

# Condensación Geotérmica Abierta: Diseño y Tramitación

**Autores de la comunicación: Luis A. Bujedo<sup>1</sup>, Cristina de Torre<sup>1</sup> y Diego Toimil<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> CARTIF Centro tecnológico, Parque Tecnológico de Boecillo, 205, 47151 Boecillo, Valladolid, España [luibuj@cartif.es](mailto:luibuj@cartif.es) , / [critor@cartif.es](mailto:critor@cartif.es)

<sup>2</sup> IFTEC GeoEnergía S.L., C/ Doctor Esquerdo 10, 4º centro, 28028 Madrid, España, [d.toimil@iftec.es](mailto:d.toimil@iftec.es)

## Resumen

En el presente trabajo, se muestra la metodología de diseño empleada así como los pasos a seguir para la tramitación de una instalación geotérmica abierta en un edificio del sector terciario. A modo de ejemplo se ha tomado al Centro Tecnológico CARTIF, situado en Valladolid, mostrando la mejora en la eficiencia energética del edificio y la reduciendo costes de mantenimiento que ello permite.

El uso de la instalación será el siguiente: durante el invierno se utilizará para la captación de calor, que será introducido en bombas de calor que acondicionan una gran parte del edificio y durante el verano, se restituye este calor mediante los mismos equipos funcionando en modo frío y con la condensación de una máquina de absorción.

Para el diseño de la instalación, se han combinado una serie de pruebas de campo (aforo, medida de niveles y temperatura) junto con simulaciones dinámicas. El cálculo de la carga, se ha obtenido modelando el conjunto del edificio en TRNSYS. Se han estimado las cargas horarias, tanto de calefacción como de refrigeración, y la necesidad de aporte y restitución de energía del foco exterior.

Con la información obtenida del emplazamiento, se han realizado simulaciones sobre el comportamiento del terreno, considerando dos posibles configuraciones: modo recirculación de agua desde un pozo de extracción a un pozo de inyección y modo ASET-A (almacenamiento subterráneo de energía térmica). En el primer caso, el funcionamiento a lo largo del año es constante de forma que siempre se extrae agua de uno de los dos pozos y se introduce en el otro. Durante el invierno el agua se enfría y durante el verano se calienta.

En la segunda configuración, ambos pozos se emplean para extracción e inyección, dependiendo de la época del año. Con este sistema se incrementa el salto térmico entre ambos pozos, almacenando calor y frío estacionalmente, y se mejora la eficiencia de las bombas de calor.

Finalmente, se muestra los pasos necesarios para la tramitación de este tipo de instalaciones, en la Confederación Hidrográfica del Duero.

**Palabras clave:** Geotermia, circuito abierto, tramitación.

## 1. INTRODUCCIÓN

La energía geotérmica combinada con bombas de calor presenta un elevado nivel de ahorro energético y económico frente a la condensación convencional en aire o en torre de refrigeración, aunque tiene inconvenientes como la gran dependencia de las condiciones hidrogeológicas del emplazamiento, la elevada inversión inicial o las lagunas legislativas para su tramitación.

Debido a los elevados costes de mantenimiento de la torre de refrigeración, y las expectativas que está mostrando la energía geotérmica como una forma de mejora en la eficiencia energética de los equipos de frío al reducir la temperatura de condensación, se decidió evaluar la posibilidad de sustituir la torre por una instalación geotérmica abierta.

## 2. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

Para la climatización del edificio de CARTIF I, hay una serie de elementos que permiten el acondicionamiento de las diferentes estancias. Se dispone de sistemas complementarios, obteniendo elevados niveles de ahorro y confort al combinar sistemas térmicos y eléctricos con diferentes tiempos de respuesta y rendimiento.

Para la calefacción se optó por una instalación de suelo radiante, en combinación con bombas de calor agua-aire y agua-agua, las cuales permiten paliar los inconvenientes de la elevada inercia del primero y hacerle trabajar con temperaturas más bajas, aportando los posibles picos de demanda con las bombas. El acondicionamiento de la nave se realiza a través de aerotermos.

En la tabla siguiente se puede ver de manera resumida la distribución de los diferentes elementos. Para la producción de calor se dispone de una caldera de gas natural y una instalación solar térmica, las cuales dan soporte tanto al suelo radiante, mediante un intercambiador que adapta las temperaturas, como al evaporador de las bombas de calor agua-agua y agua-aire.

**Tabla I.** Distribución de los diferentes elementos de climatización utilizados en invierno.

| INVIERNO   |                  |                            |                             |                         |
|------------|------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| PRODUCCIÓN | Caldera          |                            |                             |                         |
|            | Solar Térmica    |                            |                             |                         |
|            | Intercambiador   | Bomba de calor (agua-agua) | Bombas de calor (agua-aire) | Agua a alta temperatura |
| CONSUMO    | Suelo Radiante   | Fan coils                  | Difusores y plenums         | Aerotermos              |
| ZONAS      | Todo el edificio | Dirección y Admón..        | Laboratorios                | Nave                    |

Para la refrigeración, recientemente se han realizado una serie de adaptaciones para hacer funcionar el suelo radiante como sistema refrescante, alimentado por la enfriadora de absorción. Además se emplean las bombas de calor reversibles como sistemas de apoyo y como elementos de control de carga latente (hay un total de 15 bombas de calor agua-aire y una bomba agua-agua).

**Tabla II.** Distribución de los diferentes elementos de climatización utilizados en verano.

| VERANO     |                        |            |                            |                             |
|------------|------------------------|------------|----------------------------|-----------------------------|
| DISIPACIÓN | Torre de refrigeración |            |                            |                             |
| ENERGÍA    | Gas                    | Sol        | Electricidad               |                             |
| PRODUCCIÓN | Caldera                | Captadores | Bomba de calor (agua-agua) | Bombas de calor (agua-aire) |
|            | Absorción              |            |                            |                             |
| CONSUMO    | Zona Administración    |            | Fan coils                  | Difusores y plenums         |
| ZONAS      | Todo el edificio       |            | Dirección y Admón..        | Laboratorios                |

La alimentación a la máquina de absorción se puede realizar mediante captadores solares o bien mediante caldera. En cualquier caso, su rendimiento depende entre otras de la temperatura de condensación. El COP será mejor, cuanto más baja sea la temperatura del sumidero de calor.

Para la condensación tanto de la enfriadora por absorción como de las bombas de calor agua-aire y agua-agua (reversibles), se dispone de una torre de refrigeración. La potencia que dispone la torre es de 371 kW normalizada. Las bombas de calor suman una potencia de 220 kW en evaporador lo que se traduce en una necesidad de condensación, suponiendo un COP de 2,5, de 308 kW. La potencia en condensador en la absorción es de 80 kW, lo que arroja una carga total en la torre de 388 kW. Aunque este valor es mayor que el nominal, hay que tener en cuenta factores de simultaneidad que permiten a la torre disipar toda la potencia necesaria.

### 3. CÁLCULO DE LA CARGA

Para la evaluación de la demanda energética del edificio, se ha realizado un modelado mediante TRNSYS® UNIVERSITY OF WISCONSIN, (1990) diferenciando cada una de las zonas climatizadas con las bombas de calor y con la enfriadora por absorción. Se han tomado datos climáticos de Valladolid, procedentes de los ficheros del Ministerio.

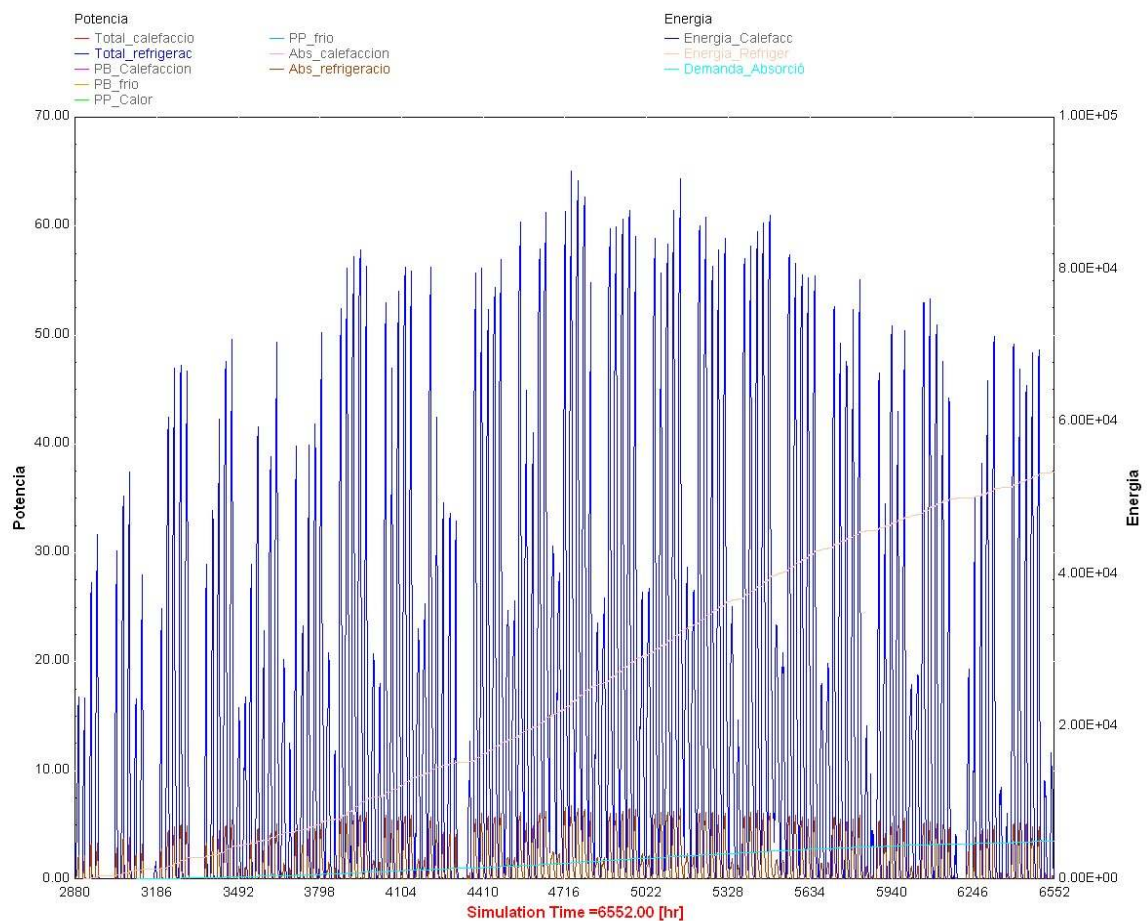
El modelo del edificio se ha realizado mediante TRNBUILD®. Se ha supuesto la ocupación interior que actualmente tiene, así como renovaciones de aire según el RITE, para una zona IDA2 correspondiente a oficinas. Se han establecido dos horarios de operación: uno de 7:00 a 15:00 correspondiente al tiempo de ocupación masivo del centro y otro de 7:00 a 20:00, durante el cual las instalaciones están operativas, ya que el edificio puede estar ocupado parcialmente durante las tardes.

Con los datos anteriores, se ha simulado todo el edificio para los meses de mayo a septiembre ambos incluidos, y se ha estimado cuál es la carga durante el periodo estival, de donde se obtiene que la energía demandada de frío por todo el edificio asciende a 53.121,9 kWh distribuidos de la siguiente forma:

48.060,3 kWh son aportados por enfriadoras eléctricas

5.061,6 kWh son aportados por la máquina de absorción

En la siguiente figura se puede ver la evolución de las potencias totales de refrigeración y la parte debida a la absorción así como la evolución de la demanda de energía.



**Figura 1.** Gráfica de simulación. Evolución de las potencias de refrigeración y de la demanda de energía durante los meses de verano.

Notar que la potencia máxima de refrigeración demandada por todo el edificio asciende a 65 kW, siendo la máxima demandada en la zona climatizada por la absorción en torno a 7 kW. En la escala de la derecha, se puede observar la evolución de la energía acumulada consumida por todo el edificio y por la absorción.

Debido a las diferentes naturalezas de funcionamiento, se va a realizar un tratamiento separado a la carga procedente de las enfriadoras eléctricas de las que proviene de la enfriadora por absorción. A partir de la demanda cubierta, la energía que hay que disipar en el campo geotérmico, suponiendo una EER media anual de las enfriadoras eléctricas de 2,5, y un COP medio de la máquina de absorción de 0,4, ascienden a:

67.284,4 kWh<sub>t</sub> son condensados por enfriadoras de calor agua-aire

17.715,6 kWh<sub>t</sub> son condensados por la máquina de absorción

**85.000 kWh<sub>t</sub>** necesitan ser condensados por el edificio a lo largo del verano.

Dada la climatología, aunque la potencia durante el invierno es inferior, ya que la enfriadora de absorción no funciona, el número de horas de aplicación necesarias para restituir el flujo térmico introducido durante el verano, asciende a:

Las horas equivalentes de operación durante el verano son 229 h a plena potencia (85.000 kWh/371 kW), y 386 h durante el invierno (85.000kWh/220kW)

#### **4. PRUEBAS REALIZADAS**

En la zona donde se encuentra el edificio de CARTIF, existen varios acuíferos disponiendo uno de ellos de agua suficiente para los fines térmicos que se persiguen con la realización de esta instalación. Para la minimización del impacto sobre el terreno, se equilibrará el balance de energías intercambiadas.

Como en geotermia no hay verdades absolutas, para conocer la capacidad real del acuífero sobre el que se encuentra el edificio, era necesario el realizar pruebas de aforo in situ. Por ello se decidió perforar dos pozos con sus correspondientes pruebas de aforo (extracción de agua) con el fin de valorar el potencial hidráulico de la zona. Se elaboró un anteproyecto y se solicitó permiso a Confederación Hidrográfica, a Minas y al Ayuntamiento. Como resultado de las solicitudes, se obtuvo autorización por parte de confederación para la realización de las perforaciones (de extracción). Sobre los pozos se realizaron pruebas de aforo que confirmaron que se disponía de agua suficiente para la aplicación pretendida.

#### **5. SISTEMA GEOTÉRMICO ABIERTO**

Para incrementar la eficiencia de la climatización del edificio CARTIF I se decide aplicar un sistema geotérmico abierto con intercambio de energía térmica con el subsuelo (acuífero). Desde hace años se utiliza en varios países de Europa y América del Norte como un sistema de climatización viable para edificios residenciales, comerciales e institucionales. La viabilidad técnica en el caso de sistemas geotérmicos abiertos depende de las condiciones hidrogeológicas locales, la capacidad de obtener unos caudales suficientes de agua subterránea a una profundidad menor a 200 metros.

Respecto a la hidrogeología, el proyecto se engloba dentro de la cuenca hidrográfica del Duero, entre los ríos Duero y Cega. El sistema acuífero al que pertenece es el Terciario Detrítico Central del Duero. La unidad hidrogeológica tiene el código DU-400045 o 02.17 y nombre “Los Arenales”. Por los pozos realizados en la parcela de CARTIF, de 92 y 102 metros de profundidad, y ensayos de

aforo realizados en los mismos, se confirma que las condiciones hidrogeológicas locales son aptas para la implantación de un sistema geotérmico abierto, pudiendo obtener caudales de extracción de agua subterránea adecuados y una capacidad específica del pozo en torno a 7 m<sup>3</sup>/h·m. La litología existente es de gravas y arenas.

Se contemplan dos posibilidades, una variante con Almacenamiento Subterráneo de Energía Térmica (ASET-A) y otra variante en que sólo exista recirculación de agua de un pozo de extracción a un pozo de inyección. A continuación se describe el principio de funcionamiento de cada una de las alternativas.

## **6. ALMACENAMIENTO SUBTERRÁNEO DE ENERGÍA TÉRMICA EN ACUÍFEROS, ASET-A.**

El sistema ASET-A realiza un intercambio de energía térmica con un acuífero próximo a la superficie, obteniendo una calefacción / refrigeración eficiente a un coste reducido. Un ASET-A es un sistema que utiliza parejas o dobletes de pozos (pozo caliente y pozo frío) para efectuar almacenamiento térmico estacional, es decir, se invierten los pozos de extracción e inyección estacionalmente. Durante el verano se extrae agua del pozo frío usándola para refrigerar los edificios. El calor del edificio aumenta la temperatura del agua la cual es ahora inyectada en el pozo caliente. En invierno, el proceso se invierte. El agua es bombeada desde el pozo caliente y provee una fuente de calor, por ejemplo para bombas de calor. Las bombas de calor suministran total o parcialmente la necesidad de calefacción, y como consecuencia la temperatura del agua subterránea desciende. El agua enfriada es re-inyectada en el subsuelo a través del pozo frío.

Un sistema ASET-A no consume agua subterránea ni desecha el agua del acuífero. Toda el agua extraída desde un pozo es re-inyectada en el otro. Esto significa que la extracción neta de agua subterránea es cero, minimizando así el impacto ambiental.

## **7. SISTEMA ABIERTO CON RECIRCULACIÓN**

En el sistema abierto con recirculación se realiza un intercambio de energía térmica con algún acuífero próximo a la superficie al igual que un sistema ASET-A. La principal diferencia con un sistema ASET-A es que en el caso de recirculación no se produce almacenamiento térmico estacional sino que se basa en la temperatura natural del acuífero, es decir, los pozos de extracción e inyección son siempre los mismos. La circulación del agua siempre es del pozo de extracción al pozo de inyección, tanto en modo calefacción como en modo refrigeración.

Un sistema abierto con recirculación, al igual que el ASET-A, no consume agua subterránea ni desecha el agua del acuífero. Toda el agua extraída desde el pozo de extracción es re-inyectada en el pozo de inyección. Esto significa que la extracción neta de agua subterránea es cero, minimizando así el impacto ambiental.

## **8. DIFERENCIAS Y ELECCIÓN ENTRE LAS ALTERNATIVAS**

La principal diferencia entre ambos sistemas es que el sistema ASET-A se basa en el almacenamiento de energía térmica en el subsuelo mientras que en el sistema de recirculación no se produce almacenamiento sino que se utiliza el agua del acuífero a su temperatura natural.

Un sistema ASET-A consta de un pozo frío y un pozo caliente y un flujo variable entre los pozos según la demanda de calor o frío. El pozo caliente es el pozo de extracción en invierno y de inyección en verano, mientras que el pozo frío es el pozo de extracción en verano y de inyección en invierno. Por medio de la variante ASET-A se consigue un salto térmico de entre 10 y 7,5 °C mayor

que el obtenido mediante el sistema de recirculación. Desde el punto de vista de la eficiencia de los equipos en la sala técnica, las temperaturas proporcionadas por el sistema ASET-A son favorables para obtener una mayor eficiencia en dichos equipos. Desde el punto de vista de la realización de los pozos, con el salto térmico mencionado, para el sistema ASET-A se necesita un caudal máximo en modo refrigeración de 43 m<sup>3</sup>/h y para el sistema de recirculación este caudal sería de 64 m<sup>3</sup>/h.

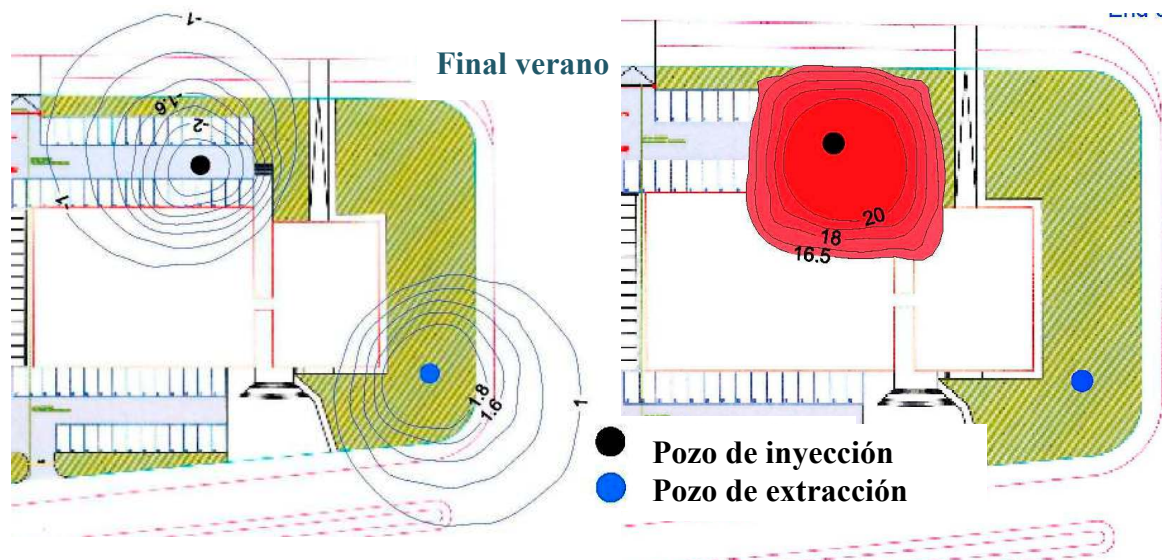
En el sistema ASET-A, para un funcionamiento sostenible del sistema y para evitar un impacto térmico negativo en el acuífero, es importante mantener un equilibrio energético. Un equilibrio energético se refiere a un balance neto entre el calor extraído del acuífero y el calor disipado al acuífero.

Otra ventaja técnica del sistema ASET-A es la posibilidad de suministrar refrigeración directa (“free cooling”) sin apoyo de una bomba de calor lo cual elevaría el COP de la instalación. La refrigeración directa no se podría realizar durante todo el verano pero si en el periodo inicial del mismo. En el sistema de recirculación también es posible, pero depende de las temperaturas de retorno del sistema de refrigeración y de la temperatura natural del acuífero.

En el sistema ASET-A, ambos pozos se utilizan como pozo de extracción e inyección dependiendo de la estación climática. Esto requiere que los pozos sean de mayor calidad, un sistema de control del sistema más complejo y que en ambos pozos se instalen bombas de impulsión sumergibles y otros componentes que en sistema de recirculación no es necesario instalar en ambos pozos.

Esto nos lleva a la conclusión de que el sistema con almacenamiento de energía térmica ofrece técnicamente más prestaciones pero la inversión es superior, por lo que en el caso del Centro Tecnológico CARTIF se ha decidido continuar el proyecto optando por el sistema geotérmico abierto de recirculación.

Para mostrar los efectos medioambientales de la implantación del sistema geotérmico de recirculación se simuló su influencia térmica e hidráulica sobre un plano de emplazamiento en el cual se muestra que su impacto se limita prácticamente a la parcela del edificio. Para esta simulación se tuvo en cuenta las condiciones hidrogeológicas y demandas energéticas del edificio.



**Figura 2.** Simulación del impacto hidráulico (izquierda) y térmico (derecha) al final del verano.

## 9. TRAMITACIÓN

Actualmente en España, no existe una legislación específica para los sistemas que aprovechan la energía geotérmica. Esto es debido principalmente, a la escasa experiencia que hay en este país con

el uso de la geotermia. Por tanto, el desarrollo de una legislación específica para regular este sector, está siendo lento fundamentalmente para el caso de aplicaciones de muy baja temperatura.

Con la aprobación de la nueva Directiva Europea de Energías Renovables (2009/28/EC), se espera un impulso en el desarrollo de la geotermia, ya que este tipo de energía será contemplada por primera vez en un Plan de Acción Nacional.

Al no contar con una legislación propia, el uso de recursos geotérmicos se regula mediante otras leyes como la de minas o la de aguas.

En la Ley 54/1980 de 5 de Noviembre, de modificación de la Ley de Minas (22/1973 de 21 de Julio), se hace mención en la sección D, a los recursos minerales energéticos entre los que se encuentran los geotérmicos, siendo esta sección aplicable a los recursos de alta entalpía

Además, son de aplicación los Reales Decretos 2857/1978, de 25 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento General para el Régimen de la Minería y el 863/1985, de 2 de Abril, por el que se aprueba el reglamento general de normas básicas de seguridad minera.

En nuestro caso, al tratarse de un aprovechamiento geotérmico de baja entalpía, es necesario solicitar permiso tanto a la Sección de Minas del Servicio Territorial de Industria Comercio y Turismo de Valladolid, como a la Confederación Hidrográfica del Duero. En el Proyecto se deberá indicar la situación geográfica, grado de reconocimiento del recurso a explotar, procedimiento de explotación del calor indicando la tecnología aplicada y la utilidad que se dará al recurso, el emplazamiento y características de los sondeos, además de las medidas preventivas de seguridad e higiene en el trabajo y la influencia medioambiental.

Además de tener en cuenta el Reglamento Minero, al tratarse de un sistema abierto que utiliza aguas subterráneas, hay que considerar el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de Julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas.

En esta ley se indica que en los acuíferos que hayan sido declarados como sobreexplotados, o en riesgo de estarlo, no podrán realizarse nuevas obras sin la correspondiente autorización, aunque no se sobrepasen los 7.000 metros cúbicos.

Con el fin de obtener las autorizaciones necesarias, nos pusimos en contacto con la Confederación Hidrográfica del Duero. Al no haber tramitado ninguna instalación de características similares, no hay por el momento ningún procedimiento exclusivo para la obtención de permisos, por lo que necesariamente hay que seguir los procedimientos generales con los que se trabaja en la Confederación.

Se trata de una instalación de uso no consuntivo, pero al no contemplarse esta opción dentro de las posibles solicitudes de la Confederación, la tramitación hay que realizarla considerando por separado aunque dentro del mismo proyecto, la concesión de extracción de agua y el permiso de vertido.

Para la solicitud de concesión de aguas subterráneas se consideró un caudal menor de 5l/s para usos industriales. La concesión la otorga la Confederación Hidrográfica del Duero, como Organismo competente de la Administración Hidráulica, y es la Comisaría de Aguas la encargada de la tramitación.

Una vez que se comprueban los datos y se examina la documentación, solicitan el informe del proyecto presentado a la oficina de Planificación Hidrológica del Organismo. Si la solicitud es compatible con el Plan Hidrológico de la cuenca, se continúa con la tramitación y se solicita informe a la Comunidad Autónoma y a otros Organismos.

Se realiza información pública tanto en el Boletín Oficial de la Provincia como en el/los Ayuntamientos donde radican las obras del Proyecto.

Hay un plazo establecido de dieciocho meses para la finalización de los trámites según lo que establece la Disposición Adicional Sexta del Texto Refundido de la Ley de Aguas.

El permiso de vertido se solicita paralelamente a la concesión de extracción, presentando un único proyecto y estudio hidrogeológico, en el que queda constancia de que el uso del agua es no consuntivo y que además no se varían las características del acuífero.

En la solicitud de vertido se describe la actividad industrial, el punto de vertido, las características de las aguas de captación, instalaciones de control... de forma que el sistema quede completamente definido.

## **10. CONCLUSIONES**

En Fundación CARTIF se ha optado por la energía geotérmica, con el fin de obtener un sistema de condensación para el verano y una fuente de calor para el invierno. Dentro de las posibilidades que ofrece la energía geotérmica y teniendo en cuenta las características del acuífero y las demandas térmicas del edificio, se optó por un sistema geotérmico abierto con recirculación.

Al re-inyectar toda el agua que se extrae y variar su temperatura en un rango muy pequeño, se ha demostrado mediante simulaciones de impacto térmico e hidráulico, que no se va a producir ningún daño sobre el acuífero de Los Arenales.

Una vez comprobada la viabilidad del proyecto, teniendo en cuenta en todo momento la conservación del acuífero, se comenzó con la tramitación, observando la falta de una legislación específica para este tipo de sistemas.

Aunque las dos perforaciones necesarias van dentro de un mismo proyecto, no es posible realizar una única solicitud de permiso, ya que la concesión de extracción y el permiso de vertido son competencias de diferentes departamentos dentro del mismo organismo.

Es por tanto importante resaltar la necesidad de una legislación específica para este tipo de sistemas, así como de una simplificación del proceso de tramitación para que la geotermia adquiera una posición relevante dentro del mix de las energías renovables, y conseguir así los objetivos marcados en las políticas energéticas tanto nacionales como europeas.

## **11. BIBLIOGRAFÍA**

EUROPEAN PARLIAMENT (2009). Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable sources.

Ley 54/1980, de 5 de noviembre, de modificación de la Ley de Minas, con especial atención a los recursos minerales energéticos.

R.D. legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de aguas.

UNIVERSITY OF WISCONSIN, (1990) TRNSYS: A transient Simulation Program. Solar Energy Laboratory, WI. Madison