

Uso de energía geotérmica para el acondicionamiento de aire en viviendas

L.Iannelli¹, E.J. Bezzo², A.Bermejo³, P.L. Cozza³, J.A. Fiora³, J.A.Niño³, R. Prieto², P. Romero³ y S. Gil^{1,3}

Colaboración ENARGAS- UNSAM – INTI- sgil@unsam.edu.ar

¹ Universidad Nacional de San Martín, ECyT - Campus Miguelete- San Martín B.A. (1650) Argentina.

² Gerencia de Distribución – ENARGAS -Suipacha 636-Buenos Aires (1008) Argentina.

³ INTI-Energía- Parque Tecnológico Miguelete, Edificio 41, San Martín, B.A. (1650) Argentina.

mingo@inti.gob.ar

OBJETIVO

En Argentina aproximadamente el 30% de la energía que se consume se utiliza en viviendas y edificios. Cerca de la mitad de esta energía se utiliza en acondicionamiento térmico de ambientes. A unos pocos metros de la superficie, la temperatura del suelo es muy estable todo el año y muy próxima a unos 17+-2°C. Esta temperatura es muy cercana a la temperatura de confort. Con sistemas muy simples, es posible aprovechar este reservorio térmico para construir un acondicionador de aire natural, que reduce el uso de energía y las emisiones de gases de efecto de invernadero, generando ambientes confortables térmicamente tanto en invierno (calefacción) como en verano (aire acondicionado). Además de las ventajas medio ambientales, su utilización puede ser un aporte interesante para disminuir nuestras importaciones de energía y preservar nuestros recursos naturales. La implementación de medidas de eficiencia energética podría reducir y hasta eliminar la necesidad de importar gas, generando un importante desarrollo industrial en el país, con la generación de empleos.

DESCRIPCIÓN

Debido a su alta capacidad calorífica y baja conductividad térmica, la tierra se comporta como un gran colector y acumulador de energía. Su baja conductividad térmica hace que la penetración del calor en el suelo sea muy lenta, al igual que su enfriamiento. De hecho, el terreno actúa como un gran termostato. Quien alguna vez ha visitado una cueva, quizás habrá notado que su interior parece "acondicionado". Lo que ocurre en realidad es que la temperatura en el interior de la cueva es cercana a la temperatura media anual en esa localización geográfica. Por esta razón las cuevas parecen frescas en verano y cálidas en invierno.

Las propiedades térmicas del suelo hacen que las variaciones diurnas de la temperatura no penetren más allá de 0.5 m, pero las variaciones anuales de temperatura llegan

hasta una profundidad de unos 4 m aproximadamente. Más allá de estas profundidades, la temperatura de la tierra se mantiene constante todo el año. El valor de esta temperatura es generalmente igual al valor medio de la temperatura anual de la superficie. En el caso de la zona central y norte de Argentina, esta temperatura es del orden de 18+-2°C. Lo interesante es que esta temperatura es muy próxima a la temperatura de confort a lo largo de todo el año. A profundidades mayores, entre una decena de metros y unos pocos kilómetros, hay un gradiente térmico de unos 20 a 30 K/km⁽¹⁾.

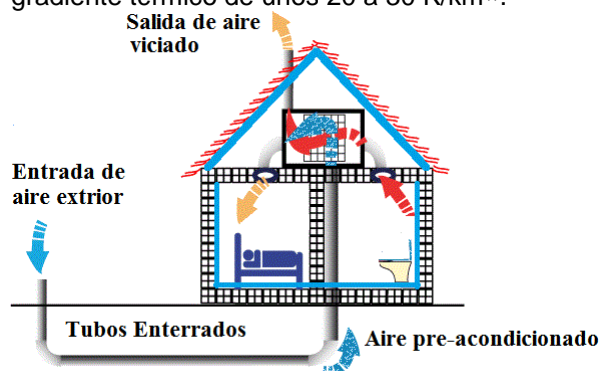


FIGURA 1. Esquemas de vivienda con tubos enterrados para el acondicionamiento térmico de viviendas utilizando la energía tierra como intercambiador de calor.

De este modo, haciendo circular el aire a través de tubos enterrados, antes de llegar al interior de los edificios y viviendas, la tierra puede utilizarse como sistema de acondicionamiento térmico natural del aire con el consecuente ahorro de energía y disminución de emisiones de GEI.^(ii,iii,iv,v) El potencial térmico de la tierra puede ser explotado convenientemente utilizando dispositivos arquitectónicos y estructurales adecuados como se ilustra esquemáticamente en la Fig. 1.

A través una colaboración establecida entre el ENARGAS, INTI y la UNSAM, se realizó un estudio para caracterizar las propiedades térmicas del suelo en la provincia de Buenos

Aires y explorar la potencialidad del uso de tubos enterrados como medio de acondicionamiento térmico de ambientes. A partir de la variación media de temperaturas a lo largo de todo el año, ver Fig. 2, y de las propiedades térmicas del suelo,^(vi) se puede determinar el perfil de temperatura del suelo en la región central de Argentina^(vii).

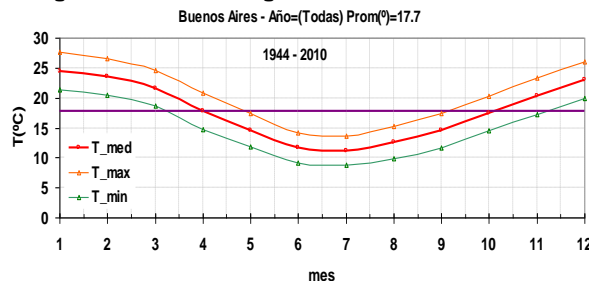


FIGURA 2. Gráfico de las temperaturas (mínima, media y máxima) en función de los meses del año, desde 1944 al 2010. La curva roja representa la temperatura media mensual. Las otras curvas son la variación de la temperatura máxima y mínima media mensual. La línea horizontal representa la temperatura media anual.

Desde luego estas propiedades pueden variar de un lugar a otro dependiendo de las propiedades del suelo, pero en general tienen un perfil similar al que se muestra en la Fig. 3.

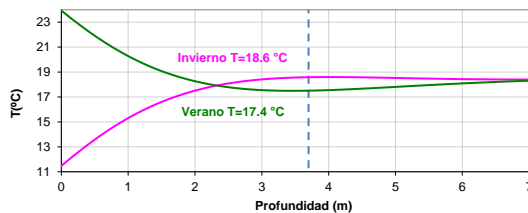


FIGURA 3. Variación de la temperatura del suelo para distintas profundidades en el suelo en las adyacencias de la ciudad de Buenos Aires, para el invierno (curva rosa) y verano (curva verde). La línea de trazos azul corresponde a la posición de los puntos de inversión de temperaturas.

Es interesante analizar el perfil de temperaturas ilustrado en la Fig.3. La variación cuasi periódica de temperatura inducida por la oscilación diaria y anual (estacional) de la temperatura genera ondas térmicas que se propagan en la tierra. Las ondas térmicas tienen la característica de ser ondas que se atenúan al avanzar. La distancia de penetración en el suelo es del orden de la longitud de onda. Además, esta longitud de onda, λ , de las mismas depende del periodo de oscilación, P ^(viii,ix). Para la onda diaria ($P=24$ horas) esta longitud es $\lambda \approx 0,6$ m, pero para la oscilación anual ($P=365$ días) la longitud de onda es del orden $\lambda \approx 11$ m. Como la onda

térmica toma sus valores máximos en la superficie, a un cuarto de la longitud de onda, $x \approx 2.7$ m, tendremos un nodo, como se observa en la Fig.3. Un poco más profundo, indicado en esta figura por la línea vertical de trazos, se produce una inversión de temperatura. Es decir a esta profundidad en verano el suelo está más fresco que el promedio y en invierno más cálido que el promedio ($\approx 17.7^\circ\text{C}$). Por lo tanto esta profundidad sería la más adecuada para enterrar los tubos.

Asimismo es necesario disponer de tubos de un diámetro y longitud adecuada, para que a una dada velocidad de movimiento del aire, se logre llegar a un equilibrio con la temperatura del terreno. Desde luego, para que este esquema de acondicionamiento de aire sea adecuado para una vivienda, es necesario que se minimicen las pérdidas de calor. Por lo tanto es necesario que la vivienda tenga condiciones de aislación térmicas adecuadas. Entre el 16 de marzo y el 4 de mayo de 2012, se realizó un ensayo preliminar, en la Casa E^(x), que la Empresa BASF Argentina tiene en Tortuguitas, Buenos Aires. En este caso, los tubos tenían 20 cm de diámetro y unos 78 m de longitud y estaban ubicados a 1,8 m de profundidad. Con el aire fluyendo a una velocidad de ≈ 5 m/s, se obtuvieron los resultados indicados en la Fig. 4. El flujo de aire

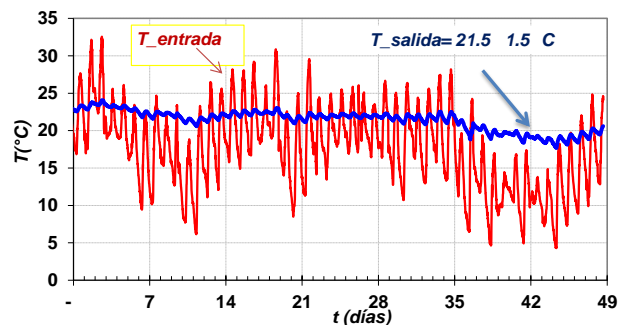


FIGURA 4. Temperaturas de entrada del aire al tubo (curva roja) y a la salida del mismo (curva azul), pre-acondicionado. Los registros térmicos se obtuvieron en forma horaria a lo largo de 49 días desde el 16 de marzo de 2012 hasta el 4 de mayo de 2012. Se observa que la temperatura de salida del tubo oscila entre 19°C y 24°C .

fue de aproximadamente $550 \text{ m}^3/\text{h}$, suficiente para lograr 3,3 renovaciones del aire por hora en una vivienda de 65 m^2 . Se observó que la temperatura de salida fue casi constante, aún en periodos en que la temperatura ambiente estuvo todo el día debajo del valor medio. La temperatura de salida del aire siempre se mantuvo entre 19°C y 24°C , que es un rango de temperatura de confort.

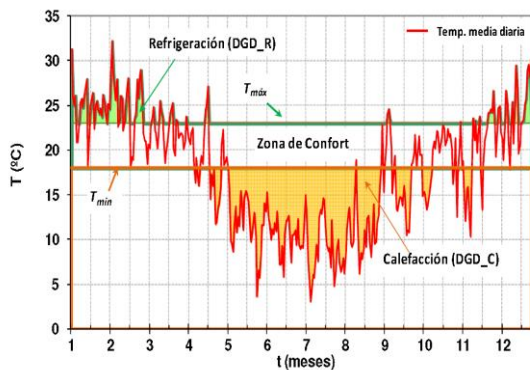


FIGURA 5. Por arriba de T_{max} se activa la refrigeración por debajo de T_{min} la calefacción.

RESULTADOS

Una estimación de los posibles ahorros puede hacerse de la manera siguiente: una parte del gasto en climatización se debe a la diferencia de temperatura entre el aire interior y el aire de reposición y puede suponerse proporcional a la misma. Fijemos entonces dos temperaturas (Fig. 5) tales que por arriba de la superior se utiliza la refrigeración y por debajo de la inferior se usa la calefacción. Los gastos debidos a la necesaria variación de temperatura del aire de reposición son entonces proporcionales a las áreas verde y amarilla del gráfico. Estas estimaciones pueden realizarse tanto con los datos meteorológicos históricos de un cierto lugar (Buenos Aires en nuestro caso), como con los resultantes de una medición particular de la reposición del aire a través del sistema que nos ocupa. De nuestros datos en la casa E y datos históricos para Buenos Aires pueden estimarse ahorros del orden del 90% en los gastos de refrigeración del aire de reposición y del 68% para la calefacción del aire de reposición. Los detalles pueden verse en ^(xi). El gasto de climatización del aire de reposición (respecto al total de climatización) es del orden del 22% en una vivienda típica, con lo que los ahorros pueden estimarse en torno 20 % para refrigeración y al 15% para calefacción. En una vivienda con una envuelta cuidadosamente aislada térmicamente, tal como la casa Basf, el peso de la renovación del aire resulta sensiblemente superior al 22%, probablemente del orden del doble con lo que podrían esperarse ahorros de hasta 30% y 40% en calefacción y refrigeración .

ⁱ *Geothermal gradient*, de Wikipedia,

<http://en.wikipedia.org/wiki/Geothermal_gradient>,

ⁱⁱ *Arquitectura subterránea*, de Wikipedia,

<http://es.wikipedia.org/wiki/Arquitectura_subterr%C3%A1nea>,

ⁱⁱⁱ *Ground-coupled heat exchanger*, de Wikipedia,

<http://es.wikipedia.org/wiki/Arquitectura_subterr%C3%A1nea>

^{iv} *Earth Cooling Tubes*,

<http://www.energysavers.gov/your_home/space_heating_cooling/index.cfm/mytopic=12460>,

^v Girja Sharan, T. Madhavan, "Cropping in Semi-arid Northwest India in Greenhouse with Ground Coupling Shading and Natural Ventilation for Environmental Control," International Journal for Service Learning in Engineering Vol. 5, No. 1, pp. 148-169, Spring 2010

^{vi} Leila Iannelli, y Salvador Gil, *Ondas de Calor-Determinación de temperaturas del pasado*, - Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol. 6, No. 1, 82(88), March 2012

<http://www.journal.lapen.org.mx>

^{vii} Leila Iannelli, y Salvador Gil, *Acondicionamiento Térmico de Aire Usando Energía Geotérmica-Ondas de Calor*, Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol. 6, No. 1, 99(105), March 2012

<http://www.journal.lapen.org.mx>

^{viii} Leila Iannelli, y Salvador Gil, *Ondas de Calor-Determinación de temperaturas del pasado*, - Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol. 6, No. 1, 82(88), March 2012

<http://www.journal.lapen.org.mx>

^{ix} Leila Iannelli, y Salvador Gil, *Acondicionamiento Térmico de Aire Usando Energía Geotérmica-Ondas de Calor*, Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol. 6, No. 1, 99(105), March 2012

<http://www.journal.lapen.org.mx>

^x La Casa E de Basf Argentina,

<http://www.basf.com.ar/lacasae/>,

http://www.arquimaster.com.ar/especiales/nota_casae_eficiencia_energetica.htm

^{xi} Leila Iannelli, *Acondicionamiento Térmico de Aire mediante el uso de Energía Geotérmica*, Tesis de Licenciatura UNSAM, Diciembre de 2012