

# Evaluación del flujo geotérmico en manantiales de Aragón

## *Evaluation of geothermal flow at the springs in Aragon*

J.A. Sánchez Navarro (\*), P. Coloma López (\*), A. Pérez García (\*\*), A. De Leiva Juan (\*\*\*)

(\*) Area de Geodinámica. Departamento de Ciencias de La Tierra. Universidad de Zaragoza. 50009 ZARAGOZA

(\*\*) Area de Estratigrafía. Departamento de Ciencias de La Tierra. Universidad de Zaragoza. 50009 ZARAGOZA

(\*\*\*) Servicio Geológico. Diputación de Zaragoza. Pza. de España. 50071 ZARAGOZA

### ABSTRACT

*The geothermal flow which emerges by convection at the springs in Aragón is evaluated, and compared with the theoretical heat flow which penetrates the surface of the region by conduction. The geological materials through which the convection takes place are defined (geothermal formations), and the areas where thermal convection appears most intensely are related.*

**Key words:** geothermal flow, springs, conduction, convection, geothermal formations

*Geogaceta*, 27 (1999), 155-158

ISSN: 0213683X

### Introducción: aguas subterráneas y flujo de calor

Es un hecho constatado que la temperatura del suelo (salvo excepciones como volcanes por ejemplo) está muy poco afectada por el calor interno de la Tierra, de manera que su temperatura es muy próxima a la del aire. Es la evolución diaria y estacional de la radiación solar la que impone las correspondientes variaciones en la temperatura del suelo, variaciones que se propagan y atenuan en profundidad (Vasseur, 1988). Las aguas subterráneas suelen encontrarse en esa zona de oscilaciones atenuadas de manera que habitualmente, se encuentran a una temperatura que es muy próxima a la anual media del lugar.

En ocasiones, se observan manantiales cuyas aguas, al igual que el suelo próximo, tienen temperaturas que difieren ostensiblemente de ese valor medio; cuando esa diferencia es mayor de 4°C para el agua se dice que el manantial es termal, para el suelo la diferencia de temperatura que se considera como indicativa de termalismo es de 2°C. En ambos casos se dice que existe una anomalía geotérmica, o lo que es lo mismo existe un flujo geotérmico superior al conside-

rado como normal, o medio, que en la parte emergida de la península Ibérica es de 65 mW/m<sup>2</sup> según Fernandez, *et al.* (1998).

En este trabajo se presenta una metodología para evaluar el flujo geotérmico que por convección surge a través de los manantiales y se aplica en concreto a los de la Comunidad Autónoma de Aragón. Se definen los materiales geológicos por los que básicamente se produce la convección (formaciones geotermales) y se relacionan las zonas donde con mayor intensidad se manifiesta esa convección térmica.

### Formaciones geotermales

Se consideran formaciones geotermales todas las unidades geológicas que por sus características hidrogeológicas puedan contener agua y otros fluidos en condiciones de temperatura y movilidad suficiente para permitir algún tipo de aprovechamiento geotermal. Son básicamente las principales formaciones acuíferas por las que el agua circula activamente, transportando en su movimiento el calor. La selección de las formaciones geotermales se ha hecho en base a los indicios existentes (manantiales y sondeos), y al conocimiento de las distintas

unidades hidroestratigráficas existentes (Sánchez y Coloma, 1998; DGA, 1999).

La Figura 1 recoge las distintas formaciones geotermales definidas para la Comunidad Autónoma de Aragón. Destacar que algunas litologías no consideradas como acuíferos se han incluido como formaciones geotermales, es el caso de los materiales graníticos de la zona Axial Pirenaica y también de los materiales turbidíticos, donde la presencia de megacapas calizas si bien no tienen interés hidrogeológico, si lo tienen geotermal. Al contrario, formaciones acuíferas importantes no se consideran como formaciones geotermales, así sucede con los materiales detríticos cuaternarios y en parte con los terciarios, ya que en general se sitúan en superficie o a poca profundidad.

Las características principales de las distintas formaciones geotermales son las siguientes:

FG1.- Granitos y granodioritas del Paleozoico: corresponde a los batolitos graníticos que afloran en el Pirineo. Son materiales permeables por fisuración y en ellos se han medido temperaturas en superficie de hasta 47°C (Panticosa).

FG2.- Areniscas y conglomerados Triásicos en facies Buntsandstein: su in-

FORMACIONES GEOTERMALES DE ARAGON

CORDILLERA IBERICA Y CUENCA DEL EBRO		FORMACIONES GEOTERMALES	
EDAD	LITOLOGIA	FORMACIONES GEOTERMALES	PERFIL GEOLOGICO
TERCIARIO	NEOGENO SUPERIOR	FG 8	[Diagrama de perfil geológico]
	NEOGENO MEDIO		
	NEOGENO INFERIOR		
OLIGOCENO	PALEOCENO	FG 6	[Diagrama de perfil geológico]
	EOCENO		
CRETACICO	CRETACICO SUPERIOR	FG 5	[Diagrama de perfil geológico]
	CRETACICO INFERIOR		
JURASICO	DOGGER MARM	FG 4	[Diagrama de perfil geológico]
	DOGGER MARM		
TRIASICO	ALTO	FG 3	[Diagrama de perfil geológico]
	BAJO		
PALEOZOICO	PERMICO	FG 2	[Diagrama de perfil geológico]
	CARBONIFERO		
	DEVONICO		
	SILURICO		
	ORDOVIGICO		
	CAMBRICO		
	SCYTENSE		
	ANSIENSE		
	LADINENSE		
	CARIENSE		
RIETIENSE			

CORDILLERA PIRENAICA		FORMACIONES GEOTERMALES	
EDAD	LITOLOGIA	FORMACIONES GEOTERMALES	PERFIL GEOLOGICO
TERCIARIO	NEOGENO SUPERIOR	FG 8	[Diagrama de perfil geológico]
	NEOGENO MEDIO		
	NEOGENO INFERIOR		
OLIGOCENO	PALEOCENO	FG 7	[Diagrama de perfil geológico]
	EOCENO		
CRETACICO	CRETACICO SUPERIOR	FG 6	[Diagrama de perfil geológico]
	CRETACICO INFERIOR		
JURASICO	DOGGER MARM	FG 5	[Diagrama de perfil geológico]
	DOGGER MARM		
TRIASICO	ALTO	FG 4	[Diagrama de perfil geológico]
	BAJO		
PALEOZOICO	PERMICO	FG 3	[Diagrama de perfil geológico]
	CARBONIFERO		
	DEVONICO		
	SILURICO		
	ORDOVIGICO		
	CAMBRICO		
	SCYTENSE		
	ANSIENSE		
	LADINENSE		
	CARIENSE		
RIETIENSE			

Figura 1.-Formaciones geotermales en Aragón

Figure 1.- Geothermal formations in Aragón

terés radica en los datos de temperatura aportados por sondeos de investigación petrolífera en la cuenca del Ebro, donde se han alcanzado valores de hasta 101°C a 2900 m de profundidad.

FG3.- Materiales carbonatados del Triásico en facies Muschelkalk: se refieren a los tramos superior e inferior, denominados M1 y M3, ampliamente reconocidos en sondeos de investigación petrolífera tanto en la cuenca del Ebro como en el Maestrazgo. Se han medido temperaturas de hasta 84°C.

FG4.- Materiales carbonatados del Jurásico Inferior (Lías): corresponde a las carnioles, dolomías y calizas del Lías Inferior. Esta formación geotermal es la que mayor número de indicios tiene; esto es así, tanto por su elevada porosidad eficaz (5 a 10%) y permeabilidad (0,5 a 5 m/día), como por su situación estratigráfica debajo de cientos de metros de materiales permeables y limitada en su base por una unidad impermeable (las facies Keuper). En manantiales se han medido temperaturas de hasta 25°C y caudales de más de 1000 l/s; en sondeos, se observan temperaturas próximas a los 100 °C. (Ebro2, Monzón...)

FG5.- Materiales carbonatados del Jurásico Medio-Superior (Dogger-Malm): corresponde a calizas y dolomías masivas que se encuentran aflorando tanto en el Pirineo como en la cordillera Ibérica; en la cuenca ter-

ciaria del Ebro forma una gran parte del substrato.

FG6.- Materiales carbonatados del Cretácico Superior: aflora extensamente en el Pirineo donde llega a alcanzar potencias de hasta 4000 metros. No obstante, los mejores indicios geotermales se encuentran en la cordillera Ibérica, en los manantiales de Alhama y Jaraba, con más de 500 l/s y temperaturas de surgencia que superan los 33°C.

FG7.- Materiales carbonatados del Paleoceno-Eoceno: se refiere a las formaciones «Calizas de Alveolinas» y «Calizas de Guara», todas ellas aflorantes exclusivamente en el Pirineo. Relacionadas con estas formaciones existen pequeños indicios en superficie (manantiales en la Sierra de Guara). En esta formación geotermal se han incluido también las megacapas calizas existentes dentro de flysch Eoceno, donde se encuentran los depósitos de gas de Jaca-Serrablo. Sondeos realizados en las citadas megacapas han dado aguas con temperaturas de 140°C. También el manantial de Tiermas (150 l/s a 37 °C) se asocia a materiales de ésta formación geotermal.

FG8.- Materiales detríticos y carbonatados terciarios: corresponde a materiales que rellenan las distintas cuencas sedimentarias en la Comunidad Aragonesa. Existen sondeos que obtienen aguas con temperaturas de

hasta 42°C a 800 metros de profundidad.

Evaluación del flujo geotérmico de los manantiales

Para los manantiales termales, Pfister, *et al.* (1998) han propuesto una ecuación que cuantifica la energía que cada segundo está saliendo por los manantiales:

$$E = DT \times Q \times c \times r \text{ donde:}$$

E es la energía en Megawattios que de forma natural surge por los manantiales

DT es la diferencia entre la temperatura medida en la surgencia y la media en el aire, que sólo se considera si es mayor de 4° C

Q es el caudal en l/s

c es el calor específico del agua, que tiene como valor 4200 J/kg°K

ρ es la densidad del agua, 1000 kg/m³

En la tabla 1 aparece una relación de los principales manantiales termales existentes en Aragón con la temperatura de surgencia, su anomalía, y la energía geotérmica que presentan. La figura 2 muestra la energía geotérmica que aflora por los citados manantiales. Destacar que el mayor flujo de energía se presenta en el manantial de Olba (río Mijares) debido a su elevado caudal ya que la anomalía térmica es pequeña (5.5°C). Por el contrario, existen manantiales con elevadas anomalías térmicas (hasta 40°C en Panticosa) que tienen flujo de energía reducido debido a su pequeño caudal.

Estas cuantificaciones no tienen en sí utilidad inmediata como indicadoras de potencialidad geotermal del punto o manantial, pero si son indicativas de lo activos que son los flujos subterráneos en cuanto a capacidad de transportar calor. En ese sentido, valores muy elevados indican la existencia de un acuífero de grandes dimensiones por el que las aguas subterráneas circulan activamente (elevada permeabilidad) y que por condicionantes estructurales se encuentra en algunas zonas a notable profundidad. Los valores elevados surgirían por tanto la posibilidad de encontrar recursos geotérmicos dentro de la cuenca subterránea drenada por el manantial que se considere.

De la observación de la tabla 1 y de la figura 2 pueden obtenerse consideraciones importantes, como las que se extraen del hecho singular de que la energía

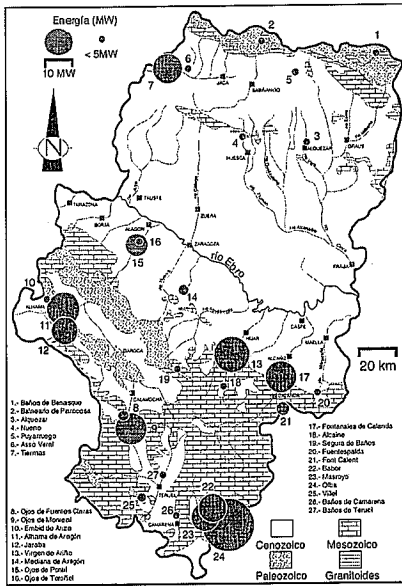


Figura 2.-Principales manantiales termales en Aragón y su flujo geotérmico en MW.

Figure 2.-Main geothermal formations in Aragón.

geotérmica de los manantiales del Pirineo (21.15 MW), apenas sea el 10 % de la evaluada para la cordillera Ibérica (233.58 MW).

**El drenaje geotérmico de la cordillera Pirenaica**

Es un hecho destacable e inicialmente no previsible el escaso flujo geotérmico aportado por los manantiales en el Pirineo Aragonés, de hecho los manantiales más caudalosos del Pirineo, muchos de ellos con varios miles de litros por segundo, no son termales. Esto es así porque proceden de acuíferos cársticos s.s., es decir acuíferos de circulación muy rápida donde el agua se mueve por conductos y fisuras, como ríos subterráneos. En esas condiciones, la temperatura del agua subterránea no alcanza el equilibrio con la roca, y los manantiales tienen su temperatura ligada a la del agua de infiltración, oscilando notablemente según la época del año.

También las características estructurales del Pirineo, excepto en los batolitos graníticos, no favorecen de un modo activo la circulación vertical del agua subterránea. Los mantos de cabalgamiento, casi horizontales, y con importantes niveles de arcillas y evaporitas son barreras hidráulicas que dificultan el flujo del agua subterránea en sentido vertical, ya sea ascendente o descendente. Además, en el Pirineo, las posibles aguas termales existentes en acuíferos profundos difícil-

mente pueden surgir sin mezclarse con aguas frías, ya que la elevada precipitación provoca una activa circulación subsuperficial.

El manantial de Tiermas constituye una excepción a lo arriba señalado y por él surge el 95% del flujo natural de energía geotérmica del Pirineo aragonés (20.07 MW, superficie equivalente de 308 km<sup>2</sup>), su elevada anomalía térmica 25.6°C (su temperatura de surgencia es de 39°C) junto con su importante caudal (250 l/s) lo relacionan necesariamente con formaciones geotermales no aflorantes en el entorno del manantial como son los materiales carbonatados del Paleoceno-Eoceno (FG7)

**El drenaje geotérmico de la cordillera Ibérica**

En la cordillera Ibérica por el contrario las estructuras sí favorecen la circulación vertical del agua. La figura 2 muestra la ubicación de las principales zonas de descarga de la cordillera Ibérica y por tanto los lugares donde se disipa el calor extraído por el agua de zonas profundas del terreno. Se pueden establecer cuatro grandes áreas de descarga relacionadas con amplios drenajes de agua y calor en la cordillera.

El drenaje de la cordillera Ibérica (Rama Aragonesa) en la depresión del Ebro con 84.44 MW (superficie equivalente de 1300 km<sup>2</sup>) representa en su con-

junto el mayor aporte de energía geotérmica por convección de Aragón, corresponde a siete grandes manantiales por los que surgen unos 2500 l/s de caudal medio, la temperatura de surgencia llega a alcanzar los 24°C por lo que la anomalía térmica es de unos 12°C. La formación geotermal principalmente relacionada con este drenaje es la FG4, es decir los materiales carbonatados del Lías Inferior.

El drenaje del Maestrazgo en el río Mijares representa con 72.45 MW (superficie equivalente de 1115 km<sup>2</sup>) el segundo conjunto de mayor aporte de energía geotérmica por convección. Corresponde a tras grandes manantiales que dan lugar al nacimiento del río Mijares, la temperatura de surgencia ronda los 20°C lo que supone una anomalía de unos 9°C. Estos manantiales drenan las extensas formaciones carbonatadas jurásicas y cretácicas que constituyen la mayor parte del Maestrazgo turolense, se corresponden con las formaciones geotermales FG4, FG5 y FG6. El caudal drenado por estos manantiales es de unos 2000 l/s, pero una parte importante del drenaje continúa subterráneamente hacia la provincia de Castellón.

El drenaje de la cordillera Ibérica (Rama Castellana) en la depresión de Almazán supone un aporte de energía geotérmica por convección de 42.01 MW, (646 km<sup>2</sup>) pero el hecho más destacable es que en las aguas de estas surgencias se

CORDILLERA PIRENAICA					
manantial	tª máxima	anomalía tª	energía (MW)	caudal l/s	fm.geotermal
Benasque	36.3	27.8	0.17	2.5	FG1
Panticosa	21.0-47.0	15.0-47.0	0.63	50.0	FG1
Alquezar	21.5			25.0	FG7
Guara	20.8	9.0-9.5	0.12	25.0	FG4
Puyarruego	28.0	13.8	0.14	0.5	FG7
Asso Veral	22.8	10.8	0.02	1.0	FG7
Tiermas	38.7	25.6	20.07	250.0	FG7
<b>SUBTOTAL</b>			<b>21.15</b>		
CORDILLERA IBERICA					
manantial	tª máxima	anomalía tª	energía (MW)	caudal l/s	fm. geotermal
Ojos de Fuentes Claras	18.0	8.0	6.93	200.0	FG4
Ojos de Monreal	18.0	8.0	21.30	600.0	FG4
Embid	26.4	13.4	1.68	30.0	FG6
Alhama	25.0-33.5	14.0-19.0	22.53	350.0	FG6
Jaraba	21.5-31.7	13.0-21.0	17.80	300.0	FG6
Virgen de Añño	22.7	9.5	23.94	600.0	FG4
Mediana de Aragón	23.4	8.4	7.00	200.0	FG5
Ojos de Pontil	23.2	12.0	14.90	250.0	FG4
Ojos de Toroñel	23.4	12.0	5.11	90.0	FG4
Fontanales	21.0	5.0	21.00	1000.0	FG4
Alcañe	17.7	5.2	2.20	100.0	FG5
Segura de Baños	24.0	12.5	0.07	1.5	FG6
Fuentspaldá	20.0	4.5	1.89	100.0	FG4
Font Calent	25.0	10.0	8.40	200.0	FG4
Babor	18.8	8.8	18.48	500.0	FG6
Masroyo	19.3	9.2	19.32	500.0	FG6
Olba	14.5	5.5	34.65	1500.0	FG6
Villel	20.5	9.5	5.98	150.0	FG4
Baños de Camarena	18.3	10.3	0.05	1.2	FG3-FG4
Baños de Teruel	21.0	10.5	0.35	8.0	FG4
<b>SUBTOTAL</b>			<b>233.58</b>		
<b>TOTAL</b>			<b>254.73</b>		

Tabla 1.- Principales manantiales termales en Aragón y su flujo geotérmico en MW.

Table 1.- Main geothermal springs in Aragón and evaluated heat-flow

alcanzan las temperaturas más altas de las observadas en la cordillera Ibérica aragonesa, con valores de hasta 33.5°C lo que supone una anomalía térmica de 20°. Las zonas de descarga principal se producen en los balnearios de Alhama y Jaraba, en relación con materiales carbonatados del Cretácico Superior (FG6).

El drenaje de la cordillera Ibérica en la Fosa del Jiloca y en otras depresiones interiores (Alfambra, Turia, Aguas Vivas), suma un aporte de energía geotermal por convección de 34.75 MW (534 km<sup>2</sup>), de ellos 28.23 MW corresponden a dos grandes manantiales existentes (Fuentes Claras y Monreal) en la Fosa del Jiloca, cuya temperatura de surgencia es de 18°C lo que supone una anomalía térmica de unos 8°C. Los manantiales de Vilel (río Turia) y de Baños de Teruel (río Alfambra) tienen temperaturas ligeramente superiores (hasta 21°C) por lo que la anomalía térmica es de algo más de 10°C. El manantial de Segura de Baños destaca por su mayor temperatura, unos 24 °C, una anomalía de 12.5°C, y también por su pequeño caudal, aproximadamente 1.5 l/s. Todos estos manantiales están relacionados con materiales principalmente carbonatados, así los manantiales de Baños de Teruel y de Vilel proceden básicamente del Jurásico (FG4), los de la Fosa del Jiloca proceden también del

Jurásico, aunque por ellos pueden drenar aguas del Trías Medio (FG3); finalmente, el manantial de Segura de Baños está relacionado con materiales carbonatados del Cretácico Superior (FG6).

### Conclusiones

La ecuación de Pfister, *et al.* (1988), que permite valorar la energía geotérmica saliente por los manantiales, constituye un método idóneo para evaluar la importancia de la convección térmica del terreno debida a las aguas subterráneas.

Para Aragón el flujo de calor movilizado por las aguas subterráneas que alcanza la superficie del terreno (drenaje geotérmico) se ha evaluado en 254 MW, lo que supone más del 8 % del flujo de calor teórico que por conducción atraviesa la superficie de la Comunidad Autónoma (flujo geotérmico medio 65 mW/m<sup>2</sup> y superficie 47000 km<sup>2</sup>)

El drenaje geotérmico se realiza a través de los materiales geológicos más permeables (formaciones geotermiales) destacando los materiales carbonatados, en especial, los del Lías Inferior (FG3), por los que el proceso de drenaje geotérmico es más activo.

La magnitud del drenaje geotérmico viene fuertemente condicionada por la disposición estructural de las formacio-

nes geotermiales. Destaca la elevada magnitud del drenaje en la cordillera Ibérica (233,6 MW) frente a la escasa relevancia que el fenómeno tiene en la cordillera Pirenaica (21,5 MW).

La cuantificación del drenaje geotérmico puede ser utilizado como excelente criterio para la prospección de recursos geotermiales.

### Agradecimientos

Este trabajo está incluido en el proyecto PMA0694 del CONSI+D (Gobierno de Aragón)

### Referencias

- Diputación General de Aragón (DGA) (1999): *Estudio para la investigación de la energía geotérmica en Aragón*. (Inédito).
- Pfister M., Rybach, L. and Simsek, S. (1998): *Tectonophysics*, 291: 77-89.
- Sánchez, J.A. y Coloma, P. (1998): *Proceedings of Int. Symposium Mineral and Thermal Groundwater*: 233-242.
- Vasseur, G. (1988): *Propagation de la chaleur dans le terre et flux géothermique*. In: *La thermomécanique des roches*. Manuals and Methodes, 16. B.R.G.M.