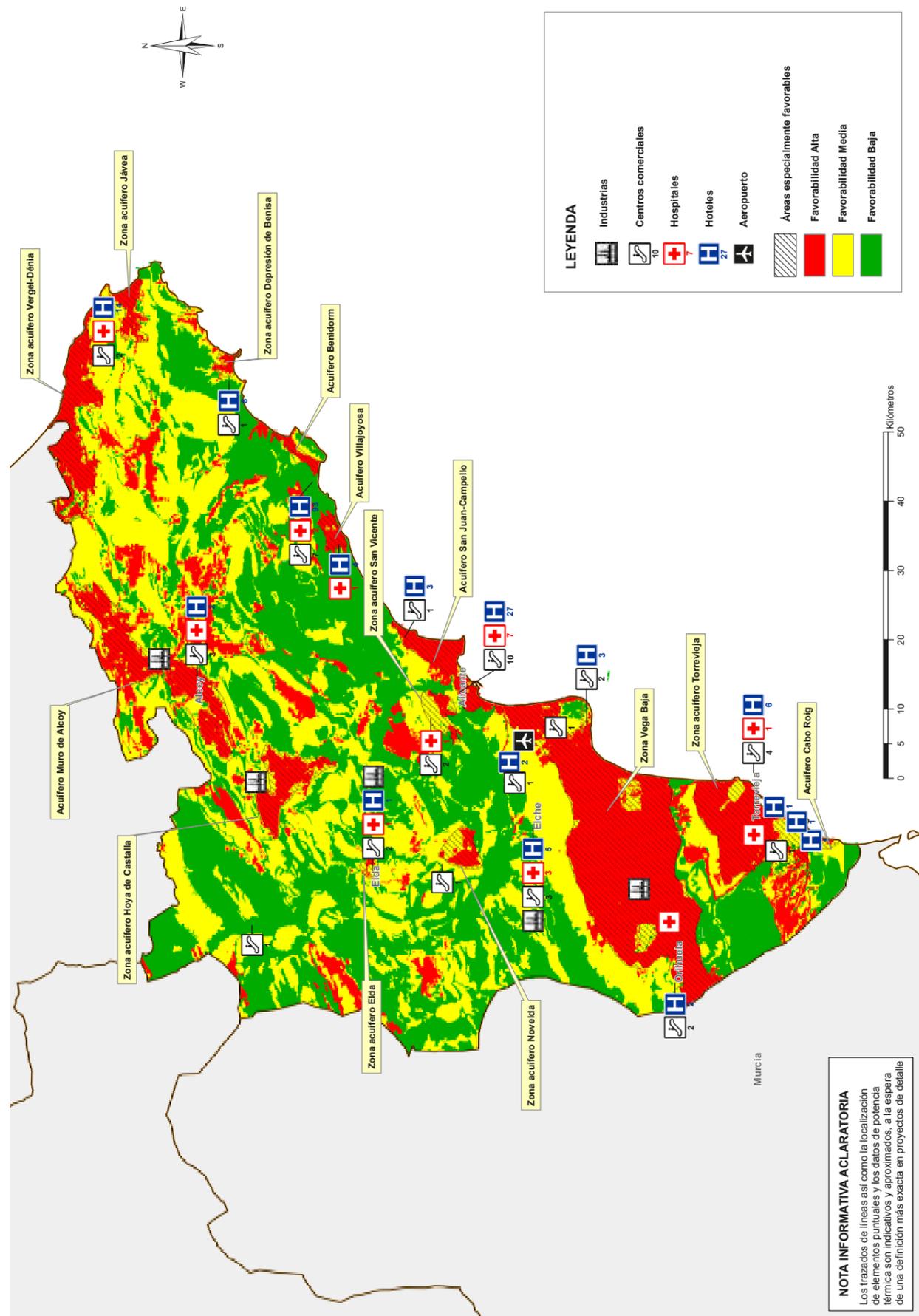


Figura 58. Mapa de favorabilidad para aprovechamiento geotérmico de muy baja entalpía mediante sistema cerrado vertical, con áreas de demanda

Circuito abierto

Se ha elaborado un mapa de síntesis de favorabilidad para el aprovechamiento térmico de recursos geotérmicos de muy baja entalpía mediante sistemas de circuito abierto atendiendo a la Conductividad eléctrica del agua, a la Profundidad y a la Permeabilidad del acuífero que la contiene.

No se ha tenido en cuenta la temperatura dado que, dependiendo del uso que vaya a hacerse del sistema (en invierno para calefacción, en verano para refrigerar, o ambas) será más recomendable el empleo de unos rangos de temperaturas u otros, pudiendo servir de consulta el mapa de caracterización de la Temperatura del agua de los acuíferos de la provincia presentado en el capítulo de Posibilidades de aprovechamiento de recursos geotérmicos.

Para combinar los datos de Conductividad, Profundidad y Permeabilidad presentados en los mapas de caracterización de los acuíferos de la provincia y obtener el mapa de favorabilidad, se ha elaborado un mapa de áreas favorables para cada parámetro clasificando los rangos de valores en términos de favorabilidad alta, media o baja según su adecuación o preferencia para el aprovechamiento del agua de los acuíferos mediante sistema abierto. Los rangos establecidos se muestran a continuación:

Preferencia / Favorabilidad según la conductividad:

- Favorabilidad alta:** Conductividad < 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- Favorabilidad media:** Conductividad 1.000-2.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- Favorabilidad baja:** Conductividad > 2.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Preferencia / Favorabilidad según la profundidad:

- Favorabilidad alta:** Profundidad < 150 m
- Favorabilidad media:** Profundidad 150-250 m
- Favorabilidad baja:** Profundidad > 250 m

Preferencia / Favorabilidad según la permeabilidad:

- Favorabilidad alta:** Permeabilidad alta
- Favorabilidad media:** Permeabilidad media
- Favorabilidad baja:** Permeabilidad baja

Para combinar los tres mapas elaborados, se ha asignado a cada una de las tres clases de favorabilidad para cada mapa (alta, media y baja) un número primo diferente. De esta forma, al multiplicar estos valores en la unión de las capas, se obtiene un resultado irreplicable para cada combinación posible.

Los números primos asignados no se corresponden con valores de clasificación ni con pesos establecidos en función de la importancia, sino únicamente números identificativos que al combinarse por multiplicación permitirán identificar cada combinación posible mediante el resultado obtenido. En este caso, se han empleado los siguientes números:

| Favorabilidad según la permeabilidad | | Favorabilidad según la conductividad | | Favorabilidad según la profundidad | |
|--------------------------------------|---|--------------------------------------|----|------------------------------------|----|
| Alta | 2 | Alta | 7 | Alta | 17 |
| Media | 3 | Media | 11 | Media | 19 |
| Baja | 5 | Baja | 13 | Baja | 23 |

Tabla 21. Números primos asignados a cada clase de favorabilidad

Una vez combinados estos mapas de áreas favorables atendiendo a cada parámetro, para establecer la clase de cada resultado de combinación según su favorabilidad (alta, media o baja), en primer lugar se le ha dado mayor importancia a la profundidad del agua, seguida y por este orden, de la permeabilidad y de la conductividad. No obstante, se ha tenido en cuenta cada caso particular atendiendo a las características hidráulicas conocidas de los acuíferos correspondientes a cada combinación.

La clasificación establecida de las combinaciones obtenidas según su favorabilidad para la implantación de un sistema abierto se muestra en la **tabla 22**.

A las zonas sin acuíferos significativos, se les ha asignado un valor de 1500 y se han clasificado como áreas de favorabilidad baja (clase Baja) por la ausencia de acuíferos para el aprovechamiento de los recursos geotérmicos mediante sistemas abiertos.

El mapa resultante se presenta en la **figura 59**, añadiendo las principales áreas de demanda de la provincia.

| Favorabilidad profundidad | Favorabilidad permeabilidad | Favorabilidad conductividad | Resultado combinación | Clases | | | |
|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------|--------|----|------|-------|
| Alta | 17 | Alta | 2 | Alta | 7 | 238 | Alta |
| | | Alta | 2 | Media | 11 | 374 | Alta |
| | | Alta | 2 | Baja | 13 | 442 | Media |
| | | Media | 3 | Alta | 7 | 357 | Alta |
| | | Media | 3 | Media | 11 | 561 | Media |
| | | Media | 3 | Baja | 13 | 663 | Media |
| | | Baja | 5 | Alta | 7 | 595 | Media |
| | | Baja | 5 | Media | 11 | 935 | Media |
| Media | 19 | Baja | 5 | Baja | 13 | 1105 | Media |
| | | Alta | 2 | Alta | 7 | 266 | Alta |
| | | Alta | 2 | Media | 11 | 418 | Media |
| | | Alta | 2 | Baja | 13 | 494 | Media |
| | | Media | 3 | Alta | 7 | 399 | Media |
| | | Media | 3 | Media | 11 | 627 | Media |
| | | Media | 3 | Baja | 13 | 741 | Baja |
| | | Baja | 5 | Alta | 7 | 665 | Baja |
| Baja | 23 | Baja | 5 | Media | 11 | 1045 | Baja |
| | | Baja | 5 | Baja | 13 | 1235 | Baja |
| | | Alta | 2 | Alta | 7 | 322 | Baja |
| | | Alta | 2 | Media | 11 | 506 | Baja |
| | | Alta | 2 | Baja | 13 | 598 | Baja |
| | | Media | 3 | Alta | 7 | 483 | Baja |
| | | Media | 3 | Media | 11 | 759 | Baja |
| | | Media | 3 | Baja | 13 | 897 | Baja |
| Baja | 5 | Alta | 7 | 805 | * | | |
| Baja | 5 | Media | 11 | 1265 | * | | |
| Baja | 5 | Baja | 13 | 1495 | * | | |

* Combinaciones que no se dan en los acuíferos de la provincia.

Tabla 22. Combinaciones posibles y clasificación de los distintos parámetros considerados. Resultado y clase asignada a cada una de las combinaciones posibles

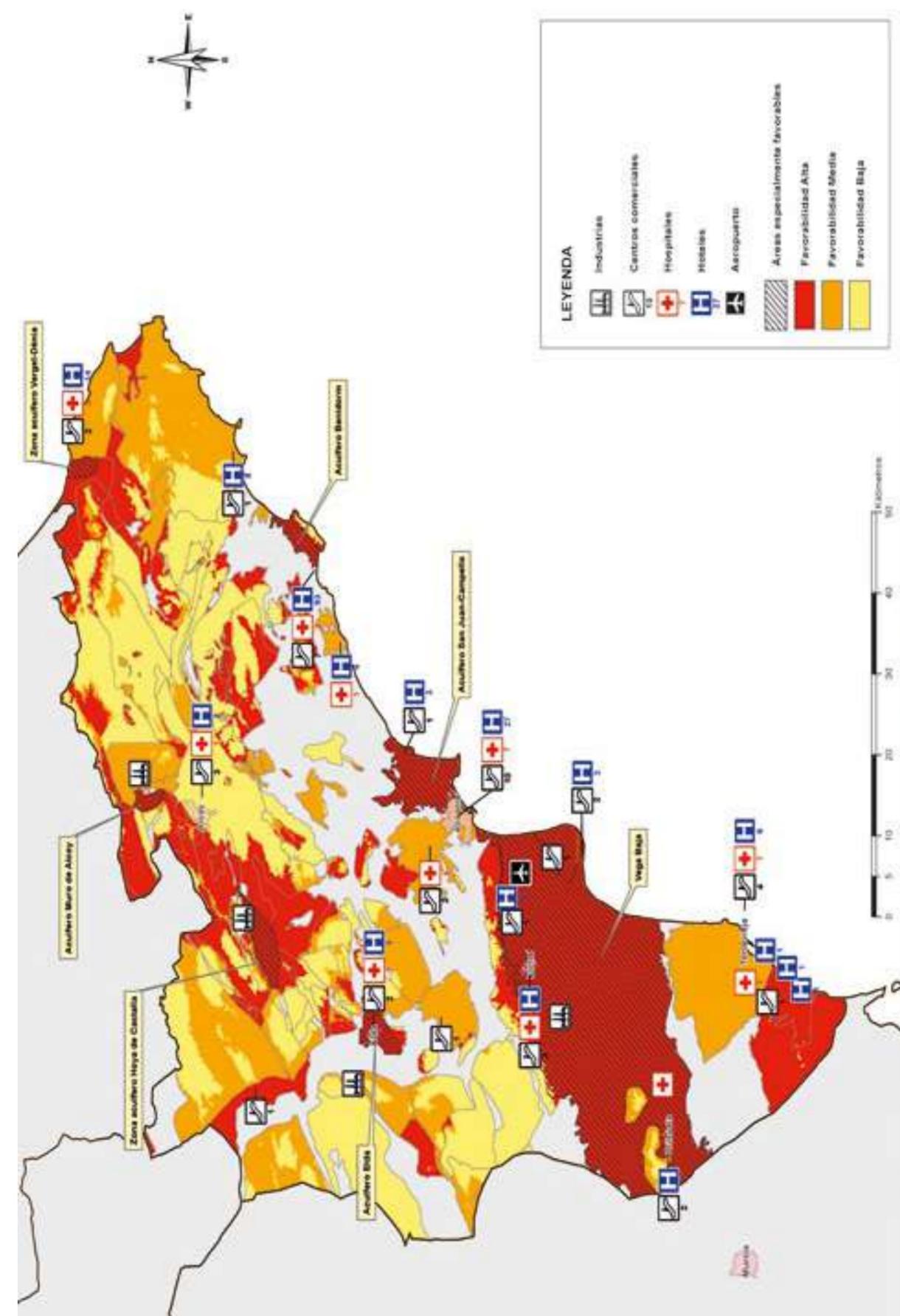


Figura 59. Mapa de favorabilidad para el aprovechamiento de recursos geotérmicos de muy baja entalpía mediante sistema abierto con áreas de demanda

4

ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD. OPERACIONES TIPO

ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD DE APROVECHAMIENTO GEOTÉRMICO DE MUY BAJA ENTALPÍA. EJEMPLO DE OPERACIONES TIPO

Operación tipo en un centro asistencial sanitario de gran consumo energético con sistema cerrado en la Vega Baja

La presente propuesta muestra una aplicación a gran escala del aprovechamiento de recursos geotérmicos de muy baja temperatura con sistema cerrado. Se trata de un supuesto/ejemplo tipo demostrativo de la viabilidad técnica y económica de este tipo de aprovechamiento con gran consumo energético. Como se ha dicho es un sistema cerrado, es decir, con sondeos intercambiadores para extracción e inyección de calor.

Se ha seleccionado como consumidor un hipotético centro asistencial sanitario (residencia hospitalaria), por tratarse de edificios con un gran consumo energético a lo largo de todo el año, para calefacción y refrigeración.

1. IDENTIFICACIÓN

Como se acaba de mencionar, se trata de una instalación o edificio, del tipo residencia sanitaria, para la que se ha supuesto una superficie total construida de 35.000 m² en 6 plantas, con un total de 250 camas.

La demanda energética del edificio, que puede considerarse de gran intensidad y que va a ser sustituida por energía geotérmica de muy baja temperatura, es la del sistema de climatización, que incluye calefacción en los meses fríos y refrigeración en meses cálidos, con una utilización media equivalente a 12 horas diarias de funcionamiento continuo a lo largo de todo el año.

2. UBICACIÓN

La instalación analizada se ha supuesto ubicada en una zona de la Vega Baja del Segura, aguas abajo de la población de Orihuela, entre esta y las de Almoradí-Algorfa. En la **figura 60** se presenta el área en la que podría ubicarse el edificio objeto de la operación-tipo. Toda el área es muy similar en sus características climatológicas, geológicas y geotérmicas, como se analizará en un apartado posterior.



Figura 60. Área de ubicación de la operación tipo en Vega Baja

3. SISTEMA ACTUAL DE CLIMATIZACIÓN

El sistema de climatización de un edificio se dimensiona en función de parámetros como ocupación, orientación, zona climática, horario de funcionamiento, etc.

El sistema actual de climatización del edificio supuesto consiste en una instalación centralizada, con producción de agua fría, a cargo de dos unidades enfriadoras para dar servicio de refrigeración, y de agua caliente, a cargo de cuatro calderas de gasoil para dar servicio de calefacción y al agua caliente sanitaria.

Todas las dependencias disponen de instalación a 4 tubos para dar servicio de forma simultánea tanto de calefacción como de refrigeración, dependiendo de la demanda.

La instalación de refrigeración parte de las centrales de producción de agua fría, desde la que se impulsa, en dos circuitos hidráulicos primarios, hasta el colector de donde parten los circuitos secundarios.

La instalación de calefacción parte de las centrales de producción de agua caliente, desde la que se impulsa, en dos circuitos hidráulicos primarios, hasta el colector de donde parten los circuitos secundarios de calefacción.

La temperatura de impulsión de agua fría es de 7°C y la de retorno de 12°C.

Para el agua caliente, la producción se realiza a 70°C y el retorno a 55°C.

Carga térmica

Se toma como referencia un edificio asistencial ubicado en la Vega Baja del Segura, provincia de Alicante, por lo que la zona climática es B4 según la DA DB-HE / 1 del Código Técnico de la Edificación (CTE), con una superficie construida de 35.000 m².

Teniendo en cuenta que la envolvente térmica del edificio cumple con las especificaciones del CTE y considerando una superficie útil del 70% de la superficie construida, se estima una carga térmica de calefacción de 110 w/m² y de refrigeración de 95 w/m².

Con lo que la carga o potencia térmica de calefacción es de 2.695 kW y de 2.327,5 kW en refrigeración.

Demanda anual de energía

Teniendo en cuenta principalmente la envolvente térmica del edificio, la zona climática, el uso del edificio (asistencial) y que dispone de 250 camas, se puede estimar una demanda térmica anual de 45.000 kWh/cama.

Siendo, por tanto, la demanda anual de 11.250 MWh, de los cuales 6.164 MWh son de calefacción y 5.086 MWh en refrigeración, lo que supone una utilización media a plena carga equivalente a 15 h/día durante 5 meses y a 18 h/día durante 4 meses, respectivamente.

Centrales de producción

Las centrales de producción de calor son cuatro, tres se emplean para la producción de calefacción y una para la producción de agua caliente sanitaria.

Las centrales de producción de agua fría son dos, de la mitad de la potencia necesaria cada una de ellas y se encuentran situadas en cubierta, dando servicio a todo el edificio.

Los grupos motobombas, colectores de frío y calor, vasos de expansión, etc., también se encuentran situados en cubierta.

Teniendo en cuenta las demandas anuales de climatización y un precio medio de la energía eléctrica de 0,14 €/kWh y del gasoil de 0,085 €/kWh los costes anuales son de:

Demanda de calefacción:

6.164 MWh

Demanda de refrigeración:

5.086 MWh

Consumo calefacción convencional (Gasoil):

7.004,9813 MWh

Consumo refrigeración convencional (eléctrico):

2.417,8775 MWh

Coste anual de explotación:

933.926,26 €/año

Por lo que respecta al mantenimiento, en las calderas se requiere de una limpieza anual de la caldera, limpieza de los filtros de gasoil, del quemador, de los electrodos y de la boquilla inyectora, así como revisar la llama de la caldera, el nivel del tiro, los sistemas de ventilación y posibles fugas, lo que conlleva un coste de 5 €/kW año.

Hay que tener en cuenta que las enfriadoras se encuentran en el exterior, pero no disponen de quemadores, con lo que el coste de mantenimiento anual es de 2€/kW año.

Coste anual de mantenimiento calderas de calefacción:

13.948,45 €/año

Coste anual de mantenimiento enfriadoras:

4.787,20 €/año

Costes anuales de mantenimiento:

18.735,65 €/año

| Equipos | Modelo | Potencia Calefacción (kW) | Consumo Calefacción (kW) | Rendimiento |
|-------------------|----------------|---------------------------|--------------------------|-------------|
| Caldera 1 | EUROBLOC F 799 | 929,23 | 1.055,94 | 0,88 |
| Caldera 2 | EUROBLOC F 800 | 930,23 | 1.057,08 | 0,88 |
| Caldera 3 | EUROBLOC F 800 | 930,23 | 1.057,08 | 0,88 |
| Caldera ACS | EUROBLOC F 410 | 476,75 | 541,76 | 0,88 |
| TOTAL CALEFACCIÓN | | 2.789,69 | 3.170,10 | |
| TOTAL ACS | | 476,75 | 541,76 | |

| Equipos | Modelo | Potencia Refrigeración (kW) | Consumo Refrigeración (kW) | Rendimiento |
|--------------|----------------|-----------------------------|----------------------------|-------------|
| Enfriadora 1 | TRANE RTAC 350 | 1.196,8 | 569 | 2,10 |
| Enfriadora 2 | TRANE RTAC 351 | 1.196,8 | 569 | 2,10 |
| TOTAL | | 2.393,6 | 1.138 | |

Unidades terminales fancoils

El centro asistencial ya dispone de equipos fancoil, constituidos por un ventilador, un elemento de intercambio de calor y un filtro, son sistemas de acondicionamiento y climatización de tipo mixto. Su instalación resulta ventajosa en edificios donde es preciso economizar al máximo el espacio, ya que suplen a los sistemas centralizados que requieren de grandes superficies para instalar sus equipos. Los fancoils agrupan en lo posible zonas de un mismo uso y horarios. Las zonas de oficinas y habitaciones de hospitalización disponen de un equipo por estancia.

4. PROPUESTA GEOTÉRMICA DE SUBSUELO

La Vega Media y Baja del Segura constituye una de las depresiones intramontañosas posttectónicas de la Zona Interna de las Cordilleras Béticas en las provincias de Murcia y Alicante. Estas fosas tectónicas tienen sus fallas de borde activas, tal como revela la abundancia de sismos en su localización.

Estas fallas han producido el progresivo hundimiento del depósito de relleno Neógeno-Cuaternario de la cuenca de forma coetánea a dicho depósito, dando lugar a un importante espesor de dichos materiales que en algunos puntos llega a superar los 2.000 m de potencia. Este conjunto comprende materiales del Mioceno, Plioceno y Cuaternario.

Sin embargo, desde el punto de vista del aprovechamiento de los recursos geotérmicos de muy baja temperatura, objeto del presente ejemplo de operación tipo, solo interesa conocer los primeros 150 m, que en la zona de estudio -Vega Baja del Segura- están constituidos por materiales del Cuaternario aluvial.

Las litologías que presenta este Cuaternario están constituidas por una sucesión de materiales detríticos de diferente tamaño de grano: gravas, arenas, arcillas, limos, etc., con una distribución muy heterogénea tanto horizontal como verticalmente.

En este conjunto de materiales se diferencian varios acuíferos que habitualmente se agrupan en dos conjuntos: el denominado acuífero superior, de carácter libre, compuesto por arenas y limos de varias decenas de metros de espesor, y el denominado acuífero profundo, que en la práctica es un acuífero multicapa de carácter confinado y compuesto por varias capas de gravas y arenas separadas por niveles arcillosos de diversa importancia, pero poco potentes en general.

Mientras el primero es de productividad menor debido a la abundancia de limos, el segundo, en sus tramos de gravas y arenas limpias, es bastante más productivo.

Este perfil litológico es bastante común en el área delimitada de la Vega Baja donde se ha ubicado la operación-tipo. Los sondeos intercambiadores que se realicen en esta zona presentarán en su columna litológica porcentajes de materiales finos menos permeables como limos y arcillas del orden del 25-40%, mientras que los materiales más gruesos del tipo arenas y gravas alcanzarán porcentajes del 60-75%.

Todos los materiales tanto finos como más gruesos estarán saturados de agua, presentando además los gruesos una buena circulación hidráulica. Con esta estructura litológica e hidrogeológica y apoyándose en datos de algún test de respuesta térmica realizado en la zona, se puede asignar al conjunto una capacidad de cesión o absorción de calor del orden de 60-80 W por metro de sondeo perforado y una conductividad térmica del orden de 1,9-2,0 W/m-K.

Puesto que se propone que el recurso geotérmico cubra aproximadamente un 50% de la potencia instalada, la potencia a extraer o inyectar en el subsuelo es del orden de 1,2 MW, es decir, 1.200 kW. De esta forma se llegará a cubrir casi el 75% de la demanda (como se expondrá más adelante), haciendo la operación más viable.

Para alcanzar esta potencia con una capacidad de 70 W/m de media, serán necesarios del orden de 17.000 m de sondeo. Se propone la perforación de 135 sondeos de 125 m de profundidad cada uno. En la **figura 61** se presenta un esquema de acabado de cada uno de estos sondeos así como el sistema de sonda geotérmica a utilizar.

5. PROPUESTA GEOTÉRMICA DE SUPERFICIE

Se propone climatizar el recinto mediante una instalación de bombas de calor geotérmicas, empleándose como sistema de distribución los equipos fancoil existentes.

La tipología de este edificio así como su uso hacen que la carga media a vencer por la instalación de climatización sea muy diferente respecto a la carga máxima.

Para poder climatizar el edificio de forma eficiente se recomienda el uso de una hibridación entre un sistema geotérmico, para cubrir la demanda media, con el sistema convencional actual, encargado de apoyar al sistema geotérmico para cubrir los periodos de carga máxima. De este modo será el sistema más eficiente, el geotérmico, el que funcione la mayor parte del tiempo.

La carga térmica a cubrir por el sistema geotérmico será de 1,2 MW en calefacción y de 1 MW en refrigeración. El sistema convencional cubrirá el resto, 1,49 MW en calefacción y 1,33 MW en refrigeración.

Sistema geotérmico

El sistema de climatización mediante bomba de calor geotérmica, se basa en una bomba de calor conectada a la tierra mediante el uso intercambiadores de polietileno enterrados por los que circula agua con anticongelante (30% de monoetilenglicol). Este sistema tiene una eficiencia mucho mayor que los sistemas convencionales puesto que intercambian con un foco de temperatura constante (el terreno) que tiene temperatura en este caso constante y aproximadamente del orden de 20°C.

El sistema geotérmico consta, por lo tanto, de los siguientes elementos: bomba de calor agua-agua, colectores de PE de alta densidad, bomba de

circulación, depósitos de expansión, depósitos de inercia y todos elementos de fontanería necesarios (válvulas, filtros, manómetros, etc.)

Sistema de intercambio

El número total de perforaciones de esta instalación es de **135 perforaciones de 125 m** de profundidad. Cada una de las perforaciones irá unida a un colector de ida y vuelta.

El intercambiador geotérmico estará constituido por un sistema de tuberías de PE100 de alta densidad PN16 por las que circulará una mezcla de agua con anticongelante (30% de monoetilenglicol). Las sondas del material descrito que serán introducidas en las perforaciones serán dobles (dos por perforación) y su diámetro será de 32 mm. Este sistema constituye el condensador de la bomba de calor geotérmica y realiza el intercambio térmico entre la bomba de calor agua-agua y el terreno.

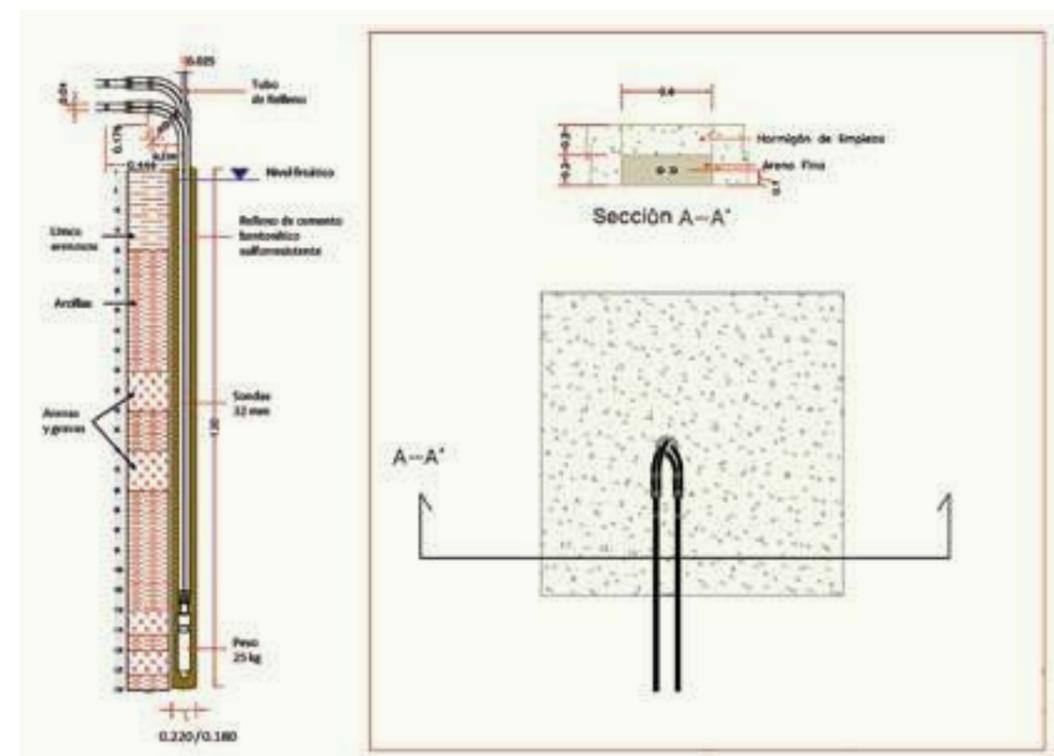


Figura 61. Esquema de sondeo intercambiador

Equipos generadores de energía térmica

Se relacionan a continuación las características de los diferentes equipos de generación térmica del local:

| Uds | DESCRIPCIÓN | POT. CALEFACCIÓN kW | POT. REFRIGERACIÓN kW |
|-------|---------------------------|---------------------|-----------------------|
| 2 | Bomba de calor geotérmica | 125-600 | 125-500 |
| TOTAL | | 1200 | 1000 |

BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA

| EQUIPO (O EQUIVALENTE) | |
|-----------------------------|------------|
| Potencia útil Calef. (kW) | 125-600 kW |
| Pabs Calef. (kW) | 131,87 |
| COP | 4,55 |
| Potencia útil Refrig. (kW) | 125-600 kW |
| Pabs Refrige. (kW) | 88,0 |
| EER | 5,68 |
| Caudal climatización (m³/h) | 50-86 |
| Caudal captación (m³/h) | 60-90 |
| Compresor | Inverter |
| Refrigerante | R410A |

Tablas 25 y 26. Características de los equipos de generación térmica

Conexión horizontal y colectores

La conexión entre los pozos y la sala de máquinas se realizará con tuberías de polietileno de alta densidad DN40 PE100 PN16. El diámetro de las tuberías se ha dimensionado para no superar unas pérdidas de carga de 40 mm.c.a./m o no superar velocidades del orden de los 2,5 m/s aproximadamente.

Se instalarán colectores para la impulsión y colectores para el retorno.

Así, se proyecta la impulsión y el retorno con colectores separados, con la finalidad de poder unir todos las sondas geotérmicas al entrar en las salas de producción, en cada colector.

Depósitos de acumulación

Teniendo en cuenta que el edificio objeto de estudio es un hospital, puede tener simultaneidad de usos, en cuanto a calefacción y refrigeración, por lo que se decide instalar dos depósitos de inercia, uno de calefacción y otro de refrigeración.

El motivo principal de la existencia de un depósito de inercia es el de evitar arranques y paradas continuas del compresor de la Bomba de Calor.

Se instalará un depósito de 5.000 litros para calefacción y otro para refrigeración.

Bombas de circulación

Primario de las bombas de calor geotérmicas:

Se instalará una bomba de circulación doble por cada bomba de calor geotérmica.

Secundario de las bombas de calor geotérmicas:

En el secundario, las bombas de calor geotérmicas se alimentarán directamente de los depósitos de inercia, por lo que tendremos una bomba de circulación para cada una de las bombas de calor.

Fluido caloportador

El fluido transportado por las tuberías para el circuito primario de la bomba de calor geotérmica es una mezcla de agua con anticongelante (30% de monoetilenglicol).

Redes de distribución de agua

El material utilizado en los pozos y en la conexión horizontal es polietileno PE100 PN16 SDR11.

En la **figura 62** se presenta un esquema general del aprovechamiento desde la salida de los sondeos intercambiadores hasta la conexión con la red de utilización de la energía.

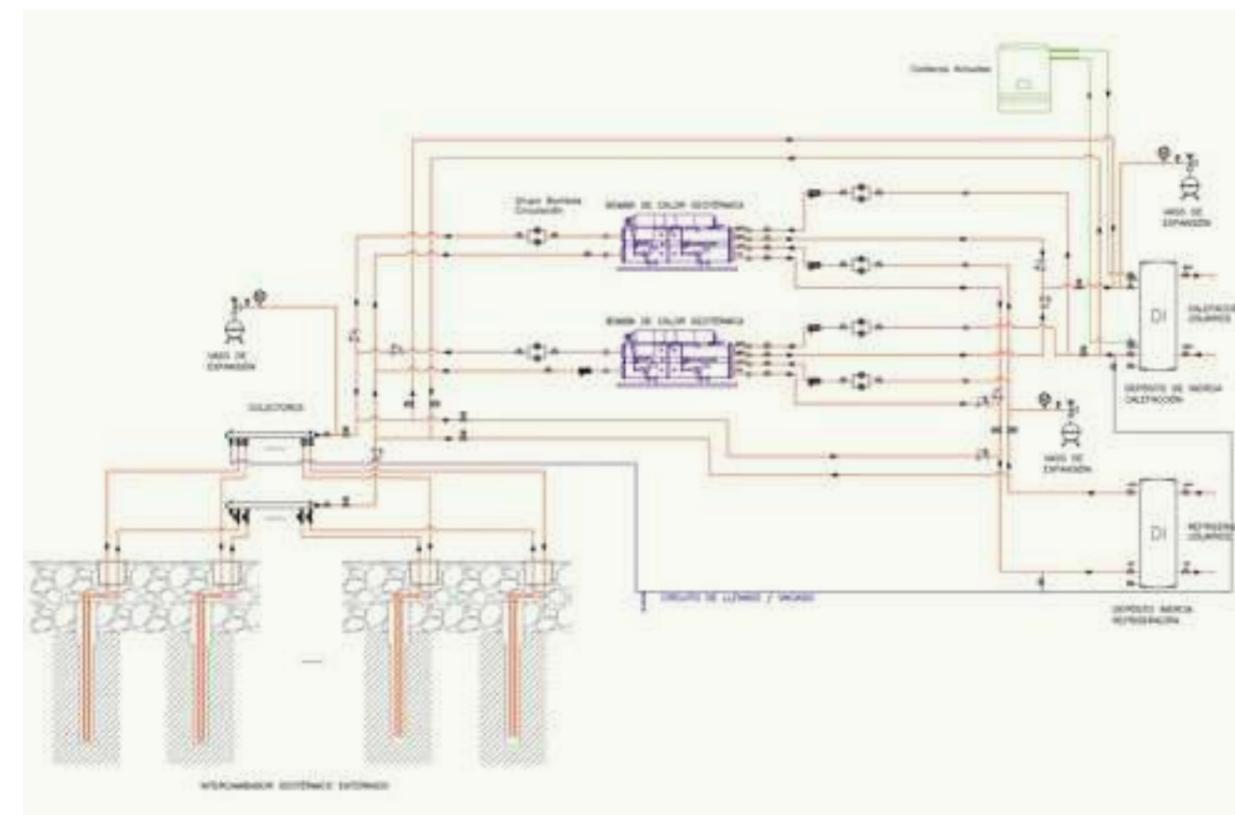


Figura 62. Esquema de circuito de aprovechamiento

6. PRESUPUESTO DE INVERSIONES NECESARIAS

La inversión necesaria como consecuencia de la adopción de una solución geotérmica, en un edificio ya existente con sistema de calefacción y refrigeración convencional, está compuesta básicamente por tres términos: **1.-Inversiones en subsuelo**, es decir red de sondeos intercambiadores de calor dotados con todos los elementos necesarios para una eficaz extracción e inyección de calor según la época del año de que se trate; **2.-Inversiones en conexión horizontal** entre sondas de intercambio y sala de máquinas que incluye los colectores y tuberías auxiliares; y **3.- Inversiones en la sala de máquinas** que incluye las bombas de calor, circuitos auxiliares de tuberías con elementos de control como válvulas, manómetros, vasos de expansión, bombas de recirculación, depósitos de inercia, etc.

A continuación se presenta un resumen de este presupuesto de inversiones.

Inversión en subsuelo: 1.150.000 euros

Incluye:

- Perforación de 135 sondeos de 125 m cada uno (16.875 m).
- Desplazamiento de maquinaria de perforación.
- Proyecto de perforación de los sondeos.
- Sonda en doble U de 32 x 2,9 mm PE100 SDR 100 de 125 m (135 unidades).
- Contrapeso para bajada de sonda (135 unidades).
- Tubo para inyección de relleno de 25 x 2,3 mm
- Relleno de material sulfuroso de conductividad térmica de 2,3 W/m·K (16.875 m).
- Realización de un test de Respuesta Térmica del Terreno.

Inversión en Conexión Horizontal: 89.989,56 euros

Incluye:

- 4 Colectores de PE100 140 mm de diámetro y reducción de 40 mm de diámetro en cada uno de los 34 sondeos que cubre cada colector.
- Tubería y accesorios en PE100 SDR11 de 40 mm de diámetro para unión con sondas doble U de los sondeos (135 unidades)
- Anticongelante para el circuito geotérmico.

Inversión en Sala de Máquinas: 471.395,49 euros

Incluye:

- Instalación de circuito de tubería de PPR de 160 mm de diámetro, con todos los elementos (válvula de seguridad, vasos de expansión, manómetros, purgadores, etc.) 6 unidades.
- Instalación de tubería de PPR de 250 mm de diámetro con valvulería y aislamiento. 3 unidades.
- Bombas dobles de recirculación. 6 unidades.
- Bomba de Calor Geotérmica inverter 125 a 600 kW reversibles. 2 unidades.
- Depósito de inercia de 5.000 litros. 2 unidades.

TOTAL INVERSIÓN GEOTÉRMICA: 1.711.385,05 euros

7. COSTES DE OPERACIÓN

Costes operación convencional

Los principales costes de operación del sistema convencional son los costes de la explotación y los de mantenimiento. Al tratarse de un sistema convencional de calderas de gasoil para calefacción y enfriadoras para refrigeración, se necesita tanto gasoil como energía eléctrica.

Teniendo en cuenta la demanda térmica necesaria en la edificación, los rendimientos de los equipos y un coste total de la energía de 0,085 €/kWh de gasoil y 0,14 €/kWh de electricidad, se tienen los siguientes presupuestos:

Demanda de calefacción:

6.164 MWh

Demanda de refrigeración:

5.086 MWh

COP Calderas:

0,88

EER Enfriadoras:

2,1

Consumo calefacción convencional (Gasoil):

7.004,9813 MWh

Consumo refrigeración convencional (eléctrico):

2.417,8775 MWh

Coste anual de explotación:

933.926,26 €/año

Como se han mencionado anteriormente, los costes de mantenimiento de dichos sistemas son:

Coste anual de mantenimiento calderas de calefacción:

13.948,45 €/año

Coste anual de mantenimiento enfriadoras:

4.787,20 €/año

Costes anuales de mantenimiento:

18.735,65 €/año

Costes de operación geotérmica

El sistema geotérmico solamente consume electricidad con rendimientos superiores a 5 (unidades COP), pero para hacer viable el proyecto técnico-económicamente, se debe realizar un híbrido de geotermia con los equipos convencionales actuales, el sistema geotérmico cubrirá el 73% de la demanda y los equipos convencionales el 27% restante, con lo que los costes energéticos anuales serán:

Demanda de calefacción:

6.164 MWh

Demanda de refrigeración:

5.086 MWh

Demanda calefacción geotermia:

4.599 MWh

Demanda Refrigeración geotermia:

3.611 MWh

% demanda Geotermia:

72,97%

Demanda Calefacción convencional:

1.566 MWh

Demanda Refrigeración convencional:

1.475 MWh

% demanda Convencional:

27,03%

COP Sistema Geotérmico:

4,55

EER Sistema Geotérmico:

5,68

COP Calderas:

0,88

EER Enfriadoras:

2,10

Consumo sistema geotérmico en calefacción:

1.010,69 MWh

Consumo sistema geotérmico en refrigeración:

635,70 MWh

Consumo Calderas de apoyo:

1.779,27 MWh

Consumo enfriadoras de apoyo:

701,18 MWh

Coste anual de explotación Geotermia:

230.494,60 €/año

Coste anual de explotación calderas de apoyo:

151.237,55 €/año

Coste anual de explotación enfriadoras de apoyo:

98.165,83 €/año

Costes totales de explotación:

479.897,97 €/año

Ahorro anual de explotación:

454.028,29 €/año

Los costes de mantenimiento del sistema geotérmico, como ya se ha mencionado anteriormente, son mucho menores, pero hay que tener en cuenta el mantenimiento de parte de la instalación convencional actual.

| | |
|---|-------------------------|
| Coste mantenimiento Geotermia: | 1.200,00 €/año |
| Coste mantenimiento calderas de apoyo: | 9.297,30 €/año |
| Coste mantenimiento enfriadoras de apoyo: | 2.393,60 €/año |
| Coste anual mantenimiento: | 12.890,90 €/año |
| Ahorro anual Mantenimiento: | 5.844,75 €/año |
| Por lo tanto, el sistema geotérmico tiene un ahorro anual total de | 459.873,04€/año. |
| 8. ANÁLISIS DE VIABILIDAD | |
| Para el cálculo de la viabilidad del proyecto, hay que tener en cuenta que la instalación convencional ya está en funcionamiento, por lo que todo el presupuesto de la instalación geotérmica será considerado como un sobre-coste. | |
| Inversión instalación geotérmica: | 1.711.385,05 € |
| Ahorro anual de explotación: | 454.028,29 €/año |
| Ahorro anual Mantenimiento: | 5.844,75 €/año |
| Ahorro anual: | 459.873,04 €/año |
| Tiempo de retorno: | 3,72 Años |

No se ha considerado necesario incluir en el cálculo el tipo de interés de las inversiones al presentar la operación un retorno sobre la inversión muy elevado en relación al período de amortización de las inversiones.

Para el cálculo de las emisiones de CO₂ en toneladas (t), se han tenido en cuenta los factores de emisión de las distintas energías proporcionados por el IDAE.

| | |
|---|--------------------------------------|
| g CO ₂ por kWh electricidad: | 649 gCO ₂ /kWh |
| g CO ₂ por kWh gasóleo: | 287 gCO ₂ /kWh |
| Emisiones CO ₂ calefacción convencional: | 2.010,43 t CO ₂ /año |
| Emisiones CO ₂ refrigeración convencional: | 1.569,20 t CO ₂ /año |
| Emisiones CO₂ totales sist. convencional: | 3.579,63 t CO₂/año |
| Emisiones CO ₂ geotermia: | 1.068,51 t CO ₂ /año |
| Emisiones CO ₂ calderas de apoyo: | 510,65 t CO ₂ /año |
| Emisiones CO ₂ enfriadoras de apoyo: | 455,07 t CO ₂ /año |
| Emisiones CO₂ totales sistema híbrido geotermia y convencional: | 2.034,22 t CO₂/año |
| Ahorro anual de emisiones CO₂: | 1.545,41 t CO₂/año |

Operación tipo en un edificio de complejo hotelero con sistema abierto en San Juan de Alicante

Esta propuesta muestra una aplicación de un aprovechamiento geotérmico de muy baja temperatura con sistema abierto, es decir, aprovechamiento geotérmico de las aguas subterráneas, en un edificio de uso hotelero de dimensiones medias integrado dentro de un conjunto residencial mayor, situado en San Juan-Alicante. Por lo tanto, se trata de un caso real que demuestra la viabilidad técnica y económica de este tipo de aprovechamiento, en una zona climática como la de Alicante. Estos sistemas de aprovechamiento no presentan consumo neto de agua, ya que el mismo caudal extraído es posteriormente reintegrado en el acuífero, en el cual no se registran usos urbanos y la utilización del agua es muy poco significativa.

1. IDENTIFICACIÓN

El conjunto residencial aludido anteriormente es el denominado **Complejo hotelero PSN San Juan -Alicante**. Este complejo se asienta sobre una extensión total de 65.000 m², rodeado de jardines. Cuenta con tres edificios comunicados entre sí, aunque independientes en su funcionamiento. El complejo cuenta con diferentes restaurantes, cafeterías, bibliotecas, gimnasio, zonas de juegos, pistas de tenis, piscinas, y un total de 312 habitaciones.

El edificio objeto de estudio consta de 152 habitaciones dobles de 26 m², distribuidas en 6 plantas y 2.500 m² de zonas comunes, salones y salas de reuniones. La superficie total climatizada es de 6.452 m².

2. UBICACIÓN

El complejo hotelero donde se ubica el edificio estudiado para aprovechamiento de energía geotérmica de muy baja temperatura se encuentra situado en el centro de San Juan, en la calle Dr. Pérez Mateo.

En las **figuras 63 y 64** se presenta su ubicación en un plano general y en una imagen de detalle del complejo hotelero con identificación del edificio estudiado.

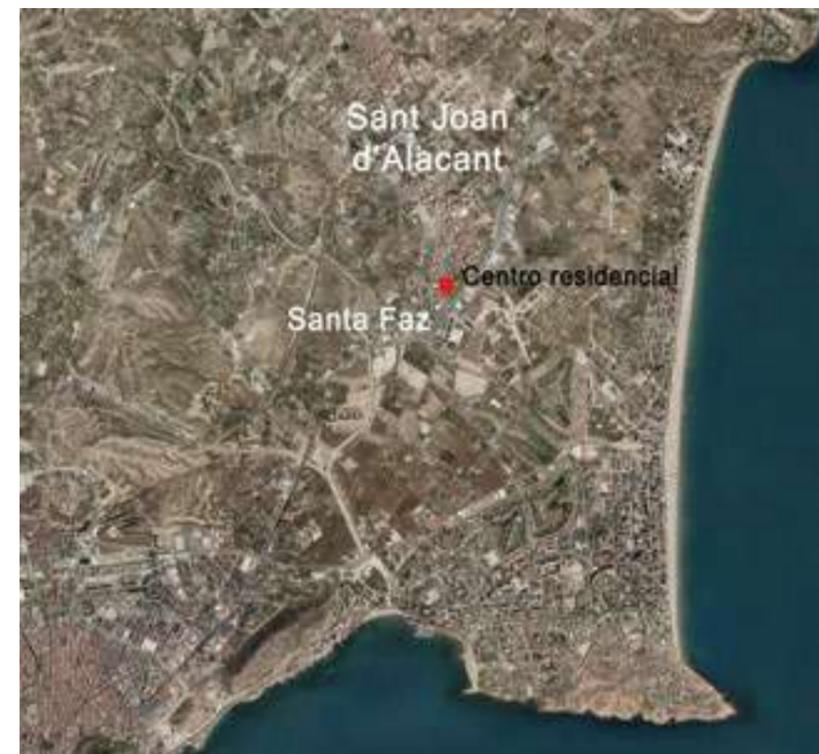


Figura 63. Ubicación del centro residencial propuesto para operación tipo



Figura 64. Edificios que componen el complejo hotelero residencial e identificación del estudiado

3. SISTEMA ACTUAL DE CLIMATIZACIÓN

El sistema de climatización se dimensiona en función de parámetros como ocupación, orientación, horario de funcionamiento, etc.

El sistema actual de climatización consiste en una instalación centralizada, con producción de agua fría, a cargo de dos unidades enfriadoras para dar servicio de refrigeración, y dos calderas de gasoil, una para calefacción y otra para la refrigeración.

La instalación de refrigeración parte de las centrales de producción de agua fría, desde las que se impulsa, en dos circuitos hidráulicos primarios, hasta el colector de donde parten los circuitos secundarios. Se utilizan dos depósitos de inercia para evitar los ciclos cortos de las unidades enfriadoras.

La instalación de calefacción parte de las centrales de producción de agua caliente, desde las que se impulsa, en dos circuitos hidráulicos primarios, hasta el colector de donde parten los circuitos secundarios de calefacción.

La temperatura de impulsión de agua fría es de 7°C y la de retorno de 12°C.

Para el agua caliente, la producción se realiza a 70°C y el retorno a 55°C.

Carga térmica

Se toma como referencia un centro hotelero en San Juan (provincia de Alicante), zona climática B4 según la DA DB-HE / 1 del Código Técnico de la Edificación (CTE). La superficie construida es de 6.452 m², siendo 3.952 m² de habitaciones y 2.500 m² de zonas comunes.

Teniendo en cuenta que la envolvente térmica del edificio cumple con las especificaciones del CTE, se estima una carga térmica de calefacción de 100 w/m² y de refrigeración de 85 w/m² para las habitaciones y de 140 w/m² en calefacción y 110 w/m² en refrigeración para las zonas comunes.

Con lo que la carga térmica de calefacción es de 745,2 kW y de 610,9 kW en refrigeración.

Demanda anual de energía

Teniendo en cuenta principalmente la envolvente térmica del edificio, la zona climática, el uso del edificio (hotelero), los servicios ofertados por el hotel y que dispone de 6.452 m² a climatizar, se puede estimar en base a datos estadísticos de esta zona, una demanda térmica anual de 210 kWh/m² en calefacción y de 140 kWh/m² en refrigeración, suponiendo una utilización a plena carga media equivalente a 12 horas/día durante 5 meses y a 16 horas/día durante 3 meses, respectivamente.

Siendo por tanto la demanda anual de 2.258,82 MWh, de los cuales 1.350 MWh son de calefacción y 908,82 MWh en refrigeración.

Centrales de producción

Las centrales de producción de calor son dos, una que se emplea para la producción de calefacción y otra para la producción de agua caliente sanitaria. Dichas unidades se encuentran en la sala de máquinas, ubicada en el sótano.

Las centrales de producción de agua fría son dos, de la mitad de la potencia necesaria cada una de ellas, y se encuentran situadas en cubierta dando servicio al resto del Edificio.

Los grupos motobombas, colectores de frío y calor, vasos de expansión, etc., también se encuentran situados en la sala de máquinas.

Teniendo en cuenta las demandas anuales de climatización y un precio medio de la energía eléctrica de 0,14 €/kWh y del gasoil de 0,085 €/kW, los costes anuales son de:

Demanda de calefacción:

1.350 MWh

Demanda de refrigeración:

908,82 MWh

COP Calderas:

0,92 MWh

EER Enfriadoras:

2,50 MWh

Consumo calefacción convencional (Gasoil):

1.467,39 MWh

Consumo refrigeración convencional (eléctrico):

363,53 MWh

Coste anual de explotación:

175.622,18 €/año

Por lo que respecta al mantenimiento, en las calderas se requiere de una limpieza anual de la caldera, limpieza de los filtros de gasoil, del quemador, de los electrodos y de la boquilla inyectora, revisar la llama de la caldera, nivel del tiro, sistemas de ventilación y posibles fugas, con lo que ello conlleva un coste de 8 €/kWaño.

Hay que tener en cuenta que las enfriadoras se encuentran en el exterior, pero no disponen de quemadores, con lo que el coste de mantenimiento anual es de 4€/kWaño.

Coste anual de mantenimiento calderas de calefacción:

6.000 €/año

Coste anual de mantenimiento enfriadoras:

2.446,4 €/año

Costes anuales de mantenimiento:

8.446,4 €/año

Unidades terminales fancoils

Al igual que en el ejemplo anterior, el complejo hotelero cuenta con equipos fancoil como sistema de distribución.

| Equipos | Modelo | Potencia Calefacción (kW) | Consumo Calefacción (kW) Gasoil | Rendimiento |
|-------------------|-----------------|---------------------------|---------------------------------|-------------|
| Caldera Calef. | Caldera Ferroli | 750 | 815,22 | 0,92 |
| Caldera ACS | Caldera Ferroli | 698 | 767,03 | 0,91 |
| TOTAL CALEFACCIÓN | | 750 | 815,22 | |
| TOTAL ACS | | 698 | 767,03 | |

| Equipos | Modelo | Potencia Refrigeración (kW) | Consumo Refrigeración (kW) Electricidad | Rendimiento |
|--------------|---------|-----------------------------|---|-------------|
| Enfriadora 1 | EWA 100 | 305,8 | 122,32 | 2,50 |
| Enfriadora 2 | EWA 100 | 305,8 | 122,32 | 2,50 |
| TOTAL | | 611,6 | 244,64 | |

4. PROPUESTA GEOTÉRMICA DE SUBSUELO

Contexto Geológico

La zona de San Juan-Campello, donde se ubica el acuífero del mismo nombre que se propone como fuente de recurso geotérmico en el presente estudio, se localiza en el dominio Prebético Meridional de las Zonas Externas de las Cordilleras Béticas. En esta zona costera la secuencia geológica vertical comprende todos los términos litoestratigráficos del dominio mencionado, desde el sustrato triásico representado por su facies Keuper de arcillas rojas y margas con areniscas hasta los rellenos aluviales del Cuaternario que cubren en superficie toda la zona considerada.

Sobre el Triásico se depositan materiales carbonatados del Jurásico, altamente permeables debido a su elevada fisuración y fracturación o karstificación. A continuación, con su gran desarrollo característico de la zona Prebética, se encuentran los términos cretácicos desde los más margosos y arenosos del Cretácico inferior a los más carbonatados del Cretácico Superior.

A techo del Cretácico se encuentran los materiales margosos y arcillosos del paleoceno como paso a los términos más característicos del terciario: Mioceno Medio detrítico y Mioceno Superior calcarenítico y bioclástico. Estos Miocenos constituyen la base o sustrato de los materiales que componen el acuífero de San Juan-Campello: areniscas y calcarenitas del Plioceno y depósitos arenosos y limosos de los cuaternarios aluviales.

Este conjunto final Plioceno-Cuaternario puede alcanzar en el centro de la zona los 150 m de potencia, siendo los primeros 50-60 m pertenecientes al Cuaternario y los 90-100 m inferiores de calcarenitas y areniscas del Plioceno.

Acuífero San Juan-Campello

Situado inmediatamente al norte de la ciudad de Alicante, entre esta y la población de El Campello, este acuífero ocupa una extensión de 66 km² dominando una depresión entre los afloramientos cretácicos de Villafranca y su prolongación hacia el norte y nordeste como límite occidental y septentrional, y el mar como límite oriental y meridional. Esta depresión está atravesada en su zona norte por el río Monnegre.

Este acuífero, tanto en su tramo superior cuaternario como en el inferior plioceno, contiene aguas muy mineralizadas, salobres, que en general superan los 3,5-5 gr/L de sales disueltas.

Los recursos hídricos estimados para este acuífero alcanzan los 3,4 hm³/año, de los que una pequeña parte estimada en 0,2 hm³/año son explotados para usos agrícolas o plantas desaladoras. El resto se drena subterráneamente hacia el mar.

Propuesta de sondeos geotérmicos

Las estimaciones realizadas de caudales extraíbles en ambos términos del acuífero (Cuaternario y Plioceno) se cuantifican en el orden de los 15-25 L/s. Dada la diferente constitución litológica de Cuaternario y Plioceno, se propone un esquema de sondeo que perfore a circulación inversa el Cuaternario en un diámetro suficientemente amplio (p.e. 660/610 mm) para permitir la posterior instalación de filtros de 350/385 mm de diámetro y relleno de gravilla en el anular.

Se continúa la perforación de los materiales más consistentes y duros del Plioceno en un diámetro de 445 mm y se entuba con tubería ranurada de PVC 350/385 mm., suficiente para la colocación de bomba y columna de impulsión, así como de la tubería de inyección

para la época en que el sondeo actúe o funcione como inyector y del tubo portasondas.

En la **figura 65** se presenta un esquema constructivo del sondeo.

Dado que la potencia o carga térmica necesaria para calefacción se ha estimado en 750 kW y la de refrigeración en 610 kW, se diseña el sistema de extracción geotérmica para el valor más alto. Asimismo hay que tener presente que la propuesta pretende cubrir el 100% de la carga y de la demanda con energía geotérmica a través de las bombas de calor geotérmicas para sistemas abiertos.

Puesto que una termia/hora equivale a 1,16 kW (t), se tiene que la potencia necesaria en termias/hora será de 750 kW/1,16, es decir unas 650 th/h.

Para obtener esta potencia será necesario un caudal de agua de

$$Q(\text{m}^3/\text{h}) = P(\text{th/h}) / (T_p - T_i) (\text{°C})$$

Donde el denominador es el salto térmico inducido por la bomba de calor.

La mayor eficiencia en las bombas geotérmicas se consigue con saltos térmicos de 5-6°C, por lo que el caudal necesario para el suministro de la potencia propuesta será de 120 - 140 m³/h. Puesto que los caudales estimados para los sondeos en esta zona del acuífero son del orden de los 15-25 L/s, se necesitarán para la potencia propuesta 2 sondeos de extracción y dos sondeos de inyección, todos ellos reversibles de manera que puedan funcionar en los dos sentidos mencionados.

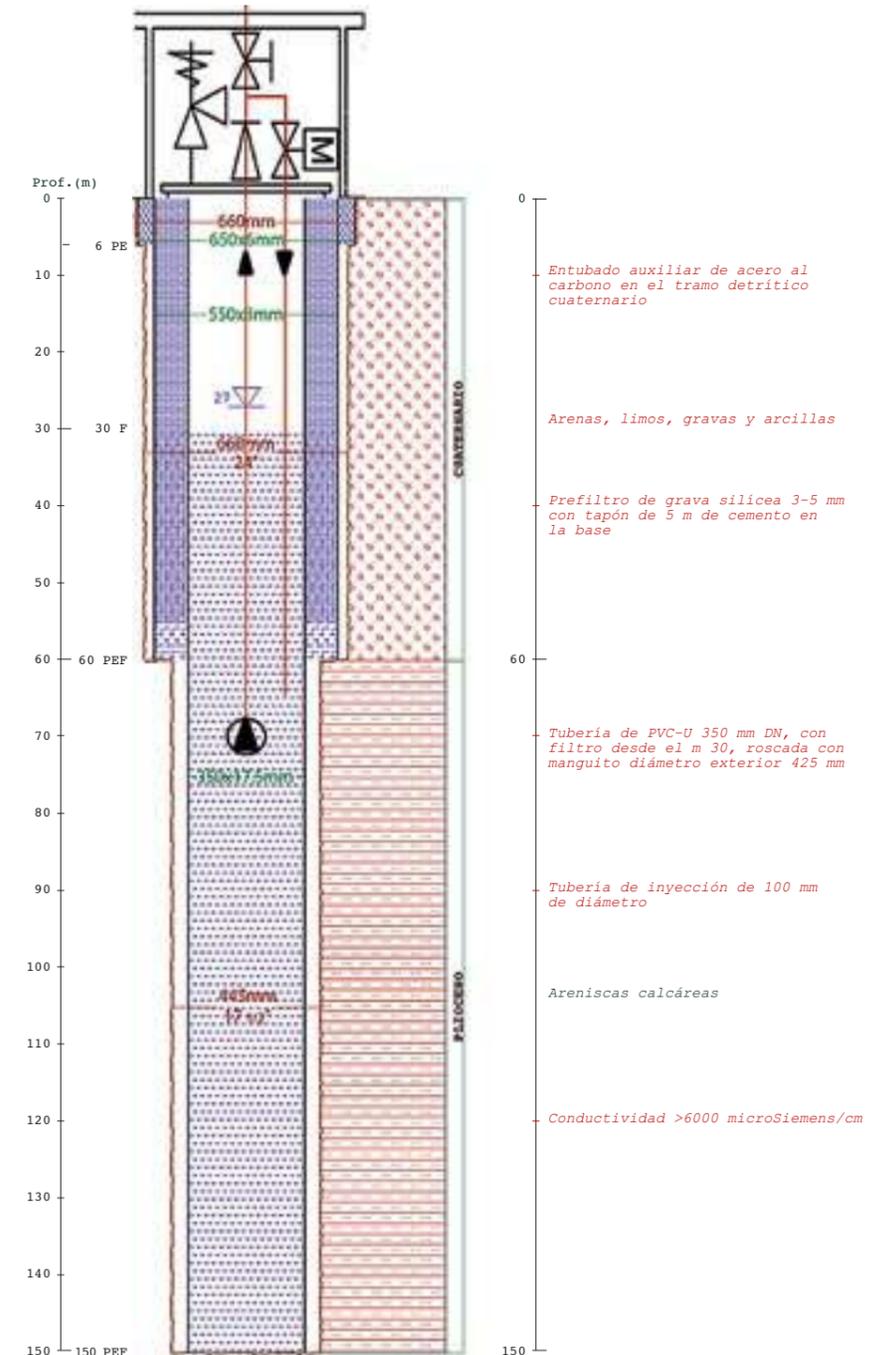


Figura 65. Esquema constructivo y de instalaciones en los sondeos de explotación geotérmica.

5. PROPUESTA GEOTÉRMICA DE SUPERFICIE

Se climatizará el recinto mediante una instalación de bombas de calor geotérmicas de ciclo abierto, empleándose como sistema de distribución los equipos fancoil existentes.

Debido a la tipología de dicho edificio y a la ubicación de este, al encontrarse en una zona con suficiente potencia geotérmica de ciclo abierto, se decide realizar una instalación 100% geotérmica, utilizando 2 pozos de extracción y dos pozos de inyección, siendo los 4 pozos reversibles.

Sistema geotérmico

El sistema de climatización mediante bomba de calor geotérmica se basa en una bomba de calor conectada al acuífero mediante el uso de pozos de extracción e inyección de agua. Este sistema tiene una eficiencia mucho mayor que los sistemas convencionales puesto que intercambian con un foco de temperatura constante (el acuífero) cuyo valor en este caso es constante y superior a 20°C.

Se tienen dos circuitos claramente diferenciados: por una parte, por el circuito primario de la bomba de calor geotérmica circula el agua extraída del acuífero a través de dos pozos de extracción y que, una vez pasa por el sistema de intercambio térmico, se inyecta de nuevo al acuífero mediante otros dos pozos; por otra parte, el circuito secundario de la bomba de calor es el encargado de aprovechar el nivel de temperatura del agua subterránea para nuestro sistema de climatización y ACS.

De este modo, cuando la máquina trabaje en modo invierno, el acuífero actuará como el foco caliente de la máquina (disminuirá la temperatura del acuífero, ya que estaríamos extrayendo energía térmica para poder climatizar nuestro edificio). Por otro lado, cuando la bomba de calor trabaje en modo verano, el acuífero actuará como foco frío de la máquina, lo que significa que estaremos disipando calor (extraído del interior del edificio climatizado) en el acuífero.

El sistema geotérmico consta por lo tanto de los siguientes elementos:

Bomba de calor agua-agua, bomba de circulación sumergible, intercambiador de placas, depósitos de expansión, depósitos de inercia y todos elementos de fontanería necesarios (válvulas, filtros, manómetros, etc.)

Sistema de intercambio

El número de perforaciones total de esta instalación es de **4 perforaciones de 150 m** de profundidad, siendo las 4 reversibles, utilizándose 2 para extracción y 2 para la inyección con un caudal estimado en cada pozo de 70 m³/hora.

Equipos generadores de energía térmica

Se relacionan a continuación las características de los diferentes equipos de generación térmica del local:

| Uds | DESCRIPCIÓN | POT. CALEFACCIÓN kW | POT. REFRIGERACIÓN kW |
|-------|-----------------------------|---------------------|-----------------------|
| 2 | Bombas de calor geotérmicas | 100-375 | 100-310 |
| TOTAL | | 750 | 620 |

BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA

| EQUIPO (O EQUIVALENTE) | |
|--|------------|
| Potencia útil Calef. (kW) | 100-375 kW |
| Pabs Calef. (kW) | 84,27 |
| COP | 4,45 |
| Potencia útil Refrig. (kW) | 100-310 kW |
| Pabs Refrige. (kW) | 55,8 |
| EER | 5,56 |
| Caudal climatización (m ³ /h) | 20-65 |
| Caudal captación (m ³ /h) | 20-70 |
| Compresor | Inverter |
| Refrigerante | R410A |

Tablas 29 y 30. Características de los equipos de generación térmica.

Conexión horizontal y colectores

La conexión entre los pozos y la sala de máquinas se realizará con tuberías de polietileno de alta densidad DN140 PE100 PN16. El diámetro de las tuberías se dimensionarán para no superar unas pérdidas de carga de 40 mm.c.a./m o no sobrepasar velocidades del orden de los 2,5 m/s aproximadamente.

Los 4 pozos estarán regulados con válvulas de 2 vías y regulador de caudal para así elegir la circulación del fluido para garantizar el correcto intercambio térmico.

Intercambiador de placas

Con el fin de evitar posibles deterioros del primario de la bomba de calor geotérmica, se instalará un intercambiador de placas de titanio a la entrada del fluido de extracción de pozo.

Depósitos de acumulación

Teniendo en cuenta que el edificio objeto de estudio es un hotel, puede tener simultaneidad de usos, en cuanto a calefacción y refrigeración, por lo que se instalarán dos depósitos de inercia, uno de calefacción y otro de refrigeración.

El motivo principal de la existencia de un depósito de inercia es el de evitar arranques y paradas continuas del compresor de la Bomba de Calor.

Se instalará un depósito de 2.500 litros para calefacción y otro del mismo volumen para refrigeración.

Bombas de circulación

Bomba sumergible del Primario de las bombas de calor geotérmicas:

El caudal que debe suministrar la bomba sumergible viene dado por las especificaciones técnicas de las

bombas de calor y el límite de caudal de extracción permitido para dicho acuífero:

Se requieren bombas sumergibles en cada pozo de extracción que proporcionen un caudal del orden de 65 m³/h (18 L/s) por pozo y que logren vencer las pérdidas de carga de la instalación hidráulica.

Las pérdidas de carga a vencer en dicho circuito son la suma de la pérdida de carga para vencer la altura entre el nivel dinámico del agua en el pozo y el intercambiador de placas, la del intercambiador, más la pérdida de carga de la tubería.

Primario de las bombas de calor geotérmicas:

Las pérdidas de carga a vencer por la bomba de circulación en dicho circuito son la suma de la pérdida de carga del intercambiador de placas, más la de la tubería de conexión entre intercambiador y bomba de calor y la pérdida de carga del intercambiador de la bomba de calor.

Secundario de las bombas de calor geotérmicas:

En el secundario, las bombas de calor-geotérmicas alimentarán directamente los depósitos de inercia, por lo que tendremos una bomba de circulación para cada una de las bombas de calor.

Fluido caloportador

El fluido transportado por las tuberías para el circuito primario y el secundario es agua.

Redes de distribución de agua

El material utilizado en los pozos y en la conexión horizontal es polietileno PE100 PN16 SDR11.

Vasos de expansión

El diseño de la instalación deberá prever un sistema que absorba la dilatación del fluido y asegure un valor mínimo de presión en el circuito. Los vasos de expansión preferentemente se conectarán en la aspiración de la bomba.

En particular, tanto el vaso de expansión del circuito primario como del secundario, se dimensionarán para absorber los fenómenos de aumentos de temperatura (y por tanto volumen) y en épocas de invierno, poseer una reserva para evitar el efecto contrario, es decir, que a bajas temperaturas disminuya la presión con el riesgo de formación de bolsas de aire.

Unidades terminales

Debido a la simultaneidad de usos, se utilizarán unidades terminales de fancoils a 2 tubos.

En la **figura 66** se presenta un esquema general del circuito de aprovechamiento.

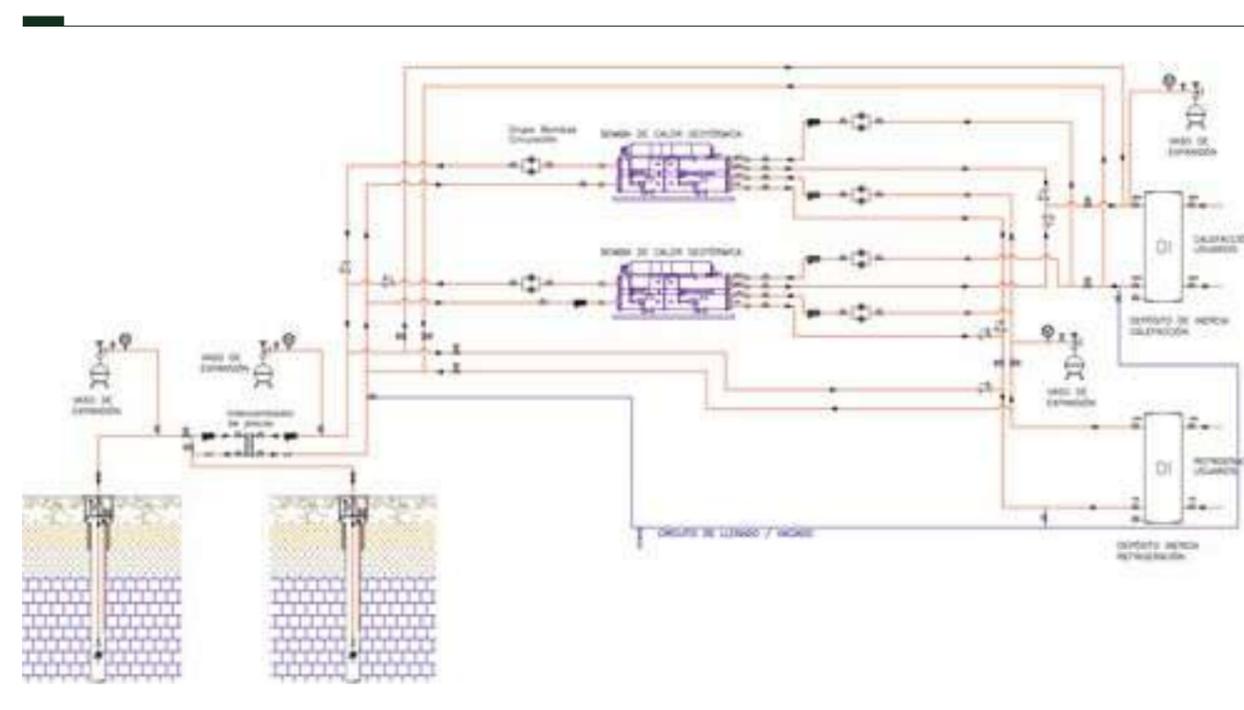


Figura 66. Esquema general del circuito de aprovechamiento.

6. PRESUPUESTO DE INVERSIONES NECESARIAS

Las inversiones necesarias como consecuencia de la adopción de una solución geotérmica con sistema abierto en un edificio ya existente con calefacción y refrigeración convencional, están compuestas por cuatro partidas principales:

1.- Proyecto de ingeniería de subsuelo en el que se defina con precisión los parámetros hidráulicos y térmicos del acuífero y se realice la modelización del intercambio térmico-hidráulico en el mismo. Se incluirá en esta partida la tramitación de la autorización de los organismos pertinentes.

2.- Inversiones en subsuelo como perforación, acabado y desarrollo de sondeos de extracción-inyección de agua del acuífero, instalación de equipos de bombes, equipos auxiliares de la explotación, etc.

3.- Inversiones en la conexión horizontal entre cabeza de sondeos y sala de máquinas.

4.- Inversiones en la sala de máquinas, que básicamente comprende el intercambiador de titanio para separar las aguas salobres de la que circula en el primario de la bomba de calor, bombas de calor geotérmica, circuitos auxiliares, elementos de control, bombas de recirculación, depósitos de inercia, etc.

A continuación se presenta un resumen del presupuesto de inversiones.

Proyecto de ingeniería geotérmica: 17.375,00 euros

Incluye los siguientes elementos:

- Caracterización de parámetros hidráulicos y térmicos del acuífero
- Modelización de la explotación y del intercambio térmico-hidráulico
- Elaboración del proyecto de explotación térmica del acuífero
- Tramitación de la autorización administrativa en Confederación Hidrográfica y ante el Servicio de Minas.

Inversión en subsuelo: 510.000,00 euros

Incluye:

- Perforación de 4 sondeos de extracción-inyección de 150 m cada uno.
- Entubado, acabado, desarrollo y ensayos de producción
- Instalación de 4 bombas sumergibles de 70 m³/hora de caudal, impulsión, tuberías de inyección, valvulería y suministro de energía.
- Instalación de elementos de protección, control y monitorización
- Proyecto y tramitación de las instalaciones electromecánicas en el Servicio territorial de Industria.

Inversión en conexión horizontal: 6.760,00 euros

Incluye:

- Tubería y accesorios de conexión de PE 100 SDR 100 de 140 mm de diámetro y 12,7 mm de espesor según UNE/EU 12201.
- Accesorios de control y mano de obra de instalación

Inversión en sala de máquinas: 193.770,00 euros

Incluye:

- Intercambiador de calor de placas de titanio 700-900 kW
- Instalación de circuito de sala de máquinas, con tubería de PPR de 180 mm y 140 mm con valvulería y aislamiento.
- Sistema de regulación del intercambiador
- 2 bombas de calor reversibles de 375 kW.
- 2 Depósitos inox master de inercia de 2.500 litros.
- 6 bombas de recirculación.

TOTAL INVERSIÓN GEOTÉRMICA: 727.905,00 euros

7. COSTES DE OPERACIÓN

Costes de operación convencional

Los principales costes de operación del sistema convencional son los costes de la explotación y los de mantenimiento. Al tratarse de un sistema convencional de calderas de gasoil para calefacción y enfriadoras para refrigeración, se necesita tanto gasoil como energía eléctrica.

Teniendo en cuenta la demanda térmica necesaria en la edificación, los rendimientos de los equipos y un coste total de la energía de 0,085 €/kWh de gasoil y 0,14 €/kWh de electricidad:

Demanda de calefacción:

1350 MWh

Demanda de refrigeración:

908,82 MWh

COP Calderas:

0,92 MWh

EER Enfriadoras:

2,50 MWh

Consumo calefacción convencional (Gasoil):

1.467,39 MWh

Consumo refrigeración convencional (eléctrico):

363,53 MWh

Coste anual de explotación:

175.622,18 €/año

Como se han mencionado anteriormente, los costes de mantenimiento de dichos sistemas son:

Coste anual de mantenimiento calderas de calefacción:

6.000 €/año

Coste anual de mantenimiento enfriadoras:

2.446,4 €/año

Costes anuales de mantenimiento:

8.446,4 €/año

Costes de operación geotérmica

Por una parte, el sistema de captación-inyección de agua subterránea consumirá $27 \text{ kW} \times 8760 \text{ h/año} = 236,52 \text{ MWh/año}$.

Por otra, el sistema geotérmico solamente consume electricidad con rendimientos superiores a 5 (unidades COP), con lo que los costes energéticos anuales serán:

| | |
|--|------------------------|
| Demanda calefacción geotermia: | 1.350 MWh |
| Demanda refrigeración geotermia : | 909 MWh |
| COP Sistema geotérmico: | 4,45 |
| EER Sistema geotérmico: | 5,56 |
| Consumo sistema geotérmico en calefacción: | 303,37 MWh |
| Consumo sistema geotérmico en refrigeración: | 163,46 MWh |
| Consumo sistema captación-inyección: | 263,52 MWh |
| Coste anual de explotación geotérmica: | 98.468,67 €/año |
| Ahorro anual de explotación: | 77.153,51 €/año |

Los costes de mantenimiento del sistema geotérmico son mayores.

En cuanto al mantenimiento de las captaciones, estas requerirán un desarrollo periódico para eliminar los precipitados en los filtros y formación carbonatada y la acumulación de finos en el entorno.

También se debe considerar la asistencia técnica necesaria para el seguimiento de la extracción- recarga y del rendimiento de las captaciones.

| | |
|--|------------------------|
| Coste anual de mantenimiento sistema convencional: | 8.446,40 €/año |
| Coste mantenimiento Geotermia: | 35.000,00 €/año |
| Incremento coste anual Mantenimiento: | 21.553,60 €/año |

Por lo tanto el sistema geotérmico tiene un ahorro anual total de **50.599,91 €/año**.

8. ANÁLISIS DE VIABILIDAD

Para el cálculo de la viabilidad del proyecto, tenemos en cuenta que la instalación convencional ya está en funcionamiento, por lo que todo el presupuesto de la instalación geotérmica será considerado como un sobre-coste.

| | |
|-----------------------------------|-----------------|
| Inversión instalación geotérmica: | 727.905,00 € |
| Ahorro anual de explotación: | 77.153,51 €/año |
| Incremento anual Mantenimiento: | 21.553,60 €/año |
| Ahorro anual: | 50.599,91 €/año |

Tiempo de retorno:
14,38 Años

El retorno resulta viable en relación al período de amortización de las inversiones, de 10 años para las instalaciones electromecánicas y electrónicas y de 30 años para las obras de captación (40% de la inversión).

Para el cálculo de las emisiones de CO₂, se ha tenido en cuenta los factores de emisión de las distintas energías proporcionados por el IDAE.

| | |
|---|------------------------------------|
| g CO ₂ por kWh electricidad: | 649 gCO ₂ /kWh |
| g CO ₂ por kWh gasóleo: | 287 gCO ₂ /kWh |
| Emisiones CO ₂ calefacción convencional: | 421,14 t CO ₂ /año |
| Emisiones CO ₂ refrigeración convencional: | 235,93 t CO ₂ /año |
| Emisiones CO ₂ totales: | 657,07 t CO ₂ /año |
| Emisiones CO ₂ geotermia: | 474,00 t CO ₂ /año |
| Ahorro anual de emisiones CO₂: | 183,07 t CO₂/año |

Podría mejorarse el rendimiento del sistema utilizando energía solar para las operaciones de extracción-inyección del agua subterránea.

5

POTENCIAL
GEOTÉRMICO DE
LA PROVINCIA.
AHORRO
ECONÓMICO Y
AMBIENTAL

LA POTENCIALIDAD DEL APROVECHAMIENTO GEOTÉRMICO EN LA PROVINCIA. AHORRO ECONÓMICO Y AMBIENTAL

El diagnóstico del potencial geotérmico de la provincia resultaría incompleto si no se incluyeran algunas consideraciones sobre el impacto que puede tener la utilización de esta energía sobre el total del consumo provincial y sobre la emisión de gases de efecto invernadero. Ha resultado especialmente complejo realizar esta prospectiva debido a la dispersión de los datos, y a la dificultad de evaluar qué parte de los consumos energéticos, por sectores de consumo y a nivel provincial, son realmente sustituibles con la implantación de energía geotérmica. Por este motivo, los resultados que se presentan no deben ser considerados de forma estricta, sino como una orientación del impacto de la aplicación generalizada de energía geotérmica en la provincia.

Previamente conviene recordar que el potencial geotérmico de la provincia se centra en la geotermia de muy baja entalpía, aunque localmente pueda haber aplicaciones de baja entalpía y excepcionalmente algún aprovechamiento de media entalpía.

La evaluación energética y medioambiental del aprovechamiento de los recursos geotérmicos de la provincia de Alicante se ha realizado en cuatro pasos consistentes en:

1.- Determinación de los sectores de consumo con mayor potencial de aplicación de geotermia. Hay sectores, como por ejemplo, el transporte, dependientes en su inmensa mayoría de combustibles fósiles, donde la aplicación de energía geotérmica no es viable.

2.- Estimación del porcentaje de energía sustituible por energía geotérmica. Es necesario establecer, en los sectores de interés, qué porcentaje de la energía consumida es susceptible de ser sustituida por geotermia. La geotermia de muy baja y baja entalpía no será de utilidad, por ejemplo, para usos como combustible para hornos o para alimentación de maquinaria. Sí lo será prioritariamente en climatización y, localmente, puede tener interés en producción de agua caliente sanitaria. Por tanto, para cada sector, ha sido necesario realizar una estimación del porcentaje de energía consumida susceptible de ser sustituida por aprovechamientos geotérmicos.

3.- Determinación de operaciones en las que esta sustitución es viable técnica y económicamente. Esta estimación, especialmente compleja de realizar sobre grandes grupos de consumidores y a escala provincial, es importante para no sobrevalorar el potencial geotérmico de la provincia.

Supone que habrá muchas situaciones en las que no resultará rentable sustituir los sistemas de climatización ya implantados con nuevos sistemas geotérmicos. Por ejemplo, en el caso de edificios en entorno urbano, ya construidos y con sistemas de climatización individuales, resulta inviable plantear la realización de sondeos geotérmicos y la sustitución de todo el sistema de climatización por uno nuevo centralizado.

4.- Cálculo del ahorro de emisiones de CO₂ ligado al aprovechamiento geotérmico. En este último apartado la energía consumida que puede ser sustituida por energía geotérmica se expresa en kg de CO₂ emitidos en función de la fuente energética no renovable de la que provenga. En caso de aplicar geotermia en todos los segmentos y operaciones en las que estas fuentes de energía pueden ser sustituidas, se evitarían estas emisiones a la atmósfera. Debe tenerse en cuenta que esta sustitución no puede realizarse al 100%, no obstante, estas cifras pueden dar una idea del ahorro energético que podría suponer el aprovechamiento de los recursos geotérmicos de la provincia en los sectores seleccionados.

SECTORES DE CONSUMO CON MAYOR POTENCIAL DE APLICACIÓN DE GEOTERMIA

En este apartado se analiza la estructura de la demanda energética en la provincia de Alicante y se identifican aquellos segmentos objetivo para la aplicación de geotermia. Se parte de los datos de distribución sectorial del consumo energético en la provincia de Alicante publicados por el Instituto Valenciano de Competitividad Empresarial (IVACE) en el informe *Datos Energéticos de la Comunidad Valenciana 2013*. Además de este informe, se han consultado los últimos datos de detalle disponibles para la provincia de Alicante sobre consumo energético final desagregado por segmentos dentro de cada sector económico y por fuente de energía (energía eléctrica, gas natural y productos petrolíferos) para el año 2008, publicados en el informe *Base de datos energéticos de Alicante. 2002-2009* de la Agencia Provincial de la Energía de Diputación de Alicante. No obstante, estos datos no tienen en cuenta las fuentes de energías renovables.

La distribución sectorial del consumo de energía medido en kilo toneladas equivalentes de petróleo (ktep) para la provincia de Alicante se resume en la **tabla 31**.

| SECTOR | Agencia Provincial de la Energía de Alicante, 2008* | | IVACE, 2013 | |
|-----------------------|---|------------|--------------|------------|
| | ktep | % | ktep | % |
| Agricultura y pesca | 171 | 7,07 | 85 | 3,86 |
| Industria | 347 | 14,34 | 333 | 15,11 |
| Terciario o Servicios | 285 | 11,78 | 262 | 11,89 |
| Residencial Doméstico | 402 | 16,59 | 415 | 18,83 |
| Transporte | 1.132 | 46,73 | 1.110 | 50,36 |
| No especificado | 85 | 3,49 | - | - |
| TOTAL | 2.423 | 100 | 2.204 | 100 |

* Datos de consumo de energía procedente de fuentes no renovables.

Tabla 31. Estructura sectorial del consumo energético en la provincia de Alicante

Este consumo energético en 2008 y 2013 fue cubierto por la distribución de fuentes energéticas que se muestra en la **figura 67**.

Dado que no tiene sentido sustituir el consumo de energía renovable por energía geotérmica, el objetivo de aplicación de geotermia se ceñirá a la energía proveniente de fuentes no renovables, que para la anualidad 2013 suponen el 95,19% del consumo final, es decir, 2.098 ktep.

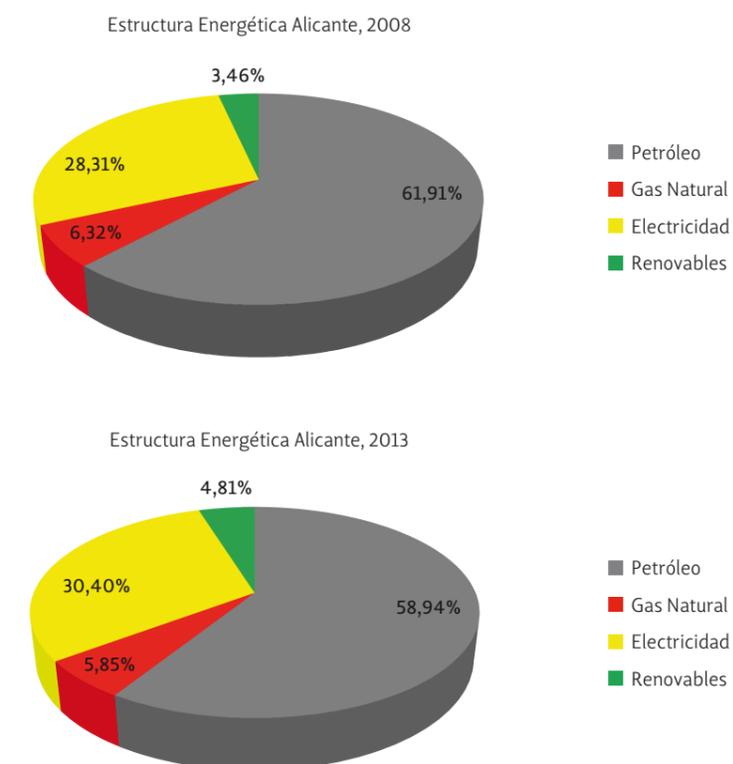


Figura 67. Estructura de fuentes energéticas en la provincia de Alicante.

PORCENTAJE DE ENERGÍA CONSUMIDA SUSTITUIBLE POR ENERGÍA GEOTÉRMICA

Teniendo en cuenta la distribución sectorial del consumo energético en la provincia y las características de la aplicación de los recursos geotérmicos, los sectores terciario o servicios, residencial doméstico e industrial, son los sectores objetivo para sustitución de fuentes convencionales de combustibles fósiles por energía geotérmica en la provincia de Alicante. Dentro de estos sectores, los segmentos de usos o aplicaciones propicias para recursos geotérmicos son la climatización (calefacción y refrigeración) y suministro de agua caliente sanitaria.

Aunque no se han encontrado estudios específicos para la provincia de Alicante de usos o aplicaciones de la energía consumida, existen algunos estudios generales a nivel nacional que pueden proporcionar algunos datos en este sentido. Así para el **sector residencial doméstico**, existe un estudio muy detallado de EUROSTAT-IDAE que para la zona climática mediterránea (en la que se incluye la provincia de Alicante) presenta los siguientes datos de consumo energético (obtenidos en una macroencuesta en hogares españoles):

| | |
|-------------------------------|------------|
| Climatización | 44% |
| Agua Caliente Sanitaria | 17% |
| TOTAL | 61% |

En otros estudios de ámbito nacional para el **sector servicios (terciario)**, se presentan los siguientes datos:

| | |
|-------------------------------|--------------|
| Climatización..... | 57,3% |
| Agua Caliente Sanitaria | 3,3% |
| TOTAL | 60,6% |

En un análisis del *Uso eficiente de la energía en el Sector Terciario* también de ámbito nacional se presentan para el sector hotelero los siguientes datos:

| | |
|-------------------------------|--------------|
| Climatización..... | 22,4% |
| Agua Caliente Sanitaria | 34,1% |
| TOTAL | 56,5% |

Por lo tanto, en general se puede admitir que tanto para el sector terciario como para el residencial doméstico, los usos que pueden ser cubiertos con energía geotérmica, es decir, climatización y agua caliente sanitaria, suponen aproximadamente el 60% del consumo energético de los edificios. Por tanto, del consumo total de energía de estos dos sectores en la provincia de Alicante en 2013, sin tener en cuenta las energías renovables (644,44 ktep), podrían ser cubiertos con energía geotérmica 386,66 ktep (149,64 ktep para el sector terciario y 237,02 ktep en el caso del sector residencial doméstico).

En cuanto al **sector industrial**, no se dispone de datos específicos del consumo sustituible, ya que tanto la energía consumida como su aplicación o uso final es muy variable entre los diferentes subsectores o segmentos en los que se divide. No obstante, las empresas dedicadas a la Alimentación, Bebidas y Tabaco, y la Industria textil, Confección, Cuero y Calzado, de gran peso en la provincia de Alicante, pueden considerarse dos de los principales segmentos objetivo para la climatización, principal aplicación de los recursos geotérmicos provinciales.

De acuerdo con los datos de consumo desagregados por sectores y fuentes energéticas para el año 2008, estas industrias representan el 30,19% del consumo energético total del sector industrial en Alicante, aproximadamente 95,7 ktep de consumo final en 2013.

Al igual que para los sectores terciario y residencial doméstico, en estos tipos concretos de industria podría asumirse un porcentaje del 60% de usos que pueden ser cubiertos con energía geotérmica (climatización y agua caliente sanitaria), es decir, unos 57,42 ktep.

OPERACIONES EN LAS QUE LA APLICACIÓN DE GEOTERMIA ES VIABLE TÉCNICA Y ECONÓMICAMENTE

La carencia de datos y estudios de detalle a nivel provincial ha hecho inviable la estimación del alcance real del aprovechamiento de los recursos geotérmicos provinciales. No obstante, puede estimarse de forma global qué parte de la energía no renovable consumida podría sustituirse por energía geotérmica como máximo para cada uno de los sectores propuestos.

Sector Servicios

Para el sector servicios se dispone de los datos recopilados en el *Informe anual de consumos energéticos* para el año 2013 del IDAE a nivel nacional. A partir de éstos, se han analizado los porcentajes de consumo de energía por tipo de fuente para cada segmento del sector servicios considerado (Oficinas, Hospitales, Comercio, Restaurantes y Alojamientos, Educación y otros servicios).

Entre los segmentos analizados, la geotermia tendría una mayor aplicación en Hospitales, Comercio (especialmente centros comerciales), Educación (centros de enseñanza) y Alojamientos. En este último caso, se han tenido en cuenta exclusivamente aquellos hoteles con posible instalación centralizada, los campings y las casas rurales, que suponen aproximadamente el 43,7% de los establecimientos hoteleros y otros

alojamientos turísticos existentes en Alicante partiendo de los datos de 2013 incluidos en el informe de *La Comunidad Valenciana en cifras* de la Cámara de Comercio de Valencia.

Extrapolando los porcentajes obtenidos a los datos de consumo provinciales para la anualidad 2013 sin tener en cuenta las energías renovables, la energía total consumida por los segmentos seleccionados del sector servicios asciende a un 44,73%. Así, de los 149,64 ktep sustituibles por energía geotérmica para el sector terciario (climatización y agua caliente sanitaria), la geotermia podría aplicarse realmente para 66,93 ktep, que es la parte del consumo de los segmentos seleccionados destinada a climatización y agua caliente sanitaria.

Estos 66,93 ktep constituyen el consumo ideal (el máximo) sustituible por

energía geotérmica, suponiendo que pudiera implantarse en el 100% de los casos. Sin embargo, se considera que solo en una pequeña parte sería viable técnica y económicamente, no tanto por la distribución geográfica, ya que las áreas en que el sector se encuentra más desarrollado coinciden en gran medida con las de favorabilidad alta, sino debido a la composición del parque de edificios terciario y residencial doméstico, su ubicación en centros urbanos consolidados, las características singulares de las instalaciones geotérmicas que requieren equipamiento centralizado, la necesidad de inversiones iniciales importantes de las soluciones geotérmicas, las dificultades propias de introducción de un sistema poco conocido por la población en general, etc. En consecuencia, no se podrán ahorrar estos 66,93 ktep que constituyen el consumo ideal sustituible por energía geotérmica.

Sector Residencial Doméstico

En el sector residencial doméstico, el aprovechamiento de los recursos geotérmicos solo sería aplicable en viviendas de nueva construcción o en aquellas existentes de tipo unifamiliar, principalmente. Mientras que el primer caso supone un porcentaje reducido de viviendas, ya que la tasa media de viviendas de nueva construcción para el período 2010-2015 es del 0,002%, el porcentaje de viviendas unifamiliares respecto a viviendas totales en la provincia de Alicante según datos del Instituto Nacional de Estadística (INE) para 2011 asciende al 25,7% (327.992 viviendas unifamiliares/1.274.325 viviendas totales).

Por tanto, de los 237,02 ktep de consumo del sector residencial que podrían ser cubiertos con energía geotérmica, 60,91 ktep corresponderían al consumo de energía de las viviendas unifamiliares para climatización y agua caliente sanitaria. No obstante, el porcentaje de viviendas donde realmente sería viable técnica y económicamente realizar la instalación necesaria para el aprovechamiento de los recursos geotérmicos es reducido, dada la situación geográfica de este tipo de viviendas, ya que algunas de ellas se encuentran en zonas de montaña con difícil acceso, además de los requerimientos y características singulares de las instalaciones geotérmicas (profundidad, cercanía al acuífero, conveniencia de instalaciones de climatización centralizada).

Sector Industrial

Del total del consumo energético industrial en la provincia de Alicante según el tipo de fuente (energía eléctrica, gas natural, propano y otros productos petrolíferos) las industrias de Alimentación, Bebidas y Tabaco, y la industria Textil, Confección, Cuero y Calzado, constituyen el 28% del consumo de energía eléctrica total del sector, un 32% del suministro de gas natural a mercado interior para consumo energético industrial y un 30% del consumo de propano de este sector. Aunque no se dispone de datos específicos de consumo de otros productos petrolíferos, para estas industrias puede considerarse despreciable.

Como se ha visto en el apartado anterior, del consumo energético industrial destinado a climatización y agua caliente, más de 57 ktep corresponden a estos segmentos del sector indus-

trial, donde la aplicación de geotermia sería más rentable y cuya ubicación coincide con áreas de alta favorabilidad geotérmica. Pero al igual que para los sectores terciario y residencial, su implantación no sería posible en el 100% de los casos.

A continuación se muestra una tabla resumen de los consumos energéticos que se consideran sustituibles (destinados a climatización y agua caliente sanitaria) para el año 2013, estructurados por sectores de consumo y tipo de fuente, y resaltando en negrita el consumo total de aquellos segmentos de cada sector en los que sería realmente aplicable la geotermia:

Encontramos que, como máximo, podría sustituirse por energía geotérmica 185,26 ktep de consumo, que suponen el 32% del consumo energético total proveniente de fuentes no renovables para los sectores terciario, residencial e industrial (576,85 ktep).

| SECTOR | Distribución del consumo energético para climatización y agua caliente sanitaria en la provincia de Alicante 2013 (ktep) | | | | | TOTAL |
|---|--|-------------|---------|--------|---------|--------|
| | ENERGÍA ELÉCTRICA | GAS NATURAL | PROPANO | BUTANO | GASÓLEO | |
| Terciario o Servicios | 141,37 | 5,05 | 3,16 | 0,05 | * | 149,64 |
| Hospitales, Comercio, Educación y Alojamientos** | 61,49 | 3,76 | | 1,69 | | 66,93 |
| Residencial Doméstico | 178,38 | 15,83 | 16,70 | 26,11 | * | 237,02 |
| Viviendas unifamiliares | 45,84 | 4,07 | 4,29 | 6,71 | * | 60,91 |
| Industrial | 97,86 | 90,87 | 1,42 | 0,04 | * | 190,19 |
| Ind. textil, confección cuero y calzado Alimentación, bebidas y tabaco | 16,26 | 18,50 | 17,31 | 0,00 | * | 57,42 |

* Sin datos desagregados por sectores de consumo.

** Exclusivamente hoteles con posible instalación centralizada, campings y casas rurales.

Tabla 32. Estructura del consumo de energía para climatización y agua caliente sanitaria en la provincia de Alicante por tipo de fuente energética. Año 2013

AHORRO DE EMISIONES DE CO₂ LIGADO AL APROVECHAMIENTO GEOTÉRMICO

De acuerdo con la última propuesta del IDAE –Ministerio de Industria, Energía y Turismo–, las emisiones de CO₂ por unidad de energía producida para cada fuente de energía considerada son las siguientes:

| | Factores de emisión de CO ₂ | |
|---------------------|--|--------------------------------|
| | kg CO ₂ /MWh | t CO ₂ /ktep* |
| Electricidad | 399 kg CO ₂ /MWh | 4.639 t CO ₂ /ktep* |
| Gas natural | 252 kg CO ₂ /MWh | 2.930 t CO ₂ /ktep* |
| Propano y Butano | 254 kg CO ₂ /MWh | 2.953 t CO ₂ /ktep* |
| Gasóleo calefacción | 311 kg CO ₂ /MWh | 3.616 t CO ₂ /ktep* |

* 1 MWh equivale a 0,086 tep

Tabla 33. Factores de emisión de CO₂ para cada fuente energética

Dado que no se tienen datos del gasóleo consumido desagregado por sectores o segmentos, se ha calculado el ahorro energético ligado a la sustitución de las restantes fuentes de energía por geotermia. Los resultados obtenidos se muestran en la **tabla 34**.

Por tanto, para el desarrollo propuesto de los recursos geotérmicos en el

apartado anterior, se podría alcanzar un techo potencial teórico de sustitución por energía geotérmica equivalente a un ahorro total de emisiones de 739.071 t de CO₂/año.

No obstante, tanto la bomba de calor geotérmica como las bombas auxiliares para el circuito de intercambio, consumen electricidad de la red para

los compresores. Este consumo es muy variable en función del tipo de sistema que se utilice, de la bomba de calor geotérmica instalada, de los saltos térmicos, etc. Se podría considerar un porcentaje de ahorro de un **75%** respecto al total de energía generada, lo que supondría un ahorro teórico máximo de emisiones de **554.303 t de CO₂/año**.

| SEGMENTOS CON APLICACIÓN DE GEOTERMIA | t de CO ₂ | | | | TOTAL |
|---|----------------------|-------------|---------|--------|---------|
| | ENERGÍA ELÉCTRICA | GAS NATURAL | PROPANO | BUTANO | |
| Hospitales, Comercio, Educación y Alojamientos* | 285.252 | 11.017 | 4.991 | | 301.259 |
| Viviendas unifamiliares | 212.652 | 11.925 | 12.668 | 19.815 | 257.060 |
| Ind. textil, confección cuero y calzado Alimentación, bebidas y tabaco | 75.430 | 54.205 | 51.116 | 0 | 180.752 |

* Exclusivamente hoteles con posible instalación centralizada, campings y casas rurales.

Tabla 34. Ahorro de emisiones de CO₂ ligado a la sustitución de fuentes de energía no renovables por geotermia en la provincia de Alicante para 2013

6

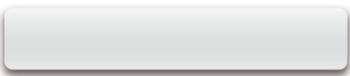
UNIDADES
UTILIZADAS

Prefijos del Sistema Internacional de unidades (SI)

| Símbolo | Prefijo | Equivalencia decimal | Definición |
|---------|---------|----------------------|--|
| μ | micro | 0,000001 | Micro es el prefijo métrico utilizado para una millonésima |
| m | mili | 0,001 | Mili es el prefijo métrico utilizado para una milésima |
| c | centi | 0,01 | Centi es el prefijo métrico utilizado para una centésima |
| k | kilo | 1.000 | Kilo es el prefijo métrico utilizado para mil |
| M | mega | 1.000.000 | Mega es el prefijo métrico utilizado para un millón |
| G | giga | 1.000.000.000 | Giga es el prefijo métrico utilizado para mil millones |
| T | tera | 1.000.000.000.000 | Tera es el prefijo métrico utilizado para un billón |

Unidades de medida

| Símbolo de la unidad | Nombre de la unidad | Magnitud | Definición |
|----------------------|---|-------------------------------------|---|
| W | vatio | Potencia, flujo energético | Unidad de medida de la potencia del Sistema Internacional de unidades. Es la potencia que da lugar a una producción de energía igual a 1 julio por segundo. |
| J | julio | Energía, trabajo, cantidad de calor | Unidad de medida del Sistema Internacional de unidades utilizada para medir energía, trabajo y calor. Es el trabajo producido por una fuerza de 1 newton, cuyo punto de aplicación se desplaza 1 metro en la dirección de la fuerza. Equivale al trabajo necesario para producir un vatio de potencia durante un segundo |
| cal | caloría | | Unidad de energía térmica equivalente a la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de un gramo de agua en un grado centígrado, de 14,5 a 15,5 °C, a 1 atmósfera de presión |
| th | termia | | Unidad técnica de calor equivalente a un millón de calorías |
| N | newton | Fuerza | Es la fuerza que, aplicada a un cuerpo que tiene una masa de 1 kilogramo, le comunica una aceleración de 1 metro por segundo cuadrado |
| tep | toneladas equivalentes de petróleo | | Toneladas de petróleo consumidas para generar cierta cantidad de energía. De acuerdo con la última propuesta del IDAE -Ministerio de Industria, Energía y Turismo-, 1 MWh equivale a 0,086 tep |
| Wh | vatios hora | Energía | Medida de la cantidad de energía producida o consumida por una cierta potencia durante una hora. Es decir, es la energía producida por una potencia constante de un vatio (1 W) durante una hora, y equivale a 3.600 julios. Normalmente se utilizan sus múltiplos kilovatios hora (kWh), megavatios hora (MWh) o gigavatios hora (GWh) |
| Wh/año | vatios hora al año | | Vatios producidos o consumidos por hora durante un año |
| J/año | julios por año | | Julios producidos o consumidos durante un año. Normalmente se utiliza el múltiplo terajulios año (TJ/año) |
| W/m ² | vatios por metro cuadrado | | Densidad superficial de flujo térmico, irradiancia |
| W/m·°C W/m·K | vatios por metro y grado centígrado / vatios por metro y kelvin | Conductividad térmica | Capacidad de conducción del calor. Propiedad característica de cada material que se refiere al flujo de calor que es capaz de transmitir por conducción a través de un cuerpo sometido a un gradiente de temperatura de 1°C/m (expresado en W/m·°C) o de 1K/m (expresado en W/m·K) |
| W/m | vatios por metro | Potencia térmica del terreno | Capacidad de extracción de calor por metro lineal de sonda geotérmica. Generalmente varía entre 20 y 70 W/m |
| K | kelvin | Temperatura termodinámica | Unidad de medida de la temperatura del Sistema Internacional de unidades. La relación con la unidad de grados centígrados/Celsius (°C) es: K = °C + 273,16 |
| S/m | Siemens/metro | Conductividad eléctrica | Capacidad o facilidad de un material para dejar pasar la corriente eléctrica. La unidad de medida más utilizada es el μ S/cm (microSiemens centímetro) |



| Factores de conversión de energía final a primaria (Propuesta del IDAE –Ministerio de Industria, Energía y Turismo– 03/02/2014) | | |
|---|---|--|
| Fuentes de energía | Valores (kg CO ₂ /kWh Energía final) | Fuente de los datos |
| Electricidad convencional Nacional | 0,399 | Valores aprobados en Comisión Permanente de Certificación Energética de Edificios de 27 de Junio de 2013 |
| Gasóleo calefacción | 0,311 | Basado en el informe <i>Well to tank Report, version 4.0</i> del Joint Research Institute |
| GLP (gases licuados del petróleo, tales como propano y butano) | 0,254 | |
| Gas natural | 0,252 | |

