



GeoEner²⁰¹²

Madrid 25-26 de Abril de 2012

III CONGRESO de Energía Geotérmica
en la EDIFICACIÓN Y LA INDUSTRIA

Criterios técnicos e hidrogeológicos para la explotación del acuífero urbano de Zaragoza por sistemas geotérmicos abiertos

Eduardo A. Garrido Schneider

Instituto Geológico y Minero de España - Unidad de Zaragoza



Instituto Geológico
y Minero de España



Fundación
de la Energía
de la
Comunidad
de Madrid



Comunidad de Madrid

Índice

1 Introducción

2 Evaluación de la afección e impacto de los sistemas geotérmicos

3 Criterios técnicos e hidrogeológicos para la explotación sostenible

4 Conclusiones

1. Introducción

Aprovechamiento geotérmico del acuífero aluvial del Ebro en la ciudad de Zaragoza:

- Concentración inusual: más de 60 sistemas geotérmicos abiertos
- Más de 150 pozos involucrados
- Constituye el principal uso urbano del agua subterránea
- Bombeo de 16,4 hm³ anuales (68% de toda la explotación subterránea)
- Mínimo consumo de agua frente al de otros aprovechamientos
- Potencia calorífica suministrada: 34 MW
- Potencia instalada: 50 MW
- Acuífero con alto potencial de desarrollo para sistemas abiertos, pero necesario conocer mejor el medio físico, los impactos y los criterios de una explotación sostenible

2. Evaluación de la afección e impacto de los sistemas geotérmicos

2.1 Afección e interferencia térmica

Afección: Plumas térmicas e islas de calor - Interferencia: sobre dobletes de pozos.

Magnitud de impacto en captaciones: $M_c [^{\circ}\text{C}] = T_c - T_0$

$M_c [^{\circ}\text{C}]$	DESCRIPCIÓN	Número de Aprovechamientos
$M_c < 0$	Posibles procesos de infiltración directa, recarga o pérdida de redes de distribución que contengan aguas más frías.	1
$0 < M_c < 3$	Valores normales para las aguas subterráneas en tránsito por el acuífero urbano.	14
$3 < M_c < 5$	Valores influenciados por acciones antrópicas indirectas atribuibles, en su conjunto, a la isla urbana de calor.	8
$M_c > 5$	Valores indicativos de aguas subterráneas con incrementos significativos de la temperatura por efectos directos de acciones antrópicas (vertidos de procesos de climatización, fugas de redes de vertido urbano, etc.)	12

Magnitud de impacto del vertido: $M_v [^{\circ}\text{C}] = T_v - (T_0 + 5)$

M_v	DESCRIPCIÓN	Número de Aprovechamientos
$M_v < -5$	Vertidos sin funcionamiento de la bomba de calor o con intercambio térmico resultado de procesos de calefacción que inyectan agua a menor temperatura que la captada.	0
$-5 < M_v < 0$	Vertidos sin funcionamiento de la bomba de calor o con intercambio térmico para refrigeración con bajo salto térmico, que no alteran las características térmicas del agua subterránea captada, no generaría impactos en el acuífero.	1
$0 < M_v < 5$	Indicativo de vertidos con capacidad para generar impactos que podrían ser asumibles por el acuífero. Saltos térmicos moderados y temperaturas de vertido moderadas. Pueden existir afecciones sobre otros aprovechamientos.	5
$5 < M_v < 10$	Indicativo de funcionamiento de bomba de calor donde se aplican saltos térmicos altos, que generan vertidos con altas temperaturas capaces de generar impactos que comienzan a no ser asumibles por el acuífero, incluidos afecciones sobre otros aprovechamientos.	9
$M_v > 10$	Indicativo de funcionamiento de bomba de calor donde se aplican saltos térmicos muy altos y vertidos con altas temperaturas que generan contaminación térmica y afecciones a otros aprovechamientos.	9

Criterios basados en la separación del doblete de pozos (Banks, 2009) o en tiempos de llegada del frente térmico (Clyde & Madabhushi, 1983): requieren conocer parámetros hidráulicos, térmicos y de explotación del acuífero.

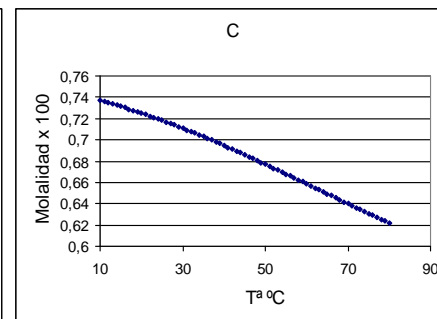
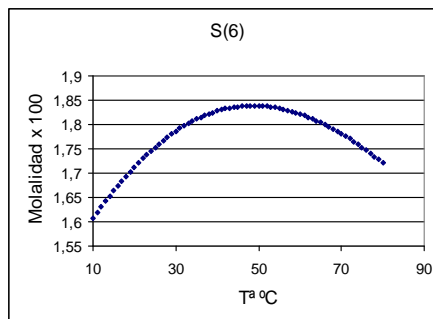
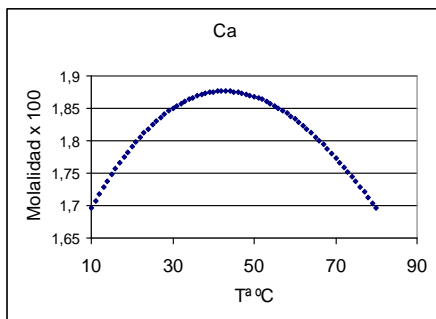
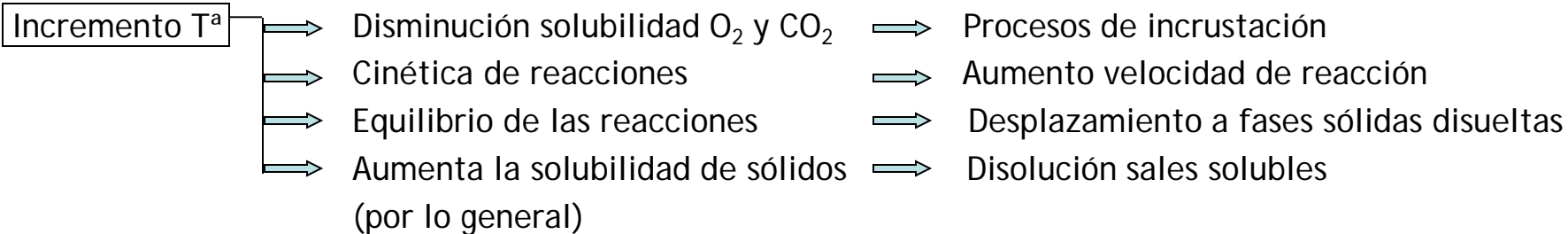
2. Evaluación de la afección e impacto de los sistemas geotérmicos

2.2 Afección sobre la calidad

Acuífero de materiales detríticos sobre lecho impermeable y entorno evaporítico soluble.

Aguas de alta mineralización, sulfatadas cálcicas y cloruradas sódicas

Cambios térmicos afectarían a cinética de reacciones y solubilidad de fases gaseosa y sólida



2. Evaluación de la afección e impacto de los sistemas geotérmicos

2.3 Afección a la actividad microbiana

El desarrollo bacteriano está ligado a la T
Aumenta la tasa de crecimiento

Microorganismos	Tª óptima crecimiento [°C]
Psicrófilos	10 - 20
Mesófilos	30 - 40
Termófilos	50 - 60

Bacterias causantes de **colmatación** (*Flavobacterium*, *Proteus*, *Pseudomonas*, *Serratia* o *Alcalígenes*):
Generan cápsulas gelatinosos, retienen partículas, obstruyen filtros y rejillas.

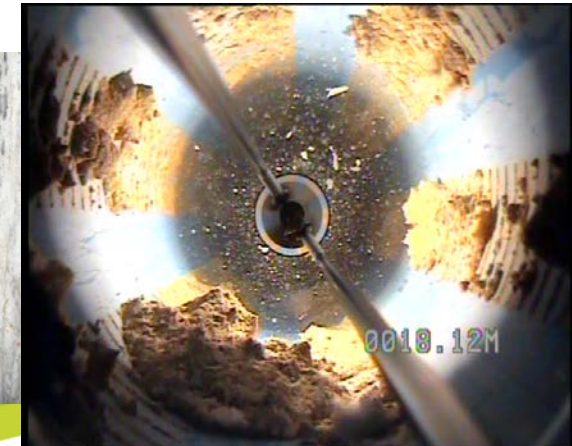
Bacterias causantes de la **corrosión**

Thiobacillus: oxidación de sulfuro a azufre y sulfúrico

Ferrobacterias: oxidación del hierro ferroso a férrico

Bacterias sulfato reductoras

En el medio subterráneo no se encuentran poblaciones desarrolladas de bacterias. Pero en **sistemas de circulación forzada** (sistemas de climatización) hay continua renovación del agua, que con aporte de nutrientes (aguas residuales urbanas) se dispararían las tasas de crecimiento bacteriano



3. Criterios técnicos e hidrogeológicos para la explotación sostenible

La ausencia de normativas específicas que prevengan afecciones e impactos plantea dificultades de planificación y gestión a autoridades hidráulicas en especial para distancias entre pozos y caudales.

3.1 Criterios para la construcción de pozos

- Estudios hidrogeológicos previos. Ubicación adecuada de sondeos conforme al flujo subterráneo
- Especificar y justificar características técnicas (profundidad rejillas, penetración de pozos...)
- Distancias de pozos vertido frente a otras instalaciones (> 100 m) y otros usos (>250 m)
- Caudales de extracción < 50 m³/h
- Separación doblete de pozos debe cumplir la relación $2Q/T\pi i < L$

3.2 Criterios para la explotación sostenible de los aprovechamientos

- Exigir uso reversible de la energía geotérmica y de los sistemas
- Diseño que minimice la tasa de recirculación
- Limitación de saltos térmicos a máximo de 8 °C para nuevas instalaciones
- T^a de vertido < 30 °C o inferior, dependiendo de la litología del sustrato y calidad del agua
- Limitación de nuevos sistemas en entornos con T^a media del agua subterránea superior a 20 °C
- Evitar generación de burbujas en el vertido (diseño adecuado de las instalaciones)
- Duplicar el número de pozos de vertido respecto de captaciones; Reparto de caudales de vertido.

3. Criterios técnicos e hidrogeológicos para la explotación sostenible

3.3 Criterios para la protección de la calidad

- Circuitos presurizados que eviten aireación y desgasificación del agua
- Control y seguimiento del salto térmico para evitar cambios en el índice de saturación de sales
- No favorecer disolución de matriz sólida del acuífero ni del sustrato
- Evitar introducción de nutrientes y controlar el desarrollo bacteriano
- Evitar el uso de aditivos químicos y su introducción en el acuífero por los pozos

3.4 Criterios para el control de sistemas geotérmicos abiertos

- Garantizar la calidad del agua mediante el seguimiento térmico, hidráulico y químico.
- Habilitar puntos de control para toma de muestras en diferentes partes del circuito y en pozos
- Instalar conductos para control piezométrico. Construcción de al menos un sondeo piezométrico
- Establecer protocolo de control y vigilancia de niveles, parámetros físico-químicos, explotación, inspección visual de la instalación...

3.5 Criterios para la gestión y administración

- Solicitar autorización explotación de aguas subterráneas y vertido al dominio público hidráulico
- Inyección del agua en el mismo acuífero. Valoración de otras alternativas más favorables
- Limitación de sistemas en zonas de protección máxima y moderada de pozos de abastecimiento
- Establecer protocolos para la clausura de pozos de sistemas que ocasionen problemas graves

4. Conclusiones

El incremento de sistemas geotérmicos en Zaragoza durante los últimos 10 años sugiere que puedan ir surgiendo interferencias térmicas entre pozos y determinados impactos térmicos, bacteriológicos o de calidad conforme crezca su número o transcurra el tiempo.

Es necesario la adopción de medidas y criterios técnicos de control con fundamento hidrogeológico que prevengan de la aparición de efectos no deseados en sistemas geotérmicos y en el acuífero urbano.

La llamada de atención hacia los posibles impactos que estos sistemas abiertos generan no debe sobrevalorar un riesgo de tal forma que desincentive el desarrollo de esta prometedora tecnología, sino que debe sentar las bases para que su crecimiento se realice en términos de sostenibilidad y adecuada gestión.



GeoEner²⁰¹²

Madrid 25-26 de Abril de 2012

III CONGRESO de Energía Geotérmica
en la EDIFICACIÓN Y LA INDUSTRIA

GRACIAS POR SU ATENCIÓN



Fundación
de la Energía
de la
Comunidad
de Madrid

