

Geotermia

Manual de geotermia



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN



Instituto Geológico
y Minero de España



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE INDUSTRIA, TURISMO
Y COMERCIO



Instituto para la
Diversificación y
Ahorro de la Energía

Geotermia

Manual de geotermia

TÍTULO DE LA PUBLICACIÓN

Manual de geotermia

AUTOR

Este manual ha sido realizado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) y el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), fruto de un Convenio Marco de colaboración entre ambos organismos.

.....
La publicación ha sido producida por el IDAE y está incluida en su fondo editorial.

Cualquier reproducción, total o parcial, de la presente publicación debe contar con la aprobación del IDAE.

Depósito Legal: M-37243-2008

ISBN: 978-84-96680-35-7

.....
IDAE
Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía
C/ Madera, 8
E-28004-Madrid
comunicacion@idae.es
www.idae.es

Madrid, junio de 2008

INTRODUCCIÓN	5
1 CONCEPTOS GENERALES	11
1.1 Energía geotérmica y gradiente geotérmico.....	13
1.2 Recursos y yacimientos geotérmicos	19
2 SITUACIÓN ACTUAL	29
2.1 Contexto mundial.....	31
2.2 La energía geotérmica en la Unión Europea	44
2.3 La energía geotérmica en España	54
3 Usos	59
3.1 Generación de electricidad	61
3.2 Usos térmicos	67
3.3 Utilización en cascada	79
4 TECNOLOGÍAS Y APLICACIONES	81
4.1 Tecnologías para centrales de generación de electricidad	83
4.2 Tecnologías para aprovechamientos geotérmicos de baja y muy baja temperatura	92

5	FACTORES ECONÓMICOS, ADMINISTRATIVOS Y MEDIOAMBIENTALES	103
5.1	Aspectos económicos	105
5.2	Aspectos administrativos y normativos	111
5.3	Aspectos medioambientales	121
6	VENTAJAS DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA	125
6.1	Beneficios medioambientales	127
6.2	Beneficios socioeconómicos	129
7	POTENCIAL GEOTÉRMICO EN ESPAÑA	133
7.1	Geotermia de baja entalpía	136
7.2	Geotermia de media/alta entalpía	137
7.3	Geotermia de alta temperatura (HDR/EGS)	138
8	PERSPECTIVAS FUTURAS	139
9	SABER MÁS	149
9.1	Antecedentes históricos de la geotermia	151
9.2	Curiosidades	155
9.3	Glosario de términos	159
10	ANEXOS	165

Introducción

Introducción

La sociedad española actual, en el contexto de la reducción de la dependencia energética exterior, de un mejor aprovechamiento de los recursos energéticos disponibles y de una mayor sensibilización ambiental, demanda cada vez más la utilización de las energías renovables y la eficiencia en la generación de electricidad, como principios básicos para conseguir un desarrollo sostenible desde un punto de vista económico, social y ambiental.

Además, la política energética nacional debe posibilitar, mediante la búsqueda de la eficiencia energética en la generación de electricidad y la utilización de fuentes de energía renovables, la reducción de gases de efecto invernadero de acuerdo con los compromisos adquiridos con la firma del protocolo de Kioto.

Se consideran "renovables" el conjunto de fuentes energéticas primarias que tienen su origen en la radiación solar, ya sea de forma directa como la solar térmica o fotovoltaica o de forma indirecta como la eólica, hidroeléctrica y biomasa, pero también se incluye la energía geotérmica que, a diferencia del resto de energías renovables, su origen proviene del calor interior de la Tierra que se alimenta de la desintegración de isótopos radiactivos, de movimientos diferenciales entre las distintas capas que constituyen la Tierra y del calor latente de cristalización del núcleo externo.

La energía geotérmica es una de las fuentes de energía renovable menos conocidas y se encuentra almacenada bajo la superficie terrestre en forma de calor y ligada a volcanes, aguas termales, fumarolas y géiseres.

Considerando toda la superficie de la Tierra, la potencia geotérmica total que nos llega desde el interior es de $4,2 \times 10^{12}$ J. Se trata de una cantidad inmensa de energía, pero solo una fracción de ella puede ser utilizada por la humanidad. Hasta ahora la utilización de esta energía ha estado limitada a áreas en las cuales las condiciones geológicas permiten un transporte (agua en la fase líquida o vapor) para transferir el calor desde zonas calientes profundas hasta cerca de la superficie, dando origen a los recursos geotérmicos.

Las aplicaciones van desde la producción de electricidad, cuando se trata de yacimientos de alta temperatura (superiores a los $100\text{-}150^{\circ}\text{C}$), hasta los usos térmicos en los sectores industrial, servicios y residencial, para temperaturas por debajo de los 100°C , ya sea de forma directa o a través de bomba de calor geotérmica (calefacción y refrigeración) para temperaturas muy bajas (por debajo de los 25°C).

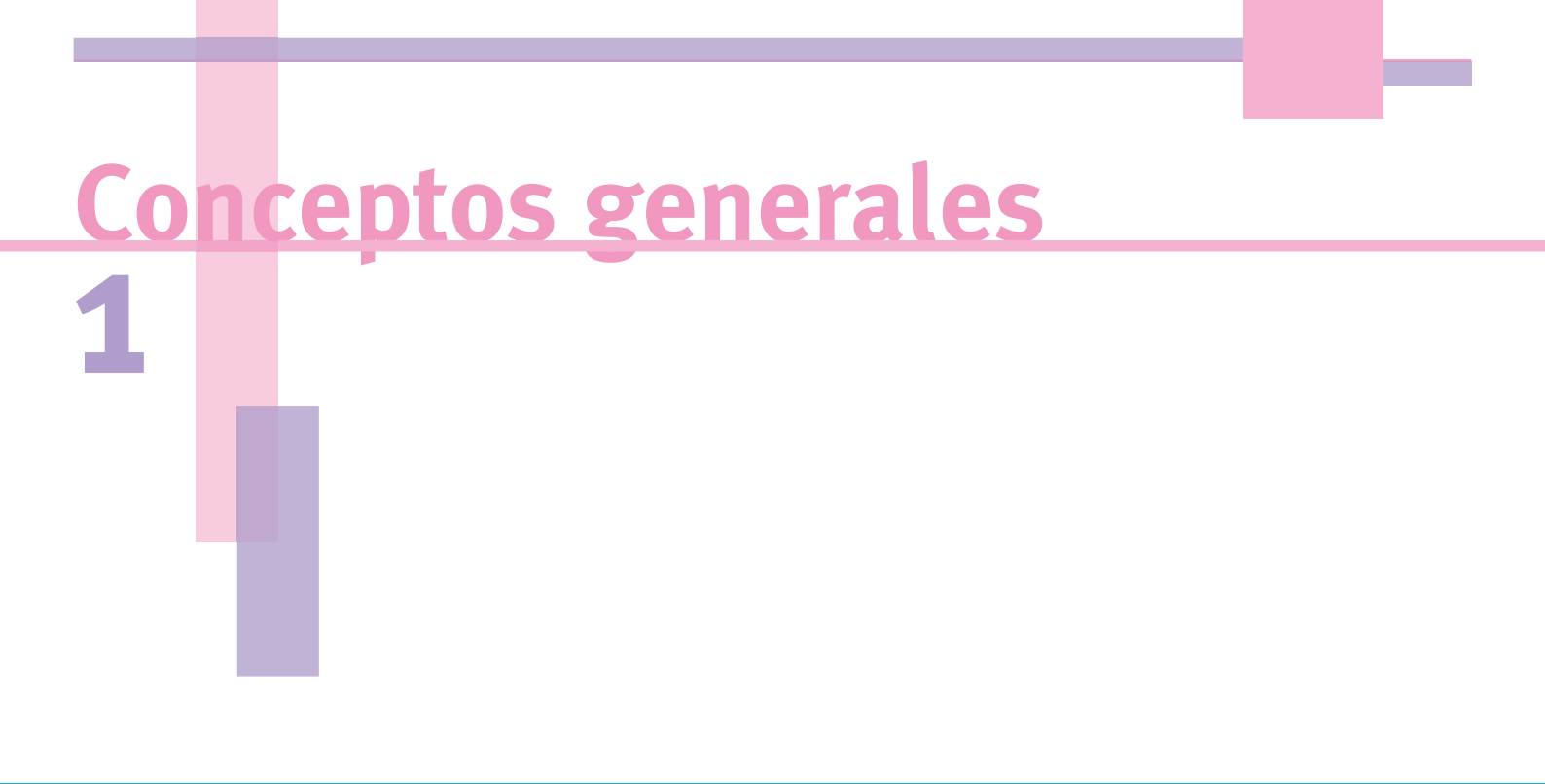
El territorio español cuenta con una estructura geológica propicia para la presencia en el subsuelo de recursos geotérmicos. Distintos fenómenos y hechos geológicos así lo demuestran: abundantes manifestaciones termales, persistente actividad sísmica, volcanismo reciente y actual, etc.

En España, la energía geotérmica fue ampliamente estudiada durante los años setenta y ochenta, época en la que se plantearon ambiciosos proyectos basados en el aprovechamiento térmico del recurso para calefacción. Finalmente, estos proyectos no salieron adelante por distintos motivos, principalmente económicos, y el desarrollo del área geotérmica acabó paralizándose.

En cuanto a los aprovechamientos geotérmicos de muy baja temperatura mediante bomba de calor, muy habituales en otros países europeos, están comenzando a desarrollarse en España y se espera un importante auge para los próximos años. La gran ventaja de estos sistemas es que

las condiciones geológicas para su aprovechamiento son poco exigentes ya que prácticamente en la totalidad del territorio se puede aprovechar este tipo de recursos energéticos del subsuelo. Se trata de una tecnología eficiente para calefacción y refrigeración con unos destacados ahorros energéticos.

En lo que llevamos de siglo XXI, el máximo interés se sitúa en los yacimientos geotérmicos profundos, con escasa o incluso nula permeabilidad, pero que pueden ser aprovechados para la producción de electricidad tras la estimulación del yacimiento. La búsqueda de este tipo de yacimientos y su investigación requieren una fuerte dotación económica ya que precisa tecnologías altamente sofisticadas y de elevado riesgo. Sin embargo, los datos económicos de los proyectos actualmente en desarrollo en países como Francia y Alemania, nos permiten contemplar el futuro de la energía geotérmica en España con gran esperanza.



Conceptos generales

1

Conceptos generales

1

1.1 ENERGÍA GEOTÉRMICA Y GRADIENTE GEOTÉRMICO

1.1.1 Definición energía geotérmica

De todos es sabido que el interior de la Tierra está caliente y que, a medida que se profundiza hacia el interior de ella se encuentran temperaturas crecientes. A veces no se llega a percibir cómo el calor de la Tierra se disipa hacia su parte más externa. Sin embargo, ya el hombre primitivo aprovechaba esta característica peculiar del subsuelo y buscaba abrigo de las bajísimas temperaturas que entonces sufrían y se acomodaba en las cavernas que mantienen su temperatura prácticamente estable durante todo el año.

También quienes trabajan en los ambientes mineros saben bien de esta situación y cómo en las zonas más profundas de las explotaciones mineras las temperaturas son apreciablemente superiores.





Lo mismo les ocurre a quienes tienen que resolver los problemas de las perforaciones profundas en busca de hidrocarburos y otros elementos del subsuelo. Bien saben que, a los efectos de temperatura debidos a los mecanismos de la perforación, hay que añadir el debido al incremento normal de la temperatura por la profundidad alcanzada en el sondeo.

Las fumarolas, géiseres y fuentes termales son fenómenos observables en superficie que denotan un calor que proviene del subsuelo.



Todas ellas son manifestaciones del calor que el interior de la Tierra transmite hacia su exterior y que constantemente se “desperdicia” en la corteza terrestre. En suma, son indicaciones de la estructura interna de la Tierra formada por capas sucesivas tanto más calientes cuanto más hacia el interior se encuentran situadas.

La energía geotérmica es, en su más amplio sentido, la energía calorífica que la Tierra transmite desde sus capas internas hacia la parte más externa de la corteza terrestre.

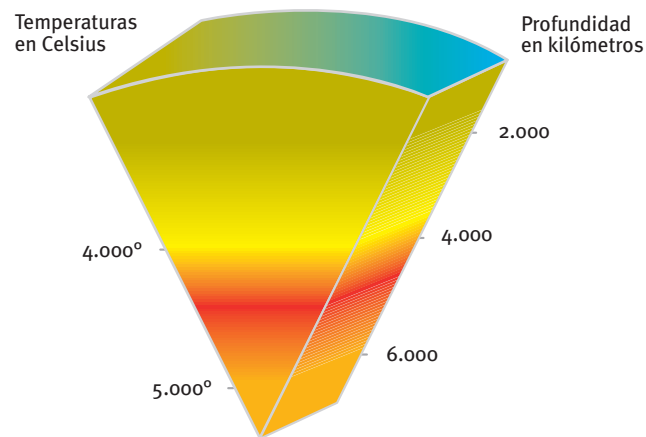
1.1.2 Gradiente geotérmico y tectónica de placas

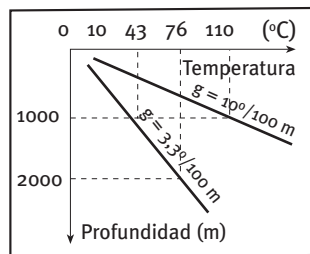
El ser humano apenas puede conocer por medidas directas lo que ocurre en la parte más accesible de la corteza terrestre. Apenas unos pocos kilómetros han podido ser reconocidos en áreas determinadas de la superficie del globo. Lo que ocurre en capas más profundas del interior del planeta tan sólo puede ser deducido por medidas indirectas.

En la capa más externa del globo –la corteza– se aprecia el incremento de temperatura que se experimenta al penetrar hacia las partes interiores de la misma debido al calor que la Tierra desprende hacia su exterior. Este incremento de la temperatura es lo que se conoce como gradiente geotérmico.

El gradiente geotérmico observado en la mayor parte del globo es de unos 2,5-3°C cada cien metros. Es decir, que a medida que se profundiza en el interior de la corteza, la temperatura se va incrementando a un ritmo de unos 25 a 30°C cada mil metros. Es lo que se conoce como gradiente geotérmico normal.

Temperaturas de la Tierra



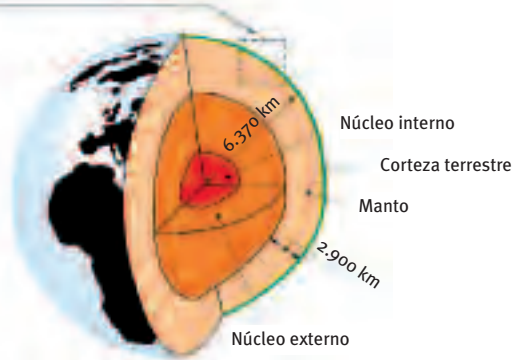
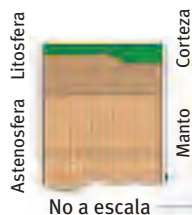


En regiones muy delimitadas y específicas del globo, el gradiente es muy superior al gradiente normal. Se trata de regiones de gradiente geotérmico anómalo en las que el incremento de temperatura con la profundidad es muy superior a los $3^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$. Estas regiones se sitúan sobre áreas geológicamente activas de la corteza terrestre, como se verá a continuación.

El gradiente geotérmico es una medida fácil de obtener y permite conseguir una estimación de la cantidad de flujo de calor

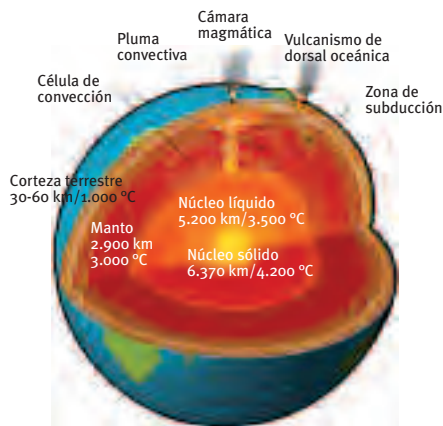
que se transmite desde las zonas internas de la corteza hacia las zonas externas. El flujo de calor se expresa en unidades de mW/m^2 y, aunque más difícil de medir en campo, representa la cantidad de calor geotérmico que se desprende por unidad de superficie.

Bajo la corteza terrestre, que tiene un espesor muy variable entre unos 5-6 km en zonas oceánicas y unos 20 a 65 km en zonas continentales, se sitúa el manto con un espesor de unos 2.900 km y bajo éste el núcleo con un espesor de unos 3.500 km.

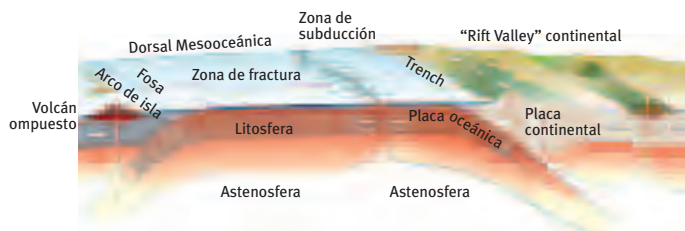


Se denomina litósfera a la capa más externa de la Tierra y que está formada por la corteza y la parte más externa del manto. Este conjunto se comporta como un elemento rígido que se mantiene “flotando” sobre la astenósfera, una capa del manto que tiene, a escala geológica, un comportamiento plástico.

En las zonas internas del manto se producen fenómenos de convección térmica. Estos fenómenos térmicos del interior de la Tierra provocan movimientos internos de materiales en el globo y producen la formación de nueva corteza en las denominadas dorsales oceánicas, zonas con mínimos valores de espesor cortical.



La formación de nueva corteza, dado que no hay un incremento de la superficie de la Tierra, produce choques y rozamientos en otras zonas del globo en las que la corteza va desapareciendo. Son las denominadas zonas de subducción en las que una parte de la litosfera se pliega y se sumerge bajo otra zona de litosfera.



La existencia de las zonas de creación de corteza y zonas de desaparición de corteza (zonas geológicamente activas) condiciona la delimitación de seis grandes áreas litosféricas o placas que a escala geológica interrelacionan unas con otras produciendo fenómenos geológicos que evidencian la dinámica de las placas.

Las placas, a su vez, se dividen en numerosas subplacas que originan fenómenos geológicos similares a escala más regional. Igualmente se localizan áreas en las que tiene lugar una actividad distensiva en el interior de una placa; en estas zonas de fosas importantes, debido al adelgazamiento cortical, se producen fenómenos de ascensión de magmas.

En todas estas zonas geológicamente activas se producen terremotos, erupciones volcánicas y fracturas que son las señales de la tectónica del globo, originada por los flujos de calor desde el interior del mismo. En estas áreas del globo los valores de flujo geotérmico son notablemente anómalos y constituyen zonas de gran interés geotérmico.



1.2 RECURSOS Y YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS

1.2.1 Naturaleza de los recursos geotérmicos

El recurso geotérmico, de acuerdo con lo señalado anteriormente, lo constituye el calor del interior del globo. Es por ello que el objetivo de la geotermia es el aprovechamiento de esa energía calorífica del interior de la Tierra.

Sin embargo, al menos en principio, para que esa energía pueda ser aprovechada se necesita que se acumule en algún cuerpo del interior de la corteza. La forma más común de concentración es en el agua que rellena los poros y huecos de las formaciones rocosas que constituyen la litosfera y actúa como captador y transmisor de la energía geotérmica.

El agua contenida en la “esponja” que constituyen ciertos materiales geológicos permeables, adquiere los niveles energéticos (temperatura y presión) que la energía proveniente del interior del globo le transfiere. Como consecuencia de las condiciones termodinámicas del sistema agua-roca, el agua adquiere características químicas específicas determinadas por el equilibrio físico-químico que se produce en el interior de la litosfera, enriqueciéndose en sales minerales provenientes de la disolución del esqueleto rocoso que le alberga.

De esta forma, el fluido geotérmico –agua cargada en sales minerales– en condiciones de presión y temperatura adecuadas, sirve de vehículo para el aprovechamiento de la energía proveniente del subsuelo.

1.2.2 Recursos y yacimientos geotérmicos convencionales

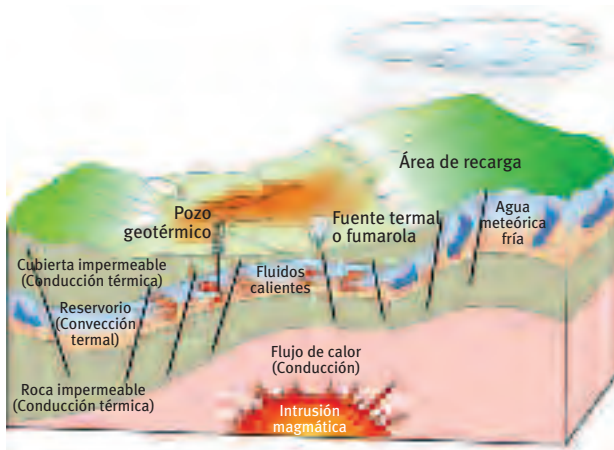
Se denomina recurso geotérmico a la porción de calor desprendido desde el interior de la Tierra que puede ser aprovechado por el hombre en condiciones técnicas y económicas. Es decir, tan sólo la fracción de calor del globo, que las técnicas que en cada momento estén disponibles permitan un aprovechamiento en condiciones económicas adecuadas, se considera como recurso geotérmico.

Cuando se dan las circunstancias adecuadas para que unos materiales permeables llenos de agua intercepten el flujo de calor desde el interior del globo, y a su vez estos materiales se encuentren suficientemente “sellados” en su parte inferior y superior por materiales impermeables, se dan las condiciones favorables para la existencia de un yacimiento geotérmico.

De este modo, las condiciones clásicas para la existencia de un yacimiento geotérmico son la presencia de:

- un foco de calor activo,
- un material permeable con su base impermeable (el almacén geotérmico) por el que circula un fluido (en general agua de origen meteórica, en fase líquida o vapor),
- y una cobertera o sello que impida (o al menos limite) el escape del fluido.

Se conoce así como yacimiento geotérmico el espacio de la corteza terrestre en el que se localizan materiales permeables que albergan un recurso geotérmico susceptible de ser aprovechado por el hombre.



1.2.3 Clasificación de los yacimientos geotérmicos

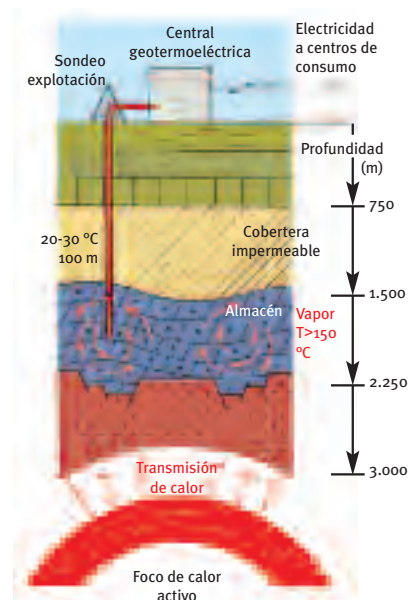
Los yacimientos geotérmicos convencionales se clasifican de acuerdo con los niveles energéticos de los recursos que albergan, es decir, de los fluidos en ellos contenidos.

Por lo tanto se pueden clasificar en:

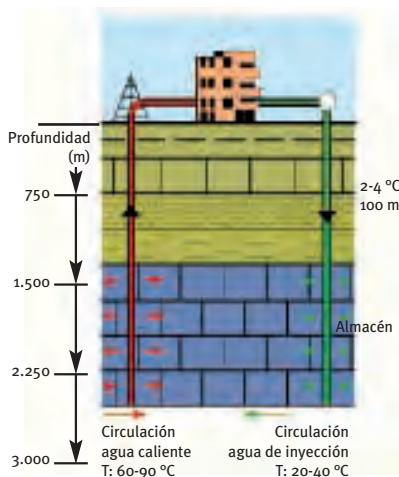
- Yacimientos de alta entalpía en los que se cumplen las condiciones clásicas de existencia de un yacimiento y el foco de calor permite que el fluido se encuentre en condiciones de presión y alta temperatura (superior al menos a los 150°C). Las características termodinámicas del fluido permiten su aprovechamiento para producción de electricidad.
- Yacimientos de media entalpía en los que los fluidos se encuentran a temperaturas situadas entre los 100 y los 150°C, lo que permite su uso para producción de electricidad mediante ciclos binarios que, en general, tienen rendimientos algo inferiores.
- Yacimientos de baja entalpía, cuando la temperatura del fluido es inferior a los 100°C y su aplicación son los usos directos del calor (calefacción, procesos industriales y usos en balneoterapia).

En general, los yacimientos de alta entalpía se localizan en zonas de flujo de calor anómalo, mientras que los de baja entalpía corresponden a zonas estables de la corteza, con flujos de calor y gradientes geotérmicos normales que aprovechan los fluidos calientes contenidos en acuíferos profundos, en general sin cobertera impermeable.

Tal como se ha expresado, el nivel térmico del fluido condiciona claramente su aprovechamiento. En los casos de yacimientos de baja entalpía su utilización más habitual es la calefacción de viviendas y locales cuando las temperaturas se sitúan entre 50 y 100°C. Los fluidos con temperaturas inferiores suelen ser utilizados en instalaciones balnearias, ya que su nivel térmico no permite, en general, su uso en sistemas convencionales de calefacción de viviendas, si bien pueden ser utilizados para otros usos (calefacción de invernaderos, etc.).



Yacimiento geotérmico de alta temperatura



Yacimiento geotérmico de baja temperatura

Cuando el flujo de calor que proviene del interior de la Tierra atraviesa los sedimentos permeables más superficiales que albergan aguas subterráneas, confiere a este agua una estabilidad térmica notable, lo que permite extender el concepto de yacimiento de baja entalpía; se habla entonces de yacimientos geotérmicos de muy baja entalpía, con temperaturas de los fluidos –agua subterránea– entre 15 y 22°C, que pueden ser aprovechados desde el aspecto energético, en suma geotérmico, para usos de calefacción-climatización, según se verá a continuación, mediante el uso de la bomba de calor que permite aplicar un pequeño salto térmico de niveles de temperatura bajas para aportar calor a temperaturas muy superiores.

Esta estabilidad térmica que el calor de la Tierra mantiene en las aguas subterráneas también se manifiesta en los materiales del subsuelo. La transmisión del calor hacia las zonas más externas de la corteza posibilita que a menos de diez metros de profundidad la temperatura de los terrenos se mantenga prácticamente estable las 24 horas del día y durante todo el año.

En ausencia de acuíferos, los materiales del subsuelo que mantienen estable su temperatura pueden aportar calor a un fluido que se le hiciese circular en contacto con ellos. De este modo se amplía el concepto de yacimiento geotérmico de muy baja entalpía al subsuelo poco profundo, en el cual se puede hacer circular a través de una tubería en circuito cerrado un fluido –básicamente agua– que permite extraer calor de los materiales existentes en estos terrenos poco profundos (profundidades en general de metros o decenas de metros y que raramente superan los 250 metros).

Para aprovechar este calor de las rocas superficiales se han diseñado diversos esquemas basados en los cimientos verticales de edificaciones, en sondeos verticales específicamente realizados al efecto, en bucles horizontales situados a poca profundidad o en losas de cimentación, etc. En todos estos diseños se utiliza un circuito cerrado del fluido que se hace circular hasta la bomba de calor en la que cede su energía calorífica, a diferencia de los diseños basados en aguas subterráneas que utilizan circuitos abiertos.

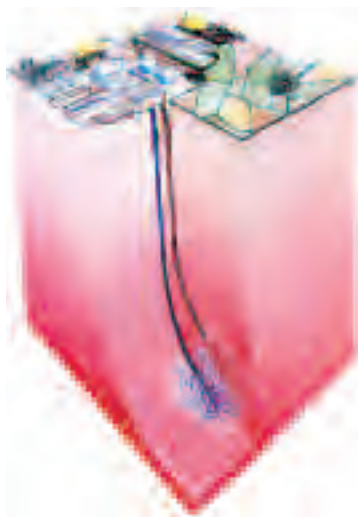




En todos los sistemas basados en recursos geotérmicos de muy baja entalpía, tanto aprovechando las aguas subterráneas como el calor del subsuelo, se plantea como una opción de gran interés la utilización reversible de la instalación, aportando calor en invierno y frío en verano a las instalaciones a climatizar. El yacimiento geotérmico recibe frío en invierno y calor en el verano equilibrando de esta forma las aportaciones energéticas y contribuyendo de forma notable a mejorar el consumo de energía eléctrica en verano debido a la refrigeración.

La existencia de materiales geológicos de escasa o nula permeabilidad y/o porosidad en condiciones de alta temperatura y a profundidades no muy elevadas, situados por lo tanto en zonas geológicas favorables para la existencia de yacimientos geotérmicos pero en ausencia de fluido, era conocida desde hace varias décadas. Los esfuerzos en la investigación de sus posibilidades de aprovechamiento se desarrollaron durante el último cuarto del siglo XX. Son los denominados yacimientos geotérmicos de roca caliente seca en los que el yacimiento se creaba mediante la acción del hombre. Las técnicas empleadas consistieron en la creación en profundidad, en la roca caliente, de una red de fracturas que permitiesen la formación de un “almacén artificial” en el que se produjese un intercambio energético mediante la circulación de un fluido inyectado desde superficie y que retorna con un elevado incremento de su temperatura.

Los resultados obtenidos en la creación de yacimientos de roca caliente seca ha abierto la posibilidad de aplicar estas técnicas de incremento de la fracturación de los almacenes geotérmicos a aquellos yacimientos cuya explotación fue en tiempos abandonada por falta de productividad a causa de la baja permeabilidad de los terrenos. Este conjunto de acciones, que contempla tanto los yacimientos de baja permeabilidad como la búsqueda de yacimientos de roca caliente



seca, se conoce actualmente como Sistemas Geotérmicos Estimulados (EGS) en los que es precisa la intervención directa del hombre en la creación y/o estimulación activa del yacimiento.

De este modo, se añade un gran potencial de futuro a nuevas áreas de elevado potencial geotérmico, hasta fechas recientes considerado como no rentable o incluso negativo.

De igual modo, se viene desarrollando en los últimos tiempos la investigación de yacimientos geotérmicos supercríticos, en los que las condiciones termodinámicas permitirían no sólo la producción de electricidad sino también la producción de hidrógeno.

Recursos geotérmicos		Temperaturas	Tecnología	Aplicación
	Muy baja entalpía	5-25°C	Utiliza bomba de calor	Usos directos Climatización
	Baja entalpía	25-50°C	Puede precisar bomba de calor	Usos directos
		50-100°C		Usos directos
	Media entalpía	100-150°C	Ciclos binarios	Electricidad Procesos
	Alta entalpía	>150°C		Electricidad
No convencionales	EGS - HDR	>150°C	Ciclos binarios	Electricidad
	Supercríticos	>300°C		Electricidad Hidrógeno

1.2.4 Técnicas de exploración e investigación

Una gran diferencia entre la energía geotérmica y otras energías renovables es que la geotermia requiere una estrategia de búsqueda que se debe al carácter de recurso mineral que, como otros recursos energéticos, posee, si bien con la característica de la renovabilidad que los otros recursos no poseen.

La localización y evaluación de yacimientos geotérmicos requiere la aplicación de diversas técnicas, gran parte de ellas adaptadas de la investigación de hidrocarburos, aunque también de la investigación hidrogeológica y de recursos minerales.



Las estrategias de exploración dependen del tipo de recurso que se pretende localizar y del área que se plantea cubrir. Las fases mas características de la investigación de recursos geotérmicos de alta (y media) entalpía se resumen en el siguiente cuadro:

Etapas	Fases	Objetivos	Área	Duración (años)
Investigación	Reconocimiento	Caracterización general regiones geotérmicas, modelo general de funcionamiento, priorización y propuesta de actuaciones	Nacional 10.000-100.000 km ²	3-4
	Prefactibilidad	Selección zonas y áreas, estimación potencial, modelo de campo y delimitación puntos de interés	Regional 500-2.000 km ²	4-5
	Factibilidad	Confirmación y adecuación modelo campo, evaluación del yacimiento, diseño modelo explotación, valoración económica detallada	Yacimiento 10-100 km ²	2-3
	Desarrollo y explotación	Actualización de información y evaluación precisa del modelo	Local	25-30
	Renovación Desmantelamiento	Retorno a fase de explotación o restauración de los terrenos	Local	2-3

Durante las distintas fases de la etapa investigadora se utilizan diferentes técnicas de prospección que permiten alcanzar el mayor grado de fiabilidad de las posteriores actuaciones.

Técnicas	Objetivos	Pruebas
Geológicas	Confirmar las condiciones geológicas del yacimiento: foco de calor, almacén y cobertera	• Fotointerpretación • Tectónica • Estratigrafía • Volcanología • Sismología • Petrografía • Datación absoluta
Geoquímicas	Confirmar la existencia de fluidos geotérmicos y definir sus características físico-químicas	• Hidroquímica • Geotermometría química • Técnicas isotópicas • Geoquímica de gases y volátiles • Estudio de depósitos y alteraciones hidrotermales
Geofísicas	Delimitar geométricamente el yacimiento geotérmico y definir sus características térmicas (temperatura y flujo de calor)	Geofísica estructural: • Teledetección • Gravimetría • Magnetismo • Sísmica Geofísica de detalle: • Eléctrica • Electromagnética • Magnetotelúricos • Microsismicidad • Polarización espontánea • Sísmica 3D • Termometrías y medidas de flujo

(continuación)

Técnicas	Objetivos	Pruebas
Sondeos exploratorios	Confirmar todos los datos previos y evaluar el yacimiento geotérmico	• Perforación • Diagrafías eléctricas • Ensayos en testigos (porosidad y permeabilidad) • Pruebas de presión • Ensayos de producción e interferencias

En el caso de recursos geotérmicos de baja (y media) temperatura localizados en grandes cuencas sedimentarias con gradientes normales, las técnicas de investigación difieren notablemente ya que básicamente se trata de una recopilación de información de subsuelo, dado que se trata de acuíferos calientes profundos normalmente sin manifestaciones en superficie. El empleo de técnicas de investigación sofisticadas (y costosas) debe ser cuidadosamente valorado ya que puede no verse compensado con el valor económico del producto que se pretende obtener.

Situación actual

2



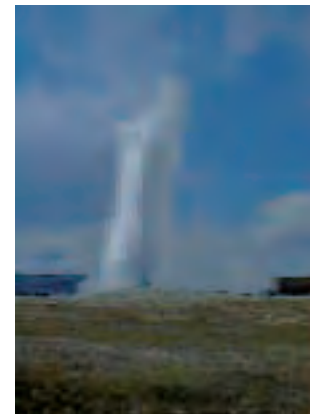
Situación actual

2

2.1 CONTEXTO MUNDIAL

El actual sistema energético a nivel mundial está basado en la generación de energía a partir de combustibles fósiles como el petróleo, el carbón vegetal y mineral, y el gas. La generación de energía a partir de estas materias está siendo ampliamente replanteada por varias razones: son recursos limitados que se encuentran en puntos concretos del planeta, su uso a gran escala está provocando graves efectos sobre el medio ambiente y la salud de los seres humanos, y se están agotando las reservas naturales comprometiendo el futuro de las nuevas generaciones.

La población está cada vez más concienciada sobre la necesidad de proteger el medio ambiente y emplear métodos no contaminantes de producción de energía. Esto se debe en parte al amplio consenso alcanzado en la comunidad científica internacional sobre la existencia del cambio climático. Se ha constatado que la temperatura media de la Tierra ha sufrido un aumento durante el siglo XX de $0,6 \pm 0,2$ °C, además de que existe una disminución real de la cobertura del hielo ártico y un





aumento de la frecuencia e intensidad de los denominados desastres naturales como huracanes, sequías y lluvias torrenciales.

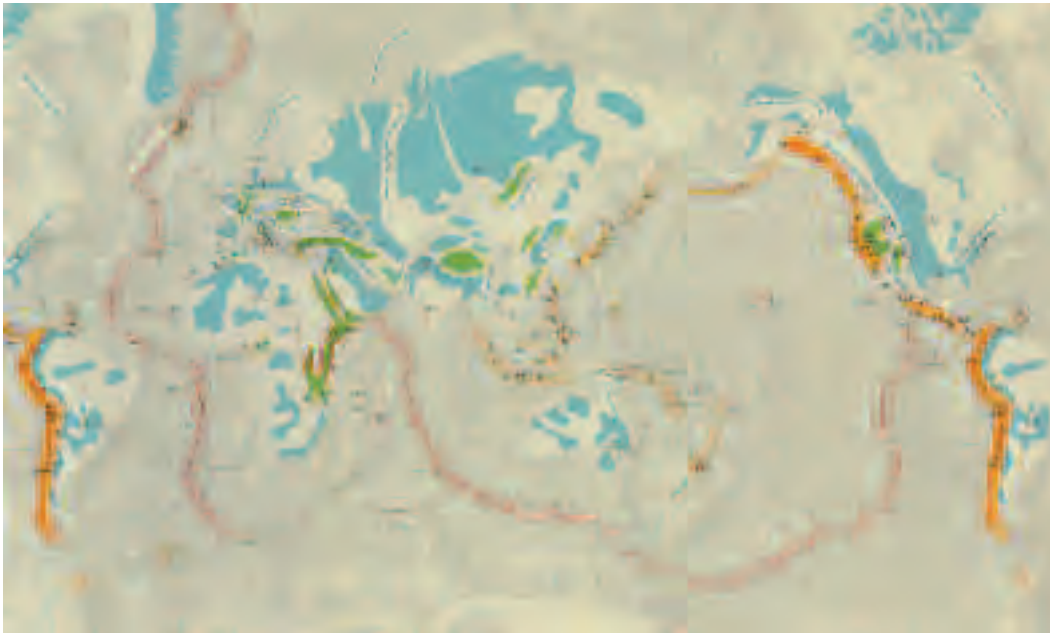
Estos hechos han provocado que en las dos últimas décadas se firmen una serie de compromisos políticos internacionales que apuestan por alcanzar un modelo de desarrollo sostenible: Cumbres de las Naciones Unidas de Río de Janeiro (1992) –donde surgió el plan de acción Agenda 21– y de Johannesburgo (2002), Protocolo de Kioto, adoptado en la Convención Marco del Cambio Climático de las Naciones Unidas de 1997 y ratificado en febrero de 2005, Declaración del Milenio (2000), y Plan de Acción de la Conferencia de Bonn sobre Energías Renovables de junio de 2004.

Geotermia, la energía renovable del futuro

A diferencia de otras fuentes de energía renovables, la geotérmica no tiene su origen en la radiación solar sino en la diferencia de altas temperaturas que existen en el interior de la Tierra y que van desde los 15°C de la superficie a los 4.000°C que rigen en el núcleo.

Después de la Segunda Guerra Mundial muchos países fueron atraídos por la energía geotérmica, considerándola económicamente competitiva respecto de otras fuentes energéticas. Ésta no requiere ser importada y, en algunos casos, es la única fuente de energía local.

Muchas regiones tienen recursos geotérmicos accesibles, especialmente aquellos países en el “Anillo de Fuego” alrededor del océano Pacífico, en zonas de expansión oceánica, en zonas de ruptura cortical y puntos calientes.



En la siguiente tabla se indica el potencial geotérmico estimado de cada continente distinguiendo entre recursos de alta y baja temperatura, según datos de la Internacional Geothermal Association (2001).

Potencial geotérmico mundial por continentes (International Geothermal Association 2001)

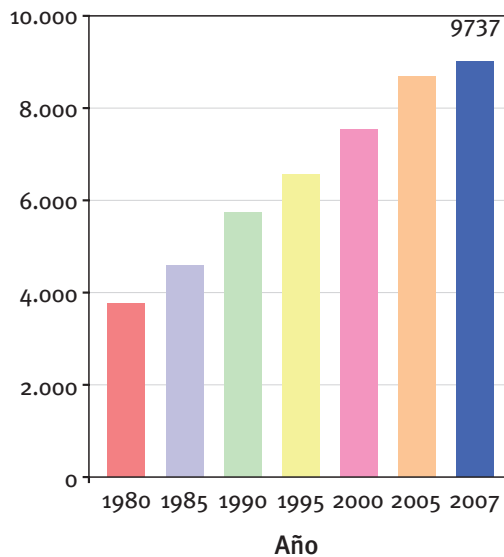
	Recursos de alta T ^a para generación de electricidad (Ktep/año de electricidad)		Recursos de baja T ^a para uso directo (Mtep/año de calor)
	Tecnología convencional	Tecnología convencional y binaria	
Europa	1.574	3.182	>8.800
Asia	2.554	5.074	>7.600
África	1.049	2.064	>5.700
América del Norte	1.144	2.322	>2.800
América del Sur	2.408	4.816	>5.700
Oceanía	993	1.806	>2.600
Potencial mundial	9.632	19.264	>33.200

En la siguiente tabla se presenta la evolución, desde el año 1980, de la potencia mundial instalada de origen geotérmico para producción de electricidad y el incremento evolutivo a lo largo de estos años. Se puede observar que, durante el periodo 2005-2007, la potencia ha aumentado alrededor de 820 MW, siguiendo un incremento lineal de aproximadamente entre 200 y 250 MWe por año.

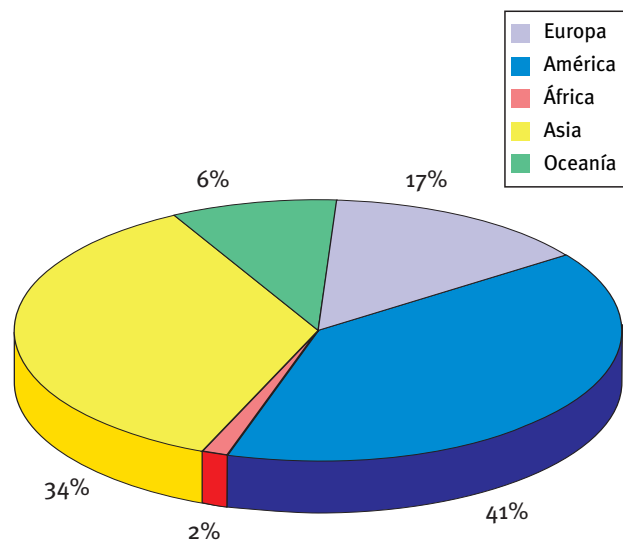
Año	Potencia instalada (MW)	Intervalo	Aumento (%)
1980	3.887	1980-1985	22,6
1985	4.764	1985-1990	22,4
1990	5.832	1990-1995	17,2
1995	6.833	1995-2000	16,7
2000	7.974	2000-2005	42,9
2005	8.932	2005-2007	9,0
2007	9.737		

La potencia instalada de energía geotérmica en el mundo es de 9.737 MWe a finales del año 2007, lo que supone un incremento del 9% con respecto al año 2005.

Potencia mundial instalada de energía geotérmica (MW)



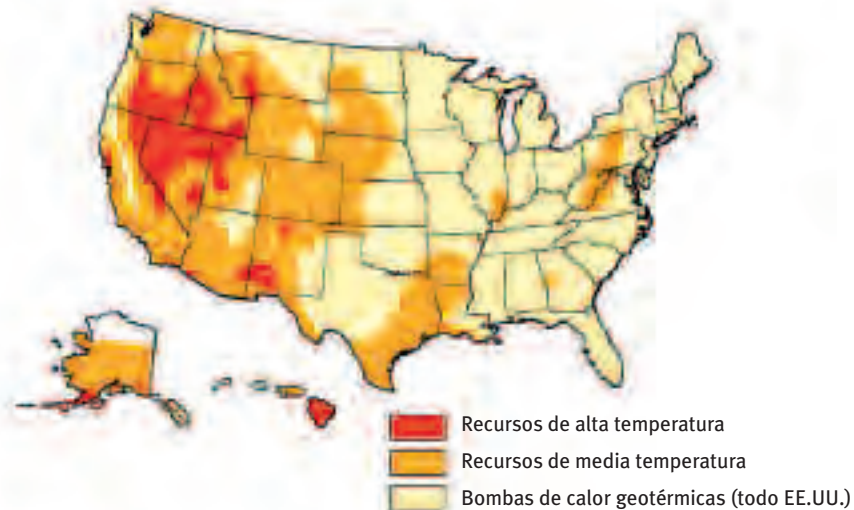
Distribución mundial de potencia geotérmica instalada



Distribución mundial de la potencia instalada en el año 2007

Estados Unidos es el país líder en producción de electricidad a partir de energía geotérmica, con una potencia total instalada de 2.687 MWe en el año 2007, a pesar de cierta tendencia descendente a finales de los años noventa provocada por el agotamiento de algunos acuíferos.

Potencial geotérmico de EE.UU.



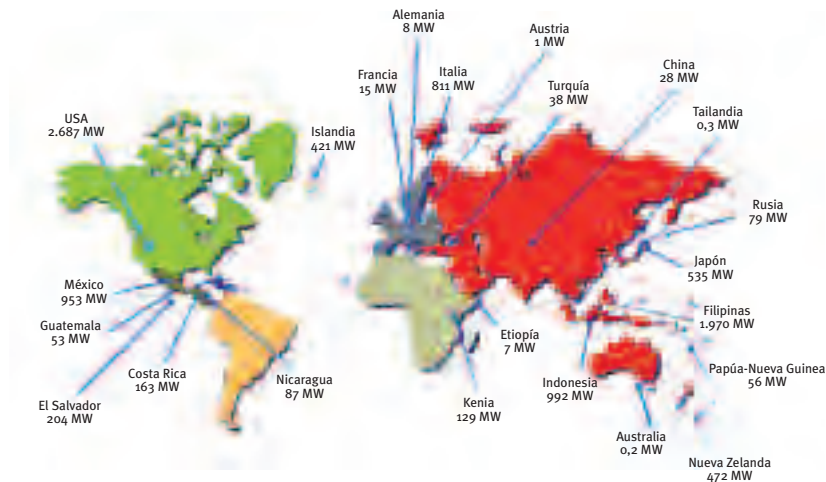
Fuente: Southern Methodist University Geothermal Lab

En el caso de Asia, los recursos geotérmicos se están desarrollando ampliamente, siendo Filipinas e Indonesia los grandes arquitectos de este crecimiento, encontrándose a la cabeza de los principales países de generación de electricidad a partir de energía geotérmica, precedidos de Estados Unidos.

En cuarto lugar se sitúa México, con una potencia total instalada de 953 MW a finales de 2007 y cerrando la lista de los 5 principales países en potencia geotérmica instalada se encuentra Italia, con 810 MWe, que en el año 1999 representaba el 1,7% de la producción de electricidad.

Los últimos 2 años el país más activo ha sido Islandia, que ha doblado su capacidad de potencia instalada llegando a 421,2 MWe, país que produce el 99,9% de electricidad a partir de energías renovables.

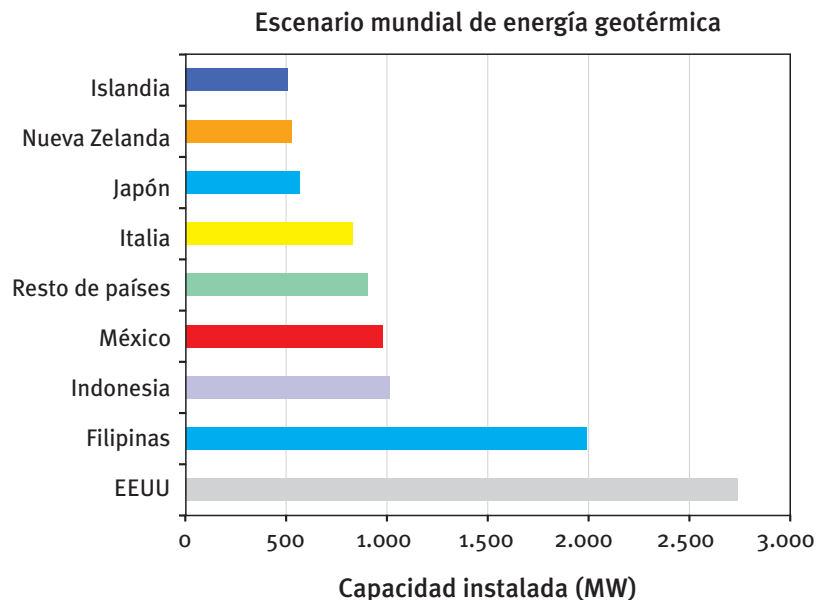
Distribución mundial de capacidad de potencia instalada en el año 2007



Potencia eléctrica geotérmica instalada a nivel mundial desde 1995 a 2007: principales productores (International Geothermal Association 2001, Eurobserv'Er Septiembre 2007)

País	1995 (MW)	2000 (MW)	2005 (MW)	2007 (MW)
Estados Unidos	2.817	2.228	2.544	2.687
Filipinas	1.227	1.909	1931	1.969
Indonesia	310	590	797	992
México	753	755	953	953
Italia	632	785	790	810
Japón	414	547	535	535
Nueva Zelanda	286	437	435	472
Islandia	50	170	322	421
Resto de países	344	553	757	898
Total	6.855	7.974	9.064	9.737

La geotermoelectricidad juega un rol bastante significativo en el balance energético de algunos países; por ejemplo, en 2001 la energía eléctrica producida mediante recursos geotérmicos representó el 27% de la electricidad total generada en Filipinas, el 12,4% en Kenia, el 11,4% en Costa Rica y el 4,3% en el Salvador.



Escenario mundial: Potencia geotérmica instalada para producción de energía eléctrica

El uso directo del calor es una de las formas más antiguas, versátiles y comunes de la utilización de la energía geotérmica. Las aplicaciones en baños, calefacción ambiental y distrital, en agricultura, acuicultura y algunos usos industriales constituyen las formas más conocidas de utilización, pero las bombas de calor son las más generalizadas (12,5% del total de la energía utilizada en el año 2000). En menor escala, hay muchos otros tipos de utilización, siendo algunos de ellos poco usuales.

En cuanto a los usos no eléctricos, la contribución de la geotermia de baja temperatura es más difícil de cuantificar por la gran diversidad de aplicaciones y por ser de menor entidad. El incremento experimentado ha sido superior que el de alta temperatura, pasando de 8.664 MWt en 1995 a una capacidad instalada de 15.145 MWt, que corresponde a 199.699 TJ/años de energía utilizada en el mundo durante el año 2000, lo que representa un incremento del 74,8%. El número de países que utiliza en forma directa la energía geotérmica se incrementa desde entonces, como también la capacidad total instalada y la energía utilizada.

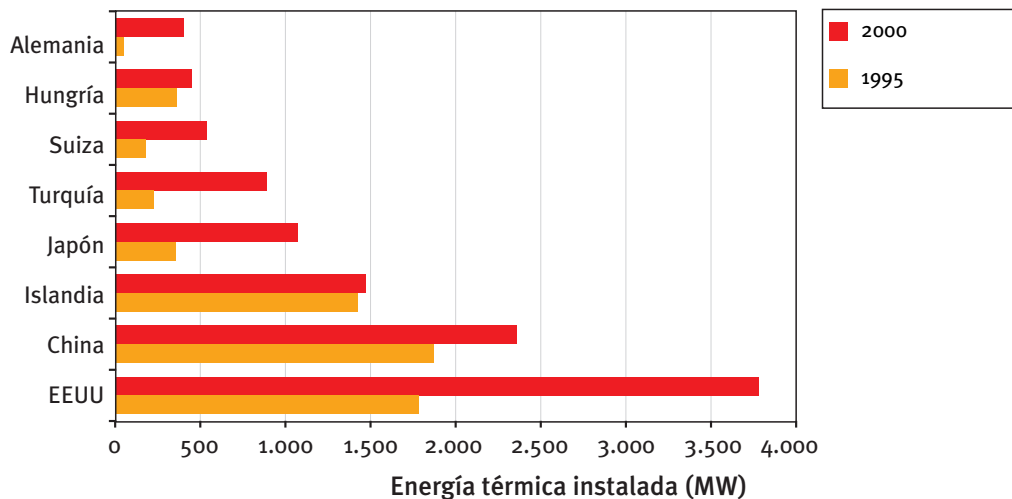
Principales productores a nivel mundial de energía geotérmica para aplicaciones directas años 1995 y 2000 (International Geothermal Association)

País	Potencia térmica instalada (MWt)	Energía (TJ/año)	Potencia térmica instalada (MWt)	Energía (TJ/año)
	1995		2000	
USA	1.874,00	13.890,00	3.766,00	20.302,00
China	1.915,00	16.981,00	2.282,00	37.908,00
Islandia	1.443,00	21.158,00	1.469,00	20.170,00
Japón	319,00	6.942,00	1.167,00	26.933,00
Turquía	140,00	1.987,00	820,00	15.756,00
Suiza	110,00	3.470,00	547,30	2.386,00
Hungría	340,00	5.861,00	427,70	4.086,00
Alemania	32,00	303,00	397,00	1.568,00
Resto países	2.431,00	41.849,00	4.269,00	61.590,00
Total	8.604	112.441	15.145	190.699

En 1950, Estados Unidos patentaba el sistema de las bombas de calor geotérmicas (GHP) que se viene utilizando desde entonces en este y en otros países, como Japón, Suiza, Alemania o Suecia, de manera extensa.

Por otra parte, gracias a los “sistemas de calefacción de distritos geotérmicos”, el agua caliente del subsuelo es conducida por tuberías a los edificios de una zona o incluso de una ciudad. En el Oeste de Estados Unidos más de 200 comunidades utilizan este sistema, así como en otros países, como Rusia, China, Francia, Suecia, Hungría, Rumanía o Japón. La ciudad islandesa de Reykiavik cuenta con el sistema más grande del mundo.

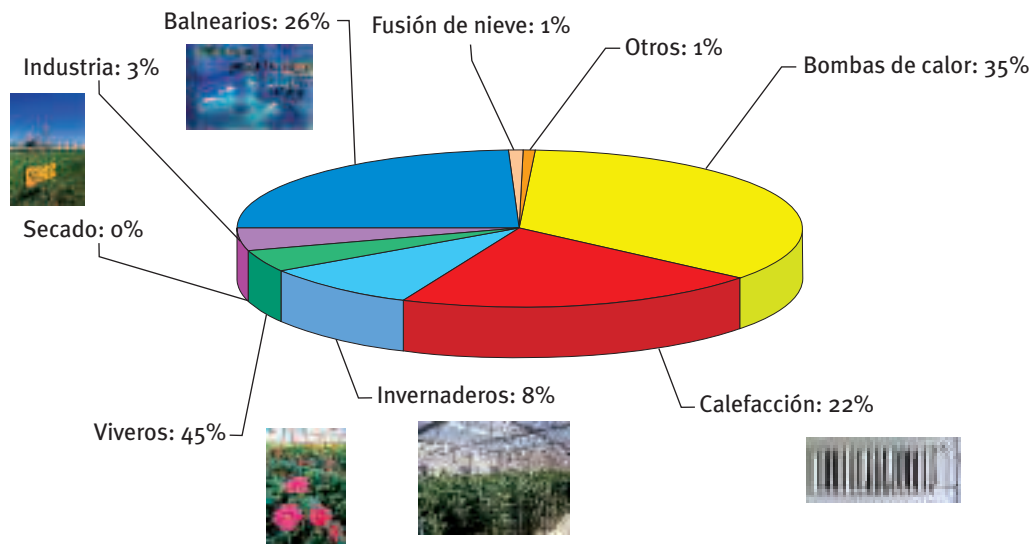
Escenario mundial usos directos de energía geotérmica



Como se puede observar en la gráfica, Estados Unidos también tiene el liderazgo mundial en la utilización de los recursos geotérmicos de baja temperatura seguido de China, Islandia, Japón y Turquía; estos países representan el 63,5% del total.

El uso térmico más común en el mundo corresponde a bombas de calor, con un 35% frente a la potencia total instalada, seguido de balnearios, sistemas de calefacción, invernaderos, acuicultura y procesos industriales.

Aplicaciones uso directo energía geotérmica año 2000





Fumarola en el Parque del Timanfaya. Lanzarote

2.2 LA ENERGÍA GEOTÉRMICA EN LA UNIÓN EUROPEA

La Unión Europea tiene como objetivo prioritario la promoción de la electricidad generada a partir de fuentes de energía renovables. Esto se debe a razones de seguridad y diversificación del suministro de energía, de protección del medio ambiente y de cohesión económica y social.

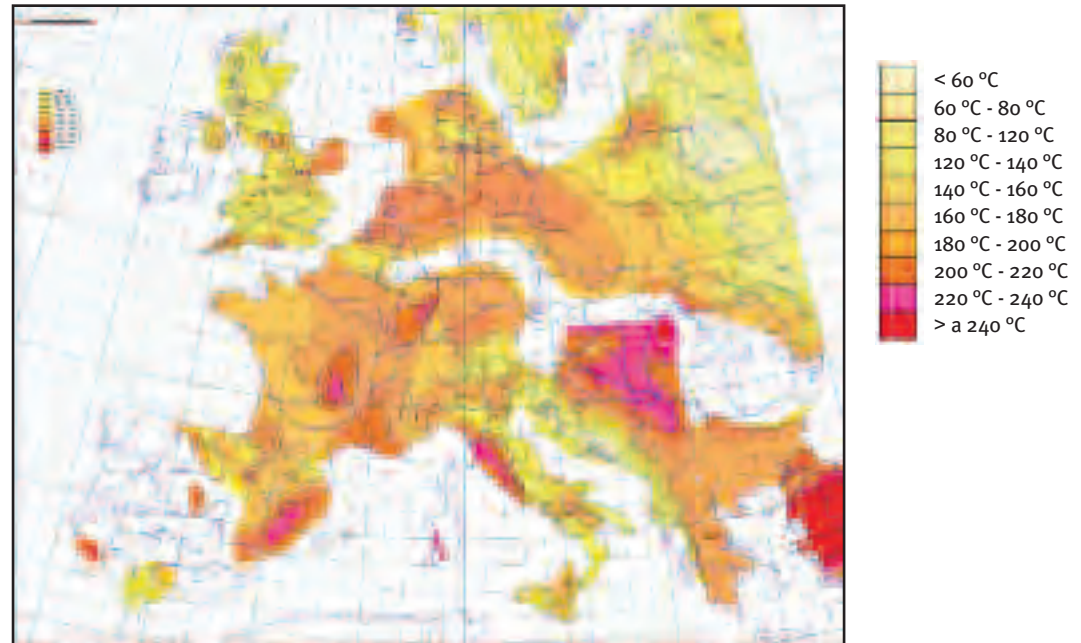
El marco legislativo de las Energías Renovables en la Unión Europea está basado en el “Libro Blanco para una Estrategia Común y un Plan de Acción para las Energías Renovables”, desarrollado en 1997 por parte de la Comisión de las Comunidades Europeas. En este año se promulgó la Directiva 2001/77/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de septiembre, relativa a la promoción de la electricidad generada a partir de fuentes de energía renovables en el mercado interior de la electricidad. En esta Directiva se proponen objetivos indicativos para cada Estado miembro, que en el caso de España coinciden con los objetivos del Plan de Fomento de las Energías Renovables 2000-2010, asumidos por el Plan de Energías Renovables 2005-2010.

El objetivo general fijado por la Unión Europea marca la aportación de fuentes de energías renovables en un porcentaje del 12% de la energía primaria demandada en la UE en el año 2010.

El sistema de apoyo al precio de las energías renovables que prevalece actualmente en la UE es el sistema REFIT (Renewable Energy Feed-in Tariffs), por el cual los generadores de electricidad renovable tienen derecho a vender toda su producción a la red, y a ser distribuidos por ello a un precio superior al precio medio de mercado. En el modelo español de retribución, al precio del mercado eléctrico se le suma una prima, diferente para cada área de las renovables.

Los principales yacimientos de energía geotérmica en Europa se encuentran en Italia, Islandia, Francia, Austria, Hungría, Bulgaria y, en menor grado, en Alemania y Suiza.

Mapa de temperaturas en Europa a 5 km de profundidad



La capacidad de potencia eléctrica instalada de energía geotérmica en la Unión Europea alcanzaba los 854,6 MWe en el año 2006, lo que supone 10 MWe más con respecto al año 2005 y se estima que se han alcanzado los 863 MWe en el 2007 (en estos datos no se incluye Islandia).

Italia es uno de los principales países del mundo en relación a los recursos geotérmicos, ocupando el quinto puesto a nivel mundial. La energía geotérmica se desarrolló para su aprovechamiento como energía eléctrica en 1904 en Toscana, donde la producción continúa en la actualidad. En 1913 se construyó la primera central para la generación de energía comercial a partir de recursos geotérmicos en Larderello, con una potencia de 250 kWe. En el año 2006 tenía una capacidad de 810 MWe instalados; en el 2007 la potencia instalada es de 910 MWe (según datos de la Conferencia final del proyecto Engine), con una producción de energía de las instalaciones en operación de 5.527 GWh.

El desarrollo geotérmico en Italia se ha financiado casi enteramente con fondos privados, solamente el 1% fueron derivados de fuentes públicas.

Portugal es el segundo país europeo en producción de electricidad a partir de recursos geotérmicos. Esta explotación se está desarrollando en el archipiélago volcánico de las Azores, en la isla de San Miguel. Actualmente tiene una potencia instalada de 28 MWe, con una producción de electricidad en el año 2006 de 85 GWh.

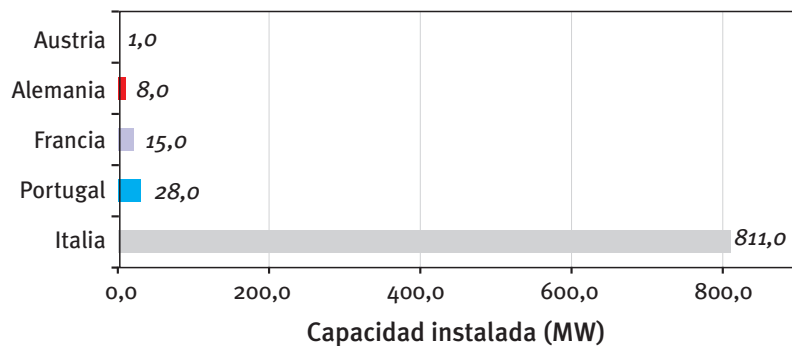
Francia es otro de los países de la Unión Europea a la cabeza de potencia eléctrica instalada de energía geotérmica, desarrollando su explotación en la isla de Guadalupe y en Soultz-sous-Forets, zona situada en la parte francesa del Foso del Alto Rin, elegida esta última como uno de los primeros lugares de investigación en Europa en el área de “roca caliente seca”, porque se encuentra justo en el centro de las anomalías térmicas de la zona centro de Europa.

Después de Francia, cabe destacar Austria y Alemania, en los cuales el potencial geotérmico es explotado en centrales híbridas para generar electricidad y para uso directo del calor.

Principales productores europeos de energía eléctrica geotérmica (International Geothermal Association 2000)

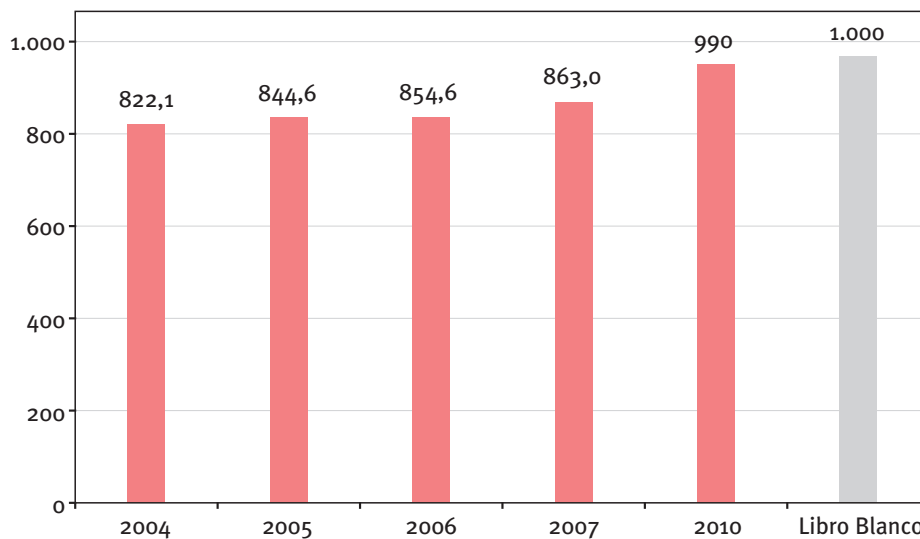
País	2000 (MWe)	2005 (MWe)	2006 (MWe)	2007 (MWe)
Italia	785,0	810,5	810,5	811,0
Portugal	16,0	18,0	28,0	28,0
Francia	4,2	14,7	14,7	15,0
Austria	0,0	1,2	1,2	1,0
Alemania	0,0	0,2	0,2	8,0
Total	805,2	844,6	854,6	863,0

Escenario europeo de energía geotérmica para producir electricidad



Todos estos países que ya participan de la energía geotérmica están tratando de aumentar cada vez más su capacidad instalada. De esta forma, Italia tiene planificado poner en servicio 100 MWe adicionales, Portugal 17 MWe y Francia 35 MWe. Basándonos en esta hipótesis, las previsiones para el año 2010 alcanzarían las perspectivas del Libro Blanco e incluso podrían superarlas.

Tendencia actual y objetivos del Libro Blanco para la producción de electricidad (MWe)



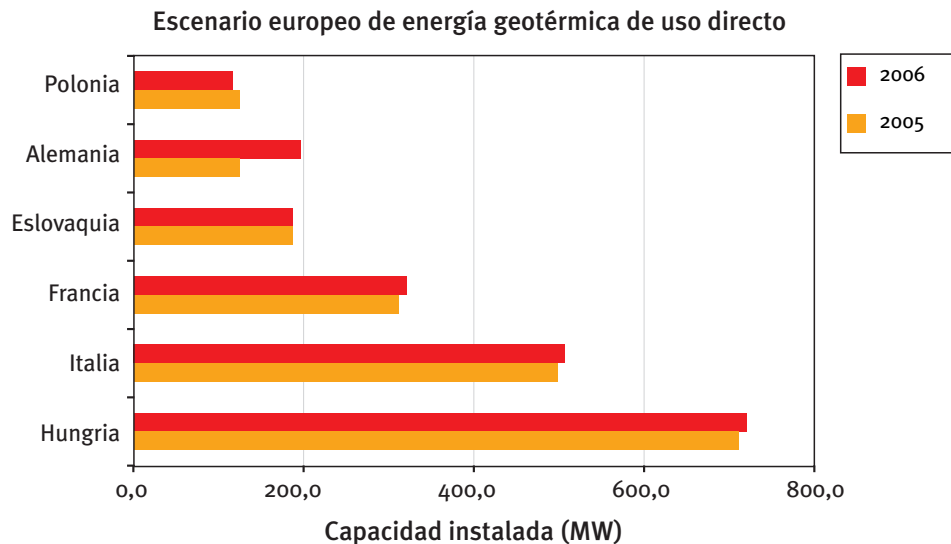
En la Unión Europea, las aplicaciones ligadas al uso directo del calor de la energía geotérmica se han desarrollado en 16 de los 25 países.

Hungría es el primer país en utilización directa del calor proveniente de energía geotérmica seguido de Italia y Francia. Los principales usos por orden de relevancia son baños termales y piscinas, seguido de calefacción de distrito y calefacción para invernaderos.

Con respecto a la producción de calor, las estimaciones y previsiones futuras de la geotermia de baja y media temperatura son mucho más complicadas de realizar, sobre todo en casos como baños termales, piscinas e invernaderos, donde la energía utilizada para estas aplicaciones no es sistemáticamente contabilizada.

Usos directos de la energía geotérmica en la Unión Europea (excepto bombas de calor). Fuente EurobservÉR 2007

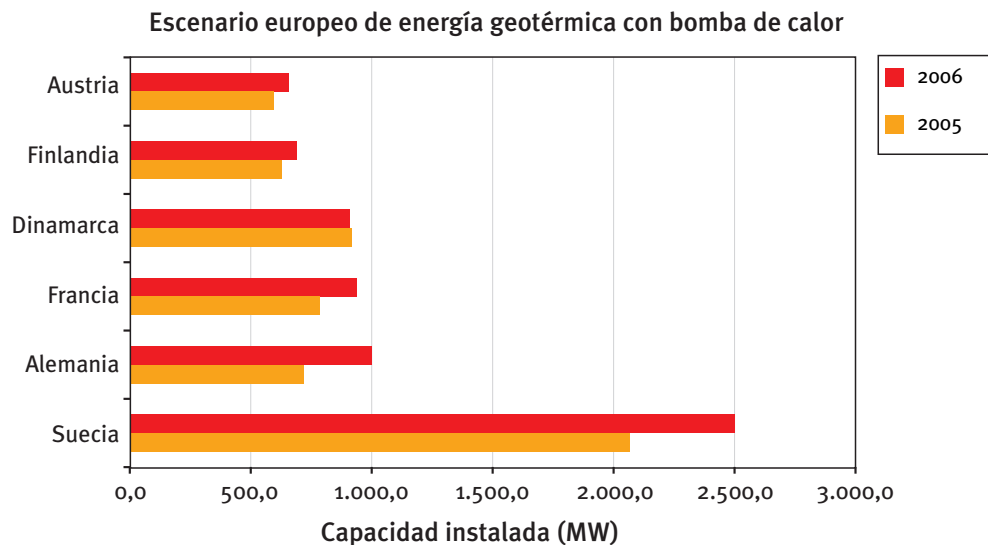
País	2005 Capacidad (MWth)	2005 Energía (Ktep)	2006 Capacidad (MWth)	2006 Energía (Ktep)
Hungría	715,0	189,1	725,0	189,6
Italia	486,6	168,5	500	176,7
Francia	291,9	130	307	130
Eslovaquia	186,3	72,2	186,3	72,2
Alemania	104,6	17	177,0	28,8
Polonia	92,7	8,9	92,9	8,9
Total	2.125,1	664,7	2236,3	685,3



Las previsiones para la geotermia de muy baja entalpía, mediante la utilización de la bomba de calor, son mucho más favorables y se espera un importante despegue en los próximos años, pues existe una gran diversidad de bombas de calor geotérmicas y la Unión Europea está apostando por este tipo de aplicación en el mundo. Suecia es el país de la UE con mayor capacidad instalada de bombas de calor geotérmicas, seguido de Alemania y Francia.

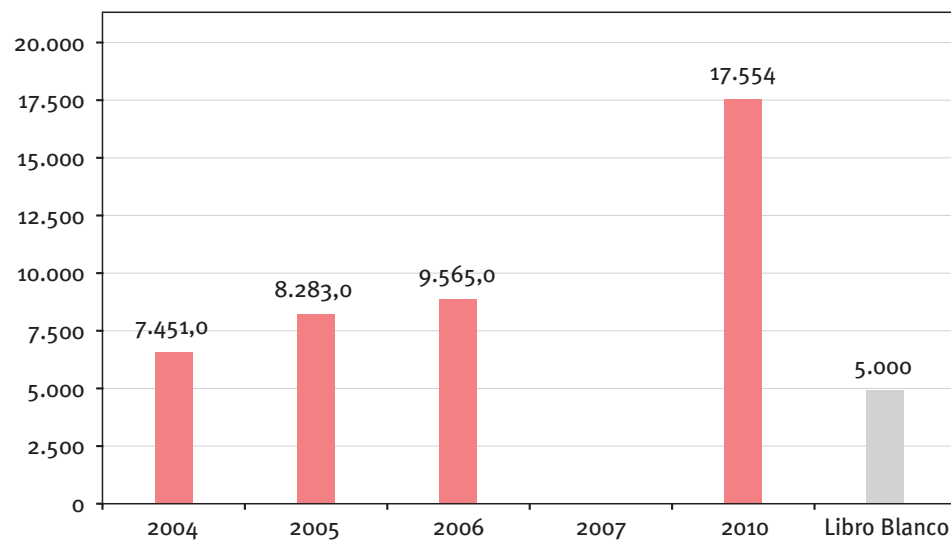
Usos directos de la energía geotérmica en la Unión Europea con bomba de calor

País	2005 (MWth)	2006 (MWth)
Suecia	2.070,8	2.491,0
Alemania	681,0	995,7
Francia	702,1	922,4
Dinamarca	821,2	821,2
Finlandia	624,3	721,9
Austria	570,2	664,5
Resto UE (25)	688,4	711,6
Total	6.158,0	7.328,3



Si se considera conjuntamente el uso directo de calor y la aplicación con bomba de calor, los objetivos establecidos por el Libro Blanco para el año 2010, en aplicaciones térmicas de la energía geotérmica, se han visto ampliamente superados, como se puede ver en el gráfico adjunto.

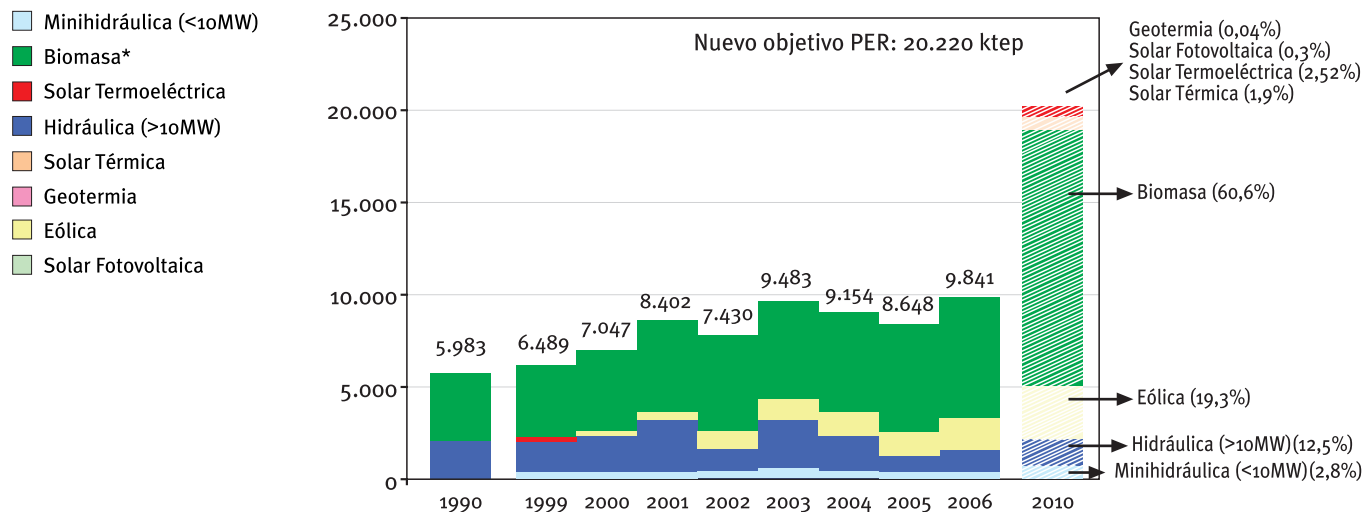
Tendencia actual y objetivos del Libro Blanco para uso térmico en MWth (uso directo y bomba de calor)



2.3 LA ENERGÍA GEOTÉRMICA EN ESPAÑA

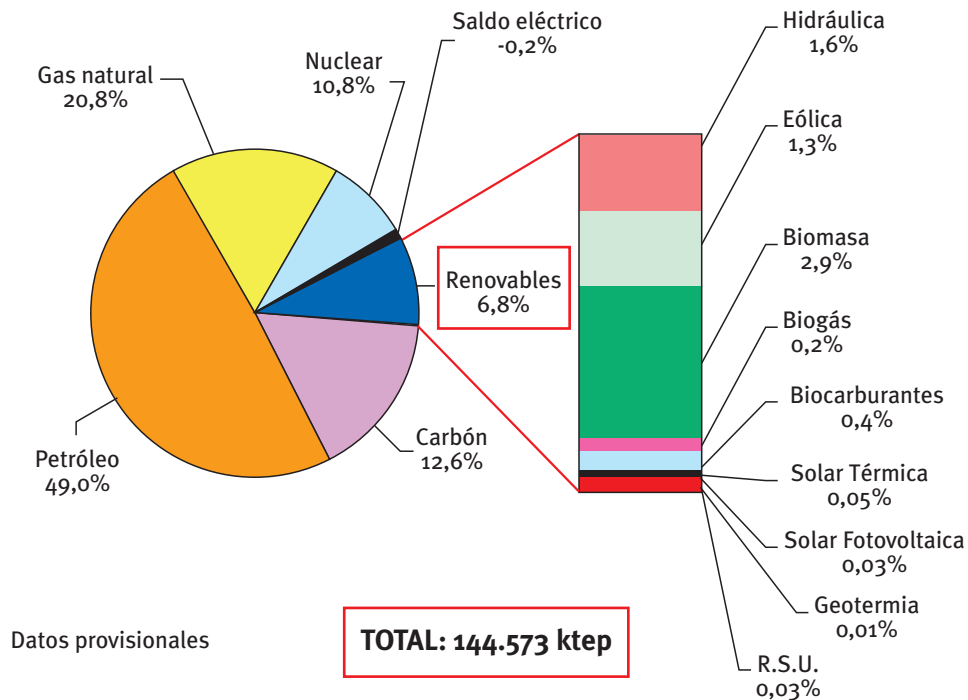
La energía geotérmica en España presenta todavía una escasa penetración, a pesar de su gran potencial de utilización, tanto para usos térmicos a escala doméstica como a escala industrial para generación de energía eléctrica.

Consumo primario (ktep) de energías renovables en España



*Incluye R.S.U., biogás y biocarburantes. Datos 2006, provisionales. Fuente: IDAE

Balance de energía primaria en España. Año 2006



Fuente: Ministerio de Industria, Turismo y Comercio / IDAE

La energía geotérmica se comenzó a investigar en España tras la crisis energética de 1973. La evaluación del potencial geotérmico del subsuelo en España es acometida por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), que elaboró en 1975 el primer avance que constituye el Inventario General de Manifestaciones Geotérmicas en el Territorio Nacional en el que se aborda la evaluación del potencial geotérmico del subsuelo.



Hasta mediados de los 80, la fase investigadora llevada a cabo por el IGME y otras entidades, se concentra en la delimitación de las zonas en las que se localizan los tres tipos clásicos de yacimientos geotérmicos, sin entrar en los temas de Roca Caliente Seca. A finales de los 90, los esfuerzos de los inversores declinaron y el único organismo que ha seguido activo en el tema ha sido el IGME.

La síntesis de la información elaborada permitió reseñar diversas zonas de interés que quedan recogidas en el siguiente cuadro:

Baja temperatura ($T < 100^{\circ}\text{C}$)	Almacenes sedimentarios profundos	Cuenca del Tajo: Madrid Cuenca del Duero: León, Burgos y Valladolid Área Prebética e Ibérica: Albacete y Cuenca
	Zonas intramontañosas y volcánicas	Galicia: zonas de Orense y Pontevedra Depresiones catalanas: Vallés, Penedés, La Selva y Ampurdán Depresiones internas de las Cordilleras Béticas: Granada, Guadalix, Baza, Cartagena, Mula, Mallorca Canarias: Isla de Gran Canaria
Media temperatura ($100^{\circ}\text{C} < T < 150^{\circ}\text{C}$)		Cordilleras Béticas: Murcia, Almería, Granada Cataluña: Vallés, Penedés, La Selva y Olot Galicia: áreas de Orense y Pontevedra Pirineo Oriental: zona de Jaca-Sabiñánigo
Alta temperatura ($T > 150^{\circ}\text{C}$)		Islas Canarias: Tenerife, Lanzarote y La Palma

Con estos amplios conocimientos de los recursos geotérmicos en España, disponibles a finales de los 80, se plantearon distintos proyectos basados en el uso de la energía geotérmica para calefacción (viviendas, locales, agricultura,...) que utilizaban fluidos con elevadas salinidades a profundidades del orden de los 2.000 m, similares a los que en esos momentos se llevaban a cabo en otros países de la UE, lo que encareció notablemente los proyectos y quebró la rentabilidad económica de los mismos, máxime en una situación de clara competencia con otras fuentes de energía y en una época de precios energéticos no excesivamente elevados. Tan solo cabe destacar la puesta en marcha de pequeños proyectos geotérmicos en instalaciones ligadas a balnearios partiendo del propio fluido termal.

Finalmente, el desarrollo de esta área geotérmica acaba paralizándose, no debido a factores del subsuelo, sino a la deficiente planificación y gestión de los proyectos de aprovechamiento, probablemente por desconocimiento de las peculiaridades del recurso y por planteamientos empresariales y financieros inadecuados.

Actualmente, en España sólo existen proyectos de aprovechamiento geotérmico para uso térmico en instalaciones balnearias, calefacción en invernaderos o para calefacción de viviendas con una potencia en el año 2006 de 22,3 MWt, lo que supone 8,3 Ktep para aplicaciones directas del calor, según fuentes del Eurobserv´Er.

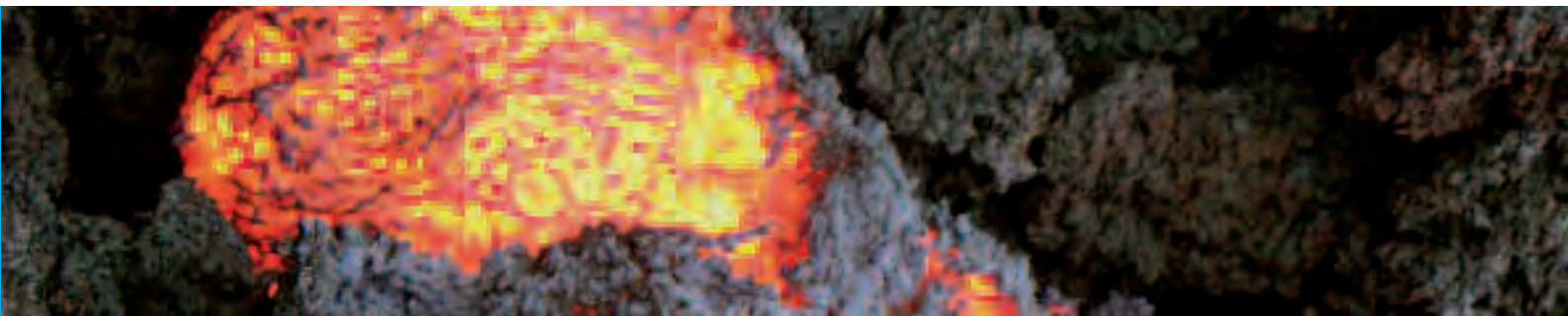


Mapa de desarrollo geotérmico actual

Las instalaciones de bombas de calor, muy habituales en otros países europeos, no han tenido en España hasta la fecha el empuje necesario para su despegue, motivado por las críticas que algunos sectores plantean a este tipo de aprovechamientos en función de su consumo de energía eléctrica.

Usos

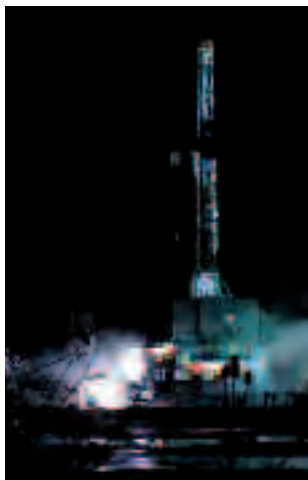
3



Usos

3

Los yacimientos geotérmicos podrán ser explotados tanto para la generación de energía eléctrica como con fines térmicos, en función de la temperatura del fluido geotermal.



3.1 GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD

Los yacimientos geotérmicos de alta temperatura pueden aprovecharse para generar electricidad mediante un ciclo similar al utilizado en las centrales termoeléctricas convencionales.

Dependiendo de las características del recurso geotérmico, la generación de electricidad se realiza mediante turbinas de vapor convencionales (ciclo Rankine) y plantas de ciclo binario.

La utilización de los recursos geotérmicos, como fuente de energía primaria para la generación de electricidad, es una de las aplicaciones más importantes, cuando la temperatura del fluido es alta o muy alta. Ahora bien, a

medida que disminuye el nivel térmico del recurso aumenta el consumo específico de la central de generación, disminuyendo su rendimiento neto rápidamente.



Existen tres tipos de plantas para generar energía eléctrica procedente de los recursos geotérmicos, en función de las características y naturaleza del fluido geotermal disponible y la profundidad del mismo:

- Plantas de vapor seco: el fluido que llega a la superficie, proveniente de las fracturas del suelo, es vapor en estado de saturación o bien ligeramente recalentado (vapor seco); este vapor se dirige directamente a una turbina que acciona un generador para producir electricidad.



Larderello (Italia)

- Plantas flash: el fluido que llega a la superficie es una mezcla vapor-líquido a una presión que depende del pozo y de la temperatura del estado de saturación, por lo que previamente el fluido se dirige a unos separadores vapor/agua, desde donde la fracción de vapor resultante se conduce a la turbina para producir electricidad y la líquida se rechaza.



Turbina de la planta geotérmica de Mokai

- Plantas de ciclo binario: se adopta esta tecnología cuando la temperatura del recurso geotérmico no es demasiado alta (entre 120-150°C) o el fluido geotérmico tiene una elevada salinidad. Se basan en evitar el uso directo del fluido termal y utilizar un fluido secundario, normalmente de carácter orgánico, que tenga un comportamiento termodinámico mejor, es decir, bajo punto de ebullición y alta presión de vapor a bajas temperaturas. El fluido geotermal entrega el calor al fluido secundario a través de un intercambiador de calor, y este fluido es calentado y vaporizado. Este vapor acciona la turbina y posteriormente es enfriado y condensado.

En los tres tipos de plantas, el vapor condensado y el fluido remanente geotérmico se vuelven a reinyectar en el almacén geotérmico para volver a reanudar el ciclo.

En la actualidad, la investigación geotérmica se concentra en la localización de estructuras favorables para el desarrollo de yacimientos geotérmicos de alta temperatura para la producción de electricidad, aun sin la existencia de fluido o con muy baja permeabilidad. Son los llamados yacimientos geotérmicos de “Roca Caliente Seca” (HDR) o Sistemas Geotérmicos Estimulados (EGS).

Una central geotérmica basada en esta tecnología funcionaría de la siguiente manera: primeramente hay que perforar hasta la roca caliente seca (profundidad aproximada entre 3.000-5.000 m) y después inyectar agua en el pozo para romper aún más las grietas creadas y para aumentar el tamaño de las fisuras. El agua, que se introduce a presión, se calienta en su viaje hacia las profundidades



Planta geotérmica ciclo binario de Mokai 2 (Nueva Zelanda)



Cabeza del sondeo (5.000 m de profundidad) del Proyecto “Deep Heat Mining” en Basilea (Suiza)

hasta llegar a los 200°C y a través de los pozos de producción se bombea hasta la superficie. Ya sobre el terreno, con un separador vapor-agua, se extrae el vapor que hace funcionar el grupo turbogenerador para la producción de electricidad. Después de este proceso, el agua se vuelve a inyectar por un circuito cerrado a las profundidades y todo vuelve a empezar desde el principio.

3.2 USOS TÉRMICOS

Los recursos geotérmicos de alta temperatura, necesarios para la producción de electricidad, son escasos en comparación con los recursos de media y baja temperatura, por lo que existen otras aplicaciones para el aprovechamiento de la energía geotérmica que se pueden denominar de utilización directa.

El uso directo del calor es una de las aplicaciones más antiguas y comunes de la energía geotérmica para balnearios, calefacción residencial, agricultura, acuicultura y usos industriales. Para climatización y refrigeración se utiliza la energía geotérmica de muy baja temperatura, mediante el uso de bomba de calor.

A nivel mundial, se puede clasificar la utilización directa de la energía geotérmica en dos ámbitos claramente diferenciados: el sector industrial y el sector residencial y de servicios.



Aguas termales en el valle Blue Lagoon en Islandia

3.2.1 Sector industrial

El vapor, calor o agua caliente de las reservas geotérmicas, puede ser empleado en aplicaciones industriales donde las instalaciones son grandes y requieren un gran consumo de energía.

A continuación, se definen algunas de las principales aplicaciones térmicas en este sector:

- Procesos industriales

Las diferentes formas de utilización de este calor incluye: procesos de calefacción, evaporación, secado, esterilización, destilación, lavado, descongelamiento y extracción de sales, etc.,

aplicado en la industria de producción de papel y reciclado, procesamiento de celulosa, tratamientos textiles, industria alimenticia, pasteurización de leche, extracción de productos químicos, recuperación de productos petrolíferos, extracción de CO_2 , bebidas carbonatadas, etc.



Uso geotérmico en planta cementera
(Alemania)

- Invernaderos

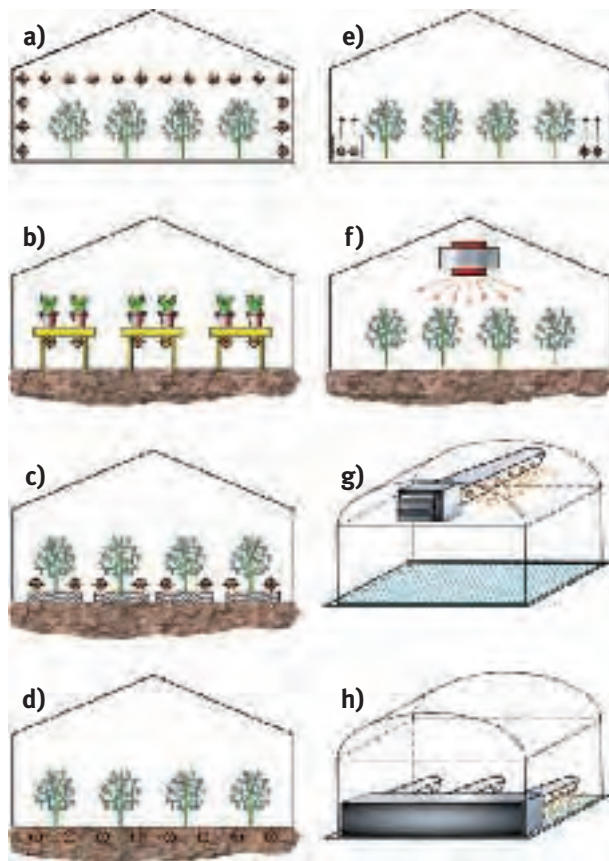
Un empleo muy común de la energía geotérmica de baja temperatura es en agricultura. Las aplicaciones agrícolas de fluidos geotermales son para calefacción a campo abierto e invernaderos.

Una solución óptima de aplicación de la geotermia en campo abierto consiste en combinar la calefacción del suelo con el regadío, controlando cuidadosamente la composición química de las aguas termales utilizadas con este fin.

El uso de invernaderos no se limita sólo a cultivos vegetales comestibles sino al cultivo de plantas ornamentales, flores, etc.

Los invernaderos permiten alargar el periodo productivo de los vegetales a lo largo de todo el año, asegurando que la tierra no se hiele y proporcionando una estación de crecimiento más larga y un desarrollo rápido de los productos.





El invernadero debe asegurar unas condiciones óptimas para el desarrollo de cada planta basados en la intensidad y cantidad de luz, temperatura diurna y nocturna, la concentración de CO_2 en el invernadero, humedad del terreno y del aire, y el movimiento del aire dentro del invernadero.

La calefacción del invernadero puede realizarse conjuntamente con circulación forzada de aire mediante intercambiadores de calor, tuberías de circulación de agua caliente (bien dentro o sobre el suelo), radiadores o una combinación de todos estos métodos, según se observa en el gráfico adjunto.

- **Acuicultura**

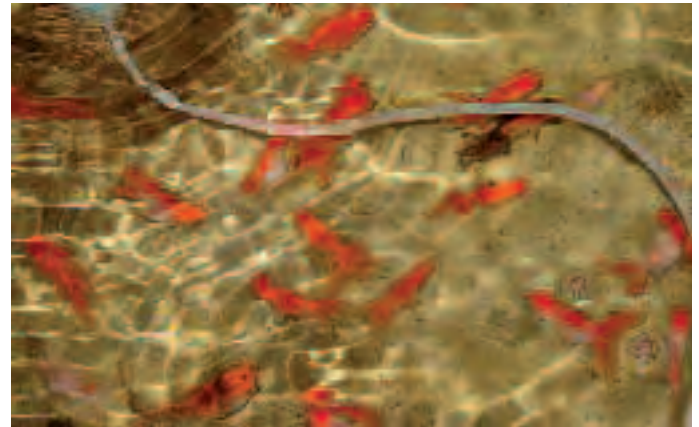
La acuicultura es la técnica controlada de especies acuáticas vegetales y animales que, actualmente, está adquiriendo gran importancia a nivel mundial.

El nivel térmico exigido por las piscifactorías permite el aprovechamiento de los yacimientos de baja entalpía y constituye un campo de aplicación muy interesante para el aprovechamiento de aguas geotermales, principalmente en países fríos.

El sistema de piscifactorías consiste en la crianza de peces, crustáceos o mariscos en varias piscinas artificiales escalonadas, controlando así el crecimiento de cada especie, manteniendo artificialmente una temperatura óptima, la alimentación y la calidad del agua. De esta forma, se consigue cultivar especies exóticas, mejorar la producción e incluso duplicar el ciclo reproductivo.

Las especies que habitualmente se cultivan son: angulas, almejas, cangrejos, carpas, mejillones, langostas, salmónetes, salmones, camarones, etc. También se puede incluir la crianza de caimanes y cocodrilos.

Las temperaturas que se requieren para las especies acuáticas son del orden de 20-30°C. Las piscinas de cría y engorde pueden ser a cielo abierto o instalarse bajo cubierta, con el fin de reducir las pérdidas de calor hacia el exterior. El tamaño de la instalación dependerá de la temperatura del recurso geotermal y de la requerida por la especie.



En muchos casos se aprovecha el aporte energético de las aguas termales para combinar la crianza de animales con invernaderos, ya que la energía requerida para calefactar las instalaciones de cría de animales es aproximadamente la mitad de la requerida para un invernadero de la misma superficie.



3.2.2 Sector residencial y servicios

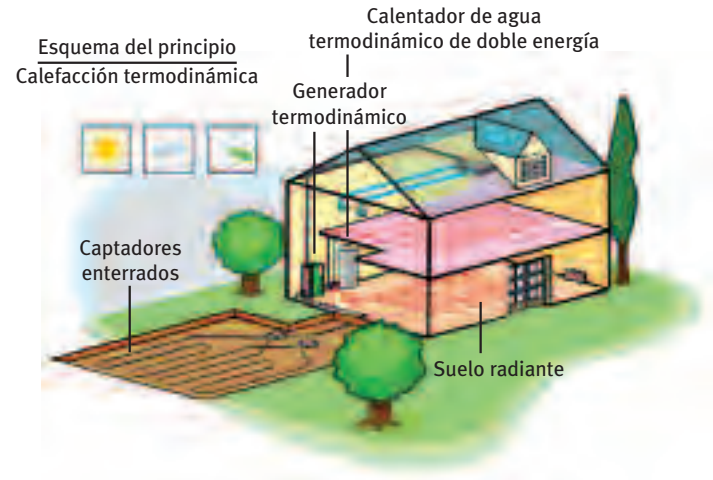
El uso de sistemas geotérmicos de baja entalpía para el sector residencial y de servicios permite prescindir del gasóleo, gas natural o gases licuados derivados del petróleo (propano y butano), todas ellas energías caras y no renovables.

La demanda térmica de la energía consumida en el sector residencial y de servicios es relativamente baja, lo que permite utilizar agua geotérmica de baja entalpía y devolverla a baja temperatura, incrementando así el potencial geotérmico del recurso e induciendo a un ahorro de energía, que podrá aprovecharse para otras aplicaciones.

El sistema de climatización geotérmico funciona correctamente con cualquier instalación de calefacción actual, bien sea por radiadores, suelo radiante o aire.

En general, un esquema simplificado de un sistema de energía geotérmica aplicado a este sector consta de tres circuitos diferenciados:

- Circuito primario: formado por un equipo de bombeo y acondicionamiento de agua geotérmica situado en la boca del pozo de extracción, un intercambiador de placas y el sistema de reinyección.
- Red de distribución: formado por un sistema cerrado de tuberías, ida y retorno, para distribuir el agua caliente a los usuarios, un equipo de bombeo y una centralita de conexión con el particular.
- Circuito de distribución privado: desglosado en dos circuitos claramente diferenciados en función del nivel





Sistema de calefacción de distrito en París. Fuente Petrathern

térmico de funcionamiento al que trabajan, uno en circuito abierto para el agua caliente sanitaria (ACS) y otro en circuito cerrado de calefacción.

La demanda de ACS en el sector doméstico es muy irregular, teniendo en cuenta una sola vivienda, pero a medida que se añaden más viviendas al sistema, la curva de demanda se suaviza progresivamente.

- Calefacción de Distrito, “*District Heating*”

El aprovechamiento directo de los recursos geotermales permite diseñar un sistema de calefacción centralizado, más comúnmente conocido como “*district heating*”. El sistema satisface la demanda de calor de un conjunto de usuarios, distribuidos dentro de una zona extensa, del tamaño de un barrio, distrito o incluso una ciudad entera. Inicialmente solo se satisfacía la demanda de calefacción pero posteriormente se amplió al suministro de refrigeración.

A finales del siglo XIX, comenzaron a funcionar pequeñas instalaciones que atendían las necesidades de áreas muy limitadas, como zonas industriales o comerciales. Su aplicación comienza a aumentar a partir de los años 30 en Estados Unidos y en Europa, aunque su gran expansión se produce en los años sesenta.

En general, los sistemas de calefacción por distrito pueden ser abiertos o cerrados. El sistema cerrado constará de un circuito de calefacción con tubería de impulsión y una tubería de retorno, mientras que el circuito que distribuye ACS es un sistema abierto, porque una vez utilizado el fluido calorportante lo vierte al sumidero. La mayoría de este tipo de instalaciones son sistemas cerrados.

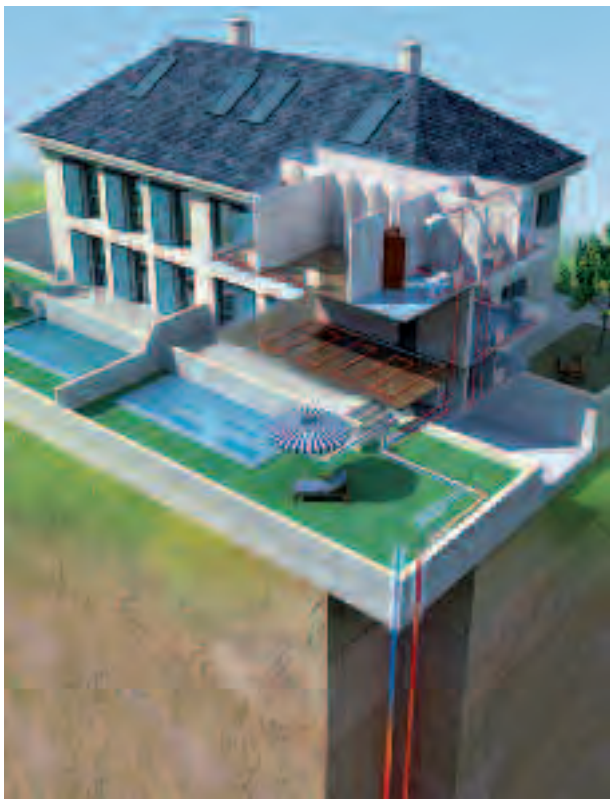
Existen proyectos en los que el agua geotérmica es conducida bajo las carreteras y caminos vecinales, para mantenerlos libres de agua helada o incluso para dispersar la neblina de los aeropuertos.



Sistemas de calefacción de distrito para deshacer la nieve de las aceras. Oregon. Fuente: National Renewable Energy Laboratory



Instalación del sistema de tuberías para el sistema geotérmico de calefacción de distrito para deshacer la nieve de las aceras. Oregon. Fuente: National Renewable Energy Laboratory



Casa piloto. Fuente: Girodgeotermia

- Bomba de calor (GHP)

En países con niveles altos de radiación solar, como es el caso de España, la temperatura del suelo a profundidades de más de 5 metros es relativamente alta (alrededor de 15 grados). A esas profundidades, los materiales geológicos permanecen a una temperatura estable, independientemente de la estación del año o de las condiciones meteorológicas. Esta estabilidad geotérmica es la que permite que en verano el subsuelo esté considerablemente más fresco que el ambiente exterior.

Mediante un sistema de captación adecuado y una bomba de calor geotérmica se puede transferir calor de esta fuente de 15°C a otra de 50°C, y utilizar esta última para la calefacción doméstica y la obtención de agua caliente. Del mismo modo que en invierno la bomba geotérmica saca el calor de la Tierra, en verano se extrae mediante el mismo sistema de captación, transfiriéndolo al subsuelo y refrigerando así el edificio. En el caso de contar con piscina se puede aprovechar el calor sobrante para calentar el agua y alargar así la temporada de piscina.

Una instalación de este tipo puede proporcionar a una vivienda con jardín una climatización integral de la casa y el suministro de agua caliente sanitaria. La obra necesaria para colocar este sistema consiste en realizar una serie de perforaciones verticales en el jardín para intercambiar energía con el

suelo. En ellas se introducen tubos por los que se hace circular un líquido que absorbe o cede calor desde la bomba de intercambio geotérmico. Para no deteriorar el jardín se utiliza maquinaria de perforaciones de poca profundidad y los conductos se cubren con la misma tierra del jardín, a los que se les pone una tapa de referencia, oculta con el césped. Dentro de la casa el sistema de climatización se completa con una bomba de intercambio geotérmico, un acumulador y un inversor de ciclo, que se pueden ubicar en el garaje de la casa.

Las instalaciones pueden variar según las condiciones de espacio y características del terreno:

La instalación horizontal se realiza cuando disponemos de espacio suficiente, entonces las conducciones se disponen en zanjas, con una longitud variable entre 30 y 120 metros.

La instalación en vertical es la elección más adecuada cuando disponemos de espacio limitado. Es necesario utilizar equipos de perforación para realizar pozos de pequeño diámetro con profundidades comprendidas entre 25 y 100 metros.

La instalación en circuito abierto utiliza la energía del agua subterránea, siendo en condiciones ideales la instalación más económica.

La instalación subacuática permite reducir los costes de perforación cuando existe un estanque en las cercanías y la instalación consiste en colocar las conducciones en el fondo del estanque.

El uso de la bomba de calor permite extraer y utilizar económicamente el calor contenido en los cuerpos de baja temperatura tales como suelos, acuíferos someros, lagunas, etc.

En su uso para refrigeración, la bomba geotérmica funciona de forma inversa a cuando proporciona calefacción, de forma que enfría la casa extrayendo el calor del ambiente y lo transfiere al subsuelo.

La refrigeración es otra opción viable mediante la adaptación de equipos de absorción. Los fluidos



geotermiales proporcionan la energía geotérmica que alimenta a estos equipos. El ciclo de absorción es un proceso que utiliza el calor como fuente de energía para la producción de frío.

Las máquinas de absorción se basan en la condensación y evaporación de una solución concentrada para producir frío. Constan de un evaporador y un condensador que expande el refrigerante para producir frío. En lugar de un compresor mecánico, estos refrigeradores utilizan una fuente de calor que es, o bien gases calientes generados en un quemador, o usando vapor, agua caliente o calor residual. Las máquinas de absorción que están comercialmente disponibles son alimentadas por vapor, por agua caliente o por gases de combustión.

En el mercado existen dos tipos de equipos de absorción que funcionan mediante el efecto de refrigeración logrado mediante dos fluidos, un refrigerante que circula, se evapora y condensa y un segundo fluido o absorbente: los de bromuro de litio y los de amoníaco. Los de bromuro de litio son los más utilizados en las plantas geotérmicas y para aplicaciones sobre los 0°C. La eficiencia de estas máquinas disminuye con temperaturas inferiores a los 105°C.

- Pilotes energéticos (cimentaciones activas)

Otra aplicación de uso directo de la energía geotérmica, que se ha comenzado a experimentar en Alemania en el campo de la construcción, es la utilización de pilotes base o también llamados pilotes energéticos.

Estos pilotes tienen un doble propósito, por un lado, como principal objetivo, la transmisión de cargas a la base del suelo y, por otro, trabajar como elementos intercambiadores de energía para calefacción y refrigeración del edificio a construir.

Para realizar este intercambio energético, los tubos de plástico son anclados a la jaula de ferralla (armadura) por el interior de los pilotes y se distribuyen a lo largo de todo el pilote en forma de bucle.

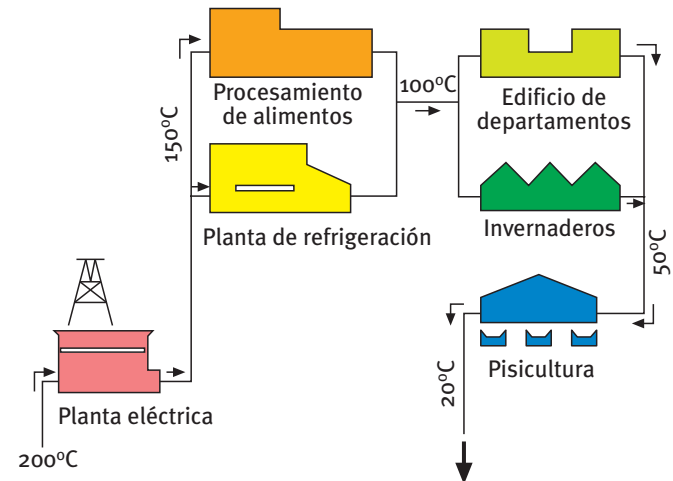
La colocación de los tubos intercambiadores geotérmicos también se puede realizar en el resto de elementos estructurales convencionales de cimentación y sostenimiento, como: muros pantalla, muros de sótano, losas, revestimiento de túneles, etc. Todos estos elementos formarían el circuito primario de un sistema energético de aprovechamiento geotérmico. Este tipo de estructuras se denominan “cimentaciones activas”.

Se trata de una solución técnica y económica muy interesante e innovadora, ya que se conjuga la ejecución del intercambio geotérmico con la construcción de las cimentaciones del edificio, evitando tener que realizar a posteriori los pozos de perforación para la instalación geotérmica, con el consiguiente ahorro económico.

3.3 UTILIZACIÓN EN CASCADA

La utilización de los recursos geotérmicos, tal como se ha visto, está condicionada por el nivel térmico del fluido. Frecuentemente se utilizan aprovechando la energía disponible tras haber sido ya utilizada, beneficiándose de los distintos niveles térmicos requeridos para los diferentes usos.

De este modo, tras la producción eléctrica, el fluido aún caliente puede ser aprovechado para calefacción de viviendas. Tras este segundo uso, el fluido puede ser aprovechado para otros usos con menores requerimientos de temperatura (calefacción de invernaderos, etc.).



Tecnologías y aplicaciones

4



Tecnologías y aplicaciones

4

Como es bien conocido, el tipo de recurso geotérmico (alta y media o baja entalpía, básicamente) establece sus posibilidades de aprovechamiento. Éstas varían en función de las tecnologías disponibles en cada momento, pero se pueden establecer dos tipos de aplicación principales: la producción de electricidad para los recursos geotérmicos de alta y media entalpía (incluyendo los sistemas geotérmicos estimulados) y los usos directos del calor (suministro de calefacción a viviendas, ACS, locales y aplicaciones industriales) para los recursos de baja entalpía (incluyendo los de muy baja entalpía).

4.1 TECNOLOGÍAS PARA CENTRALES DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD

4.1.1 Tipos de centrales geotérmicas

Las características de cada central geotérmica vendrán condicionadas por el fluido geotérmico que se pueda explotar en el yacimiento.

Las características termodinámicas del fluido (temperatura y presión), la fase en que se encuentre el fluido (vapor seco, mezcla de agua y vapor, etc.), la salinidad del fluido, las

características de los elementos disueltos en el fluido, etc., influyen decisivamente en las características tecnológicas del equipamiento necesario en la central.

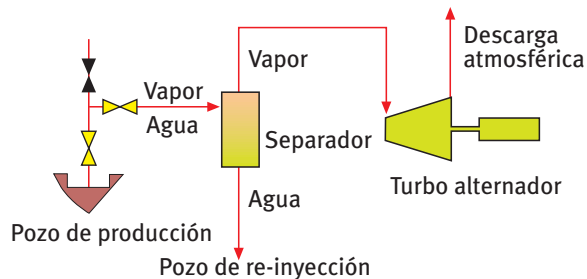
Igualmente, el modelo de yacimiento geotérmico, su capacidad de renovación del fluido, el volumen del almacén, etc., condicionan el diseño del modelo de gestión del campo geotérmico. En este sentido, la necesidad de mantener presiones en el almacén geotérmico obligará a diseñar un circuito, equipos de bombeo y sondeos de inyección a través de los que se inyecta una parte del fluido extraído y se renueva el fluido que sirve de transporte al calor geotérmico.



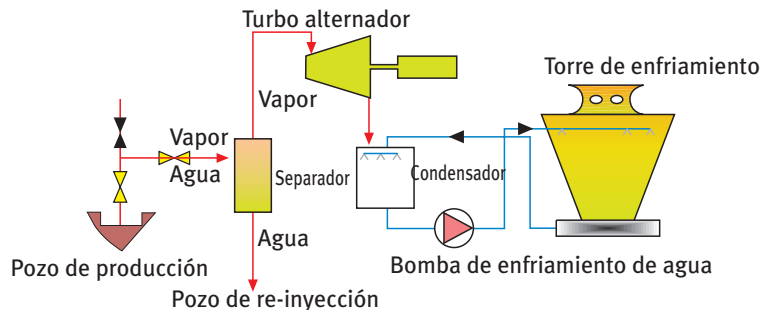
Es el tipo de fluido, que se localiza en el yacimiento, el que condiciona principalmente el tipo de central geotérmica precisa. En este sentido, los campos de vapor seco (tan sólo unos pocos casos en el globo) son los que permiten utilizar la tecnología más sencilla, ya que el fluido geotérmico se puede llevar directamente a la turbina para producir electricidad. La producción del vapor en los sondeos es por expansión, al reducir la presión, de modo muy similar a la producción de los campos de gas natural.

Hay varios tipos de tecnologías disponibles para la explotación de estos yacimientos:

- **Ciclo directo sin condensación:** este es el ciclo más simple y más barato en cuanto a costo de planta. El vapor procedente directamente del pozo pasa a las turbinas de donde escapa a la atmósfera. Estas unidades pueden llegar a consumir doble cantidad de vapor por kilovatio producido que las unidades con condensación. Se suelen usar como plantas pilotos, o bien para pequeños suministros locales a partir de pozos de producción aislados e incluso como pequeñas centrales de punta. Su uso es obligado cuando el contenido en gases no condensables es superior al 50% o cuando el contenido total de gases excede del 10%, debido al alto costo que representaría la separación de gases en los condensadores.



- **Ciclo directo con condensación:** éste es el más común de los ciclos utilizados en caso de vapor seco, tal como ocurre en Larderello (Italia), The Geysers (USA) y Matsukawa (Japón). En ellos, el vapor, después de pasar por las turbinas, es condensado extrayéndose los gases contenidos en el vapor.



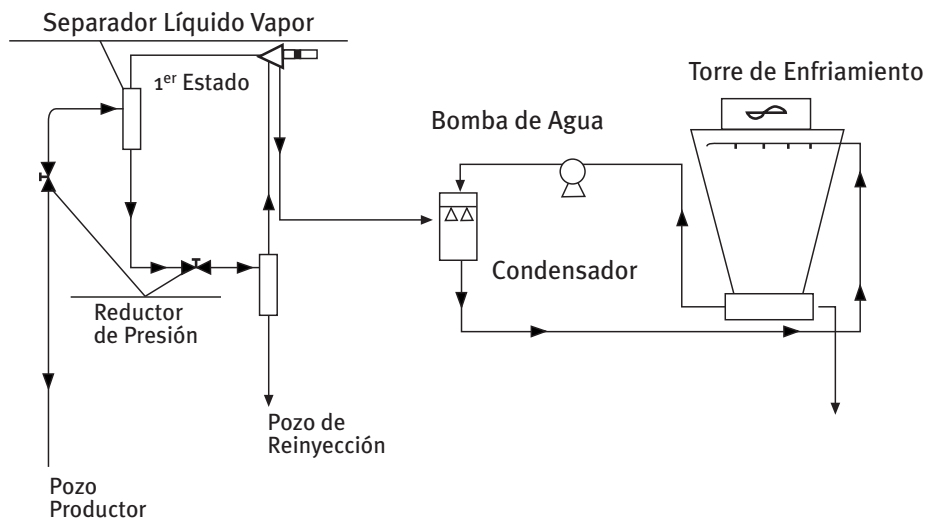
- **Ciclo indirecto con condensación y recuperación de aguas mineralizadas:** algunas veces la naturaleza corrosiva del vapor es tal que impide su paso directo a las turbinas. Este es el caso de las primeras unidades de Larderello (Italia). El vapor procedente del pozo cedía su energía a un vapor limpio que era el que pasaba a las turbinas. Hoy día este ciclo es casi inusual debido al avance conseguido en los materiales para turbinas, que resisten ya la presencia de productos corrosivos en el vapor. Los minerales más comúnmente recuperados eran ácido bórico y amoniaco. El valor de estos minerales hacía competitivo el sistema a pesar del despilfarro energético que representaba. Se utilizaron hasta aproximadamente la mitad del siglo XX en que surgieron otros métodos de producción de los citados minerales, más económicos.

Mucho más frecuentes son, sin embargo, los yacimientos geotérmicos en los que el fluido se compone de una mezcla de agua y vapor (vapor húmedo). Se pueden citar los yacimientos de Imperial Valley y Salton Sea (USA), Wairakei (Nueva Zelanda) Reykjavik (Islandia) y Cerro Prieto en México. La energía recuperable en este tipo de yacimientos es muy superior a la que se recupera en los campos de vapor dominante.

Los campos de agua caliente se explotan generalmente mediante ciclo semidirecto con flash en una o varias etapas y con condensación. Este ciclo es el utilizado en las centrales geotermoeléctricas más abundantes. La primera operación que se realiza es



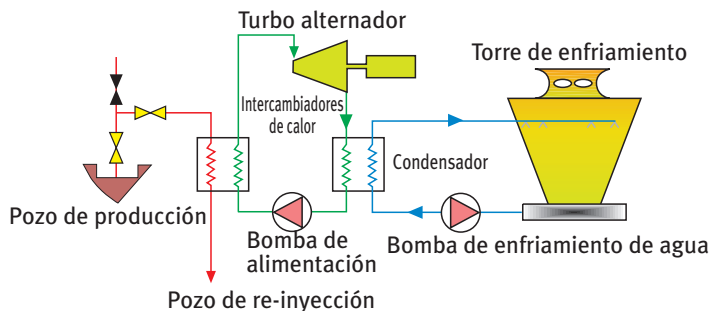
la separación de las fases vapor y agua líquida. El vapor se envía a la turbina de alta presión o a la zona de alta de turbinas multietapas. El agua caliente separada es sometida a flashing, con separación de vapor a baja presión que se envía a turbinas de baja presión o a la zona de baja de las turbinas multietapas. Esta operación puede ser repetida tantas veces como lo permita la entalpía del agua separada.



Plantas con ciclo de doble flash existen en Wairakei. Este tipo de ciclos semidirectos también se pueden llevar a cabo sin ningún flashing con lo que el agua procedente del separador es eliminada directamente, produciendo electricidad únicamente con el vapor procedente de la primera separación, aunque desaprovechando gran cantidad de energía.



Tanto en los casos en que los fluidos no tengan la suficiente entalpía como en aquellos en que el fluido tenga un elevado nivel de salinidad (campos de salmueras), se utilizan ciclos binarios en los que el fluido que se envía a turbina no es el propio fluido geotérmico.



En estos ciclos el fluido geotérmico cede su calor a un fluido binario a través de un intercambiador; una vez que este fluido adquiere el calor suficiente y ya en fase vapor, pasa a las turbinas. Posteriormente, tras un proceso de condensación, el fluido binario vuelve al intercambiador, por lo que este fluido se encuentra en un circuito cerrado. Cuando el fluido geotérmico tiene suficiente entalpía (>200 kcal/kg), se puede utilizar como fluido binario agua. Sin embargo, cuando el fluido geotérmico tiene menor entalpía (yacimientos de media temperatura), se usa como fluido binario alguno con bajo punto de ebullición (freones, isobutanos, isopropanos, etc.).

Las dificultades, en cuanto a costes y rendimientos, que este tipo de plantas binarias tenían hace años, están hoy absolutamente superadas con el desarrollo de nuevos ciclos (Kalina, etc.), lo que permite que extensas zonas con almacenes de media temperatura ($100-150^{\circ}\text{C}$), así como aquellos procedentes de yacimientos de rocas calientes (HDR/EGS), se puedan utilizar para generar electricidad.

4.1.2 Equipamiento

El equipamiento que caracteriza a una central geotérmica es el que se deriva del tipo de recurso utilizado. Básicamente son los sondeos de producción con sus cabezales y válvulas, las tuberías de conducción del fluido geotérmico, las bombas de impulsión, los posibles separadores e intercambiadores y las turbinas. Los materiales empleados dependen fundamentalmente de las características químicas y termodinámicas del fluido geotérmico.

Los **sondeos de explotación** para extraer el vapor o agua caliente se perforan con técnicas similares a las utilizadas para el petróleo, y las únicas diferencias derivan de las altas temperaturas que deben soportar los pozos asociados a un yacimiento geotérmico, lo que afecta al sistema de circulación del fluido, al tipo de cimentación de las paredes, al tipo de cable de perforación y al entubado del pozo. Normalmente, se perfora a rotación, y el fluido utilizado es lodo o aire comprimido. La profundidad de los pozos puede ser muy variable, desde algunos centenares de metros hasta más de 6.000 m.

La tubería de perforación está formada por un conjunto de tubos de acero cilíndricos, conectados en sus extremos por collares o uniones de tubería, y su finalidad es transmitir a la barrena el par mecánico, proveniente de la mesa rotatoria, con el mínimo posible de pérdidas. A la vez debe permitir, por su interior, el paso del fluido de perforación hasta la barrena. Las barrenas habituales son triconos de inserción con dientes de acero o de vidia.

Cuando la roca no es consolidada, se coloca un tubo de revestimiento para evitar desprendimientos. En la zona productora se coloca un filtro para retener los sólidos gruesos. Debe soportar la posible corrosión del fluido, así como la fatiga térmica derivada de las variaciones de temperatura entre producción y parada. Normalmente son de acero de alta calidad.

Las **turbinas de vapor** son máquinas térmicas que generan energía a partir de vapor a alta presión y temperatura; este vapor se expande hasta una presión menor y parte de la diferencia de

entalpía entre el vapor entrante y saliente se convierte en energía mecánica en el eje de la máquina. En función de sus condiciones de trabajo, las turbinas de vapor suelen agruparse en los siguientes tipos básicos de turbinas: condensación, contrapresión, condensación con extracción intermedia y con recalentamiento intermedio.

El **condensador** es un equipo indispensable en cualquier planta eléctrica alimentada con energía geotérmica; su objetivo primordial consiste en mantener una temperatura de condensación lo suficientemente baja para que la relación de expansión en la turbina sea aceptable.

En función de las características particulares de cada lugar, como por ejemplo disponibilidad de agua superficial, desnivel utilizable, factores meteorológicos, tecnología disponible, etc., se elige el tipo de condensador más adecuado. Los más normales son condensadores coraza-tubo, de contacto directo o refrigerados por aire.

Las **torres de enfriamiento** son equipos destinados a enfriar agua, procedente del condensador, a costa de ceder calor al aire atmosférico. En función del mecanismo de circulación de aire, se distinguen dos tipos de torres de refrigeración: torres de tiro natural y torres de tiro forzado.

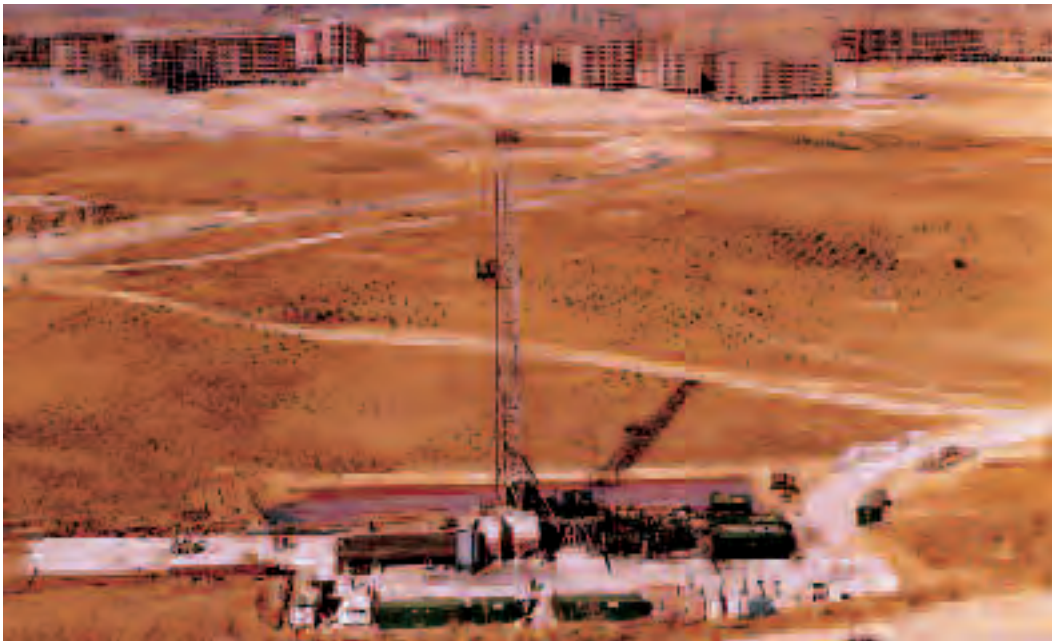
4.2 TECNOLOGÍAS PARA APROVECHAMIENTOS GEOTÉRMICOS DE BAJA Y MUY BAJA TEMPERATURA

4.2.1 Aprovechamiento directo del calor

Los fluidos geotérmicos de baja temperatura ($< 100^{\circ}\text{C}$), tal como se ha visto con anterioridad, pueden ser utilizados para la aplicación directa del calor.

Las principales aplicaciones de este tipo, excluido el uso balneario, se concentran en el sector residencial (calefacción y ACS) y en la calefacción de invernaderos.

En cualquier caso, debido al elevado coste de los sistemas de transporte del calor (tuberías térmicamente aisladas y protegidas contra la corrosión y el depósito de elementos disueltos),



Sondeo geotérmico de Tres Cantos (Prof.: 2.300 m; Temp.: 83°C; IGME 1982). La calefacción con geotermia de baja temperatura requiere cierta concentración de la demanda. Un número significativo de viviendas conectadas a sistemas centralizados de calefacción

se requiere una importante demanda a poca distancia del aprovechamiento geotérmico. De hecho, para esquemas basados en almacenes sedimentarios profundos (del orden de los 2.000-2.500 m) se requiere una demanda en superficie del orden de unas 3.000 viviendas.



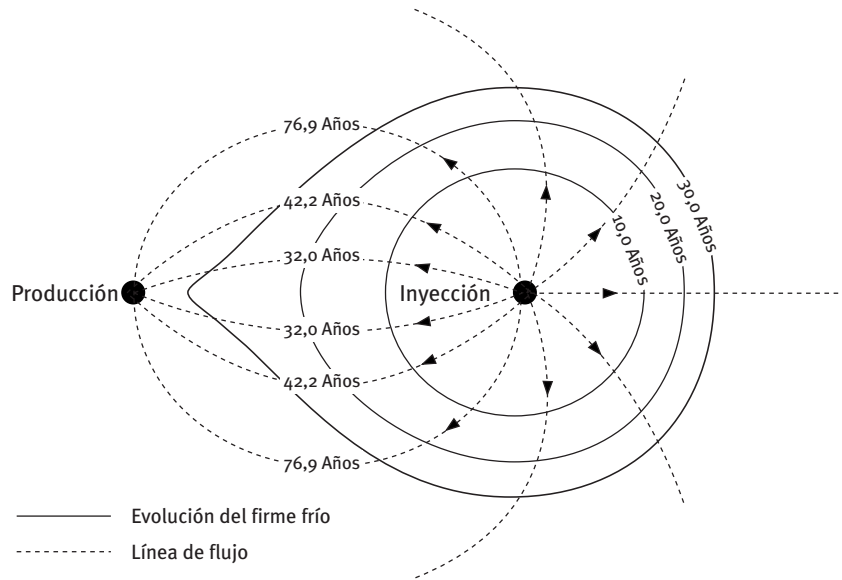
Dado que en numerosos casos los recursos de baja temperatura se localizan en estos almacenes sedimentarios profundos, en los que el fluido disuelve gran cantidad de elementos minerales de la roca por la que circula caliente, los fluidos geotérmicos se convierten en salmueras con elevados contenidos salinos.

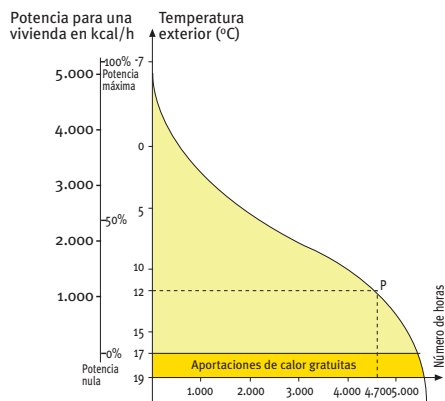
Con objeto de evitar el deterioro ambiental que significaría un vertido de tales salmueras y para mantener las presiones en el yacimiento, el fluido geotérmico se inyecta en el yacimiento una vez que se le ha extraído la energía calorífica.

Se habla en estos casos de explotación mediante doblete de sondeos; un sondeo de extracción por el que se obtiene, generalmente mediante bombeo, el fluido geotérmico. Tras su paso por el llamado intercambiador primario, el fluido ya enfriado es reinyectado en el yacimiento a través de un segundo sondeo (sondeo de inyección).

Los dos sondeos que constituyen el doblete suelen ser perforados a escasos metros de distancia en superficie, con lo que el circuito geotérmico en superficie se reduce a las dos cabezas de pozo y el intercambiador primario. Por regla general, la plataforma sobre la que se sitúa la maquinaria de perforación es la misma para ambos sondeos. En profundidad, los sondeos pueden ser verticales en su totalidad o, lo más habitual, al menos uno de ellos se desvía a partir de cierta profundidad. De este modo, en profundidad, en la zona donde se localiza el yacimiento geotérmico, los sondeos se encuentran distanciados de forma muy notable. Mediante la simulación matemática

de las condiciones del yacimiento se calcula la distancia a la que deben quedar situados en profundidad los puntos de extracción e inyección, de tal modo que el avance del llamado frente frío producido por la inyección del fluido no alcance al punto de extracción en la vida del doblete (estimada en unos 20-25 años) de modo significativo y que éste sea inferior a 1°C al final de dicho periodo.





Casetas que cubren las antiguas perforaciones geotérmicas usadas para calefacción en Reykjavik (Islandia), hoy en día interconectadas al sistema general de distribución de calor extendido a toda la ciudad

Como energía de base, la geotermia se adapta de forma muy adecuada a sistemas que tengan un consumo energético lo más constante posible a lo largo del año. De esta forma el consumo de ACS, o consumos de calor similares, permiten rentabilizar la explotación geotérmica de modo muy favorable. Sin embargo, las necesidades de calefacción no son constantes a lo largo del año. La curva de carga o de potencia térmica demandada, que se obtiene para cada localización a partir de las temperaturas en cada sitio y el número de horas que se registran estas temperaturas, permite conocer el número de horas que se demanda una cierta potencia. Pretender cubrir las puntas de demanda energética mediante la energía geotérmica conlleva un incremento muy elevado de inversiones y una disminución fuerte del número de horas de utilización de la geotermia y, por tanto, de una merma en su rentabilidad.

Con objeto de adecuar el empleo de la geotermia a unas determinadas condiciones de la demanda energética, se suele adoptar una solución que consiste en utilizar la geotermia como energía de base para el suministro energético y una fuente de apoyo (en muchos casos la caldera tradicional a la que la geotermia viene a sustituir) que suministre las puntas de demanda. Como orden de magnitud se habla de la cobertura mediante geotermia del 50% de la potencia demandada, lo que equivale a cubrir mediante la geotermia el 80% de la demanda energética total.

En cuanto al resto de las características de los sistemas de distribución del calor, etc., se puede decir básicamente que son similares a los de centrales térmicas convencionales utilizadas en los sistemas de calefacción de distrito. En todo caso, es conveniente señalar que los sistemas geotérmicos se adaptan de manera más favorable a los sistemas de calefacción de baja temperatura (suelos radiantes o radiadores de baja temperatura) que a los sistemas más antiguos que utilizan radiadores con agua a muy alta temperatura.

4.2.2 Bomba de calor geotérmica

Como ya se ha indicado anteriormente, cuando la temperatura del fluido geotérmico no alcanza los niveles de temperatura superiores a 50°C, la única posibilidad de suministrar calefacción a los locales consiste en la utilización de la bomba de calor. De esta forma, los recursos geotérmicos de muy baja temperatura, incluyendo los acuíferos convencionales con aguas a temperaturas del orden de 15-20°C, pueden ser aprovechados para la calefacción de locales y viviendas con sistemas modernos que no utilizan temperaturas en el circuito de calefacción tan elevadas como antiguamente.

El agua extraída de los sondeos, a temperaturas entre 15 y 50°C, suele tener menores niveles de salinidad; mediante la bomba de calor aporta al circuito de calefacción la energía térmica requerida y puede posteriormente ser reinyectada o empleada para otros usos.

La estabilidad térmica de los fluidos geotérmicos, así como del agua subterránea, permite dimensionar la bomba de calor con unos niveles de precisión muy elevados y así obtener rendimientos térmicos mucho más elevados que los que se obtendrían con otros fluidos (agua de ríos, aire, etc.).

Esta estabilidad térmica es debida al aporte permanente de calor desde el interior del globo y que se disipa constantemente desde la parte exterior del planeta. El flujo de calor desde el

interior de la Tierra hacia la parte más exterior de su corteza, constituye precisamente el origen de la energía geotérmica. Por ello, este tipo de aprovechamientos no son ni más ni menos que aprovechamientos geotérmicos de recursos de muy baja temperatura.

Como suele ser habitual en los sistemas que utilizan bomba de calor, el aprovechamiento puede ser utilizado tanto para la producción de calor en invierno como para la refrigeración en verano, teniendo en cuenta las diferencias de demanda en cuanto a ambas necesidades energéticas.

Cuando se trata de aprovechamientos del agua subterránea, es decir con recursos a 15-20°C, orientados únicamente a estos fines energéticos, las profundidades óptimas de la captación que permite adecuados rendimientos económicos son del orden de 4 a 50 metros; no es así en los casos en que el agua sea destinada a otros usos. En todo caso, la posibilidad de un aprovechamiento no consuntivo del agua (únicamente se aprovecha su nivel energético) ofrece gran interés en áreas con recursos limitados, si bien encarece la instalación a causa de la reinyección.

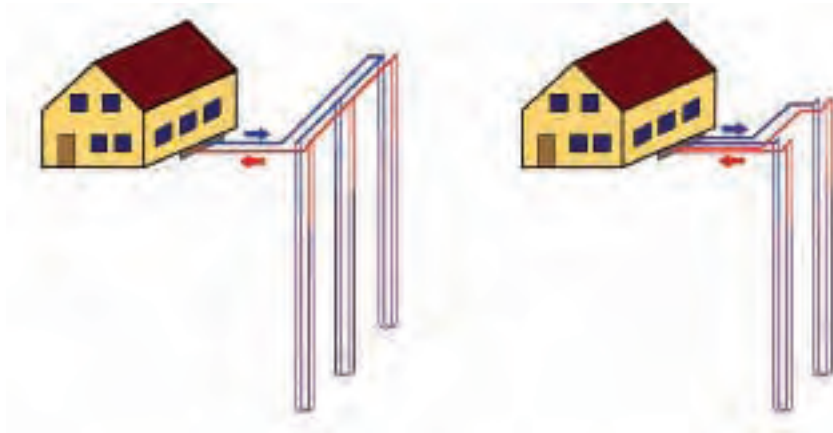
Casos similares a los descritos en los aprovechamientos de recursos geotérmicos de muy baja temperatura son aquellos que aprovechan las temperaturas de las aguas de minas o de obras subterráneas (túneles, etc.). La situación es muy similar a la descrita anteriormente, con temperaturas muy estables y, en general, con caudales importantes de agua capaz de ser aprovechada para usos energéticos.

Aun cuando la existencia de almacenes geotérmicos de baja y muy baja temperatura (incluyendo en ellos los acuíferos) está ampliamente distribuida a lo largo de la geografía, se localizan también muchas otras áreas en las que por profundidad de estos niveles o por impermeabilidad de los terrenos, no existe posibilidad de aprovechar los niveles energéticos de las aguas del subsuelo. Sin embargo, esto no impide que se pueda aprovechar el flujo de calor que mantiene a temperaturas estables los materiales geológicos situados en los niveles más externos de la corteza terrestre. Son variadas las tecnologías que se han desarrollado para aprovechar el calor del

subsuelo. Se diferencian fundamentalmente de los aprovechamientos de recursos geotérmicos de muy baja temperatura en que aquéllos son sistemas abiertos en los que el agua captada se lleva directamente a la bomba de calor, mientras que en éstos, se utilizan intercambiadores situados en el subsuelo y por ellos circula en circuito cerrado el fluido que se lleva a la bomba de calor. Según estén situados los intercambiadores en el subsuelo, se pueden distinguir dos tipos de instalaciones.

Los aprovechamientos con intercambiadores verticales consisten en perforaciones realizadas en el subsuelo en las que se introducen, en el caso más sencillo, un doble tubo por el que circula el fluido.

Las profundidades de los sondeos se sitúan entre 10 y 250 metros, siendo las más frecuentes entre 50 y 100 metros. El número de sondeos preciso para climatizar los locales depende de la transmisión de calor en el medio y, por ello se emplean distintos esquemas para su realización.



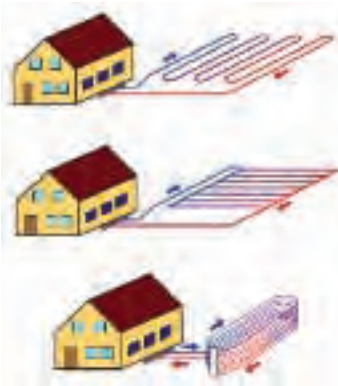


Existen diversos diseños de intercambiadores en los sondeos que, en todo caso, aprovechan el calor geotérmico, es decir, la energía térmica que desde el interior del globo se transmite hacia la superficie terráquea y que se disipa a través de su superficie de manera permanente. La estabilidad térmica del “foco frío” viene determinada por este aporte de calor y por el hecho contrastado de la escasa influencia que las condiciones térmicas del exterior producen a partir de una determinada profundidad.

Si bien en los experimentos realizados en diferentes áreas del globo se observa una variación de las condiciones en las diferentes estaciones del año, éstas no son significativas ni siquiera en los niveles más superficiales de la corteza. Los gráficos, correspondientes a zonas geográficas muy diferentes, muestran que las variaciones anuales de temperatura a un metro de profundidad apenas alcanzan los 10°C y que estas diferencias son mínimas ya a partir de los 5 metros de profundidad y despreciables a menos de 10 metros. Todo ello nos indica que el calor que se extrae del subsuelo en estas condiciones no es debido al calentamiento que el Sol produce en la capa más superficial de la corteza, sino al flujo de calor desde el interior del globo.

Una variante de esta técnica es la que utiliza los pilares de la edificación como sondeos para la captación del calor.

El segundo tipo de intercambiadores en el subsuelo lo constituyen los intercambiadores horizontales que, básicamente, consisten en un bucle de tubería bajo el terreno que aprovecha el calor que, proveniente del subsuelo, se disipa en la parte exterior de la corteza terrestre. Se suelen situar a poca profundidad (entre 1 y 2 metros de profundidad) y, por lo tanto, tienen una pequeña variación de las condiciones de temperatura en las distintas épocas del año, si bien esto tiene poca influencia cuando se usa la bomba de calor en modo reversible.

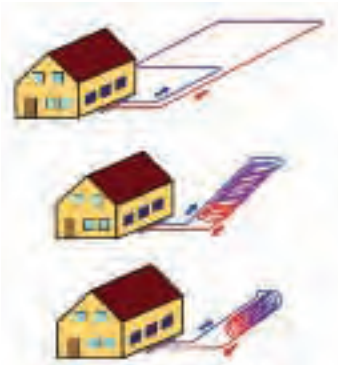


Un caso singular entre los intercambiadores horizontales es el que utiliza la propia cimentación del edificio cuando se va a construir para realizar el bucle intercambiador.

En todos estos sistemas, como se puede comprobar, la utilización de la energía geotérmica significa el gran aporte energético. Se trata de una energía limpia, renovable y que, con el apoyo de la bomba de calor, puede contribuir notablemente a aminorar los efectos de las puntas de demanda energética que actualmente se producen debido a la refrigeración de locales en verano, ya que disminuye notablemente el consumo de energía eléctrica necesaria para proporcionar el aire acondicionado que, día a día, se demanda con mayor intensidad.

Los rendimientos energéticos de las bombas de calor empleando la geotermia son superiores a los obtenidos con otras fuentes de calor (los más inferiores son del orden de 4,5 llegando a superar los 7).

Finalmente otra característica que puede hacer favorable este tipo de instalaciones es la posibilidad de utilizarlos como almacenamiento de energía, almacenando en el subsuelo calor en verano y frío en invierno, lo que puede mejorar aún más la eficiencia energética de estos sistemas.



Factores económicos, administrativos y medioambientales

5



Factores económicos, administrativos y medioambientales

5

5.1 ASPECTOS ECONÓMICOS

A diferencia de otras energías renovables como la eólica, la solar o la biomasa, los elementos a considerar en cualquier estimación de costes, ya sea de planta, costes de operación y del precio de los productos de la energía geotérmica, son más numerosos y complicados.

El aprovechamiento de la energía geotérmica supone un desembolso inicial de la inversión muy alto y con un riesgo elevado.

En el desarrollo de un proyecto geotérmico los costes de perforación son un componente económico significativo. Una instalación geotérmica está constituida por pozos geotermales, conductos para transportar el fluido a la planta y un sistema de pozos de reinyección. La combinación de todos estos elementos influyen de modo sustancial en los costes de inversión y, por lo tanto, deben ser analizados y estudiados detenidamente.



Perforación de sondeo en Basilea (Suiza)

La estimación de los costes de perforación está basada en la experiencia de la perforación industrial de pozos petrolíferos y de gas.

La similitud de estos pozos con los pozos geotermales permite tener una referencia e incluso poder normalizar los costes.

En proyectos de baja entalpía los gastos de perforación representan casi un 60% de la inversión total.

Existen, por lo tanto, diversos factores que afectan a la viabilidad económica de un sistema geotérmico:

1 Las características del recurso nos permiten definir el tipo de proyecto a realizar, una solución más simple o más compleja dependiendo de los equipos que la integran, cantidad de vapor requerida para operar, necesidad de pozos de abastecimiento, lo que influye directamente en la inversión de capital y costes de operación y mantenimiento.

- La profundidad a la que se encuentra el recurso nos permite calcular el coste del pozo.
- El caudal y temperatura del recurso nos aportan la potencia útil estimada que puede proporcionar.
- La composición del fluido geotermal determina el equipo de preparación y acondicionamiento del fluido e influye directamente en los costes de operación.

2 La distancia entre el recurso y el lugar de utilización: los fluidos geotermales pueden transportarse en tuberías termalmente aisladas, sin embargo, las tuberías, bombas, válvulas, etc., son muy costosas y pueden tener gran importancia en el coste de inversión de capital y en los costes de operación y mantenimiento. Téngase en cuenta también que las pérdidas de calor y presión son directamente proporcionales a la longitud de la tubería. En consecuencia, la distancia entre el recurso geotermal y el lugar de utilización deberá ser lo más corto posible, fundamentalmente si el yacimiento geotérmico no es de alta temperatura.





Planta geotérmica ciclo “flash” de Taupo-Mokai (Nueva Zelanda)



3 Las características de los consumidores definirán las pautas y exigencias para el diseño de la central térmica, la red de distribución y realizar así una estimación de costes. Como parámetros más influyentes a tener en cuenta son:

- Nivel térmico de la demanda.
- Potencia total.
- Densidad superficial: definida como cociente entre la potencia demandada por los usuarios y la superficie total cubierta por la red.
- Distribución superficial: distribución uniforme de pequeños.
- Consumidores o una distribución puntual de grandes consumidores.

4 El tipo de usuarios que determinará la forma de la curva de demanda del calor.

5 El clima es un factor decisivo y determinante para definir la potencia de la instalación y el número de horas de funcionamiento al año.

6 Influirá, económicamente, la rentabilidad que presenta una instalación geotérmica al compararse con otra instalación que consume otro tipo de energía, bien sea renovable o no.

7 La existencia de líneas de subvenciones oficiales o líneas de financiación para proyectos de energía geotérmica que intervienen en la rentabilidad del proyecto y en la recuperación de la inversión.



El precio de la energía, el costo del dinero y la tasa de inflación son parámetros importantes que también intervienen de forma decisiva sobre el panorama económico y financiero. Dado el carácter renovable de estas instalaciones, pueden contar con subvenciones estatales o regionales y líneas blandas de financiación, reduciendo, de esa manera, el tiempo de retorno de la inversión.



Invernadero. Nuevo México. Fuente: National Renewable Energy Laboratory

5.2 ASPECTOS ADMINISTRATIVOS Y NORMATIVOS

5.2.1 Procedimiento para la obtención de permisos de exploración, permisos de investigación y concesiones de explotación

Todos los yacimientos de origen natural y demás recursos geológicos existentes en el territorio nacional, mar territorial y plataforma continental, son bienes de dominio público, cuya investigación y aprovechamiento podrá asumir el Estado directamente, o ceder en la forma y condiciones que se establecen en la legislación vigente.

El Estado podrá reservarse zonas de cualquier extensión en el territorio nacional, mar territorial y plataforma continental en las que el aprovechamiento de uno o varios yacimientos minerales y demás recursos geológicos pueda tener especial interés para el desarrollo económico y social o para la defensa nacional.

Los recursos geotérmicos están incluidos en la “sección D”, de acuerdo con la Ley 54/1980, de 5 de noviembre, de modificación de la Ley 22/1973, de 21 de julio, de Minas. Esta sección D incluye los carbones, los minerales radiactivos, los recursos geotérmicos, las rocas bituminosas y cualesquiera otros yacimientos minerales o recursos geológicos de interés energético que el Gobierno acuerde incluir en esta sección, a propuesta del Ministerio de Industria y Energía, previo informe del Instituto Geológico y Minero de España.

En la actualidad, las comunidades autónomas son los órganos de la Administración encargados de la gestión del régimen minero, de acuerdo con la legislación de traspaso de funciones y servicios en materia de industria, energía y minas.

Para el otorgamiento de los permisos de investigación y de las concesiones directas de explotación de recursos de esta sección, será preciso que los terrenos sobre los que recaiga reúnan las condiciones de francos y registrables.

Se considera que un terreno es franco si no estuviera comprendido dentro del perímetro de una zona de reserva del Estado, propuesta o declarada para toda clase de recursos de esta sección, o de los perímetros solicitados o ya otorgados de un permiso de explotación, un permiso de investigación o una concesión de explotación. Un terreno será registrable si, además de ser franco, tiene la extensión mínima exigible.

En cuanto a la regulación de los aprovechamientos de la sección “D” podemos distinguir las siguientes autorizaciones:

- Permisos de exploración

La autoridad minera de la correspondiente comunidad autónoma podrá otorgar permisos de exploración, por un plazo de un año, prorrogable como máximo por otro bajo determinadas condiciones. Estos permisos permitirán efectuar estudios y reconocimientos en zonas determinadas, mediante la aplicación de técnicas de cualquier tipo que no alteren sustancialmente la configuración del terreno. Además tendrá prioridad en la petición de permisos de investigación o concesiones directas de explotación sobre el terreno que fuera franco y registrable.

- Permisos de investigación

Los permisos de investigación sobre terrenos registrables se solicitarán a la autoridad minera de la correspondiente comunidad autónoma, presentando junto con la instancia, el proyecto de investigación, que incluirá el programa de trabajos, el presupuesto de las inversiones a realizar y el estudio económico de su financiación, con las garantías que se ofrezcan sobre su viabilidad.

Una vez admitida definitivamente la solicitud, la autoridad minera la publicará para que todos los interesados puedan personarse en el expediente, para que, si lo estiman pertinente, hagan alegaciones.

El otorgamiento de permisos de investigación se resolverá por concurso público. Entre las ofertas recibidas se elegirá la que ofrezca las mejores condiciones científicas y técnicas y las mayores ventajas económicas y sociales.

Los expedientes de estos permisos para recursos geotérmicos (sección D) deberán ser resueltos en el plazo máximo de ocho meses y se concederán por el plazo solicitado, que no podrá ser superior a tres años (prorrogables por otros tres años en determinadas condiciones).

- **Concesiones de explotación**

El derecho al aprovechamiento de recursos geotérmicos lo otorgará la autoridad minera de la comunidad autónoma por medio de una concesión de explotación, que se otorgará siempre para una extensión determinada y concreta, medida en cuadrículas mineras completas y por un período de 30 años, prorrogable por plazos iguales hasta un máximo de 90 años.

Podrá solicitarse directamente la concesión de explotación sin necesidad de obtener previamente un permiso de investigación, en los casos siguientes:

- Cuando esté de manifiesto un recurso de la Sección C) o D), de tal forma que se considere suficientemente conocido y se estime viable su aprovechamiento racional.
- Cuando sobre los recursos suficientemente reconocidos en derechos mineros caducados, existan datos y pruebas que permitan definir su explotación como consecuencia de mejoras tecnológicas o de nuevas perspectivas de mercado.

5.2.2 Procedimiento para la autorización de instalaciones de producción y líneas

El procedimiento para el otorgamiento de las autorizaciones administrativas para la construcción, modificación, explotación, transmisión y cierre de instalaciones de producción, transporte y distribución de energía eléctrica está reglamentado por el Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones eléctricas.

La construcción, ampliación, modificación y explotación de todas las instalaciones eléctricas requieren las resoluciones administrativas siguientes:

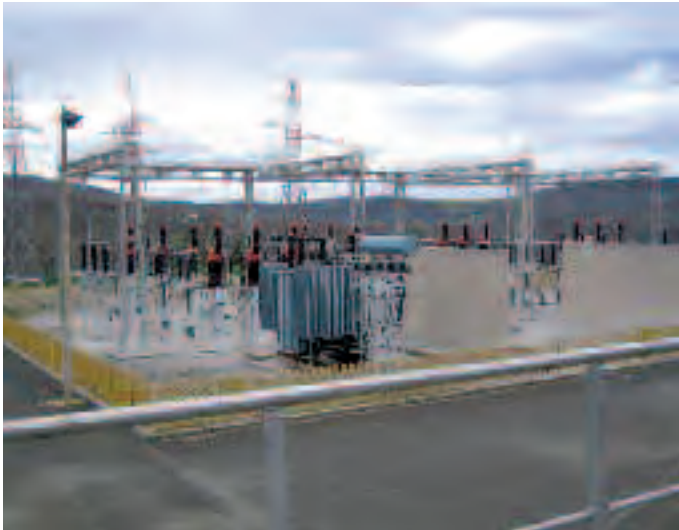


Perforación en central geotérmica de Mokai (Nueva Zelanda)

- Autorización administrativa, referida al proyecto de la instalación como documento técnico que se tramitará, en su caso, conjuntamente con el estudio de impacto ambiental.
- Aprobación del proyecto de ejecución, que se refiere al proyecto concreto de la instalación y permite a su titular la construcción o establecimiento de la misma. Esta solicitud se puede efectuar conjuntamente con la anteriormente mencionada.

- Autorización de explotación, que permite, una vez ejecutado el proyecto, poner en tensión las instalaciones y proceder a su explotación comercial.

A las instancias de solicitud de autorización y aprobación del proyecto de ejecución se acompañará la documentación que acredite la capacidad del solicitante (legal, técnica y económica) y el proyecto o anteproyecto de la instalación, que deberá contener: memoria-resumen (ubicación, objeto de la instalación y características principales), planos de la instalación (escala 1:50.000, mínimo), presupuesto y separata para las Administraciones Públicas u Organismos afectados por la instalación.



Subestación eléctrica de central geotérmica alta T³ en Larderello (Italia)

Las solicitudes se presentarán ante las áreas o dependencias de Industria y Energía de las Delegaciones o Subdelegaciones del Gobierno de las provincias donde radique la instalación, la cual resolverá dentro de los tres meses siguientes a la fecha de presentación.

Una vez ejecutado el proyecto, se presentará la solicitud de acta de puesta en servicio, acompañada de un certificado de final de obra suscrito por técnico

facultativo competente, donde conste que la instalación se ha realizado de acuerdo con las especificaciones contenidas en el proyecto de ejecución aprobado, así como con las prescripciones de la reglamentación técnica aplicable a la materia.

El acta de puesta en servicio se extenderá por el Organismo que haya tramitado el expediente, en el plazo de un mes, previas las comprobaciones técnicas que se consideren oportunas.

5.2.3 Procedimiento para obtener el reconocimiento de instalación en régimen especial

En el artículo 27 de la Ley 54/1997 del Sector Eléctrico, se enumeran las características de aquellas instalaciones que pueden acogerse al Régimen Especial. Actualmente, el régimen económico y jurídico de estas instalaciones se regula en el RD 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.

Las centrales geotérmicas quedarían englobadas en el grupo “b.3” titulado “instalaciones que únicamente utilicen como energía primaria la geotérmica, la de las olas, la de las mareas, la de las rocas calientes y secas, la océano-térmica y la energía de las corrientes marinas”.

La condición de instalación de producción en régimen especial será otorgada por los Organismos competentes en materia energética de la Comunidad Autónoma en la que se encuentre ubicada la instalación, salvo alguna excepción. Junto con la solicitud, el titular o explotador de la instalación deberá incluir la siguiente documentación:

- Resumen con las principales características técnicas y de funcionamiento de la instalación.
- Evaluación cuantificada de la energía eléctrica que va a ser transferida en su caso a la red.

- Memoria-resumen de la entidad peticionaria (identificación, capital social, balance y cuenta de resultados, etc.).

Las instalaciones en régimen especial deberán ser inscritas obligatoriamente en el Registro administrativo de instalaciones de producción en régimen especial del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (y de las Comunidades Autónomas) para el adecuado seguimiento, gestión y control de las instalaciones y para la aplicación a cada una de todos los condicionantes del régimen especial. El procedimiento de inscripción en este registro constará de una fase previa y de una fase de inscripción definitiva.

A la solicitud de inscripción previa se acompañará, al menos, el acta de puesta en servicio provisional para pruebas, el contrato técnico con la empresa distribuidora o, en su caso, contrato técnico de acceso a la red de transporte. Tendrá una validez de 3 meses desde su notificación hasta la solicitud de la inscripción definitiva, aunque podrá prorrogarse por razones fundadas.

El contrato técnico con la empresa distribuidora reflejará, como mínimo, los siguientes apartados:

- Puntos de conexión y medida, características de los equipos de control, conexión, seguridad y medida.
- Características cualitativas y cuantitativas de la energía cedida.
- Causas de rescisión o modificación del contrato.
- Condiciones de explotación de la interconexión.
- Condiciones económicas.
- Cobro de la tarifa regulada o prima y el complemento por energía reactiva por la energía entregada por el titular a la distribuidora. El pago debe realizarse dentro del período máximo de 30 días posteriores a la recepción de la factura.

Posteriormente, la solicitud de inscripción definitiva tendrá que incluir:

- Documento de opción de venta de la energía producida.
- Certificado emitido por el encargado de la lectura, que acredite el cumplimiento de lo dispuesto en el Reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico, aprobado por el RD 1110/2007, de 24 de agosto.
- Informe del operador del sistema, o del gestor de la red de distribución en su caso, que acredite la adecuada conexión y el cumplimiento de los requisitos de información, técnicos y operativos establecidos en los procedimientos de operación, incluyendo la adscripción a un centro de control de generación (instalaciones de potencia superior a 10 MW).



Planta geotérmica ciclo "flash" de Taupo-Mokai (Nueva Zelanda)

- Acreditación del cumplimiento de los requisitos exigidos en el artículo 4 del RD 2019/1997, de 26 de diciembre, por el que se organiza y regula el mercado de producción de energía eléctrica, para los sujetos del mercado de producción.

Para las nuevas instalaciones de producción en régimen especial, el solicitante, antes de realizar la solicitud de acceso a la red de distribución deberá haber presentado un aval por una cuantía equivalente a

20€/kW instalado para todas las instalaciones (excepto las fotovoltaicas). La presentación de este resguardo será requisito imprescindible para la iniciación de los procedimientos de acceso y conexión a la red de distribución por parte del gestor de dicha red. El aval será cancelado cuando el peticionario obtenga el acta de puesta en servicio de la instalación.

5.2.4 Procedimiento de evaluación de impacto ambiental

En la actualidad, el procedimiento de evaluación de impacto ambiental está regulado por el nuevo Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos.

En esta nueva legislación, se va a distinguir entre “Órgano sustantivo” como aquel organismo de la Administración pública estatal, autonómica o local competente para autorizar o para aprobar los proyectos que deban someterse a evaluación de impacto ambiental y “Órgano ambiental” que será el órgano de la Administración Pública estatal o autonómica competente para evaluar el impacto ambiental de los proyectos.

La evaluación de impacto ambiental consiste en el conjunto de estudios y análisis técnicos que permiten estimar los efectos que la ejecución de un determinado proyecto puede causar sobre el medio ambiente.

La Declaración de Impacto Ambiental (DIA) es el pronunciamiento del Órgano ambiental competente, respecto a la conveniencia o no de realizar la actividad proyectada, y fija las condiciones que deban establecerse en orden a la adecuada protección del medio ambiente y los recursos naturales.

Se distinguen varios grupos para determinar la necesidad de aplicar el procedimiento de evaluación de impacto ambiental, destacando a continuación las actuaciones que afectan a la energía geotérmica:

- En el **Grupo I**, se incluyen los proyectos y actuaciones que han de someterse necesariamente a Evaluación de Impacto Ambiental:

- Líneas aéreas para transporte de energía, a más de 220 kV y longitud superior a 15 Km.

Asimismo, y dentro de este grupo, se consideran otras actuaciones cuando estén situadas en zonas sensibles (son las designadas en aplicación de las Directivas del Consejo de Europa, de conservación de las aves silvestres y de conservación de hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres o en humedales incluidos en el Convenio de Ramsar):

- Explotaciones y frentes de una misma autorización o concesión a cielo abierto de yacimientos minerales y demás recursos geológicos de las secciones A, B, C y D, cuyo aprovechamiento está regulado por la Ley de Minas y normativa complementaria, cuando la superficie de terreno afectado por la explotación supere las 2,5 hectáreas o la explotación se halle ubicada en terreno de dominio público hidráulico, o en la zona de policía de un cauce.

- Líneas aéreas para el transporte de energía eléctrica con una longitud superior a 3 Km.

- En el **Grupo II**, se incluyen los proyectos y actuaciones que sin estar incluidas en el Grupo I, deben someterse a Evaluación de Impacto Ambiental, cuando así lo decida el Órgano ambiental competente, en cada caso concreto, por lo que habrá que realizar la consulta:

- Perforaciones geotérmicas.

- Líneas aéreas para transporte de energía, con longitud superior a 3 Km.

En aquellos proyectos en los que la normativa de las Comunidades Autónomas, dentro del ámbito de sus competencias, ha establecido o fijado con umbrales de aplicación la necesidad de su sometimiento al proceso de evaluación de impacto ambiental, se les incluirá en el Grupo I, sin necesidad de nuevo estudio.

En cuanto a las competencias de formulación de la Declaración de Impacto Ambiental, el Ministerio de Medio Ambiente (concretamente, la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental) será órgano ambiental en relación con los proyectos que deban ser autorizados o aprobados por la Administración General del Estado, aunque será consultado preceptivamente el órgano ambiental de la comunidad autónoma. En cualquier otro caso, será órgano ambiental el que determine cada comunidad autónoma en su respectivo ámbito territorial.

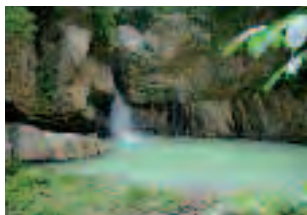
5.3 ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES

Los procesos de generación de electricidad, en sus diversas formas, constituyen una de las actividades de mayor impacto ambiental. Los daños más importantes derivados de la utilización, transformación y transporte de la energía están asociados a las emisiones atmosféricas que provocan el calentamiento global del planeta, la contaminación de los medios acuático y terrestre y la generación de residuos.

En el caso de la energía geotérmica, los impactos medioambientales son destacadamente menores que los existentes en las centrales térmicas de combustibles fósiles y nucleares, incluso menores en comparación con otras fuentes de energías renovables. Los residuos y emisión de gases que produce son muy bajos en comparación con otras fuentes térmicas de energía, además de ocupar un espacio reducido de terreno y su indudable carácter autóctono.



Planta geotérmica ciclo "flash" de Taupo-Mokai (Nueva Zelanda)



Aguas termales. Estados Unidos



Los principales impactos de los yacimientos geotérmicos vienen derivados de la propia naturaleza del recurso, por los compuestos salinos y los gases disueltos que lleva el fluido hidrotermal, que hay que tratar adecuadamente para evitar que contaminen la atmósfera, el terreno y las aguas circundantes.

A continuación se explican los distintos problemas que se pueden encontrar:

- Es habitual que el fluido geotérmico lleve gases disueltos como el dióxido de carbono CO_2 y sulfuro de hidrógeno, los cuales deben eliminarse porque alteran el normal funcionamiento de los equipos que componen la instalación como condensadores, intercambiadores de calor, etc. y algunos gases, como el sulfuro de hidrógeno, son tóxicos, por lo que no pueden liberarse directamente a la atmósfera.
- Es fundamental conocer la composición salina del recurso antes de diseñar la instalación geotérmica por distintas razones:
 - El fluido en el almacén geotérmico puede estar saturado de sales, por lo que al enfriarse estas sales precipitan y se pueden producir incrustaciones, lo que provoca problemas como estrangulación progresiva del pozo de extracción y mal funcionamiento de bombas, válvulas, etc.
 - Si el fluido tiene una alta concentración de sales y/o sustancias tóxicas, se deberá evitar cualquier tipo de vertido a las aguas superficiales.
- Hay yacimientos geotérmicos capaces de proporcionar energía durante muchas décadas, pero otros pueden llegar a agotarse y enfriarse, motivado en muchos casos por la inyección del agua fría en el acuífero. Los pozos de reinyección deben situarse a una distancia prudencial de los de producción, de forma aproximada la separación entre ambos es de 1-2 km a la profundidad del yacimiento, o bien, descargar a mayor profundidad o aguas abajo, si se conoce el sentido de la circulación de la corriente del agua subterránea.

El uso del doblete (pozo de extracción más pozo de reinyección) tiene la ventaja de mantener la presión en el acuífero, previene de posibles efectos causados por la extracción de fluido, como sismicidades inducidas, evita problemas ambientales debidos al vertido de aguas cargadas en sales y además permite extraer el calor almacenado en la roca matriz.

- Para el correcto dimensionamiento de la instalación, es muy importante realizar sondeos de exploración y reconocimiento para determinar la temperatura del yacimiento, el gradiente térmico, el flujo de calor, el nivel hidráulico y la calidad química del agua; con todo ello se determinará la ubicación final y dimensiones del sondeo de explotación, una vez verificado los modelos geológicos.

La perforación de pozos para extraer vapor o agua caliente es similar a la utilizada para petróleo, y las únicas diferencias derivan de las altas temperaturas que deben soportar los pozos asociados a un yacimiento geotérmico, lo que influye en el diseño del sistema de circulación del fluido, el tipo de cimentación de las paredes, el tipo de cable de perforación y el entubado del pozo.

Ventajas de la energía geotérmica

6



Ventajas de la energía geotérmica

6

6.1 BENEFICIOS MEDIOAMBIENTALES

La geotermia está considerada como una energía renovable, pues constituye una fuente inagotable de recursos energéticos. La palabra geotermia viene de las raíces latina “geo” que significa “tierra” y “termia” que significa calor, por lo que literalmente la energía geotérmica es el calor de la tierra, y éste es prácticamente ilimitado.

Por su carácter autóctono, el aprovechamiento de los recursos geotérmicos implicará la reducción del grado de dependencia del sector energético exterior, la reducción del consumo de fuentes de energía fósiles y el refuerzo de la seguridad del suministro.

Si se examina el ciclo de vida completo de la energía geotérmica, los impactos medioambientales son destacadamente menores que los existentes en las centrales térmicas de combustibles fósiles y nucleares, incluso menores en comparación con otras fuentes de energías renovables. Esto es fundamentalmente porque como la fuente de energía geotérmica está en el interior de la Tierra, los equipos de generación eléctrica son relativamente compactos, haciendo que la instalación completa sea más pequeña y, por tanto, el área de terreno requerido por las plantas geotérmicas es mucho menor que el que necesita otro tipo de plantas



Valle geotérmico de Krafla

de generación eléctrica. De forma aproximada, una planta térmica de gas ocuparía tres veces más espacio que una geotérmica y una de carbón hasta ocho veces más.

Asimismo, se trata de una energía limpia, pues ocasiona muy pocas emisiones de gases, que son significativamente bajos en comparación con otras fuentes térmicas de energía, como se puede apreciar en la siguiente tabla:

g/kWh	NO _x	SO ₂	CO ₂
Carbón	2,0	4,7	996
Petróleo	1,8	5,5	760
Gas Natural	1,3	0,1	551
Geotermia (flash)	0	0,1	27
Geotermia (ciclo binario y flash/binario)	0	0	0

Fuente: Geothermal Energy Association. Abril 2007

Otra de las principales ventajas de la energía geotérmica es que ofrece un flujo constante de producción de energía a lo largo del año, porque no depende de variaciones estacionales como lluvias, caudales de ríos, viento, sol, etc., como es el caso de otras fuentes de energías renovables, lo cual es muy importante desde el punto de vista de la seguridad del suministro eléctrico; por lo que se la puede considerar como una energía sostenible.

En resumen, se trata de una energía autóctona, limpia, segura, de producción ininterrumpida y que utiliza un espacio reducido de terreno, permitiendo el aporte de electricidad a comunidades situadas en sitios remotos e inaccesibles.

En términos de sustitución, se estima que la energía almacenada en 1 km³ de roca caliente a 250°C equivale a 40 millones de barriles de petróleo.

Desde el punto de vista de los usos térmicos, tradicionalmente el sector residencial y de servicios ha consumido para estos fines gasóleo, electricidad, gas natural o gases licuados derivados del petróleo, todas ellas energías no renovables, caras y de alta dependencia del exterior, que conviene ahorrar y sustituir por otras energías alternativas.

El bajo nivel térmico de la demanda permite utilizar la energía geotérmica de baja temperatura, ya sea de manera directa o a través de bombas de calor que permiten incrementar el potencial energético de los pozos e incluso extraer calor de yacimientos de muy baja temperatura, que no serían explotables con métodos convencionales. Se trataría de una tecnología eficiente para calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria con unos importantes ahorros energéticos.

La Agencia de Protección Medioambiental de Estados Unidos ha evaluado las bombas de calor geotérmicas como la más eficiente de las tecnologías de calefacción y enfriamiento.

La gran ventaja de este tipo de sistemas es que las condiciones geológicas para su aprovechamiento son poco exigentes, ya que prácticamente se puede aprovechar este tipo de recursos energéticos del subsuelo en la totalidad del territorio, bien por la existencia de acuíferos someros o bien a través del propio subsuelo.



6.2 BENEFICIOS SOCIOECONÓMICOS

Numerosos estudios han demostrado que las instalaciones de producción de energía de fuentes renovables generan significativamente más puestos de trabajo que las tecnologías de generación convencionales.

Según la Geothermal Energy Association (GEA) de EE UU, los empleos generados por la energía geotérmica son generalmente estables, de larga duración, muy diversificados y de alta calidad.

La siguiente tabla contiene una comparativa entre los ratios de estimación de empleo generado en EE UU, para dos tipos de fuente de energía: la geotermia y el gas natural, durante las fases de construcción e instalación y operación y mantenimiento:

	Fase de construcción e instalación (trabajos/MW)	Fase de operación y mantenimiento (trabajos/MW)
Geotermia	4,0	1,7
Gas natural	1,0	0,1

Fuente: U.S. DOE (Junio 2006)



Vista general de la central geotérmica de Laguna Azul (Islandia)

Además, el avance de la energía geotérmica contribuiría al desarrollo regional, ya que en la mayoría de los casos los recursos geotérmicos tienden a estar localizados en áreas rurales con pocas oportunidades de empleo. Como la energía geotérmica debe ser explotada donde el recurso está localizado, la instalación de una central de generación

produciría unos beneficios socioeconómicos en zonas más desfavorecidas en forma de generación de empleo, estabilidad e ingresos.

Por tanto, el desarrollo de proyectos geotérmicos puede influir positivamente en la economía del país, en los siguientes aspectos:

- La creación de plantas geotérmicas genera nuevos puestos de trabajo, estables y de alta calidad.
- El uso de la energía geotérmica en la agricultura permite disponer de los productos en cualquier fecha del año y en unas condiciones óptimas, lo que influye en la capacidad de producción del país y en el precio del producto final.
- Esta energía es autóctona y permitiría reducir la dependencia energética de otros países, así como del petróleo, gas, etc. y, por tanto, disminuir sus costes de importación.
- Puede contribuir a la disminución de las puntas de demanda de energía eléctrica, por sus aplicaciones en climatización y refrigeración.

Potencial geotérmico en España

7

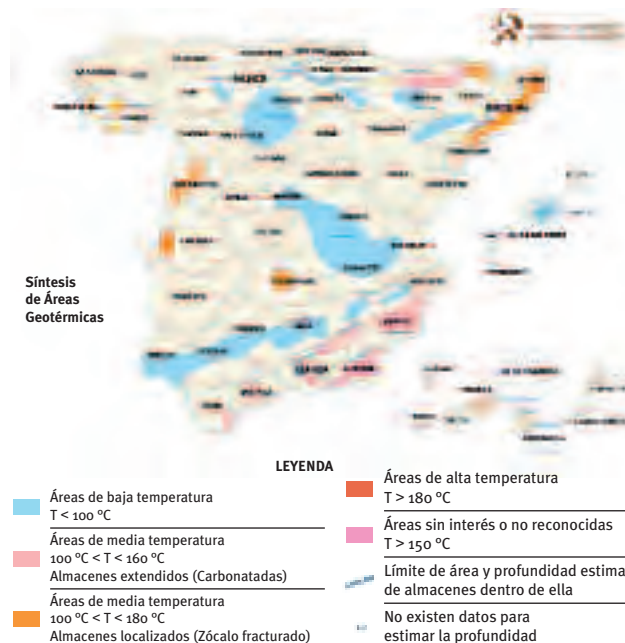


Potencial geotérmico en España

7

La existencia de numerosas fuentes termales a lo largo de la variada geografía de España es la señal evidente de la potencialidad que el subsuelo español posee en cuanto a recursos de energía geotérmica.

A partir de los trabajos de diversas entidades y, principalmente del Instituto Geológico y Minero de España (IGME) llevados a cabo a lo largo de los años 70 y 80, se reconocen diversas zonas con potencialidad geotérmica que se resumen en el siguiente mapa:



7.1 GEOTERMIA DE BAJA ENTALPÍA

Los recursos geotérmicos de baja entalpía ligados a almacenes sedimentarios profundos y con demanda importante en sus proximidades se sitúan fundamentalmente en la zona norte de Madrid, donde se localiza un almacén asociado a materiales detríticos (arenas y gravas) del relleno terciario a profundidades de 2.000-2.500 m, con temperaturas del orden de 80°C y caudales previsibles del orden de 150-200 m³/h. En la meseta del Duero se localizan cerca de las poblaciones de León, Burgos y Valladolid almacenes algo menos profundos (menos de 1.500 m) ligados a materiales del terciario en León y del Cretácico en Burgos y Valladolid, y caudales y temperaturas inferiores a las del norte de Madrid, aunque también con menores salinidades.

En el área prebética de Cuenca y Albacete se localizan almacenes profundos reconocidos únicamente a través de sondeos de hidrocarburos, en materiales carbonatados y con características que previsiblemente se podrían parecer a los resultados obtenidos en la cuenca de Madrid.

Son muy diversas las áreas intramontañas en las que se pueden localizar almacenes geotérmicos de baja temperatura a profundidades no superiores a los 1.000 m, salinidades bajas y niveles de temperatura entre 40 y 80°C que podrían ser utilizados para usos directos y que están ligados a diferentes materiales: granitos en los casos de Orense y Pontevedra, así como en El Vallés y Penedés, materiales sedimentarios principalmente calcáreos en zonas de Granada, Murcia, Mallorca o Cataluña o materiales volcánicos en la isla de Gran Canaria.

En lo que se refiere a recursos de muy baja entalpía, se puede indicar la amplia presencia de acuíferos muy someros en numerosas zonas de todo el territorio, en muchos casos con calidades químicas que no permiten su empleo en abastecimientos, por lo que su uso no consuntivo para aprovechamiento energético se plantea como una opción de gran interés.

En las zonas sin este tipo de acuíferos, la opción del aprovechamiento del calor del subsuelo mediante dispositivos horizontales o verticales dependerá fundamentalmente de los materiales presentes y de la disponibilidad de terrenos pero, en todo caso, significa una opción energética de gran interés con vistas a la solución de los problemas de climatización.

7.2 GEOTERMIA DE MEDIA/ALTA ENTALPÍA

Los recursos de media temperatura se han localizado en varias zonas de la península, bien a través de las investigaciones geotérmicas como también de la información suministrada por la exploración de hidrocarburos. Durante los años en que se desarrolló la investigación de los recursos geotérmicos en España, la rentabilidad de una operación geotérmica basada en los recursos de media temperatura era muy baja, por lo que no se dedicó un gran esfuerzo a la delimitación y valoración de estas zonas.

La situación actual es completamente diferente, debido no sólo a los precios y estrategias de la energía sino al desarrollo tecnológico habido en el último cuarto del siglo XX y que, previsiblemente, conllevará nuevos cambios en los años próximos rebajando el nivel térmico de los recursos que permiten producir electricidad de manera rentable.

A modo indicativo cabe señalar que este tipo de recursos se ha reconocido en diversas zonas de las Cordilleras Béticas, Galicia y Cataluña, así como en niveles sedimentarios puestos de manifiesto a través de investigaciones de hidrocarburos en Aragón y Madrid, si bien en ciertos casos puedan requerir la aplicación de las técnicas de EGS para incrementar la productividad de los almacenes.

En cuanto a recursos de alta temperatura, si bien no se descarta su presencia en algunas zonas de la península, los esfuerzos investigadores se centraron y se centran en Canarias,

fundamentalmente en la isla de Tenerife. Los primeros resultados obtenidos habían descartado su posible aprovechamiento debido a la baja permeabilidad de los materiales volcánicos allí presentes. Las tecnologías de EGS permiten albergar esperanzas de su aprovechamiento futuro.

7.3 GEOTERMIA DE ALTA TEMPERATURA (HDR/EGS)

Las actuales expectativas en cuanto a recursos situados en materiales calientes profundos con escasas o nulas manifestaciones en superficie son muy favorables para el contexto de la península ibérica.

La investigación de este tipo de yacimientos que el hombre ha de crear mediante la estimulación de zonas calientes y la creación de zonas permeables, difiere notablemente de la que se llevó a cabo en las décadas anteriores.

Apenas se ha iniciado la andadura en este largo camino en el que se prevén grandes oportunidades para la producción de electricidad mediante energía geotérmica.

Perspectivas futuras

8



Perspectivas futuras

8

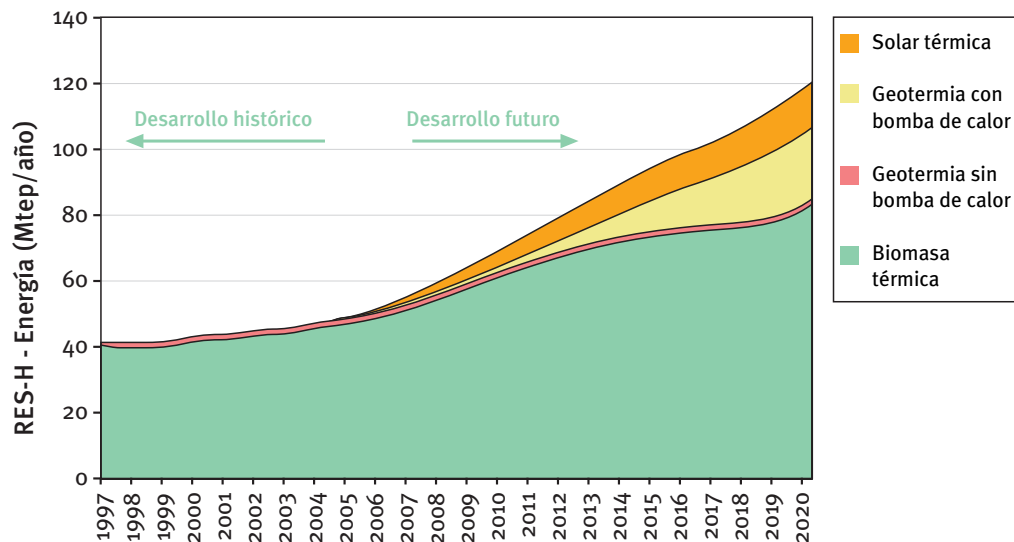
El actual Plan de Energías Renovables en España 2005-2010 establecía unos objetivos por áreas que permitieran alcanzar, en el año 2010, el objetivo de que las fuentes de energía renovables cubrieran como mínimo el 12% de la demanda total de energía primaria. En este Plan la geotermia no estaba considerada ni presentaba ningún objetivo específico para el año 2010.

En marzo de 2007, el Consejo Europeo, formado por Jefes de Estado y de Gobierno, aprobó el objetivo obligatorio de alcanzar la cuota del 20% de energías renovables en el consumo total de energía de la Unión Europea para el año 2020. Actualmente, se encuentra en la fase final de su aprobación una nueva Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, que establecerá un reparto del objetivo del 20% entre los Estados miembros. Está previsto que a España se le asigne el mismo objetivo, el 20% al 2020.

La situación de crisis energética que se vive actualmente a escala mundial, la exigencia de una drástica reducción en las emisiones de CO₂ y los avances tecnológicos hace necesario localizar nuevas fuentes alternativas de energía, respetuosas con el medio ambiente, lo que ha hecho que se vuelva a pensar en la energía geotérmica como un vector importante en el aprovisionamiento energético para el futuro.

La geotermia, por su carácter renovable y como energía de base por su capacidad de suministro permanente y su elevado potencial, se plantea como una opción con fuerte impulso y elevadas garantías.

En la Unión Europea, el crecimiento de las energías renovables previsto en el sector calefacción y refrigeración para el año 2020 duplica las cifras actuales. En estas previsiones destaca un crecimiento muy importante para la energía geotérmica con bomba de calor.



En cuanto a generación de energía eléctrica, la potencia instalada de energía geotérmica en la Unión Europea alcanza los 863 MWe a finales del año 2007, siendo Italia el principal país en recursos geotérmicos para producción de electricidad, seguido muy de lejos por Portugal, Francia, Alemania y Austria. Todos estos países están tratando de aumentar cada vez más su capacidad instalada, de esta forma Italia tiene planificado poner en servicio 100 MWe adicionales, Portugal 17 MWe y Francia 35 MWe (previsiones para el año 2010).

A nivel nacional, el RD 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial, establece que durante el año 2008 se iniciará el estudio de un nuevo Plan de Energías Renovables para su aplicación en el período 2011-2020, en el cual, tendrá cabida el aprovechamiento de la energía geotérmica, con unos objetivos energéticos concretos para el año 2020.

El territorio español cuenta con una estructura geológica propicia para la presencia en el subsuelo de recursos geotérmicos. Distintos fenómenos y hechos geológicos así lo demuestran: abundantes manifestaciones termales (sobre todo en la franja costera mediterránea), persistente actividad sísmica, formación de cordilleras en eras recientes con actividad tectónica hasta hoy, anomalía positiva de flujo de calor en el Levante y Sudeste y volcanismo reciente y actual (Islas Canarias, Olot, Sureste y Ciudad Real).

El escenario futuro previsto para el aprovechamiento de los recursos geotérmicos en España, en función de la clasificación clásica de los mismos, sería:

Yacimientos geotérmicos de alta temperatura: “Roca Caliente Seca” (HDR) o Sistemas Geotérmicos Estimulados (EGS)

En la actualidad, el máximo interés y la investigación geotérmica se concentra en la localización de estructuras favorables para el desarrollo de yacimientos geotérmicos de alta temperatura, aun sin la existencia de fluido o con muy baja permeabilidad. Se incluye en este tipo de exploración,

tanto los yacimientos geotérmicos de “roca caliente seca” (HDR) como aquellos yacimientos que, por su escasa permeabilidad, no habían sido objeto de explotación o sufrían una merma en su capacidad de producción, son los denominados Sistemas Geotérmicos Estimulados (EGS).

Para este tipo de yacimientos HDR/EGS, el objetivo en EE UU es alcanzar los 10.000 MW de potencia para el año 2020 y 100.000 MW para el año 2050, según el Laboratory for Energy and the Environment del Massachusetts Institute of Technology (MIT). Los elementos clave a realizar, recomendados por el MIT, para alcanzar estos ambiciosos objetivos son los siguientes:

- Investigaciones geológicas centradas en el recurso y la caracterización de yacimientos.
- Investigaciones científicas en el conocimiento del comportamiento del subsuelo rocoso para poder desarrollar métodos eficientes de aprovechamiento del calor.
- Investigaciones en técnicas de perforación avanzadas (*spallation and fussion drilling* y otras prometedoras tecnologías), que permitan reducir los costes de perforación de los sondeos.
- Campos de ensayo y de demostración en distintos emplazamientos con diferentes características geológicas.

El potencial en España para este tipo de yacimientos, aunque sin evaluar, parece ser significativo e importante. De hecho, en el último año han comenzado a aparecer empresas con el objetivo de desarrollar proyectos de geotermia HDR/EGS para producción de energía eléctrica y que, en algún caso concreto, cuentan ya con permisos de exploración.

En una primera aproximación, las zonas con posibilidad de recursos en este área podrían situarse en Cataluña, Islas Canarias, Madrid, etc.

A corto plazo, los trabajos a realizar se basarán en localizar las zonas favorables para el desarrollo de este tipo de yacimientos geotérmicos, para a medio plazo pasar a investigaciones más exhaustivas, basadas en sondeos exploratorios profundos en una zona preseleccionada. No es

previsible la instalación de una central geotérmica de “roca caliente seca” en un plazo de cinco años, pues independientemente del recurso es necesario estudiar todas las posibles consecuencias (sismicidad inducida) que se puedan derivar de la inyección de agua a grandes profundidades (3.000-5.000 m) para fracturar la roca.

Yacimientos geotérmicos de media temperatura para producción de energía eléctrica

A corto plazo, se plantea la búsqueda de recursos geotérmicos para la producción de electricidad e identificar las áreas con mayores posibilidades, realizando una estimación del potencial geotérmico de dichas áreas.

La prospección de hidrocarburos a elevadas profundidades ha llevado a las compañías de perforación a desarrollar técnicas y disponer de equipos capaces de lograr ese objetivo, lo que permite a la geotermia adecuar las nuevas tecnologías de perforación profunda a sus necesidades.

El desarrollo de turbinas de producción de electricidad a partir de fluidos a temperaturas no muy elevadas, producidas a partir de diversas fuentes energéticas, permite a la geotermia disponer de tecnologías para la producción de electricidad a partir de recursos geotérmicos de temperaturas notablemente inferiores a las que se precisaban años atrás.

Perforación de sondeo de 5 Km de profundidad en Basilea (Suiza)





Planta geotérmica ciclo binario de Mokai 2 (Nueva Zelanda)

En corto-medio plazo, se plantea la posibilidad de diseñar y desarrollar plantas piloto o proyectos de demostración en algunas de las zonas seleccionadas, una vez analizada la viabilidad técnica y económica de cada una (realización de sondeos exploratorios profundos, definición de las características básicas de la instalación, análisis de inversiones, costes e ingresos, etc.).

Yacimientos geotérmicos de baja y muy baja temperatura (GHP)

En la actualidad, España está experimentando un creciente auge por el desarrollo y aplicación de tecnologías sostenibles de alta eficiencia energética, como alternativas excepcionales a los sistemas convencionales de calefacción y refrigeración.

Con la entrada en vigor en marzo de 2006 del Código Técnico de la Edificación, se establece a todas las obras de edificación de nueva construcción unas exigencias básicas, entre las que se encuentra el ahorro de energía.

El objetivo del requisito básico “Ahorro de energía” consiste en conseguir un uso racional de la energía necesaria para la utilización de los edificios. El CTE permitiría utilizar otras soluciones diferentes o alternativas a las especificadas siempre que se justificara que el edificio proyectado cumple las exigencias básicas de ahorro energético.

Por estos motivos, se está produciendo un incipiente despegue en aprovechamientos geotérmicos de muy baja temperatura a través de la bomba de calor, tanto desde el punto de vista del usuario final como de los promotores inmobiliarios y del sector industrial, por tratarse de una tecnología eficiente para calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria con unos destacados ahorros energéticos. La Agencia de Protección Medioambiental de Estados Unidos ha evaluado las bombas de calor geotérmicas (conocidas como GHP's) como la más eficiente de las tecnologías de calefacción y enfriamiento.

Las bombas de calor geotérmicas suelen aplicarse a instalaciones domésticas y comerciales de pequeña y mediana potencia. La instalación doméstica típica de bomba de calor geotérmica tendrá una potencia de 12 kWt y funcionará entre 1.000 y 1.500 horas anuales equivalentes, mientras que para una instalación comercial o institucional la potencia típica es de 150 kWt.

Además de lo anteriormente expuesto, también favorece la implantación de este tipo de instalaciones dos tipos de factores: por un lado, en el mercado existe una amplia oferta de bombas de calor de distintos tipos, con un amplia gama de potencias, de precio asequible, con alta fiabilidad y que no requiere personal altamente cualificado para su instalación y mantenimiento; y, por otro lado, el potencial en recursos geotérmicos de baja temperatura y muy baja temperatura es muy elevado, ya que existen muchas zonas potencialmente utilizables, mucho más abundantes y extensas, que las de alta y media temperatura. Por todo ello, el desarrollo en España de esta área será muy importante en un futuro próximo.

Saber más

9



Saber más

9



Géiser

9.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA GEOTERMIA

La presencia de volcanes, géiseres, fuentes termales y otras manifestaciones termales como géiseres, fumarolas o solfataras han sido muy conocidos desde antiguo y considerados habitualmente como anómalos caprichos de la naturaleza. Estos fenómenos debieron inducir a nuestros antepasados a suponer que el interior de la Tierra estaba caliente.

En los siglos XVI y XVII se empezaron a realizar las primeras mediciones en pozos y minas de algunos cientos de metros de profundidad, que revelaron que la temperatura aumenta con la profundidad de forma general en todo el planeta.

Hacia 1870, se utilizaron modernos métodos científicos para estudiar el régimen termal de la Tierra, pero no fue hasta el siglo XX, y el descubrimiento del calor radiogénico, cuando se comprendió el fenómeno como un balance térmico.

Además de este calor, están otras posibles fuentes de calor como puede ser la energía primordial de la creación planetaria. Estudios y teorías más recientes han demostrado que no había equilibrio entre el calor radiogénico generado en el interior de la Tierra y el calor disipado al espacio desde ésta, y que nuestro planeta está enfriándose, aunque este proceso es muy lento.

Es a principios del siglo XIX cuando los fluidos geotermales comenzaron a ser explotados por su contenido energético. En este período se instaló en Italia una industria química, en la zona conocida hoy en día como Larderello, para extraer el ácido bórico mediante evaporación de las aguas calientes boratadas. Inicialmente este proceso se realizaba usando como combustible la madera de los bosques, hasta que en 1827 Francisco Larderel desarrolló un sistema para utilizar el calor de los fluidos en el proceso de evaporación, en lugar de quemar la madera de bosques en rápido agotamiento. Entre 1910 y 1940 el vapor de baja presión fue utilizado para calefacción en invernaderos, edificios industriales y residenciales, en esta parte de Toscana. El primer ensayo para generar electricidad a partir del vapor geotérmico se produce en 1904 en la zona de Larderello.



Primera central geotérmica de generación de electricidad (1904, Larderello)

En 1911 se construye en el conocido como Valle del Diablo (así denominado por el aspecto del paisaje dominado por el vapor humeante en toda la zona) la primera planta de producción de energía eléctrica mediante geotermia del mundo. Así continuó durante varias décadas, siendo Larderello el único lugar del mundo en el que la geotermia servía para la producción de electricidad. Su éxito demostró el importante valor industrial de la energía geotérmica y marcó el comienzo de una forma de explotación que se ha desarrollado de forma significativa en el mundo.



Vistas de sondeos geotérmicos de la antigua planta geotérmica de Larderello



Central geotérmica actual de Larderello (Italia)

Durante esta época otros países empezaron a desarrollar sus recursos geotérmicos: en 1919 Japón comienza a perforar los primeros pozos geotermiales en Beppu; en 1921 se comienzan los pozos en The Geyser (California-EE UU) y en el Tatio (Chile); en 1928, Islandia, país pionero también en la utilización de la energía geotérmica, comienza la explotación de sus fluidos geotermiales para calefacción residencial. Aún tardaría varios años en construirse plantas geotérmicas para usos eléctricos fuera de la zona de Larderello, ya que es en 1958 cuando se construye en Nueva Zelanda una planta de producción eléctrica.

La generación de energía eléctrica en Larderello comenzaría rápidamente su desarrollo comercial. Cabe destacar que Italia posee los principales yacimientos geotérmicos de alta temperatura dentro de la Unión Europea. En la actualidad, un siglo después de instalar su primera planta, presenta una potencia instalada de 790 MW (más del 96% del total de la Unión Europea: 822,1 MW), distribuidas en tres zonas: Larderello (543 MW), Travale Radicondoli (160 MW) y Monte Amiata (88 MW).

Es tras la crisis energética de los años setenta cuando el interés por esta fuente renovable de energía se desarrolla en todo el mundo. Entre 1975 y 1995, el crecimiento medio de la electricidad geotérmica alcanza el 9% anual, mientras los usos directos crecen un 6% anual, lo que supone unas altas tasas en comparación con las de otras fuentes de energía.

9.2 CURIOSIDADES

- La palabra géiser se deriva de la palabra Geysir que es el nombre de la más antiguamente conocida manifestación de este tipo y que, a su vez, proviene del verbo islandés “gjósa”, que significa erupcionar. El conocido Gran Geysir interrumpió sus erupciones ya hace años y hoy aparece como una laguna humeante.





Parque Nacional de Yellowstone

A poca distancia de esta histórica manifestación se puede observar hoy en día la erupción de un nuevo géiser, en parte hecho por el hombre, que proporciona un atractivo turístico en la zona.

- Un géiser consiste básicamente en una cavidad estrecha próxima a la superficie, que se va rellenando constantemente con fluido geotérmico a alta temperatura (superior a la de ebullición del agua).

A medida que la cavidad del géiser se llena con el fluido geotérmico, el agua más superficial se va enfriando. Sin embargo, debido a lo estrecho de la cavidad, no es posible que se produzca un enfriamiento convectivo de todo el fluido. El agua de la superficie, más fría, sufre el empuje del agua más caliente del interior, formando una gran burbuja similar a la tapa de una olla a presión. El fluido en el interior, a mayor presión, se va sobrecalentando y se mantiene a temperaturas superiores a su punto de ebullición. Finalmente, la temperatura en el fondo del géiser alcanza el punto de ebullición: las burbujas del vapor ascienden hasta la superficie y forman una burbuja de gases. Al atravesar la parte superior del géiser o cráter del mismo, una parte del fluido se desborda y fluye hacia fuera, reduciendo la anchura de la columna y la presión del fluido dentro del géiser. Esta expansión debida a la liberación de presión produce un efecto inmediato que es la mezcla del agua sobrecalentada y el vapor; la espuma que se crea

en la mezcla del vapor y el agua caliente es expulsada hacia el exterior con gran fuerza. La erupción hace decrecer la presión en el géiser, y el agua continúa hirviendo de modo vigoroso. La temperatura del fluido finalmente decae y el géiser inicia un nuevo ciclo de erupción.

- El primer espacio natural protegido legalmente fue Yellowstone (1872). Este Parque Nacional del noroeste de EE UU tiene bosques, cañones, lagos de agua caliente, géiseres... y la mayor concentración de fenómenos volcánicos del planeta. Es famoso el géiser Old Faithful (Viejo Fiel) que cada hora y media exacta expulsa agua a una altura de 50 metros, por la presión que alcanza al ser calentada.
- En 1913, se construyó la primera central para la generación de energía comercial a partir de recursos geotérmicos en Larderello (Italia), aunque el primer ensayo se realizó en 1904.
- En EE UU, la producción de electricidad comenzó en “The Geysers” en 1960, unas 90 millas al norte de San Francisco, siendo el yacimiento de vapor seco más grande del mundo.
- En EE UU la temperatura de más de 300.000 hogares, escuelas y oficinas es mantenida confortable mediante el uso de bombas de calor geotérmicas y cientos de miles más son utilizados en el mundo. La Agencia de Protección Medioambiental de Estados Unidos ha evaluado las GHPs como la más eficiente de las tecnologías de calefacción y enfriamiento.
- El primer sistema moderno de calefacción de distrito fue desarrollado en Boise Idaho en 1892.
- Actualmente, el sistema de calefacción y agua caliente sanitaria más grande del mundo está en Reykjavick, Islandia. Durante la primera mitad del siglo XX, se realizaron multitud de perforaciones que aprovechaban el agua caliente geotérmica para calefacción de viviendas; finalmente, todos estos sondeos se interconectaron a una red única alimentada por el fluido geotérmico, proveniente de una central geotermoeléctrica situada en la península de los Reykjanes, que se almacena en unos grandes depósitos situados en una pequeña colina situada al suroeste de la ciudad. En el interior de lo que sería uno de los depósitos se localiza un museo y en la cúpula central se localiza un restaurante.





En el exterior de los depósitos se ha construido un géiser artificial que usa el agua a 125°C del depósito y que ilustra perfectamente cómo funcionan este tipo de manifestaciones.

Desde que comenzaron a utilizar la energía geotérmica como primer recurso de calor en Reykjavik, de por sí ya muy contaminada, ha empezado a ser una de las ciudades más limpias del mundo. Toda la ciudad de Reykjavik utiliza la geotermia para la calefacción de viviendas y emplea el agua geotérmica directamente en la red de agua caliente sanitaria, por lo que se aprecia un ligerísimo olor debido al azufre contenido en sus aguas.

- El calor geotérmico es usado de algunas formas muy creativas; por ejemplo, en las Cataratas Klamath, Oregon, donde existe uno de los sistemas de calefacción de distrito más grandes de Estados Unidos, el agua geotérmica es también conducida bajo las carreteras y caminos vecinales para mantenerlos libres del agua helada (el coste de utilizar cualquier otro método para mantener el agua corriendo constantemente a través de las frías tuberías sería prohibitivo). Y en Nuevo México y otros lugares, filas de tuberías llevan agua geotérmica bajo tierra, donde crecen flores y vegetales. Esto asegura que la tierra no se hiele, proporcionando una estación de crecimiento más larga y un crecimiento más rápido de los productos agrícolas que no son protegidos por el calor de un invernadero.
- En enero de 2008, el History Channel organizó el concurso “Ciudad del Futuro” donde había que imaginar cómo serían

las ciudades de San Francisco, Washington D.C. y Atlanta en el año 2108. El ganador fue el estudio de arquitectura Iwamoto Scott que presentó una ciudad que aprovecha el agua y la energía geotérmica. El San Francisco del s. XXII, según Iwamoto Scott, tendría unas estructuras geotérmicas en forma de champiñón (Geothermal Mushroom) que extraerían calor y agua del interior de la Tierra.



9.3 GLOSARIO DE TÉRMINOS

Alta tensión: tensión por encima de 1.000 V.

Acuicultura: técnica de cultivo de especies acuáticas, vegetales y animales.

Bomba de calor geotérmica: dispositivo o máquina que cede y absorbe calor del terreno a través de un conjunto enterrado de tuberías (sistema de intercambio), aprovechando la ventaja de la temperatura constante del interior de la Tierra. En modo calefacción, el calor es extraído del terreno y bombeado hacia las superficies radiantes del edificio; en modo refrigeración, el calor es extraído del edificio y disipado contra el terreno.

Doblete geotérmico: sistema de dos sondeos para explotación de recursos geotérmicos. Uno de los sondeos se usa para la extracción del fluido y el otro para su inyección en el yacimiento geotérmico una vez extraído el calor.

Central eléctrica: cada una de las diferentes instalaciones donde se produce, por diferentes medios, energía eléctrica.

COP (Coeficiente de rendimiento): relación entre la energía útil (calor suministrado por la bomba de calor) y la energía consumida (energía necesaria para hacer funcionar el compresor).

Corriente eléctrica: flujo de electricidad que pasa por un material conductor. Su intensidad se mide en amperios (A).

Energía eléctrica: energía que resulta de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos, lo que permite establecer una corriente eléctrica entre ambos (al ponerlos en contacto por medio de un conductor eléctrico) y obtener trabajo.

Energía geotérmica: energía calorífica contenida en el interior de la Tierra.

Energía renovable: fuente de energía cuyo potencial es inagotable por provenir de la energía que llega a nuestro planeta de forma continua como consecuencia de la radiación solar, del calor interno de la Tierra o de la atracción gravitatoria del Sol y de la Luna. Son la energía solar, eólica, hidráulica, geotermia, mareomotriz y biomasa.

Falla: estructura geológica que consiste en una fractura de la roca, a lo largo de la cual ha habido un perceptible deslizamiento.

Fumarola: emanación de gases y vapores a altas temperaturas, que salen por pequeñas grietas en zonas de actividad volcánica.

Géiser: escape natural de los yacimientos geotérmicos a la superficie.

Generador (o alternador): máquina, basada en la inducción electromagnética, que se encarga de transformar la energía mecánica de rotación, que proporciona la turbina, en energía eléctrica.

Geotermia: conjunto de técnicas utilizadas para la exploración, evaluación y explotación de la energía geotérmica.

Gradiente geotérmico: es el incremento de temperatura desde la superficie hacia el interior de la Tierra, que origina un continuo flujo de calor desde el interior a la superficie.

Impacto ambiental: alteración favorable (impacto positivo) o desfavorable (impacto negativo) en el medio natural producido por una acción o actividad.

Interruptor: aparato o sistema de corte, destinado a efectuar la apertura y/o cierre de un circuito eléctrico.

Línea eléctrica: instalación cuya finalidad es la transmisión de energía eléctrica, la cual se realiza con elementos de conducción (conductores, aisladores y accesorios) y elementos de soporte (postes, fundaciones y puesta a tierra).

Prospección geotérmica: conjunto de técnicas geológicas, geoquímicas, geofísicas, etc., empleadas para la exploración de los recursos geotérmicos.

Puntos calientes (“hot spots”): manifestaciones volcánicas en el interior de las placas, donde surge el magma que asciende por flotación desde el interior del manto.

Recurso geotérmico: es aquella parte de la energía geotérmica que puede ser utilizada por el hombre.

Régimen especial: conjunto de instalaciones de producción de energía eléctrica, de potencia instalada igual o inferior a 50 MW, procedentes de energías renovables, cogeneración y residuos.

Rotor (o inductor móvil): parte del alternador que se encarga de generar un campo magnético variable al girar arrastrado por la turbina.

Sondeos de exploración: sondeos pequeños (50-70 mm de diámetro final), que se perforan habitualmente a corona con extracción de testigo continuo. Sirven para verificar los modelos elaborados con la exploración superficial y en ellos se mide la temperatura en el yacimiento, gradiente de temperatura, flujo de calor, calidad química del fluido, etc.

Sondeos de explotación: sondeos para extraer vapor o agua caliente, de diámetro en función de la producción esperada (100-550 mm) y profundidad variable desde algunos centenares de

metros hasta los 6.000 m. La perforación se realiza a rotación con técnicas similares a la utilizada en los sondeos petrolíferos y el fluido utilizado suele ser lodo o aire comprimido. Puede ser preciso instalar bombas para la extracción del fluido.

Sondeos de inyección: sondeos de diámetro suficiente para el aprovechamiento de los recursos geotérmicos, a través de los cuales, se reinyecta el fluido geotérmico en el yacimiento tras haber aprovechado su nivel energético.

Subestación eléctrica: conjunto de equipos e instalaciones necesarias para la transformación de la tensión de la corriente eléctrica. Se ubica en las inmediaciones de la central para elevar la tensión a la salida del generador, para realizar el transporte de energía eléctrica a voltajes elevados para reducir las pérdidas resistivas.

Técnicas geológicas: consiste en un trabajo fundamentalmente de campo con reconocimiento de detalle de los diferentes materiales geológicos presentes en una zona. Las más habituales son: teledetección, estratigrafía, mineralogía, volcanismo y tectónica regional y local. Se complementa con el reconocimiento hidrogeológico de la zona, con la identificación de manifestaciones superficiales y recogida de muestras de agua.

Técnicas geoquímicas: consiste en el muestreo y análisis de aguas y gases de manantiales y otras manifestaciones superficiales, a partir de las cuales puede obtenerse información sobre las formaciones por las que ha circulado el agua y las condiciones de equilibrio del fluido geotérmico. Las más habituales son: análisis químicos, análisis de los elementos volátiles y análisis isotópicos.

Técnicas geofísicas: existen ciertas magnitudes cuyos valores en la superficie de la Tierra están relacionados con determinados parámetros físicos de las rocas del subsuelo. Estos parámetros son la resistividad eléctrica, la densidad y la velocidad de propagación de las ondas sísmicas. Los métodos

más utilizados son eléctricos, electromagnéticos, gravimétrico, magnéticos, magnetotélúricos, sísmicos y termométricos. Mediante estas técnicas se puede conocer la distribución y ubicación de los diferentes materiales existentes en el subsuelo antes de llegar a realizar una perforación.

Tensión: potencial eléctrico de un cuerpo. La diferencia de tensión entre dos puntos produce la circulación de corriente eléctrica cuando existe un conductor que los vincula. Se mide en Voltios (V).

Tensión nominal: valor convencional de la tensión con la que se denomina un equipo o instalación y para los que ha sido previsto su funcionamiento y aislamiento.

Transformador de potencia: equipo que permite aumentar la tensión de trabajo del generador al nivel de la línea eléctrica existente sin excesivas pérdidas.

Turbina de vapor: turbomáquina motora, que transforma la energía de un flujo de vapor en energía mecánica a través de un intercambio de cantidad de movimiento entre el fluido de trabajo (entiéndase el vapor) y el rodete, órgano principal de la turbina, que cuenta con palas o álabes, los cuales tienen una forma particular para poder realizar el intercambio energético. Ésta energía es aprovechada por un generador para producir electricidad.

Yacimiento geotérmico: es el área geográfica donde se cumplen las condiciones necesarias para que se pueda explotar económicamente la energía geotérmica existente en el subsuelo.

Yacimientos geotérmicos de alta temperatura: son aquellos en los que, además de existir una roca permeable que almacena el fluido a alta temperatura (mayor de 150°C) junto a un foco de calor activo que asegure la alta temperatura, existe una cobertera impermeable, superpuesta al almacén, que evita o minimiza el escape del fluido y la disipación de la energía hacia la superficie. Se sitúan en las zonas geológicamente activas de la corteza.

Yacimientos geotérmicos de media temperatura: son aquellos en los que el fluido se encuentra a temperaturas menos elevadas, entre 100°C y 150°C, por tanto, la conversión vapor-electricidad se realiza con un rendimiento menor, y debe explotarse por medio de un fluido volátil. Estas fuentes permiten explotar pequeñas centrales de generación eléctrica y uso térmico en calefacción y refrigeración en sistemas urbanos.



Prueba de producción de sondeos geotérmicos cerca de Hellisheidi (Islandia)

Yacimientos geotérmicos de baja temperatura: son aquellos en los que existen rocas permeables, en general a profundidades entre 1.500 m y 2.500 m, con un fluido a temperaturas entre 60°C y 100°C y, además, una demanda energética de suficiente magnitud en las proximidades. Es aprovechable en zonas más amplias, como las cuencas sedimentarias, y es debida al gradiente geotérmico.

Yacimientos geotérmicos de muy baja temperatura: no requieren gradientes geotérmicos elevados ni estructuras geológicas o condiciones hidrogeológicas particulares como los yacimientos de media y alta temperatura. La tecnología actual, a través de la bomba de calor, permite aprovechar el recurso geotérmico en medios con temperaturas comprendidas entre 10°C y 25°C.

Anexos

10



Anexos

10

ANEXO I. LEGISLACIÓN

Legislación europea

- COM (2005) 627 final, diciembre de 2005. Comunicación de la Comisión sobre el apoyo a la electricidad generada a partir de fuentes de energía renovables.
- COM (2005) 265 final, junio de 2005. Libro Verde sobre eficiencia energética o cómo hacer más con menos.
- Directiva 2003/54/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de junio de 2003, sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad.
- Directiva 2001/77/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la promoción de la electricidad generada a partir de fuentes de energía renovables en el mercado interior de la electricidad.
- Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre, por el que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.
- COM (97) 599 final, noviembre de 1997. “Energía para el futuro: fuentes de energía renovables. Libro Blanco para una estrategia y un plan de acción comunitarios”.

Legislación nacional

- Real Decreto 223/2008, de 15 de febrero, por el que se aprueba el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09.
- Real Decreto 222/2008, de 15 de febrero, por el que se establece el régimen retributivo de la actividad de distribución de energía eléctrica.
- Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos (BOE nº 23, de 26/01/08).
- Orden ITC/3860/2007, de 28 de diciembre, por la que se revisan las tarifas eléctricas a partir del 1 de enero de 2008 (BOE nº 312, de 29/12/07).
- Real Decreto 1110/2007, de 24 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico.
- Ley 17/2007, de 4 de julio, por la que se modifica la Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico, para adaptarla a lo dispuesto en la Directiva 2003/54/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de junio de 2003, sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad.
- Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial (BOE nº 126, de 20/05/07).
- Real Decreto-Ley 7/2006, de 23 de junio, por el que se adoptan medidas urgentes en el sector energético.
- Real Decreto-Ley 3/2006, de 24 de febrero, por el que se modifica el mecanismo de casación de las ofertas de venta y adquisición de energía presentadas simultáneamente al mercado diario e intradiario de producción por sujetos del sector eléctrico pertenecientes al mismo grupo empresarial (BOE nº 53, de 03/03/06).

- Real Decreto 1747/2003, de 19 de diciembre, por el que se regulan los sistemas eléctricos insulares y extrapeninsulares.
- Ley 54/2003, de 12 de diciembre, de reforma del marco normativo de la prevención de riesgos laborales (BOE nº 298, de 13/12/2003).
- Real Decreto 1432/2002, de 27 de diciembre, por el que se establece la metodología para la aprobación o modificación de la tarifa eléctrica media o de referencia.
- Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Aguas.
- Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica (BOE nº 310, de 27/12/00).
- Real Decreto-Ley 6/2000, de 23 de junio, de Medidas Urgentes de Intensificación de la Competencia en Mercados de Bienes y Servicios (BOE nº 151, de 24/06/00).
- Real Decreto-Ley 6/1999, de 16 de abril, de Medidas Urgentes de Liberalización e Incremento de la Competencia.
- Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico (BOE nº 285, de 28/11/97).
- Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción.
- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.
- Real Decreto 863/1985, de 2 de abril, por el que se aprueba el Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera (BOE nº 140, de 12/06/1985 y BOE nº 302, de 18/12/1978).
- Ley 54/1980, de 5 de noviembre, de modificación de la Ley 22/1973, de 21 de julio, de Minas.

- Real Decreto 2857/1978, de 25 de agosto por el que se aprueba el Reglamento General para el Régimen de la Minería (BOE nº 295, de 11/12/1978 y BOE nº 296, de 12/12/1978).
- Ley 22/1973, de 21 de Julio, de Minas (BOE nº 176, de 24/07/1973).

Legislación autonómica

Andalucía

Ley 7/2007, de la Presidencia de la Junta de Andalucía, de 9 de julio de 2007, de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental (BOJA nº 143, de 20/07/2007).

Aragón

Ley 7/2006, de 22 de junio, del Presidente de la Comunidad Autónoma de Aragón, de protección ambiental de Aragón (BOA nº 81, de 17/07/2006).

Canarias

Decreto 182/2006, de 12 de diciembre, de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación Territorial, por el que se determinan el órgano ambiental competente y el procedimiento de autorización ambiental integrada (BO Canarias nº 246, de 21/12/2006).

Ley 11/1997, de 2 de diciembre, de regulación del Sector Eléctrico Canario (BOC nº 21, de 28/01/98).

Ley 11/1990, de 13 de julio, de prevención de Impacto biológico (BO Canarias nº 92, de 23/07/1990).

Ley 12/1990, de 26 de julio, de Aguas.

Cantabria

Ley 17/2006, del Parlamento de Cantabria, de 11 de diciembre, de control ambiental integrado (BOE nº 15, de 17/12/2006).

Castilla-La Mancha

Ley 4/2007, de 8 de marzo, de Evaluación de Impacto Ambiental en Castilla-La Mancha.

Ley 1/2007, de 15 de febrero, de fomento de las Energías Renovables e incentivación del Ahorro y Eficiencia Energética en Castilla-La Mancha.

Castilla y León

Ley 8/2007, de 24 de octubre, de modificación de la Ley 11/2003, de 8 de abril, de Prevención Ambiental de Castilla y León.

Ley 3/2005, de 23 de mayo, de modificación de la Ley 11/2003, de 8 de abril, de Prevención Ambiental de Castilla y León.

Decreto 127/2003, de 30 de octubre, por el que se regulan los procedimientos de autorizaciones administrativas de instalaciones de energía eléctrica en Castilla y León (BOCyL de 5/11/03).

Ley 11/2003, de 8 de abril, de Prevención Ambiental de Castilla y León (BOCyL nº 71, de 14/04/2003).

Decreto Legislativo 1/2000, de 18 de mayo, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental y Auditorías Ambientales de Castilla y León (BOCyL nº 209, de 27/10/00).

Orden de 23, de mayo de 1995, de la Consejería de Economía y Hacienda, por la que se crea el Registro de Instalaciones de Producción en Régimen Especial.

Cataluña

Decreto 114/1988, de 7 de abril de 1988, de Evaluación de Impacto Ambiental. (DOGS nº 1000, de 3/06/88).

Ley 13/1987, de 19 de julio, de seguridad de las instalaciones industriales.

Decreto 351/1987, de 23 de noviembre, por el que se determinan los procedimientos administrativos aplicables a las instalaciones eléctricas.

Comunidad Valenciana

Ley 6/2006, de 5 de mayo, de la Generalitat, de Prevención de la contaminación y calidad ambiental.

Decreto 127/2006, de 15 de septiembre, del Consell, por el que se desarrolla la Ley 6/2006, de 5 de mayo, de la Generalitat, de Prevención de la contaminación y calidad ambiental.

Galicia

Orden de 7 de septiembre de 2007 sobre avales de acceso a la red de distribución de energía eléctrica.

Decreto 442/1990, de 13 de septiembre de 1990, de Evaluación de Impacto Ambiental (DOG nº 188, de 25/09/90).

La Rioja

Ley 5/2002, de 8 de octubre, de Protección del Medio Ambiente de La Rioja.

Madrid

Ley 2/2002, de 19 de junio, de Evaluación Ambiental de la Comunidad de Madrid (BOCM nº 154, de 01/07/02).

Murcia

Orden de 23 de marzo de 2004, de la Consejería de Economía, Industria e Innovación, por la que se regula el procedimiento de priorización de acceso y conexión a la red eléctrica para evacuación de energía de las instalaciones de producción en régimen especial.

Orden de 9 de septiembre de 2002, de la Consejería de Ciencia, Tecnología, Industria y Comercio, por la que se adoptan medidas de normalización en la tramitación de expedientes en materia de industria, energía y minas (BO Murcia nº 218, de 19/09/2002).

Resolución de 5 de julio de 2001, de la Dirección General de Industria, Energía y Minas, por la que se desarrolla la Orden de 25 de abril de 2001 sobre procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica de tensión superior a 1 kV.

Orden de 25 de abril de 2001, de la Consejería de Ciencia, Tecnología, Industria y Comercio, por la que se establecen procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica de tensión superior a 1 kV.

Ley 1/1995, de Protección del Medio Ambiente de la Región de Murcia (BOM nº 78, de 03/04/95). (Corrección de errores: BOM nº 83, de 08/04/95).

Navarra

Ley Foral 4/2005, de 22 de marzo, de intervención para la protección ambiental.

Decreto Foral 129/1991, de 4 de abril, por el que se establecen normas de carácter técnico para las instalaciones eléctricas con objeto de proteger a la avifauna.

País Vasco

Ley 1/2006, de 23 de junio, de Aguas.

Orden de 30 de noviembre de 2001, del Consejero de Industria, Comercio y Turismo, sobre Control y Seguimiento en las plantas de producción de energía eléctrica en Régimen Especial.

Ley 3/1998, de 27 de febrero, General de Protección del Medio Ambiente del País Vasco (BOPV nº 59, de 27/03/98).

ANEXO II. DIRECCIONES DE INTERÉS

Agencias y organismos de gestión de la energía en España

Agencia Nacional

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía,
IDAE
C/ de la Madera, 8
28004 MADRID
Tel.: 914 564 900. Fax: 915 230 414
www.idae.es

Asociaciones de ámbito nacional

Asociación de Agencias Españolas de Gestión
de la Energía, EnerAgen
C/ de la Madera, 8
28004 MADRID
Tel.: 914 564 900. Fax: 915 230 414

Agencias y organismos de ámbito regional, provincial, comarcal o local

Andalucía

AAE

Agencia Andaluza de la Energía
C/ Isaac Newton, s/n.
Isla de la Cartuja
41092 SEVILLA
Tel.: 954 786 335. Fax: 954 786 350
informacion.aae@juntadeandalucia.es
www.agenciaandaluzadelaenergia.es

AGENER

Agencia de Gestión Energética de la Provincia de Jaén
Paseo de la Estación, 10 - 7º A
23001 JAÉN
Tel.: 953 294 750. Fax: 953 294 751
agener@promojaen.es
www.agener.es

ALES

Agencia Local de la Energía de Sevilla
Edificio Expo. C/Inca Garcilaso, s/n.
Isla de la Cartuja
41092 SEVILLA
Tel.: 954 467 830. Fax: 954 460 632
info.agencia-energia@sevilla.org
www.agencia-energia-sevilla.com

AGMEM

Agencia Municipal de la Energía de Málaga
Manuel Martín Esteve, 4. Edif. Hospital Noble
29016 MÁLAGA
Tel.: 952 135 146. Fax: 952 135 146
agmem@ayto-malaga.es
www.agmen.es

APEG

Agencia Provincial de la Energía de Granada
Avda. de Andalucía, s/n
Centro de Iniciativas Empresariales
18015 GRANADA
Tel.: 958 281 551. Fax: 958 281 553
agencia@apegr.org
www.apegr.org

APEH

Agencia Provincial de la Energía de Huelva
Ctra. Huelva Sevilla, km 630
Pabellón Los Álamos
21007 HUELVA
Tel.: 959 220 558. Fax: 959 220 338
infoapeh@apeh.org
www.apeh.org

PRODETUR, S.A.

Agencia Provincial de la Energía de Sevilla
PRODETUR-Energía
C/ Leonardo da Vinci, 16
Isla de la Cartuja
41092 SEVILLA
Tel.: 954 486 800. Fax: 954 486 805
contacto@prodetur.es
www.prodetur.es

ANDANER

Asociación Andaluza de Agencias de Gestión
de la Energía
(ANDALucía eNERgía)
C/ Isaac Newton, s/n
(Pabellón Portugal) Isla de la Cartuja
41092 SEVILLA
Tel.: 954 786 335. Fax: 954 460 628
www.agenciaandaluzadelaenergia.es

APEC

Fundación Medio Ambiente y Sostenibilidad
Provincia de Cádiz
Agencia de la Energía
Avda. del Puerto, 1
Edificio Trocadero, 1º - C1-C2
11006 CÁDIZ
Tel.: 956 205 968. Fax: 956 293 781
informacion@agenciaenergiacadiz.org
www.agenciaenergiacadiz.org

Fundación Medio Ambiente, Energía y Sostenibilidad
Provincia de Cádiz
Avda. del Puerto, 1
Edificio Trocadero
11006 CÁDIZ
Tel.: 956 205 968. Fax: 956 293 781
fundacion.medioambiente@dipucadiz.es
www.fmedioambienteenergia.es/apec/

Canarias**AECO**

Agencia de Energía de las Canarias Occidentales
C/ El Pilar, 4
38700 SANTA CRUZ DE TENERIFE
Tel.: 922 418 070. Fax: 922 417 565
www.itccanarias.org/itc/

AIET

Agencia Insular de Energía de Tenerife,
Fundación Canaria
Edificio EUCLIDES
Parque Eólico Polígono Industrial
de Granadilla
38611 GRANADILLA DE ABONA (Tenerife)
Tel.: 922 391 000. Fax: 922 391 001
agenergia@agenergia.org
www.agenergia.org

Cantabria**GENERCAN**

Sociedad de Gestión Energética de Cantabria
C/ Juan de la Cosa, 17, bajo izq.
39004 SANTANDER
Tel.: 942 037 422. Fax: 942 037 433
info@genercan.es
www.genercan.es

Castilla y León**AEMVA**

Agencia Energética Municipal de Valladolid
Casa del Barco
C/ García Morato, 11 bis
47003 VALLADOLID
Tel.: 983 426 050. Fax: 983 426 051
aemva@ava.es
www.aemva.org

APEA

Agencia Provincial de la Energía de Ávila
Diputación Provincial de Ávila
C/ Los Canteros, s/n
05005 ÁVILA
Tel.: 920 206 230. Fax: 920 206 205
apea@diputacionavila.es
www.diputacionavila.es/fcst/apea/

AGENBUR

Agencia Provincial de la Energía de Burgos
Edificio CEEI – Aeropuerto de Burgos
09007 BURGOS
Tel.: 947 040 628. Fax: 947 040 631
info@agenbur.com
www.agenbur.com

EREN

Ente Regional de la Energía de Castilla y León
Avda. Reyes Leoneses, 11
24008 LEÓN
Tel.: 987 849 393. Fax: 987 849 390
eren@jcyl.es
www.jcyl.es

Castilla-La Mancha**AGECAM, S.A.**

Agencia de Gestión de la Energía
de Castilla-La Mancha, S.A.
Polígono de Santa María de Benquerencia
Centro de Empresas, 1
C/ Valdemarías, s/n
45007 TOLEDO
Tel.: 925 245 901. Fax: 925 245 277
agecam@agecam.es
www.agecam.es

AGECAM, S.A.

Agencia de Gestión de la Energía
de Castilla-La Mancha, S.A.
Instituto de Energías Renovables
Avda. de la Investigación, s/n
02006 ALBACETE
Tel.: 967 550 484. Fax: 967 550 485
agecam@agecam.es
www.agecam.es

APET

Agencia Provincial de la Energía de Toledo
Pza. de la Merced, s/n. Edificio CCM - 2º
45002 TOLEDO
Tel.: 925 259 300. Fax: 925 210 237
apet@diputoledo.es
www.diputoledo.es

Cataluña**AEO**

Agència de l'Energia d'Osona
C/ Historiador Ramón d'Abadal
i de Vinyals, 5 - 3º. Edifici El Sucre
08500 VIC (Barcelona)
Tel.: 938 832 212. Fax: 938 895 632
aeo@ccosona.es
www.ccosona.es

ADEP

Agència d'Energia dels Pirineus
Passeig Joan Brudieu, 15
25700 LA SEU D'URGELL (Lleida)
Tel.: 973 353 112. Fax: 973 352 788
consell@alturgell.ddl.net
www.ccau.cat/

ALEB

Agència Local d'Energia de Barcelona
C/ Torrent de l'Olla, 218-220, 3º
08012 BARCELONA
Tel.: 932 914 891. Fax: 932 370 894
agencia@barcelonaenergia.cat
www.barcelonaenergia.cat

CDEA-ASET

Centre de Documentació i Educació Ambiental
Agència de Serveis
Energètics de Terrassa
C/ Cisterna, 39 - baixos 2º
08221 TERRASSA
Tel.: 937 808 900. Fax: 937 893 110
cdea@terrassa.org
www.mediambient.terrassa.org

TÀRRACO

Fundació Privada Tàrraco Energia Local
Avda. Pau Casals, 17 - 2n
43003 TARRAGONA
Tel.: 977 225 460. Fax: 977 240 900
ftarraco@tinet.org
www.tinet.org/~ftarraco

ICAEN

Institut Català d'Energia
Avda. Diagonal, 453 bis - Àtico
08036 BARCELONA
Tel.: 936 220 500. Fax: 936 220 501
icaen@icaen.gencat.net
www.icaen.net

Comunidad de Madrid**FENERCOM**

Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid
Paseo de la Habana, 139 - bajo izq.
28036 MADRID
Tel.: 913 532 197. Fax: 913 532 198
fundacion@fenercom.com
www.fenercom.com

Comunidad Foral de Navarra**AEMPA**

Agencia Energética Municipal de Pamplona
C/ Mayor, 20 - bajo
31001 PAMPLONA
Tel.: 948 229 572. Fax: 948 212 679
agencia.energetica@pamplona.es
www.pamplona.es

Comunidad Valenciana**LA PLANA**

Agencia de Energía de La Plana (Castellón)
Ajuntament de Vila-real
Delegació de Promoció Econòmica
Avda. La Murà, 28
12540 VILA-REAL (Castellón)
Tel.: 964 547 017. Fax: 964 547 019
www.vila-real.es

AER

Agencia Energética de la Ribera
Plaza Argentina, 1
46680 ALGEMESÍ (Valencia)
Tel.: 962 424 641. Fax: 962 421 256
aer@aer-ribera.com
www.aer-ribera.com

AVEN

Agencia Valenciana de la Energía
Colón, 1 - 4^º
46004 VALENCIA
Tel.: 963 427 900. Fax: 963 427 901
info_aven@gva.es
www.aven.es

Extremadura**AGENEX (Badajoz)**

Agencia Extremeña de la Energía-Badajoz
Plaza de Minayo, s/n
06002 BADAJOZ
Tel.: 924 262 161. Fax: 924 258 421
agenex@dip-badajoz.es
www.agenex.org

AGENEX (Cáceres)

Agencia Extremeña de la Energía-Cáceres
C/ Pintores, 10 - 3^º
10003 CÁCERES
Tel.: 927 255 615. Fax: 927 255 616
agenex@dip-caceres.es
www.agenex.org

Galicia**FAEPAC**

Fundación Axencia Enerxética Provincial da Coruña
Casa da Enerxía
C/ Alcalde José Vilaboy Pajón, s/n
15320 AS PONTES (A Coruña)
Tel.: 981 102 111. Fax: 981 440 344
info@faepac.org
www.faepac.org

FAIMEVI

Fundación Axencia Intermunicipal da Enerxía de Vigo
Calle Elduayen, 36 - 4^º
36202 VIGO (Pontevedra)
Tel.: 986 443 476. Fax: 986 226 791
faimevi@vigo.org
www.faimevi.es

INEGA

Instituto Enerxético de Galicia
Rúa Ourense, 6. A Rosaleda
15701 SANTIAGO DE COMPOSTELA
(A Coruña)
Tel.: 981 541 500. Fax: 981 541 515
info@inega.es
www.inega.es

Illes Balears**IBEN**

Instituto Balear de la Energía
Camí de Son Rapinya, 12. Urb. Son Moix Blanc
07013 PALMA DE MALLORCA (Illes Balears)
Tel.: 971 784 132/971 784 029. Fax: 971 177 495
www.dgner.caib.es

País Vasco**AEVI**

Agencia Energética de Vitoria-Gasteiz
C/ San Prudencio, 30 - 4º
01005 VITORIA
Tel.: 945 161 616. Fax: 945 161 846
www.vitoria-gasteiz.org

EVE

Ente Vasco de la Energía
Alameda de Urquijo, 36 - 1º
Edificio Plaza Bizkaia
48011 BILBAO (Bizkaia)
Tel.: 944 035 600. Fax: 944 035 699
publicaciones@eve.es
www.eve.es

Principado de Asturias**AGE**

Agencia de Energía de Gijón
Casa de Rosario Acuña, Camino de los Arces, 1258
33203 LA PROVIDENCIA (Gijón)
(Principado de Asturias)
Tel.: 985 181 008. Fax: 985 131 488
agenciaenergia@gijon.es
www.energiagijon.es

ENERNALÓN

Fundación Agencia Local de la Energía del Nalón
Plaza de Abastos, s/n
Apartado de Correos nº 4
33900 SAMA DE LANGREO
(Principado de Asturias)
Tel.: 985 678 761. Fax: 985 675 859
info@enernalon.org
www.enernalon.org

FAEN

Fundación Asturiana de la Energía
C/ Fray Paulino, s/n
33600 MIERES (Principado de Asturias)
Tel.: 985 467 180. Fax: 985 454 143
faen@faen.es
www.faien.info

Región de Murcia**ALEM**

Agencia Local de la Energía y Cambio Climático
de Murcia
Plaza Robert Schuman, 1 - 2º
30008 MURCIA
Tel.: 968 200 293. Fax: 968 202 908
direccion@energiamurcia.eu
www.energiamurcia.eu

ALEM

Agencia de la Energía y Cambio Climático de Murcia
Plaza Robert Schuman, 1 - 2º
30007 MURCIA
Tel.: 968 200 293. Fax: 968 202 908
direccion.agenciaenergia@ayto-murcia.es
www.energiamurcia.eu/

ARGEM

Fundación Agencia Regional de Gestión de la Energía
de Murcia

C/ Pintor Manuel Avellaneda
(antigua Montijo), 1 - 1º izda.
30001 MURCIA

Tel.: 968 223 831. Fax: 968 223 834
info@argem.es
www.argem.es

Otros organismos de interés

Instituto Geológico y Minero de España, IGME

C/ Ríos Rosas, 23
28003 MADRID

Tel.: 913 495 700. Fax: 914 426 216
www.igme.es

Asociación de Productores de Energías Renovables
(APPA)

C/ Aguarón, 23 - Portal B, 1º B
28023 MADRID

Tel.: 902 106 256
www.appa.es

Centro de Investigaciones Energéticas,
Medioambientales y Tecnológicas
(CIEMAT)

Avda. Complutense, 22
28040 MADRID
www.ciemat.es

Centro Nacional de Energías Renovables (CENER)

Ciudad de la Innovación
31621 SARRIGUREN (Navarra)
Tel.: 948 252 800
www.cener.com

Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI)
Cid, 4

28001 MADRID
Tel.: 915 815 500. Fax: 915 815 594
www.cdti.es

Operador del Mercado Ibérico de Energía
Polo Español, S.A.

Alfonso XI, 6, Plantas 4ª y 5ª
28014 MADRID
www.omel.es

Red Eléctrica de España (REE)
Paseo del Conde de los Gaitanes, 177
28109 ALCOBENDAS (Madrid)
Tel.: 916 508 500. Fax: 916 504 542
www.ree.es

Comisión Nacional de Energía (CNE)
Alcalá, 47
28014 MADRID
Tel.: 914 329 600
www.cne.es

ANEXO III. BIBLIOGRAFÍA

- Geothermal Energy Association (GEA). *A guide to geothermal energy and the environment*. EE UU. Abril 2007.
- Geothermal Energy Association (GEA). *A handbook on the externalities, employment and economics of geothermal energy*. EE UU. Octubre 2006.
- Geothermal Energy Association (GEA). *Factors affecting costs of geothermal power development*. EE UU. Agosto 2005.
- Geothermal Energy Association (GEA). Part I: Subsurface technology (noviembre 2007). Part II: Surface technology (enero 2008). *The state of geothermal technology*. EE UU.
- Eurobserv'Er 07. *Geothermal Energy Barometer*.
- International Energy Agency Implementing Agreement for Cooperation in Geothermal Reserch & Technology. *Geothermal Energy Annual Repot 2006*.
- Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid/Comunidad de Madrid. Colección: Energías renovables para todos – Energías Renovables. *Energía geotérmica y del mar*.
- Istituti di Geoscienze e Georisorse. H. Dickson, M. y Fannelli, M. *Qué es la energía geotérmica*. CNR, Pisa, Italia.
- Energías alternativas y Medio Ambiente. Pous, J. y Jutglar, L. *Energía geotérmica*. CEAC, 2004.
- Instituto Geológico y Minero de España. *La energía geotérmica*. IGME, 1985.
- Instituto de la Ingeniería de España (Comité de Energía). *Energía Geotérmica*. IGME, 1984.
- Instituto de la Ingeniería de España. *Nuevas energías y tecnologías para la generación de electricidad*. Comité de Energía, 1984.
- Abad Fernández, Jerónimo. *La energía geotérmica. Su investigación y utilización*. IGME, 1983.



c/ Madera, 8 - 28004 Madrid
Tel.: 91 456 49 00. Fax: 91 523 04 14
comunicacion@idaes.es
www.idaes.es



P.V.P.: 10 €(IVA incluido)