

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UN SISTEMA PASIVO DE CLIMATIZACIÓN POR CONDUCTOS ENTERRADOS EN MARACAY, ESTADO ARAGUA

Reinaldo Rafael Ferraro

VI Especialización en Desarrollo Tecnológico de la Construcción, IDEC-FAU-UCV
reinaldoferraro346@gmail.com

Ernesto Lorenzo Romero

Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Central de Venezuela
ernestolorenzor@gmail.com

RESUMEN

El trabajo presenta el diseño, construcción y puesta en funcionamiento de un prototipo del sistema de climatización pasiva por conductos enterrados en la ciudad de Maracay, estado Aragua, donde prevalece un clima cálido-húmedo durante todo el año, con el fin de realizar la evaluación de su comportamiento, a la vez de estimar su efectividad en el logro del confort térmico humano en dicha región del país. Esta técnica de climatización consiste en hacer circular un determinado caudal de aire proveniente del exterior a través de tuberías enterradas, para que se estimule un intercambio de calor con la tierra, y finalmente ingresarlo en un espacio construido, a una menor temperatura y un reducido gasto energético asociado. En este sentido, los resultados obtenidos no solo permitieron corroborar la efectividad de la técnica, sino que contribuyeron al desarrollo del basamento de una segunda etapa del trabajo, donde se prevé estimar el potencial real de enfriamiento del sistema de conductos enterrados frente a otros sistemas de climatización utilizados comúnmente para el logro de las condiciones térmicas requeridas en las edificaciones ubicadas en clima cálido húmedo.

Palabras clave: arquitectura sostenible, ahorro energético, climatización pasiva, confort térmico.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo sostenible es un paradigma que se ha ido difundiendo en el panorama internacional como modelo de desarrollo que caracteriza a la sociedad moderna. Para su implementación se requiere atender distintas aristas como la económica, social y ambiental, buscando un equilibrio entre el hombre y la naturaleza. En el campo de la producción de edificaciones es fundamental migrar progresivamente hacia el logro de la sostenibilidad, ya que al ser las edificaciones el eje fundamental de las actividades humanas, su impacto es significativo no solo respecto al consumo de recursos no renovables, sino en la economía y sociedad en general.

En este sentido, el tema energético adquiere especial importancia, ya que entre sus repercusiones destaca el enorme impacto ambiental a causa de la combustión de combustibles fósiles para la generación de energía, en especial la creciente concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera terrestre, que conlleva el calentamiento global, considerado como la principal amenaza del planeta en la actualidad (IPCC, 2007). Si se analiza la matriz del consumo energético de los países tropicales, la climatización artificial en edificaciones comerciales y de vivienda suelen representar cerca del 50% de su consumo total durante su vida útil (UNEP, 2008), mientras en Venezuela no se publican cifras oficiales al respecto, a pesar de que representantes de Corpoelec, de manera extraoficial, afirman que la climatización artificial en el país equivale al 75% del consumo total del sector residencial.

Con base en lo anterior, se pone de manifiesto la importancia en desarrollar instrumentos que promuevan la producción de edificaciones térmicamente confortables a través del uso de técnicas de acondicionamiento pasivo adecuadas al clima, difundiendo su grado de aplicación a los profesionales de la arquitectura y la construcción, así como a los usuarios.

En dicho sentido, el IDEC ha sido pionero en el desarrollo de una línea de investigación en el área de habitabilidad y eficiencia energética en edificaciones, obteniendo avances importantes, gracias, entre otros, a los trabajos realizados por Allard et al. (1998) y Hobaica et al. (2001), donde se evaluó el potencial teórico de tres sistemas de climatización pasiva (sistemas evaporativos, radiantes y de contacto por el suelo), concluyendo que el sistema con mayor potencial de aplicación dentro del país es el sistema de conductos enterrados, resultado que fue corroborado posteriormente por el trabajo realizado por (Lorenzo, 2007), donde se presenta la aplicación de esta, así como su evaluación en relación con la reducción del consumo energético en una edificación de uso industrial. Asimismo se desarrolló una metodología para el cálculo y dimensionado del sistema de conductos enterrados, junto a su experimental en una zona montañosa de clima moderado-húmedo (Lorenzo et al., 2008), hasta que finalmente se logra la validación del método de cálculo propuesto (Lorenzo, 2013).

Con base en todo lo anterior y con el fin de contribuir en el desarrollo de la línea de investigación del IDEC, se presenta el diseño, construcción y puesta en funcionamiento de un prototipo del sistema de climatización pasiva por conductos enterrados en unas condiciones climáticas más desfavorables a las evaluadas hasta el momento, tomando como caso de estudio la ciudad de Maracay, estado Aragua, con el fin de realizar la evaluación de su comportamiento, a la vez de estimar su efectividad en el logro del confort térmico humano en esta región del país.

CLIMATIZACIÓN PASIVA EN EDIFICACIONES

El acondicionamiento pasivo persigue mejorar el comportamiento térmico de las edificaciones, actuando sobre los fenómenos de radiación, térmicos y de movimientos del aire. Son denominados pasivos por el hecho de emplear poca o nula energía para su funcionamiento.

La condición esencial de los sistemas de enfriamiento pasivo es la disponibilidad de una fuente de enfriamiento que se encuentre a una temperatura inferior a la temperatura del ambiente a enfriar. Esta puede ser una temperatura real, como la del suelo, o una hipotética como la de la bóveda celeste, pero en ambos casos esta es la temperatura mínima que puede alcanzar el fluido portador de calor a la salida del sistema de refrescamiento. Por otra parte, los sistemas de enfriamiento pasivo pueden ser: sistemas directos, aquellos que actúan directamente sobre la masa de la edificación o sobre el aire interior, o sistemas indirectos, aquellos en los que se enfría en una primera fase un fluido vector que es luego transferido al interior de la edificación, siendo este último el principio que rige el sistema de refrescamiento pasivo por conductos enterrados.

Sistema pasivo de climatización por conductos enterrados

Los sistemas de refrescamiento pasivo por conductos enterrados consisten en hacer circular un determinado caudal de aire tomado del exterior de la edificación, con la intención de que al pasar a través de una serie de conductos, preferiblemente de elevada conductividad y enterrados a cierta profundidad (-2,00 m), se active el intercambio convectivo con la superficie interna de los conductos para, finalmente, ser introducido en el espacio a una temperatura que pudiese ser menor o mayor a la inicial, según sea el caso donde se aplique (figura 1).

181

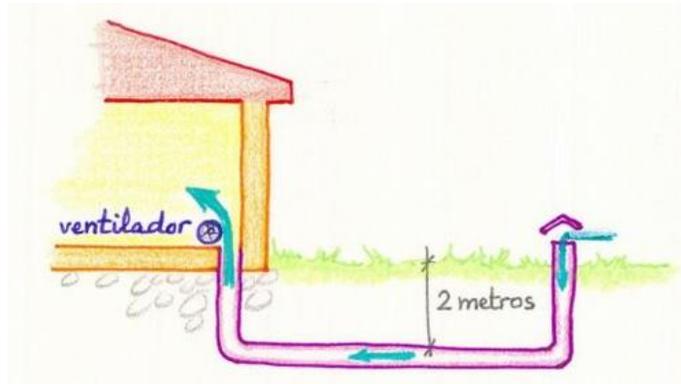


Figura 1. Esquema de funcionamiento del sistema de conductos enterrados
Fuente: Guías de estudio profesora María Dolores García, Galicia-España, 2008.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

El desarrollo del prototipo se llevó a cabo en los terrenos del Museo Nacional de Historia y de la Diversidad Cultural de Venezuela (en construcción), ubicado en la ciudad de Maracay, donde predomina durante la mayor parte del año un clima cálido húmedo.

Debido a que el sistema debe ser diseñado en función de las características propias del lugar donde será construido, el desarrollo del prototipo se estructuró en dos etapas. La primera consistió en la recopilación y documentación de las características propias del lugar, lo que propició un diseño adecuado en función de los datos obtenidos, mientras la segunda etapa comprendió la construcción del sistema y su puesta en marcha. Durante ambas etapas se emplearon distintos equipos de medición como *data logger* y sensores, de la corporación internacional Onset Computer Corporation a través de su marca registrada HOBO®, los cuales son un aval en los resultados obtenidos.

Fase preliminar de levantamiento de información

Se realizaron las mediciones de la temperatura del suelo a dos metros de profundidad; en paralelo se registraron la temperatura y humedad del aire exterior para así verificar las diferencias existentes (figura 2). Los registros de las temperaturas llevados a cabo en esta primera etapa de la experimentación fueron realizados durante cinco días continuos y en el mes de octubre de 2013.



Figura 2. Proceso de excavación y colocación de los sensores para el registro de la temperatura del suelo.
Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 3, las mediciones registraron una temperatura constante de 26,73 °C del suelo y una máxima del aire de 33,59 °C, estableciendo un diferencial significativo entre ambas temperaturas de 6,86 °C. Estos resultados positivos, por demás, evidenciaron que existe un potencial de aplicación importante en la zona evaluada, por lo cual se procedió a la construcción del prototipo.

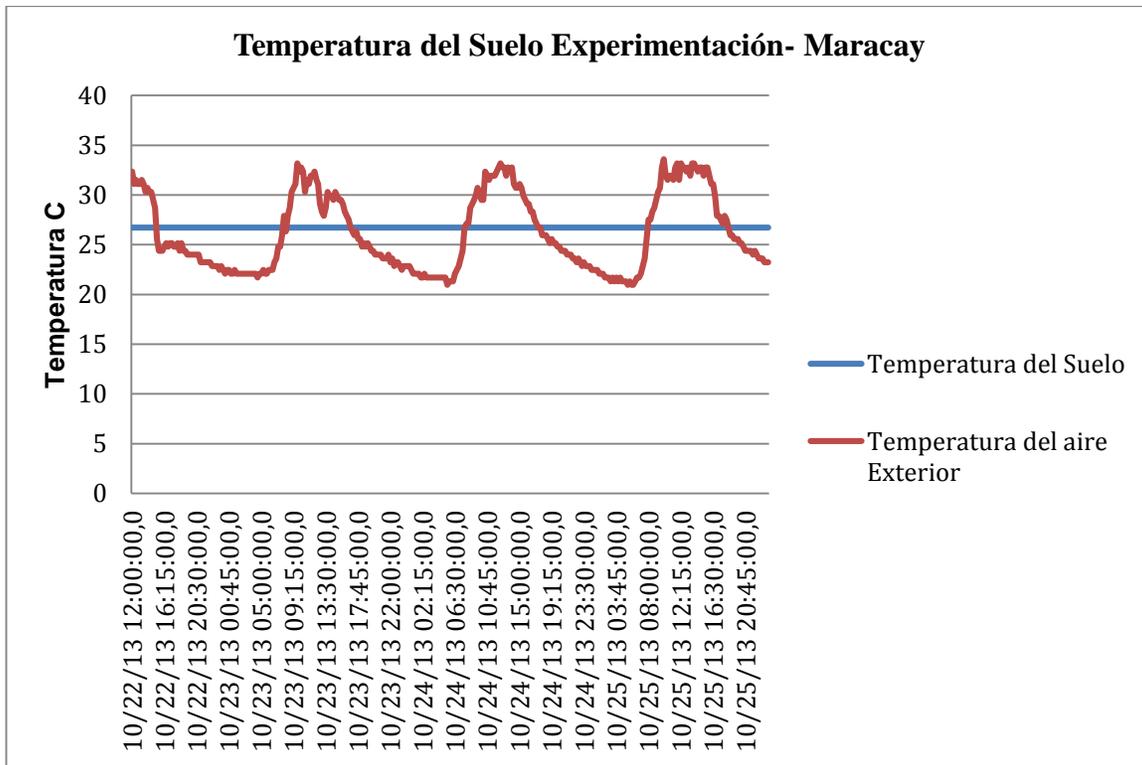


Figura 3. Resultado de las mediciones *in situ*.
Fuente: Elaboración propia.

Fase de construcción del prototipo

El proceso de construcción se llevó a cabo durante el mes de octubre de 2013, y el monitoreo y documentación del comportamiento del sistema se realizó durante cinco días consecutivos. En este período se realizó la excavación de una zanja de dos metros de profundidad para acceder a la temperatura deseada.

Una vez culminada la zanja se colocó un tramo de veintiséis tubos de PVC de 3", conformando un recorrido de 30 metros lineales. Posteriormente se cubrió por completo la zanja y se colocaron seis sensores que se encargarían de registrar cada 15 minutos la humedad y temperatura del aire dentro del tubo, las temperaturas del aire exterior, a la salida del suelo y del recorrido del sistema. Igualmente se colocó un sensor para registrar la temperatura del suelo (figura 4).



Figura 4. Realización de la zanja y colocación de los tubos.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 5. Instalación del ventilador y medición del aire dentro del tubo.
Fuente: Elaboración propia.

Para garantizar un recorrido constante del aire dentro del sistema de tubos enterrados, se utilizó un ventilador de 7" de 1625 RPM, con una velocidad de 2,00 m/s (figura 5).

Interpretación de resultados

Para el momento en el que se registró la mayor temperatura del aire exterior, se obtuvo un diferencial de 6,07 °C, el cual tuvo lugar cuando la temperatura del aire exterior alcanzó 33,59°C, mientras que la del aire a la salida del sistema fue de 27,52 °C (figura 6).

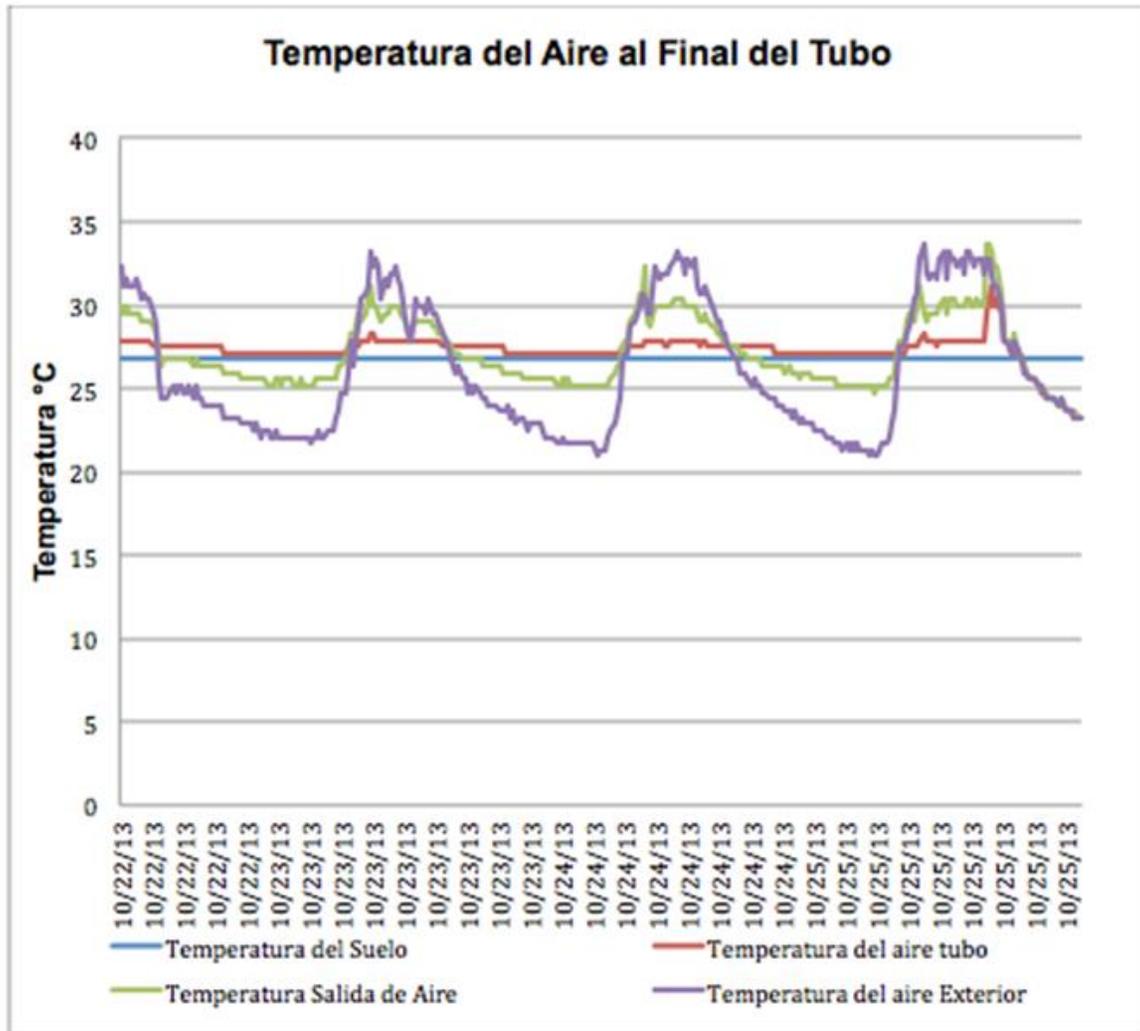


Figura 6. Temperaturas registradas durante la experimentación dentro y fuera del tubo.
Fuente: Elaboración propia.

Con base en la estimación de la capacidad de enfriamiento del sistema, frente a las temperaturas de aire exterior registradas, se observó que para optimizar su uso es necesario establecer un rango de funcionamiento que permita el máximo aprovechamiento. Por lo tanto, se debe tomar como premisa el encendido y apagado del sistema en el momento en el cual la temperatura del aire exterior supera a la obtenida por el sistema.

En este sentido, y con base en los datos obtenidos en la experimentación, el sistema sería eficiente a partir de las 8:15 am, ya que la temperatura del aire exterior es superior a la del sistema, hasta las 4:30 pm, momento en el cual la temperatura del aire exterior es inferior a la del sistema de tubos enterrados (figura 7).

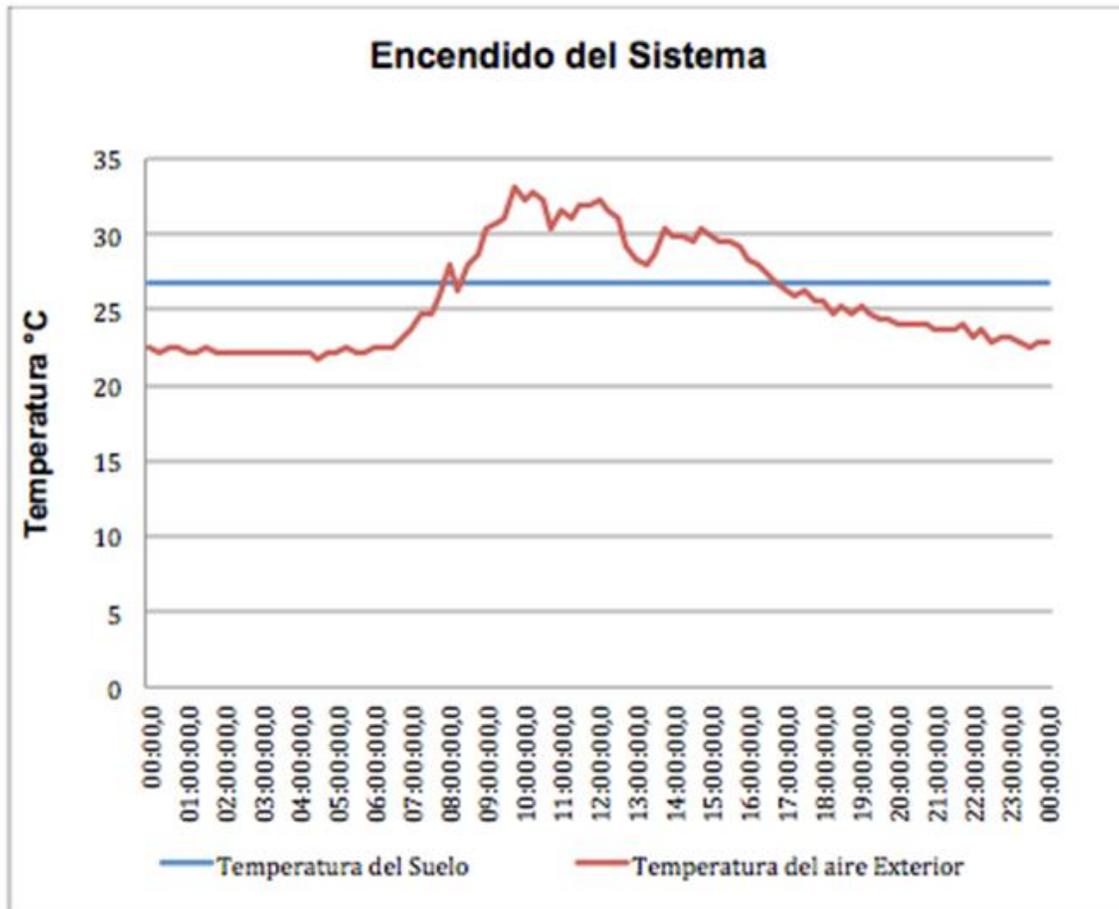


Figura 7. Temperaturas registradas durante la experimentación dentro y fuera del tubo
Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Los resultados de las mediciones permitieron evaluar detalladamente el comportamiento real de este sistema en clima cálido húmedo, arrojando las siguientes conclusiones.

1. Hasta los dos metros de profundidad, las lecturas recabadas han sido completamente estables a lo largo de la experimentación, que permite inferir que pasados los dos metros de profundidad la temperatura local es estable y constante, lo cual coincide con los datos de la literatura existente.
2. Para un recorrido de 30 m lineales se registró una temperatura del aire a la salida del sistema de 27,52 °C, mientras la temperatura del suelo fue de 26,73 °C, por lo tanto, se puede establecer

que para diámetros de tubo cercanos a las 3” se considera innecesario aumentar la longitud, ya que la disminución de la temperatura sería despreciable y no justificable, en comparación con los gastos que esto conllevaría al proyecto.

3. Para zonas con clima cálido húmedo como el del estado Aragua, se aconseja cubrir la superficie exterior a lo largo de donde se encuentran los tubos, con vegetación de poca altura o cantos rodados, con un sistema de irrigación con agua, para mantener el suelo con una elevada humedad. La vegetación y las piedras evitan el paso de la radiación solar y a la vez permite la evaporación del agua en la superficie debido a los intersticios entre las rocas, disminuyendo así la temperatura de suelo.

4. A la hora de poner en práctica estos sistemas, se aconseja el empleo de ramales de conductos cuyas juntas sean continuas o unidas con soldadura por termofusión, para prevenir el ingreso por fisuras del gas radón, el cual se encuentra en algunos tipos de suelo, y puede llegar a causar cáncer de pulmón si se expone al cuerpo humano por largos períodos de tiempo.

La aplicación de esta tecnología respecto al uso de los equipos de aire acondicionado tradicionales, se percibe como una alternativa de gran interés, ya que se puede afirmar que utiliza al menos diez (10) veces menos energía que los equipos tradicionales, no altera las propiedades del aire, permite la renovación periódica del aire en un espacio, y estimula los proceso de enfriamiento por convección a través de un flujo permanente de aire, mejorando las condiciones de confort. Asimismo, esta técnica de climatización presenta otras ventajas adicionales como son su simplicidad, flexibilidad y capacidad para ser combinada con otros sistemas e integrada a un diseño racional de la envolvente de la edificación.

Finalmente, los resultados obtenidos demuestran que con la aplicación de este sistema en climas cálido húmedo como el de la ciudad de Maracay, se pueden alcanzar los rangos de confort térmico humano, sin la necesidad de utilizar equipos activos de climatización, por lo que esta técnica se convierte en una alternativa factible desde el punto de vista ambiental, económico y social.

REFERENCIAS

- Allard, F. y Belarbi, R. (1998). Metodología de evaluación de técnicas pasivas de enfriamiento. *Cotedi'98*, Caracas, Venezuela.
- Hobaica, M.E., Belarbi, R. y Rosales, L. (2001). Los sistemas pasivos de refrescamiento de edificaciones en clima tropical húmedo. *Tecnología y Construcción, 17-1*, Caracas-Venezuela, IDEC/UCV.
- IPCC. (2007). Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Ginebra, Suiza.

Lorenzo, E. (2007). Climatización pasiva por conductos enterrados. Caso de aplicación: Almacenes L&G para bebidas alcohólicas y gaseosas. Tesis de especialización no publicada. Caracas, Venezuela.

Lorenzo, E. (2013). Desarrollo y validación teórico-experimental de metodología y herramienta computarizada, para evaluación, cálculo y/o dimensionado de sistemas de conductos enterrados en el trópico. Trabajo de ascenso. Caracas, Venezuela.

Lorenzo, E., Hobaica, M. y Conti, A. (2008). Desarrollo experimental de un prototipo del sistema de tubos enterrados. *Tecnología y Construcción*, vol. 24, n° I, Caracas, Venezuela.

UNEP. (2008). *Annual Report 2008*. London, United Nations Environment Program Earthprint.