

INTERCAMBIADORES TIERRA-AIRE EN LA CLIMATIZACIÓN DE CONSTRUCCIONES.

POZOS PROVENZALES Y TÉCNICAS EMPARENTADAS



Joan Escuer GEOLOGO CONSULTOR



GEOCONSULTORES
TECNICOS Y AMBIENTALES, S.L.

www.geoconsultores.com

1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Los intercambiadores tierra-aire utilizan el subsuelo para enfriamiento y calentamiento de una corriente de aire que circula a través de tubos que se entierran para tal propósito, contribuyendo a reducir la temperatura del aire que ingresa en los edificios durante el verano y aumentándola durante el invierno. Su uso en acondicionamiento térmico de edificios se ha extendido en los últimos años, haciéndose particularmente útil en invernaderos, en los que en muchos casos permite un ahorro de más del 45% de sus requerimientos energéticos y en edificios públicos (hoteles, escuelas).

Estos sistemas son utilizados para el acondicionamiento directo de la temperatura interior de las construcciones. Los conductos enterrados funcionan en bucle cerrado con el espacio a climatizar. En dicho bucle un impulsor fuerza la circulación de aire. El aire puede ser forzado a través del bucle diversas veces para alcanzar determinada temperatura tras un cierto número de circulaciones.

Estos sistemas, conocidos desde antiguo, ya generaron interés en la última década de los años setenta y primeros ochenta aunque no alcanzaron una amplia aceptación. La tendencia actual hacia tecnologías más sostenibles ha generado el resurgir del interés en el concepto de los intercambiadores tierra-aire.

En origen el pozo provenzal fue una canalización en piedra enterrada en el flanco de una colina que servía para canalizar por convección natural un flujo de aire que transitaba desde una boca externa a través de una conducción hacia la pieza principal de las construcciones tradicionales. En invierno la tierra recalienta este aire entrante mientras que en verano lo enfría gracias a la inercia térmica del suelo. Un sistema poco sofisticado y de baja eficiencia pero que en una edificación provenzal tradicional, donde la inercia térmica es elevada debido a la existencia de muros o paredes de gran espesor y pocas aberturas, el resultado es más que apreciable.

El pozo provenzal es de hecho un intercambiador geotérmico que asegura la función de climatización estival o invernal del aire de ventilación. Este sistema

es llamado también pozo canadiense en referencia a la función de precalentamiento invernal del aire de ventilación.

2. PRINCIPIO

Los intercambiadores de calor tierra aire se basan en la utilización de la energía térmica del subsuelo para pretratar el aire de ventilación de los edificios. El aire así obtenido presenta un mayor grado de confort térmico al obtener un aire más cálido del habitual en tiempo frío y más fresco en tiempo caluroso. La temperatura del subsuelo inmediato en nuestras latitudes es relativamente constante alrededor de los 15° C a 2 m de profundidad.

En una instalación tipo el aire penetra dentro del pozo por una toma de aire debidamente protegida, circula por canalizaciones enterradas gracias a un sistema de impulsión y es repartido por las estancias del edificio a climatizar asegurando un aporte de aire nuevo al local.

Para una correcta implementación en un edificio moderno el procedimiento es mejorado mediante la solución de los posibles problemas de condensación en las canalizaciones así como la optimización de la regulación térmica mediante el reparto de aire a cada pieza o volumen individual así como un correcto tratamiento del nivel sonoro del soplado dentro del pozo dado que dicho soplado en la actualidad es asistido por extractores o ventiladores.

Las ventajas del pozo provenzal son numerosas. En principio requiere una inversión mucho menor que una climatización reversible convencional, especialmente si el diseño del edificio ya contempla dicha posibilidad, y por otra parte los requerimientos energéticos son completamente marginales implicando así mismo un entretenimiento y mantenimiento muy sobrios. Debe destacarse que el sistema es especialmente duradero y completamente sostenible y ecológico.

Existen ciertos condicionamientos en el funcionamiento de un intercambiador tierra aire pueden ser resumidos en los siguientes puntos:

- Las funciones de precalentamiento en invierno y refrigeración en verano están afectadas por un desfase diario y otro estacional dados por la inercia

térmica del subsuelo. Esta inercia térmica condiciona un desfase temporal alcanzando el subsuelo inmediato los valores más frescos por la mañana tras la noche y en primavera tras el invierno y los valores más cálidos por la tarde tras el mediodía y en otoño tras el verano.

- El almacenamiento de calor debido a las oscilaciones estacionales se propaga unos 3 m alrededor de los conductos mientras que en la oscilación diaria se propaga unos 20 cm de tal manera que las oscilaciones diarias primarán sobre las oscilaciones estacionales que requieren una masa de almacenamiento más importante y además se encuentran limitadas por una difusión en profundidad.

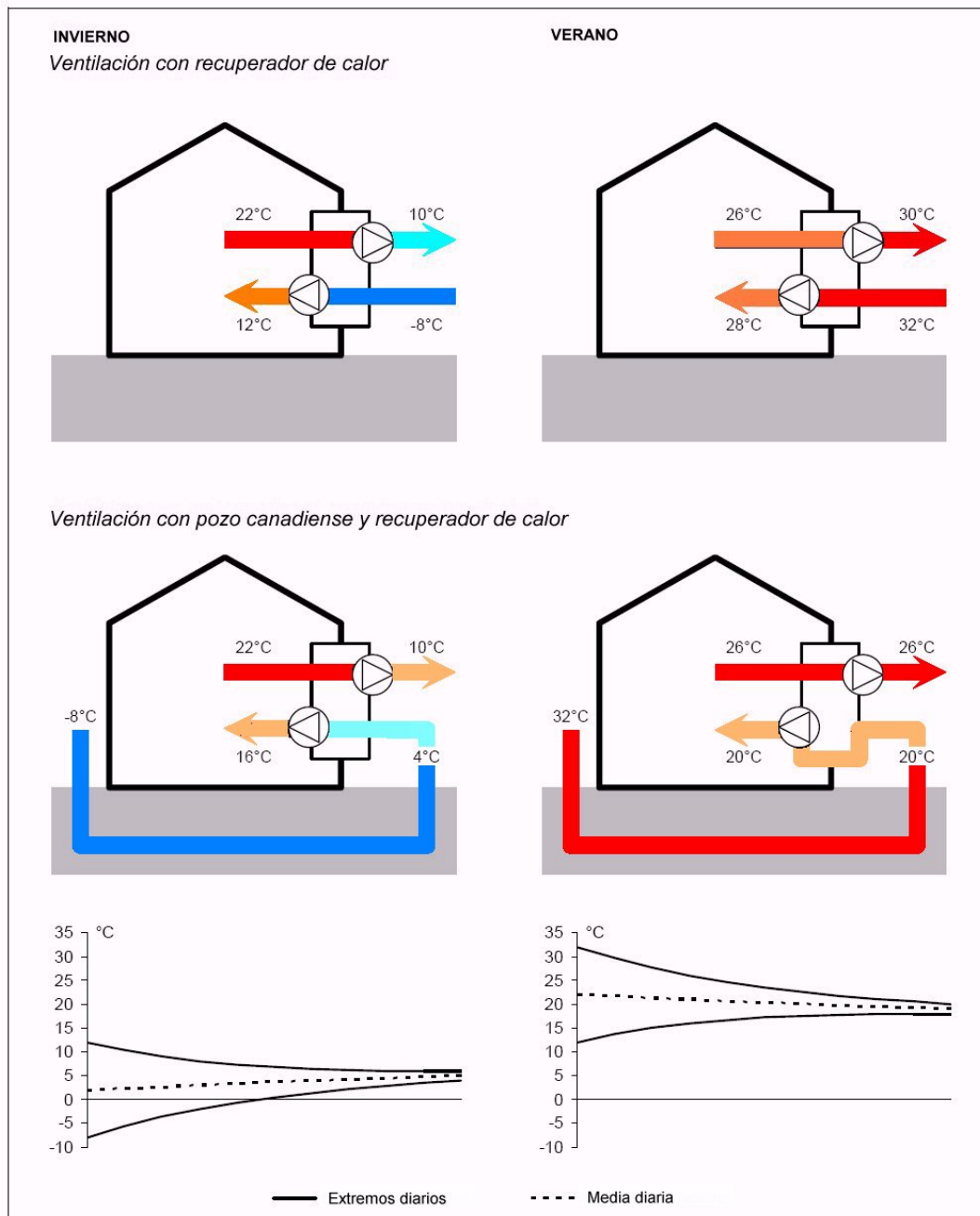
- Estos desfases se caracterizan por presentar una caída exponencial a lo largo de la longitud del tubo.

- Los sistemas basados en pozos canadienses funcionan en bucle abierto. El sistema de ventilación sirve a la vez de bucle de recarga térmica i de distribución.

2.1 Aprovechamiento de la inercia térmica

En la actualidad los intercambiadores tierra aire y los pozos provenzales pueden optimizarse mediante el uso de dispositivos capaces de sacar partido de las inercias térmicas diarias y estacionales existentes en el subsuelo. Básicamente se trata de implementar en el sistema mediante relleno de los conductos, o soluciones alternativas, un acumulador térmico mediante el uso de materiales que posean una buena capacidad calorífica capaz de retardar la oscilación térmica en vez de simplemente templarla. El flujo de aire debe ser homogéneo para que el intercambio de calor entre el aire y el material sea óptimo.

El sistema se basa en un fenómeno físico complejo y sorprendente por el que el aire si bien solo necesita unos instantes para atravesar el dispositivo sale con una temperatura equivalente a la que entró unas horas antes con decalajes que pueden alcanzar las 12 horas (Hollmuller).



Comparativa del rendimiento de un sistema de ventilación con recuperador de calor y la integración de un pozo canadiense en el mismo. (modificado de Hollmuller et al. 2005).

3. ASPECTOS TECNICOS DE DISEÑO

Dado que el objetivo de un intercambiador térmico tierra aire es el intercambio de temperatura entre estos elementos, el conocimiento de las propiedades térmicas de los mismos es necesario para su correcto diseño y implementación. Asimismo también serán importantes las propiedades térmicas de los materiales utilizados en el sistema.

Entre los parámetros de diseño que deben ser controlados deben considerarse:

1. El tipo de material de los conductos

En la actualidad desde un punto de vista térmico este parámetro no tiene una importancia realmente significativa debido a que el factor limitante alrededor de los conductos es la conductividad del suelo. En los conductos se ha utilizado diversos tipos de plásticos (PVC, polipropileno, etc.), hormigón pretensado, cerámica, tubos metálicos galvanizados, etc. El material debe ser suficientemente resistente al aplastamiento cuando el tubo es enterrado. Los tubos corrugados presentan una mayor resistencia estructural pero también mayor impedimento al flujo y mayor posibilidad de encharcamiento del agua de condensación.

2 Dimensionado del sistema

La influencia de las dimensiones del conducto, temperatura y velocidad de entrada del aire sobre la temperatura de salida del aire ha sido estudiada detalladamente por varios autores (Flores Larsen y Lesino, 2000; Gauthier et al., 1997; Mihalakakou et al., 1994). Las conclusiones más relevantes son las siguientes:

- La temperatura de salida del aire depende fuertemente de la temperatura de entrada.

- La variación diurna de la temperatura del suelo es aproximadamente sinusoidal, la amplitud decrece rápidamente en profundidad y el momento de la

máxima y la mínima se desplaza con el tiempo existiendo un retraso en la medida que la onda térmica penetra el suelo.

- Las características del suelo son muy importantes: las propiedades térmicas del mismo influyen fuertemente el comportamiento térmico del sistema.

- A mayor longitud del conducto existe mayor transferencia de calor y el rendimiento del sistema aumenta. Dicha longitud no se puede prolongar indefinidamente para mejorar el rendimiento debido a que la temperatura de salida presenta un comportamiento asintótico con respecto a la longitud del conducto. Ello permite definir una longitud máxima a partir de la cual cualquier aumento influye muy poco en la temperatura de salida del aire por lo que se hace poco conveniente económicamente. Los valores usuales para longitud de conductos se encuentran en el intervalo comprendido entre los 10 y los 100 m.

- Para la velocidad del flujo del aire se consideran óptimos valores alrededor de 4 m/s para conductos de 20 cm de diámetro, existiendo un compromiso entre la potencia necesaria para hacer circular el aire y el acondicionamiento resultante. Los diámetros pequeños son preferibles desde un punto de vista térmico pero para una misma velocidad de flujo presentan mayores pérdidas por fricción así que lo más adecuado es el cálculo del balance entre la transferencia de calor y el soplado de aire en los conductos. Valores entre 20 y 60 cm de diámetro son típicos pudiendo alcanzarse valores superiores al metro en grandes edificios (hoteles, centros comerciales, etc.).

- Es más eficiente un conjunto de conductos más cortos que menor cantidad de conductos de mayor longitud. El espaciado entre tubos debe ser aquel que permita que los conductos sean térmicamente independientes.

3. Tipo de suelo

La conductividad térmica del suelo es el factor limitante más importante que se ha de tener en cuenta en el diseño de un intercambiador. Esta propiedad servirá para determinar el dimensionado. Así pues es de vital importancia clasificar el terreno según su conductividad térmica para lo que deben identificarse los tipos de suelo y rocas presentes en la zona así como las

variaciones de las propiedades físicas relevantes desde un punto de vista térmico.

Los suelos húmedos son preferibles a los suelos secos debido a su mejor conductividad térmica aunque un excesivo grado de humedad no es conveniente. Situándonos en los extremos los terrenos turbosos y los suelos arenosos secos deben ser evitados. Algunos autores sugieren rodear los conductos con arcilla compactada para asegurar un correcto contacto térmico entre los tubos y el terreno.

Las rocas tienen conductividades térmicas medias entre 2 y 4 W m⁻¹ K⁻¹, pero con valores extremos que pueden bajar hasta 0,5 W m⁻¹ K⁻¹ en arcillas con elevada porosidad (ocupada por agua) o subir hasta 7,4 W m⁻¹ K⁻¹ en cuarzoarenitas (areniscas formadas exclusivamente por cuarzo) y rocas evaporíticas (básicamente halita y yeso). Los valores más bajos corresponden siempre a rocas con elevada porosidad.

Un informe geológico básico orientado a la aplicación de intercambiadores tierra aire debería incluir: un mapa geológico, acompañado de sus cortes, con especial detalle de las formaciones superficiales y antrópicas así como características y disposición del substrato rocoso que permita conocer con cierto detalle los primeros 10 metros de profundidad, una estimación de la temperatura media anual en el suelo inmediato, la estimación de los valores de conductividad y difusividad térmica del terreno, un inventario de sondeos y pozos cercanos, la estimación de la posición y características del nivel freático y flujo de agua subterráneo.

4. Profundidad

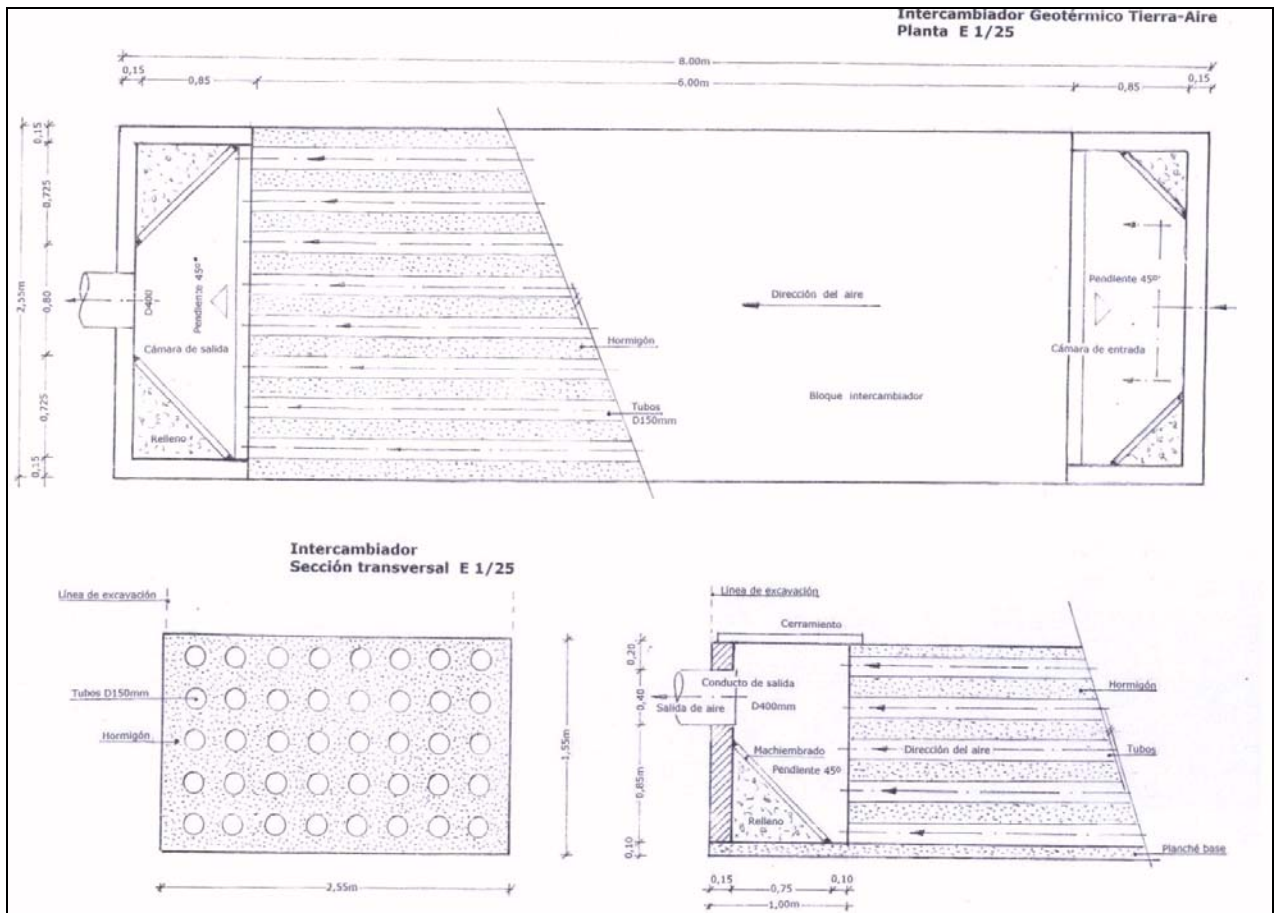
A mayores profundidades mayor rendimiento. Como valores típicos pueden considerarse profundidades comprendidas entre los 1,5 y los 3 m. Los tubos pueden ubicarse bajo el propio edificio o en el terreno colindante al mismo.

Para aplicaciones en que el sistema deba funcionar durante un número importante de horas la profundidad mínima recomendada es de 3 m.

9. Controles

Es aconsejable puentear el sistema cuando la temperatura exterior se encuentra en el rango de los 15 a 22° C. Es necesario un control de las aberturas del edificio, puertas y ventanas, para una eficiencia térmica adecuada.

El sistema debe ser capaz de resistir a la corrosión, a la rotura, a la inundación y facilitar la evacuación de condensados.



Intercambiador geotérmico Tierra Aire. Ejemplo de diseño. Fuente: Geoconsultores Técnicos y Ambientales, S.L.

4. MANTENIMIENTO

Los intercambiadores deben estar equipados con filtros que impidan la entrada de partículas a la zona climatizada. El mantenimiento de los mismos debe ser el adecuado. Los filtros deberán cambiarse periódicamente. El uso de

filtros opacimétricos, que retienen el polvo y el polen es frecuente. El control de las bocas interiores debe hacerse al mismo tiempo que las exteriores. Una limpieza quincenal es aconsejable. Para el mantenimiento a largo plazo debe considerarse que la vida útil de los ventiladores impulsores suele situarse entre los 15 y 20 años.

El riesgo de condensación en el interior de los pozos provenzales, canadienses o en intercambiadores es un riesgo a tener muy en cuenta. La existencia de humedades no tratadas en el sistema puede ocasionar el crecimiento de mohos y la generación de malos olores. El sistema debe ser accesible para permitir su lavado. Una frecuencia anual parece razonable. El clima efectivo del emplazamiento, la profundidad de las instalaciones y la velocidad de flujo tienen una incidencia clara en los riesgos de condensación. El uso de productos especializados, la utilización de agua con soluciones desinfectantes solo es posible si las pendientes permiten la evacuación para evitar el estancamiento. La limpieza deberá realizarse teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas reinantes para favorecer un buen secado. Preferiblemente la instalación dispondrá de registros para facilitar el acceso a la instalación. Ello es más fácil en las instalaciones de gran diámetro pero también es posible en las instalaciones de menor diámetro.

5. RENDIMIENTO ECONOMICO

El rendimiento económico de los intercambiadores tierra aire es positivo para las aplicaciones de refrigeración ya que en climas templados si el sistema está correctamente diseñado permite prescindir de un sistema de aire acondicionado convencional con un gran ahorro aunque para ello es imprescindible que la construcción a climatizar posea un aislamiento eficiente.

El rendimiento de los intercambiadores por si solos como sistema de calefacción es claramente insuficiente. El pequeño incremento de temperatura no justifica el coste de la instalación. No obstante si se tiene en cuenta el beneficio económico en clima caluroso puede considerarse que existe un beneficio añadido en el precalentamiento del aire de ventilación en invierno. En otras palabras por el precio de un sistema de refrigeración en verano se obtiene

también una pequeña ayuda en el sistema de calefacción en invierno que por si sola no justificaría la inversión en el intercambiador.

COMPARATIVA: casa unifamiliar de 110 m²	Climatización reversible	Pozo provenzal
Coste de instalación	10000 Euros	3000 Euros
Coste de mantenimiento	Entre 100 y 150 Euros	Entre 50 y 100 Euros
Mantenimiento	Cambio de filtros	Cambio de filtros. Limpieza anual
Consumo en verano	4500 kWh	250 kWh
COP	De 1,5 à 3	De 25 à 30

Rendimiento en refrigeración comparativa en una casa unifamiliar de 110 m². Modificado de Labarrière (2007)

6. CONCLUSIONES

Los intercambiadores de calor tierra aire, pozos provenzales y canadienses se basan en la utilización de la energía térmica del subsuelo para pretratar el aire de ventilación de los edificios contribuyendo a reducir la temperatura del aire que ingresa en los edificios durante el verano y aumentándola durante el invierno.

Las ventajas de estos sistemas son numerosas: requieren una inversión mucho menor que una climatización reversible convencional, especialmente si el diseño del edificio ya contempla dicha posibilidad, los requerimientos energéticos son completamente marginales implicando un entretenimiento y mantenimiento muy sobrios y son completamente sostenibles y ecológicos.

En la actualidad estos sistemas son optimizados mediante el uso de dispositivos que aprovechan las inercias térmicas diarias y estacionales existentes en el subsuelo implementando acumuladores térmicos que retardan la oscilación térmica en vez de simplemente templarla.

La conductividad térmica del suelo es el factor limitante más importante que se ha de tener en cuenta en el diseño de un intercambiador. Así pues es de vital importancia clasificar el terreno según su conductividad térmica para lo que deben identificarse los tipos de suelo y rocas presentes en la zona así como las variaciones de las propiedades físicas relevantes desde un punto de vista térmico.

El rendimiento económico de los intercambiadores tierra aire es positivo para las aplicaciones de refrigeración ya que en climas templados si el sistema está correctamente diseñado permite prescindir de un sistema de aire acondicionado convencional con un gran ahorro aunque para ello es imprescindible que la construcción a climatizar posea un aislamiento eficiente.

Por último la simplicidad del principio no debe hacer olvidar el diseño y la puesta en obra que debe ser confiada a profesionales que garantizarán una correcta implementación y rendimiento del sistema.

7. REFERENCIAS

Flores Larsen S. y Lesino G. (2000). Modelización de intercambiadores tierra-aire para acondicionamiento térmico de edificios. A ser publicado en las Actas del 8º Congreso Latinoamericano de Transferencia de Calor y Materia (LATCYM 2001), Veracruz, México, Febrero de 2001.

Gauthier C., Lacroix, M. y Bernier H. (1997). Numerical simulation of soil heat exchanger-storage systems for greenhouses. Solar Energy 60, 6, pp. 333-346.

Hollmuller, P., Lachal, B., Pahud, D. (2005), Rafraîchissement par geocooling :Bases pour un manuel de dimensionnement Rapports de recherche du CUEPE n° 5.

Hollmuller, P., Lachal, B., Zraggen, J. M. (2006) A new ventilation and thermal storage technique for passive cooling of buildings: thermal phase-shifting PLEA - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 6-8 September 2006

Labarrière, S (2007). Prévoir l'été en hiver Puits provençal : pour concilier confort d'été et écologie. www.eliosystem.com/puits_eco.pdf

Mihalakakou, G., Santamouris, M., y Asimakopoulos, D. (1994). Modelling the thermal performance of earth-to-air heat exchangers. Solar Energy, 53, Nro.3, pp. 301-305.