

Análisis de usos energéticos de recursos geotérmicos en el Sistema Acuífero Guaraní

Segundo Informe

Autor: José Cataldo

Fecha: Julio, 2006

Índice

1 - Introducción

2 – Esquema del sistema

3 – Dimensionamiento de los sistemas de intercambio térmico

4 – Planteo del análisis de factibilidad

5 – Conclusiones

6 – Bibliografía

1 – Introducción

El objeto de este informe es presentar un primer análisis de la utilización de energía geotérmica, así como un planteo de las componentes que deberían ser consideradas a los efectos de hacer un análisis de factibilidad.

A través del estudio que se está haciendo del Sistema Acuífero Guaraní (SAG) se han ido ajustando la frontera del mismo así como sus características termodinámicas. En el SAG se están delineando la existencia de diferentes zonas caracterizadas por el recurso disponible. Como se planteara en el Informe **Análisis de usos energéticos de recursos geotérmicos en el Sistema Acuífero Guaraní, Segundo Informe** la viabilidad y factibilidad de de los diferentes modos de utilización del recurso geotérmico, se encuentra íntimamente vinculado a las características del recurso. En el mencionado informe se identificaron como principales potenciales aplicaciones la calefacción, tanto a escala agrícola o industrial, como residencial, la refrigeración y el riego. En este trabajo se presenta el análisis del uso como calefacción del recurso geotérmico y se mostrará en particular para un caso en que el pozo existe. Se presenta un esquema del sistema de utilización y se realizará un dimensionamiento de los diferentes componentes que integran el mismo. Finalmente, se hace un planteo de la información a manejar para realizar el análisis de factibilidad

2 – Esquema del sistema

El uso del recurso geotérmico admite su explotación en “cascada”. Esto significa utilizar el recurso energético sucesivamente en diversos tipos de utilización. El objetivo de este tipo de explotación sería proveer de energía a diferentes sistemas y ordenados por alguna característica común como puede ser el nivel entálpico requerido por el mismo, la ubicación respecto al pozo de explotación, costos involucrados en el sistema de intercambio y de conducción. En la figura 1 se presenta un esquema del sistema que se plantea analizar en este caso.

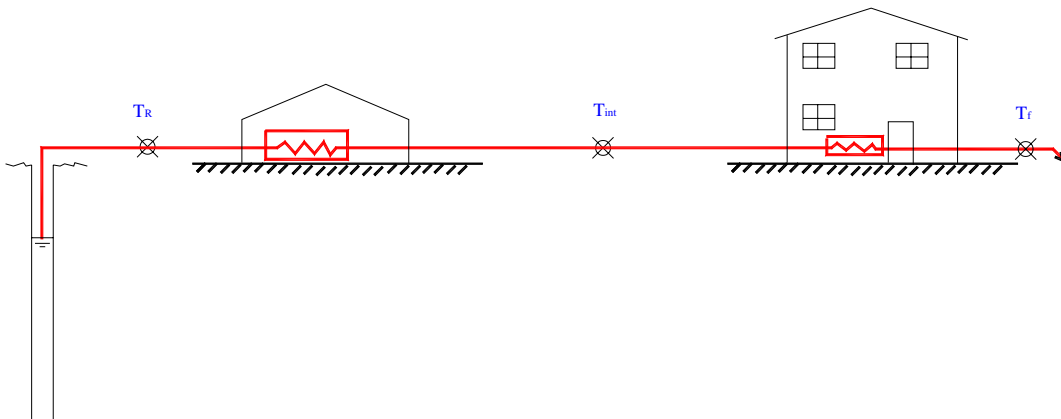


Figura 1 – Esquema de la explotación del recurso

El agua a temperatura T_R se hace circular por un primer tipo de sistema, descendiendo la temperatura a un valor T_{int} . Luego se hace circular por un segundo sistema llegando la temperatura a un valor T_f , utilizándose en una tercer tipo de proceso.

El análisis en este caso se centra en la calefacción de invernaderos y en calefacción residencial. La tercera utilización considerada es el riego.

El sistema de intercambio térmico se supone de tipo directo, es decir que se hace circular el propio fluido geotérmico por el mismo, y el calor es transmitido a una corriente de aire. Entre las alternativas a este sistema de intercambio térmico se destacan los sistemas mencionados en el Informe 1 como son el intercambio térmico indirecto, en el cual se transmite calor a un fluido intermedio que luego entrega calor al ambiente que se desea calefaccionar, y la bomba de calor, en la cual el fluido geotérmico se utiliza para alimentar un circuito de vapor.

Se elige el sistema de intercambio térmico directo por ser el que requiere menor inversión inicial. Este menor costo se refiere por requerirse menores superficies de intercambio, debido a que se tienen menos pérdidas pues el intercambio se realiza en un solo paso, sino que además no requiere ningún otro sistema accesorio, salvo la bomba de agua para hacer circular el fluido geotérmico y eventualmente un ventilador para hacer mover el aire con el cual se le transmite el calor. Debe mantenerse presente que el uso directo del recurso geotérmico está fuertemente condicionado por la composición del fluido geotérmico. Esto podría llevar a la necesidad de utilizar materiales resistentes a la corrosión, que no harían factible la construcción de intercambiadores de calor con pequeña superficie de intercambio, así como asegurar que los efectos debidos a daño en los intercambiadores de calor se registren fuera de los ambientes que se acondicionan. El sistema basado en el uso de bomba de calor resulta más eficiente que el intercambio directo, pero requieren de un circuito de vapor, el cual requiere potencia mecánica. En etapas posteriores se analizará tanto el intercambio indirecto como el uso de bombas de calor.

Se analizan tres intercambiadores de calor, los cuales se esquematizan en las figuras 2, 3 y 4. Un primer sistema es un intercambiador de flujo cruzado en el cual el agua es conducida por tubos y el aire se mueve por fuera de los tubos alrededor de los mismos es decir no es conducido. Un segundo sistema es similar al anterior pero utilizando tubos aletados. El tercer intercambiador de calor es del tipo de placas.

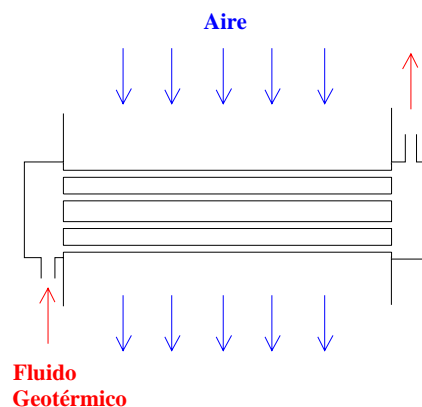


Figura 2 – Intercambiador de tubo y carcasa de flujo cruzado

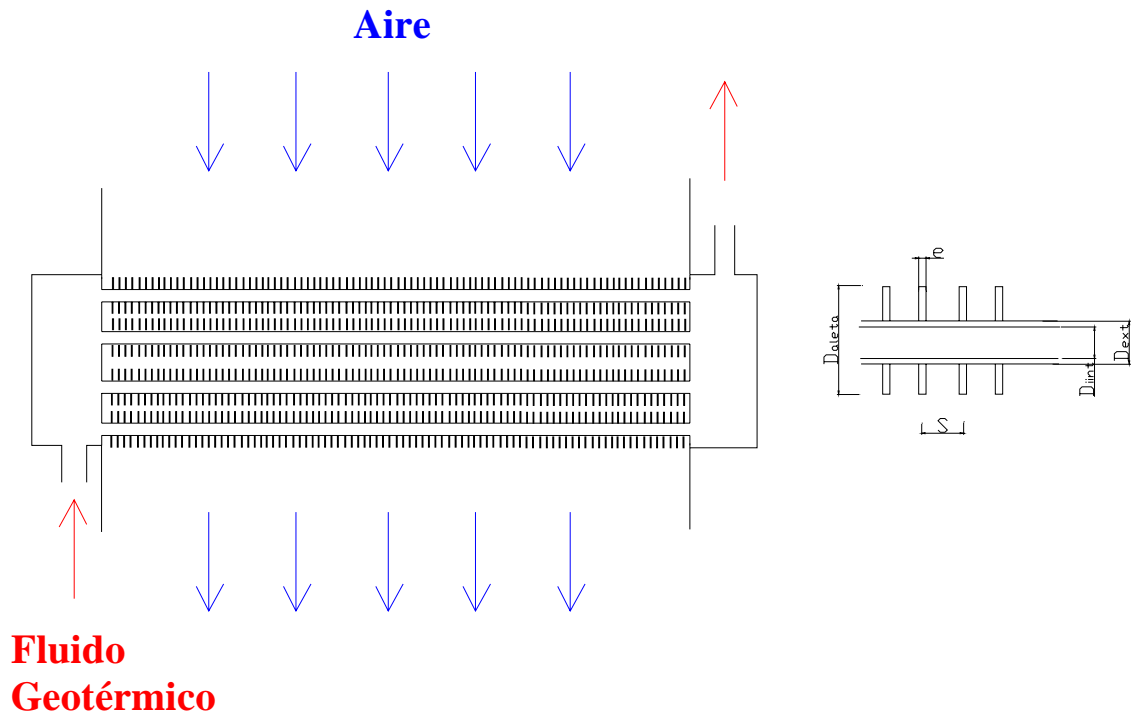


Figura 3 – Intercambiador de calor de flujo cruzado y tubos aletados.

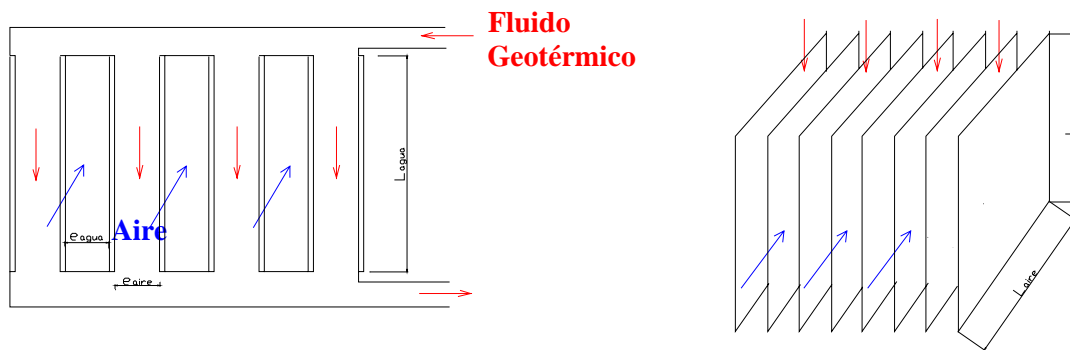


Figura 4 – Intercambio de calor de placas.

3 – Dimensionamiento de los sistemas de intercambio térmico

El dimensionamiento de los diferentes componentes del sistema de intercambio térmico se efectuó analizando un caso concreto. Este caso se caracterizó a través del recurso disponible y del tipo de utilización que se plantea.

El recurso geotérmico considerado es el disponible en el pozo disponible en la ciudad de Salto cuya gestión está a cargo de las Obras Sanitarias del Estado (OSE). En este pozo se extrajo durante algunos años el agua requerida en la mencionada ciudad. Se dispone información tanto sobre el diseño como sobre la operación de dicho pozo. En la tabla 1 se presenta el resultado del ensayo de bombeo.

Tiempo de ensayo (min)	Prof. nivel agua (m)	Caudal (m ³ /h)	Tiempo de ensayo (min)	Prof. nivel agua (m)	Caudal (m ³ /h)	Tiempo de ensayo (min)	Prof. nivel agua (m)	Caudal (m ³ /h)
1	77.71	331.9	60	101	299.7	840	113.32	297.21
2	84.62	316.21	70	101.26	296.86	900	113.06	277.69
3	86.03	313.52	80	101.39	295.43	960	112.97	276.16
4	86.47	310.8	90	101.04	293.99	1020	112.96	276.16
5	86.71	308.07	100	101.34	291.09	1080	112.95	276.16
6	86.95	305.3	120	101.77	288.17	1140	112.66	274.62
7	87.15	302.51	140	102.05	286.69	1200	112.8	274.62
8	87.26	302.51	160	102.24	285.21	1260	112.69	273.07
9	87.3	299.7	180	102.43	285.21	1320	114.12	274.62
10	87.39	299.7	210	102.48	282.23	1380	112.35	271.51
12	87.66	296.86	240	113.67	302.51	1140	112.33	271.51
14	87.89	293.99	270	113.39	299.7	1500	112.23	269.95
16	88.12	293.99	300	113.69	296.86	1560	112.12	269.95
18	88.25	291.09	360	114.36	295.43	1620	112.02	268.38
21	88.41	288.17	420	115.3	293.99	1680	112.35	268.38
24	98.97	318.88	480	115.76	292.55	1740	112.22	268.38
27	99.68	316.21	540	116.85	292.55	1800	112.32	268.38
30	99.9	312.16	600	112.27	280.72	1860	112.22	268.38
35	100.12	310.8	660	112.68	279.21			
40	100.58	308.07	720	113.06	280.72			
50	100.78	305.3	780	113.52	279.21			

Tabla 1 – Ensayo de bombeo del pozo de Salto.

A los efectos de tener un valor de referencia se supone que el caudal de agua que se extrae es de 280m³/h. La temperatura del agua en la boca del pozo resulta de 48°C.

La utilización del recurso geotérmico se plantea utilizar, en primer lugar, en un conjunto de invernaderos y luego en un grupo de viviendas.

Los invernaderos podrían ser utilizados para la producción de distintos productos. A modo de ejemplo en la tabla 2 se presenta valores de temperatura de referencia para la producción de lechuga y de tomate.

Producto	Noche	Día	Mínima	Máxima
Tomate	13°C a 16°C	22°C a 26°C	8°C a 10°C	26°C a 30°C
Lechuga	10°C a 15°C	15°C a 20°C	4°C a 6°C	25°C a 30°C

Tabla 2 – Valores recomendados de temperaturas

El diseño del sistema de calefacción se efectuará para el periodo nocturno, que es cuando no hay aporte de calor por radiación y se registran las menores temperaturas. El diseño se efectúa para la producción de tomates.

Para el ambiente exterior se supone que la temperatura vale 5°C y que el calor se intercambia con el exterior por convección, natural en el interior y forzada en el exterior con una velocidad del viento de 3m/s, así como la asociada al intercambio de aire que se produce con el exterior la cual se produce de una vez el volumen del invernadero por hora.

El invernadero se supone que tiene 20m de largo, 5m de ancho y 2m de alto, está construido con dos láminas plásticas separadas 20mm.

El intercambio de calor se estimó a partir de las recomendaciones presentadas en Matallana y Mantero, 1995, así como de los valores deducidos de las correlaciones propuestas entre los coeficientes de intercambio de calor por convección y parámetros adimensionados que caracterizan el flujo. Se dedujo que la pérdida de calor del invernadero sería de 3kW.

Respecto a las viviendas se supone que son de una planta de 14m por 14m y 3m de altura, construidas con doble pared de ladrillos. Asumiendo que la temperatura interior resulta de 20°C, la potencia térmica requerida por la vivienda se estima en 20.9kW.

El intercambiador de calor de tubo y carcasa se supone integrado por filas de 10 tubos de 2 pulgadas de diámetro nominal de 1m de longitud ordenadas en trebolillos. El coeficiente de intercambio térmico de este tipo de intercambiador resulta de 10.6W/m².°C.

En caso que los tubos sean con aletas, las mismas se suponen circulares de 3.5 pulgadas de diámetro, 1mm de espesor y separadas 8.5mm. Los tubos se suponen ordenados en filas de 7 unidades, ordenados en trebolillos. El coeficiente de intercambio resulta de 7W/m².°C. Se destaca que este parámetro está referido al área total de intercambio, la cual incluye las aletas.

El intercambiador de calor de placas se supone constituido por placas cuadradas de 1m de lado y de 2mm de espesor. La separación de placas del lado de agua se supone de 5mm y

del lado de aire de 20mm. El coeficiente de intercambio térmico de este tipo de intercambiador resulta de $3.4\text{W}/\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$.

Se supone que en cada intercambiador circula $5.2\text{m}^3/\text{h}$ de agua y que su temperatura desciende 0.5°C . Sería posible calefaccionar 0.54há de plantaciones cubiertas. Si se supone que los coeficientes de intercambio se mantuvieran si se hace lo mismo con cuatro conjuntos iguales de intercambio, se podrían calefaccionar 2.2há . El descenso total de la temperatura del agua sería de 2°C , por lo que la temperatura del agua sería de 46°C .

Si se ahora se deseara calefaccionar la misma cantidad de invernaderos utilizando agua a esta temperatura, el área de intercambio de cada intercambiador de calor se debería incrementar en un 25%. En la tabla 3 se presenta el área de intercambio de cada tipo de ventilador y para cada intervalo de temperatura considerado, es decir 48°C a 46°C y 46°C a 44°C .

Intercambiador	46°C a 48°C		44°C a 46°C	
Tubo y carcasa	11.4m^2	7 filas de 10 tubos	14.3m^2	9 filas de 10 tubos
Tubos aletados	17.4m^2	5 filas de 7 tubos	21.8m^2	6 filas de 7 tubos
Placas	35.6m^2	36 placas de 1m por 1m (1.12m de ancho)	44.6m^2	45 placas de 1m por 1m (1.4m de ancho)

Tabla 3 – Superficies de intercambio de intercambiadores para los invernaderos.

El agua, luego de calefaccionar 4.4há de invernaderos, se dispondría a 44°C para calefaccionar viviendas como las descritas más arriba.

La calefacción de las viviendas se analizó con la utilización de tres tipos de intercambiador de calor, suponiendo que en el mismo se producía un descenso de temperatura de 11°C .

Un primer tipo de intercambiador de calor es el denominado “radiador”, en el cual el aire es movido por convección natural. Debido a la baja temperatura del fluido geotérmico el área de intercambio requerida por este tipo de intercambiadores de calor resulta en extremo elevada, no resultando viables para este tipo de aplicación.

Un segundo sistema de intercambio térmico analizado fue la losa radiante. En este caso la cañería por al que circula el fluido geotérmico se encuentra inserto en una losa de mortero, aislada por su parte inferior. Se supuso que cada caño era de $1/2$ pulgada. Se requeriría 50 caños de 3m de longitud. La temperatura de piso alcanzaría los 26°C y la operación en régimen estacionario se lograría al cabo de dos días de operación del sistema de calefacción.

Como tercer sistema de calefacción analizado se consideró el intercambiador de placas. En este caso se requeriría instalar 8 equipos iguales con placas cuadradas de 1.2m de lado, con un ancho de 1.24m.

4 – Planteo del análisis de factibilidad

A los efectos de analizar la viabilidad de la utilización se deberían analizar, en primer lugar, los costos de instalación de cada uno de los sistemas dimensionados. Este costo incluiría el costo de fabricación o compra de los intercambiadores de calor, los costos de instalación propiamente dicho y los costos de aislamiento térmico de las cañerías que conducen el fluido geotérmico. Este último componente dependerá fuertemente de la distribución que se deba hacer del agua para calefacción.

Otro elemento a tener en consideración son los costos de instalación y operación de los sistemas alternativos. Los costos de operación seguramente deben mostrar una diferencia significativa respecto a la geotérmica, aunque debería establecerse claramente la forma de disponer dicha fuente energética, es decir si será en forma libre o se deberá abonar una tarifa por su utilización a la empresa que gestiona el recurso.

Otro elemento que se debería considerar a los efectos de evaluar la factibilidad, en especial del uso industrial, en este caso los invernaderos, sería el factor de utilización del sistema, así como los inconvenientes que podría traer en la producción disponer un sistema con la potencia térmica seleccionada. A los efectos de ilustrar este aspecto se analizó la forma en la cual se utilizarían los sistemas dimensionados, y que se presentaran en el capítulo anterior a lo largo de dos años en la ciudad de Salto. En la figura 5 se presenta la forma en la cual evolucionó la temperatura en la ciudad de Salto a lo largo de dos años entre julio de 2001 y agosto de 2003.

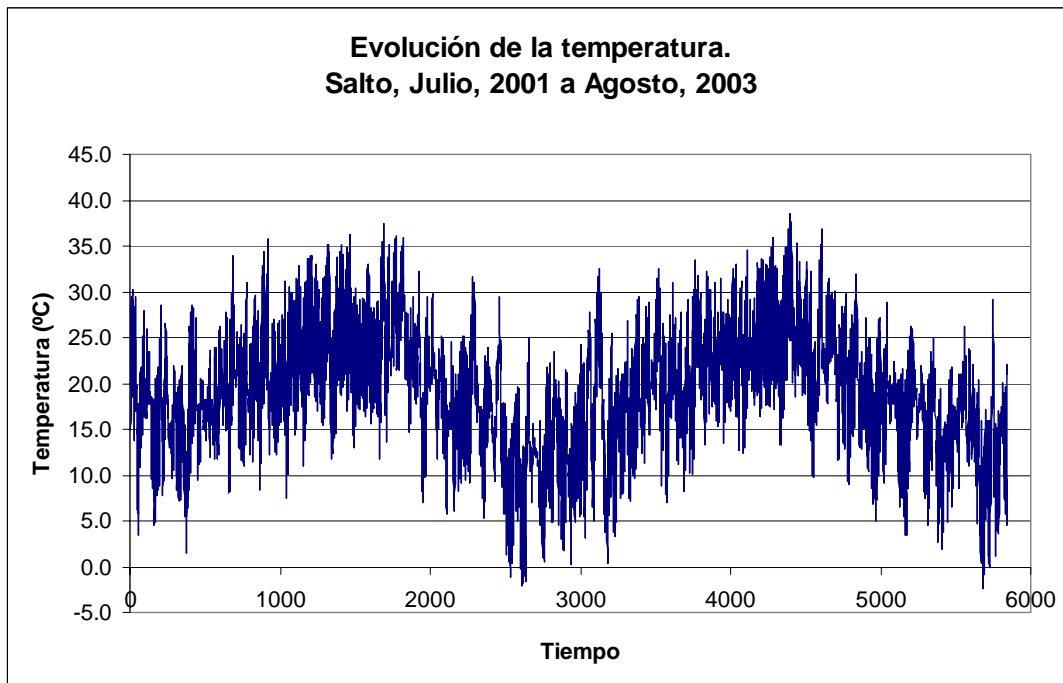


Figura 5 – Evolución de la temperatura en la ciudad de Salto.

Sobre la base de la calefacción requerida para 1há de invernadero, la cual tendría un valor nominal de 303kW, la energía anual requerida por el invernadero sería de 221.2MW.h, mientras que el sistema de calefacción podría aportar 209.6MW.h. El Factor de Capacidad resulta de 23.7%. Por otro lado, se destaca que aparece un déficit de energía de 11.6MW.h el cual, si bien parece menor, podría implicar que la temperatura dentro del invernadero alcanzara valores inaceptables para la producción ya sea por que produzca daños irreparables o bien se induzcan disminuciones en el rendimiento de la misma. En el ejemplo que se analiza, para la temperatura extrema que se registraría en el periodo de tiempo considerado, la temperatura mínima que se alcanzaría en el interior del invernadero sería de 8.5°C. Se destaca que, para la producción de tomates, esta temperatura estaría por encima del menor valor mínimo recomendado, aunque podría implicar un descenso en los rendimientos de producción.

5 - Conclusiones

Se analizó la utilización de energía geotérmica en la modalidad de cascada en calefaccionar invernaderos y en calefaccionar viviendas.

Esta práctica sería viable utilizando diferentes tipos de intercambiadores de calor en los invernaderos como son de tubos y carcasa, de tubos aletados o de placas, y tipo losa radiante o de placas en las viviendas.

Se plantean los aspectos a considerar en un futuro análisis de factibilidad, así como los elementos que deberían ser considerados respecto a la producción de cultivos en forma protegida.

6 – Bibliografía

Mantallana, A. y Mantero, J.L., “Invernaderos, Diseño, Construcción y Ambientación”, Segunda Edición, Editado por Mundi-Prensa, 1995.