

Uso del Suelo como Acondicionador Natural de Ambientes

Leila Iannelli^{1,2}, Jorge Fiora³ y Salvador Gil^{1,2,a}

^asgil@enargas.gov.ar

¹Universidad Nacional de San Martín, Escuela de Ciencia y Tecnología, Campus Miguelete, Martín de Irigoyen 3100 (1650) San Martín, Provincia de Buenos Aires, Argentina

²Gerencia de Distribución, Ente Nacional Regulador del Gas (ENARGAS), Suipacha 636, (1008) C.A.B.A., Argentina, Tel: 4325-2500-Int: 1414

³Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) - Energía, Parque Tecnológico Miguelete, Edificio 41 (1650) San Martín, Provincia de Buenos Aires, Argentina

Resumen - En Argentina aproximadamente el 18% de la energía que se consume se utiliza en acondicionamiento térmico de ambientes. A unos pocos metros de la superficie la temperatura del suelo es muy estable todo el año, próxima a unos $19 \pm 2^\circ\text{C}$ (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 invernadero generando ambientes confortables tanto en invierno (calefacción) como en verano (aire acondicionado). En el presente trabajo se realizó un análisis de las temperaturas del suelo y un estudio en una casa real con tubos enterrados con resultados satisfactorios y ahorro de energía. La implementación de estas medidas de eficiencia energética podría reducir y hasta eliminar la necesidad de importar gas, desarrollar industrias en el país, generar empleos y preservar recursos naturales.

Palabras Clave: energía geotérmica, sistema de acondicionamiento de ambientes, ahorro energético, reducción de emisiones de gases de efecto invernadero

Land use as Environments Natural Conditioner

Abstract - In Argentina about 18% of the energy consumed is used for thermal conditioning of environments. A few meters from the surface, the soil temperature is very stable throughout the year, close to $19 \pm 2^\circ\text{C}$ (comfort temperature). With simple systems, it is possible to use this thermal reservoir to build a natural air conditioner, to reduce energy use and emissions of greenhouse gases, generating comfortable environments in both winter (heating) and summer (air conditioning). In this paper, we conducted an analysis of soil temperatures and a study in a real house with buried pipes, with satisfactory results and energy saving. The implementation of energy efficiency measures could reduce or even eliminate the need to import gas, industrial develop the country, create jobs and preserve natural resources.

Keywords: geothermal energy, environment conditioning system, energy saving, emission reduction of greenhouse gases

INTRODUCCIÓN

Uno de los grandes desafíos del siglo XXI es satisfacer las crecientes demandas de energía del mundo haciendo accesible a vastos sectores sociales de bajos recursos los beneficios que la energía nos brinda y al mismo tiempo disminuir las emi-

siones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Hay evidencias que el calentamiento global que está experimentando la Tierra tiene causas antropogénicas. Por lo tanto es necesario disminuir las emisiones de GEI y hacer un uso más racional y eficiente de la energía (World Meteorological Organization, 2007; Mastrandrea et al., 2008).

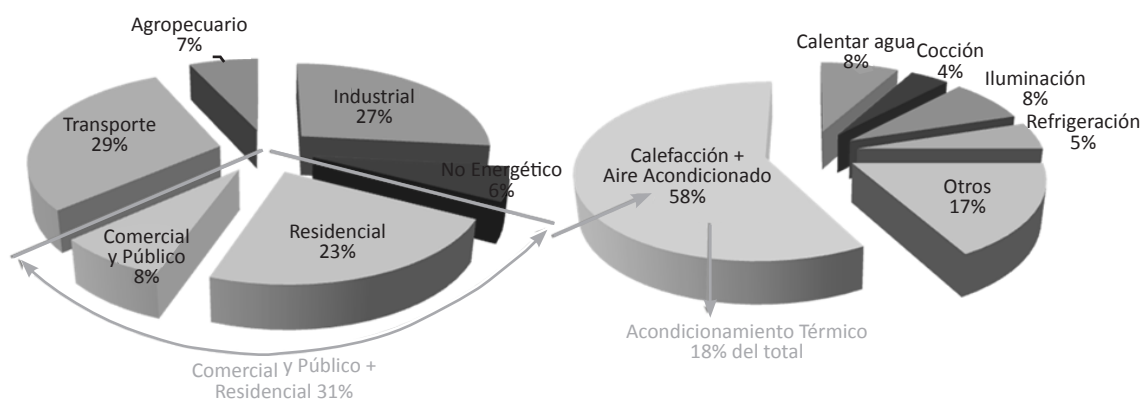


Figura 1 - Usos de la energía en Argentina. Aproximadamente el 18% del total de la energía se utiliza en acondicionamiento térmico de ambientes, calefacción y aire acondicionado (Secretaría de Energía de la Nación, 2010)

El problema energético no es sólo un problema de oferta, es decir, de buscar nuevas fuentes energéticas que satisfagan la demanda. Este, en sí mismo, es un aspecto importante que debe ser analizado críticamente. El Uso Racional y Eficiente de la Energía (URE) ha demostrado ser una herramienta muy útil para optimizar el uso de la energía y disminuir las emisiones de GEI.

Como se observa en la Fig. 1, en Argentina el consumo de energía en edificios (residenciales, comerciales y públicos) es de aproximadamente el 31% del total. De este consumo alrededor del 58% se usa en viviendas para acondicionamiento de aire, calefacción y refrigeración. Por lo tanto, alrededor del 18% del consumo energético total del país se emplea en acondicionamiento térmico de interiores.

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. El terreno actúa como un gran termostato.

Al visitar una cueva se nota que su interior parece “refrigerado”. Lo que ocurre es que la temperatura en el interior es cercana a la media anual y por esta razón parecen frescas en verano y cálidas en invierno.

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.

Estas propiedades térmicas del suelo no son nuevas: se han usado por siglos en bodegas de almacenamiento de alimentos, en viviendas subterráneas como en las Ruinas de Quilmes del siglo XV, en el Valle Calchaquí, Tucumán, Argentina (Ruinas de los Quilmes, 2012), en muchos lugares de la costa mediterránea y en el norte de África, como se muestra en la foto de la Fig. 2.



Figura 2 - Ciudad de Gharyan, 60 km al sur de Trípoli, Libia. Pozo cuadrado de unos 10 m de lado y 8 m de profundidad. La temperatura interior se encuentra entre los 20 y 22°C y la temperatura exterior ronda los 30 y 40°C

De hecho, los hombres en la antigüedad pudieron sobrevivir varios periodos de glaciaciones de la Tierra utilizando las cavernas como refugios térmicos adecuados.

DESARROLLO

En una sonda se introdujeron varios sensores térmicos para monitorear las temperaturas del suelo a diferentes profundidades en función del tiempo. Se colocó a la intemperie con los termómetros en el suelo, como se observa en la Fig. 3. Las temperaturas se registraron cada hora a lo largo de varios meses.

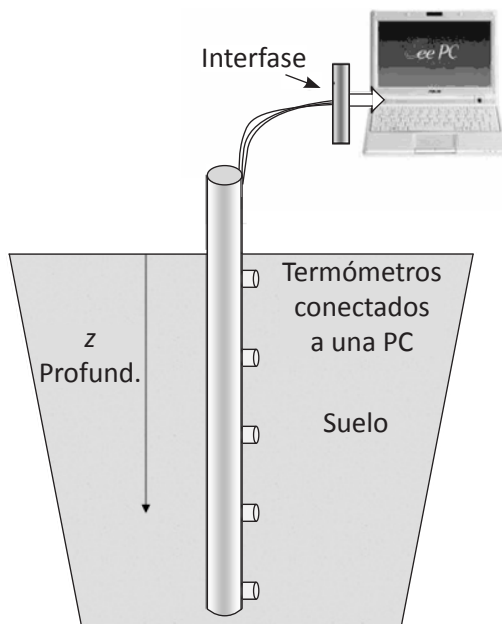


Figura 3 - Arreglo experimental para medir las ondas térmicas del suelo a diversas profundidades

Una vez caracterizadas las propiedades térmicas del suelo se realizó otra experiencia de campo en una casa con eficiencia energética ubicada en Tortuguitas, Provincia de Buenos Aires, denominada "CasaE". Esta casa, de propiedad de la empresa BASF (BASF noticias, 2010), fue facilitada para realizar el estudio que a continuación se detalla. Se utilizó un tubo de policloruro de vinilo PVC de 75 m de longitud, 20 cm de diámetro y 8 mm de espesor,

instalado en forma horizontal y zigzag, enterrado a 2 m de profundidad (Fig. 4) con el aire fluyendo a una velocidad de aproximadamente 5 m/s. Se registraron datos de temperaturas del aire a la entrada y a la salida del tubo cada 15 minutos durante un año.

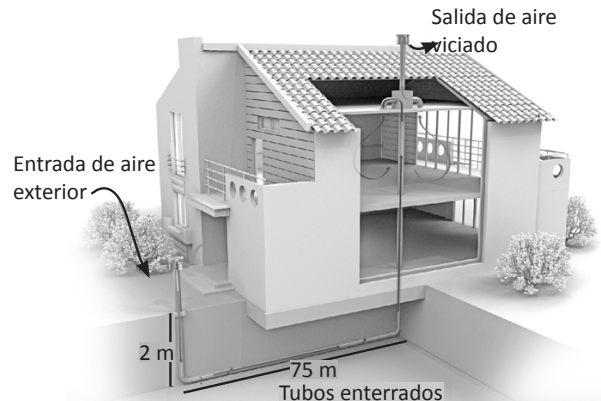


Figura 4 - Esquema de vivienda con tubos enterrados para el acondicionamiento térmico de ambientes utilizando la energía de la tierra como intercambiador de calor (Geothermal gradient, 2011; Sharan Girja et al., 2010)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Fig. 5 se representan los datos medidos de temperaturas a diferentes profundidades del suelo.

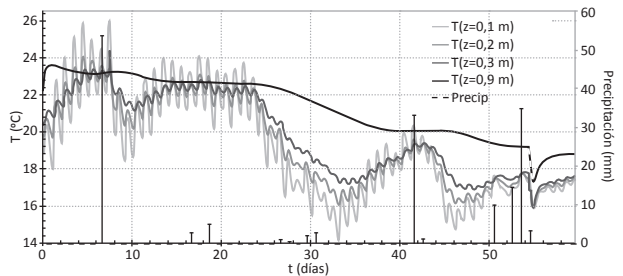


Figura 5 - Temperaturas medidas a diferentes profundidades en función del tiempo. Las líneas verticales indican días con precipitación y su medida (brindadas por el Servicio Meteorológico Nacional). Estos datos fueron obtenidos desde el día 28 de marzo de 2012 hasta el día 29 de mayo del mismo año en el suelo del INTI

Como se observa en la Fig. 5, donde se muestran las temperaturas medidas a diferentes profundidades en función del tiempo, el termómetro que

se encuentra más cerca de la superficie de la tierra (curva gris clara) tiene mayor amplitud que aquellos que están más alejados. Se observa el aplanamiento de la onda térmica a medida que ésta penetra más en el suelo debido a la capacidad de almacenamiento térmico de la tierra. La tierra actúa como un filtro pasabajos: las frecuencias altas son atenuadas paulatinamente a medida que se penetra en la tierra. La temperatura posee un rango de variación muy amplio en los primeros centímetros de profundidad del suelo. Sin embargo la variación se va reduciendo conforme aumenta la profundidad. La radiación solar calienta la superficie del suelo durante el día y ésta se enfría a lo largo de la noche. El calor en el suelo se propaga en forma de ondas y al cortarse el suministro de calor (desde el anochecer hasta el amanecer) las ondas en el suelo llegan a un máximo de temperatura en el primer termómetro. Asimismo la onda tarda un tiempo en llegar a los demás termómetros retrasando el momento en que cada uno alcanza su respectivo máximo. Las lluvias pueden producir rápidos y marcados cambios en las temperaturas superficiales del suelo. Se observan algunas desviaciones en los días inmediatamente después de fuertes lluvias que claramente afectan la difusividad del terreno, pero al cabo de un par de días el terreno se recupera y las ondas de calor de la tierra vuelven a su valor normal. En la Fig. 5 las precipitaciones se representan por medio de líneas verticales y en el eje vertical derecho se indica la cantidad de milímetros registrada en cada día.

A partir del ajuste de los datos experimentales con el modelo teórico se hizo un análisis de las temperaturas a diferentes profundidades del suelo en verano (enero) y en invierno (julio). 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. 6. A más de 4 m de profundidad la temperatura se mantiene constante, cercana a la de confort.

La Fig. 6 muestra la variación de la temperatura en función de la profundidad z para dos meses del año, enero (verano) y julio (invierno), de la onda de calor en la tierra generada por la variación anual de la temperatura. En la figura se puede observar que en Buenos Aires y regiones aledañas, a una profundidad de aproximadamente 4 m, en invierno puede haber una temperatura de 19,8°C y en verano una

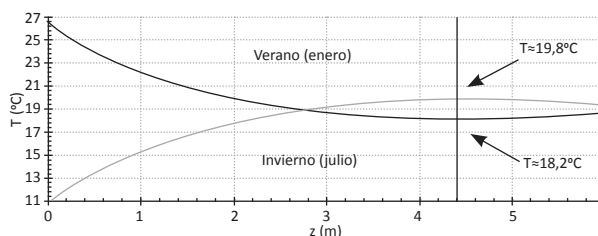


Figura 6 - Variación de la temperatura del suelo a distintas profundidades en las adyacencias de la ciudad de Buenos Aires, en el invierno (curva gris) y en el verano (curva negra). La línea vertical corresponde a la posición de los puntos de inversión de las temperaturas

temperatura de 18,2°C. En otras palabras, a esta profundidad se produce una inversión térmica: la temperatura es más alta que el promedio de temperatura ambiente en invierno y más baja que el promedio de temperatura ambiente en verano. Por consiguiente ésta es la profundidad óptima donde sería conveniente enterrar tubos para optimizar el intercambio térmico con los ambientes interiores (Arquitectura subterránea, 2012). Sin embargo es claro que si se colocan tubos a una profundidad de 2 m ya pueden lograrse efectos aproximados. La ventaja de colocar tubos enterrados a 2 m es que se disminuyen los costos de instalación.

Una vez caracterizadas las propiedades térmicas del suelo entre el 16 de marzo de 2012 y el 16 de marzo de 2013 (durante un año) se realizó un ensayo en la CasaE (BASF The Chemical Company, 2009) que la Empresa BASF Argentina tiene en Tortuguitas, Buenos Aires. Se utilizó un tubo de PVC de 20 cm de diámetro y 75 m de longitud ubicado a 2 m de profundidad. Se observó que la temperatura de salida fue casi constante, aún en períodos en los que la temperatura ambiente estuvo todo el día por debajo del valor medio anual. La temperatura de salida del aire siempre se mantuvo entre 16°C y 23°C, que es un rango de temperatura de confort (Fig. 7). La temperatura no fue inferior a 13°C ni superior a 25°C durante todo el año.

Se exploró la potencialidad del uso de tubos enterrados como medio de acondicionamiento térmico de ambientes (Iannelli et al., 2012). Para que este esquema de acondicionamiento de aire sea ade-

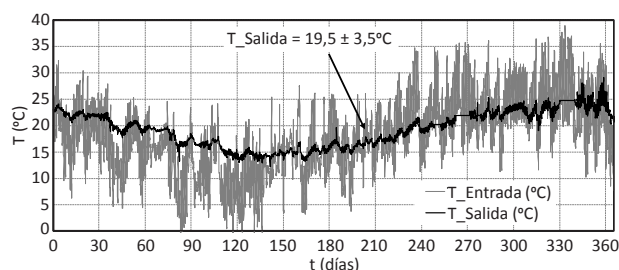


Figura 7 - Temperatura del aire a la entrada del tubo (curva gris) y a la salida (curva negra). Los registros térmicos se obtuvieron en forma horaria a lo largo de 365 días durante un año desde el 16 de marzo de 2012. Se observa que la temperatura de salida del tubo oscila entre 16°C y 23°C

cuado para una vivienda es necesario que se minimicen las pérdidas de calor en las paredes y techos. Es decir que la vivienda debe tener condiciones de aislación térmica adecuada. Los materiales de construcción modernos permiten lograr este objetivo sin grandes gastos, sobre todo en viviendas nuevas.

CONCLUSIONES

A una profundidad de 2 a 4 m el terreno está a una temperatura próxima a la de confort durante todo el año. Entre 3 y 4 m se produce una inversión de la temperatura en el suelo: en verano, el terreno es más frío y en invierno más caliente que los valores medios anuales de la temperatura ambiente. Esta región del suelo se convierte en un lugar óptimo para colocar un intercambiador térmico con el interior de los edificios lo que fue ensayado exitosamente en Buenos Aires. Las mediciones realizadas en la CasaE indican que este sistema puede usarse tanto en verano como en invierno. Se pudo comprobar que el intercambiador de calor aire-tierra produjo un flujo de aire a la salida con temperatura prácticamente constante, muy próxima a la de “confort”. El sistema de pre-acondicionamiento de aire, combinado con la adecuada aislación de las envolventes de los edificios, podría reducir las emisiones de GEI. Además, al reducir el actual consumo de gas natural, se podría lograr el autoabastecimiento de este combustible en la República Argentina. Estimaciones

preliminares indican que pueden lograrse ahorros del orden del 70% en calefacción y refrigeración en viviendas con buena aislación. En conclusión:

“La energía más limpia y barata es la que nunca se usa”.

AGRADECIMIENTOS

Por la colaboración conjunta entre la Escuela de Ciencia y Tecnología de la UNSAM, el ENARGAS y el Grupo de INTI - ENERGÍA.

REFERENCIAS

- World Meteorological Organization, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), *Fourth Assessment Report: Climate Change*, http://www.wmo.int/pages/partners/ipcc/index_en.html, (2007).
- Secretaría de Energía de la Nación Argentina. *Balace Energético Nacional*, <http://energia3.mecon.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=2973>, (2009).
- Mastrandrea and Schneider, Stephen, “Resource Letter GW-2: Global Warming”, *Am. J. Phys.* 76 (7), 608-614, (2008).
- Ruinas de los Quilmes, de Wikipedia, http://es.wikipedia.org/wiki/Ruinas_de_los_Quilmes, (2012).
- Basf Noticias. *Inauguramos la CasaE de BASF*, http://www.basf.com.ar/lacasae/images/pressroom/BASF_NOTICIAS_Julio_low.pdf, (2010).
- Geothermal gradient, de Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Geothermal_gradient, (2011).
- Sharan Girja & 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, 148-169, (2010).
- Arquitectura subterránea, de Wikipedia, http://es.wikipedia.org/wiki/Arquitectura_subterr%C3%A1nea, (2012).
- Iannelli y Gil, “Ondas de Calor-Determinación de temperaturas del pasado”, *Lat. Am. J. Phys. Educ.* Vol. 6, No. 1, 82(88), http://www.lajpe.org/mar12/16_LAJPE_616_Salvador_Gil_preprint_corr_f.pdf, Marzo (2012).
- Iannelli y Gil, “Acondicionamiento Térmico de Aire Usando Energía Geotérmica-Ondas de Calor”, *Lat. Am. J. Phys. Educ.* Vol. 6, No. 1, 99(105), http://www.lajpe.org/mar12/18_LAJPE_617_Salvador_Gil_preprint_corr_f.pdf, Marzo (2012).