

AS-5

PROYECTO DE CLIMATIZACIÓN PASIVA POR CONDUCTOS ENTERRADOS. CASO: MÓDULOS DE AULAS DEL NÚCLEO UCV, CAICARA DE MATURÍN, ESTADO MONAGASLorenzo, Ernesto^a / Hobaica, María^a / Segura, Julio^b^a Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción (IDEC), Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Central de Venezuela, Caracas^b Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Caracas

ernestolorenzor@gmail.com / hobaica@gmail.com / jsegura.ucv@gmail.com

INTRODUCCIÓN

Concebir edificaciones de calidad en un marco de sustentabilidad es un reto frente a las dificultades por las que atraviesa el Sector de la construcción en Venezuela. No obstante, la crisis debe entenderse como una oportunidad en un país que difícilmente pueda mantenerse al margen de las causas que han llevado a los expertos del mundo a reunirse y ejercer acciones frente al cambio climático y sus consecuencias.

Alfredo Cilento define la sustentabilidad como la necesidad de atender e intentar resolver los problemas que afectan la calidad de vida de los actuales habitantes del planeta, sin comprometer la posibilidad de que las futuras generaciones puedan disponer de recursos para enfrentar los suyos, en una referencia directa a la modificación del ambiente natural, actividad característica de los arquitectos e ingenieros, y señala lo fundamental del concepto al precisarlo como un enfoque de carácter multifocal, que implica aspectos tecnológicos, políticos, sociales, económicos, ecológicos y éticos.

Cada vez son más los convencidos de la responsabilidad humana en los cambios climáticos en el planeta. Organismos como las Naciones Unidas y la Comunidad Europea, muestran la voluntad para encontrar evidencias sobre la incidencia de ciertos gases de combustión en el denominado efecto invernadero aparentemente responsable del aumento de temperatura observado principalmente en los polos.

El consumo de petróleo sigue en aumento por el crecimiento económico mundial, aunque a menor velocidad que en el pasado reciente por las medidas implementadas para el ahorro energético en países desarrollados. De igual modo las reservas mundiales de petróleo han

aumentado por el descubrimiento de nuevos yacimientos y los avances tecnológicos para optimizar al crudo.

En medio de este panorama, Venezuela detenta una de las mayores reservas mundiales, que no se refleja en su producción, a la vez que el comportamiento entre la oferta y la demanda de energía muestra un déficit por insuficiencia en la generación térmica y excesivo consumo, al ser Venezuela el mayor consumidor per cápita de energía eléctrica en toda América latina (Banco Mundial 2007).

No queda duda de que es un imperativo racionalizar este recurso limitado que es la energía fósil no renovable y buscar a la vez fuentes de energía renovables más limpias y no contaminantes. La toma de conciencia en este sentido concierne a múltiples actores y toca muy de cerca a los relacionados con el arte de concebir y producir las edificaciones, grandes consumidoras de energía, aproximadamente la mitad de la que se consume.

Las edificaciones tienen una incidencia en el largo plazo sobre el consumo energético, por lo que el cálculo de su eficiencia energética es fundamental y requiere, una vez que se haya diversificado la oferta de sistemas de energía, de la expresión clara y sencilla de indicadores de resultados, como el grado de consumo y/o la emisión de CO₂.

De allí la pertinencia de favorecer tanto el uso racional de las energías fósiles mediante desarrollos de los sistemas pasivos, como que se avance en el uso de energías renovables. Al respecto los países desarrollados se han impuesto como meta construir edificios que produzcan más energía que lo que consumen mediante la optimización del consumo y la diversificación de la oferta energética sin perder de vista la evaluación de costos y beneficios por sector. Todo ello en el marco del contexto energético mundial y por su pertinencia social con la perspectiva de avanzar hacia una normativa de habitabilidad.

El siguiente trabajo es un avance en la determinación tanto teórica como práctica del potencial del sistema de conductos enterrados para reducir la temperatura en espacios internos en edificaciones y mejorar las condiciones de confort, a la vez que se reduce el consumo de energía fósil y se apuesta por energías más limpias. El punto de partida lo constituyen una serie de investigaciones previas, entre las que destaca el estudio derivado del acuerdo de cooperación acordado por la universidad de la Rochelle a través de su laboratorio LEPTAB, con el Instituto

de Desarrollo Experimental de la Construcción (IDEC) (FAU) (UCV) vigente desde 1991, que nos permitió determinar el potencial teórico de diversas técnicas pasivas para mejorar el confort y reducir el gasto energético de edificaciones.

Se partió de una preselección de sistemas pasivos de eficiencia comprobada en diversas latitudes, a fin de evaluar su aplicación extendida en edificaciones situadas en distintos sitios esencialmente urbanos del país. Los logros a nivel europeo condujeron a ratificar el uso de sistemas de enfriamiento sensible, específicamente los conductos enterrados, sistemas de radiación y sistemas de evaporación directos e indirectos. A partir de los resultados finales se planteó elaborar un mapa delimitado por zonas en función del tipo de clima a fin de presentar las técnicas apropiadas para cada una de estas regiones según sus particularidades climáticas.

De acuerdo al estudio, uno de los sistemas pasivos con mayor potencial en Venezuela es el de enfriamiento por conductos enterrados (Hobaica, et al, 2001), (Lorenzo 2007), (Lorenzo, et al, 2008). Las investigaciones y aplicaciones así lo afirman tal y como se demuestra a continuación mediante la presentación de algunas premisas esenciales para el cálculo y evaluación de un proyecto de tubos enterrados en función a las variables del caso y de una aplicación específica: El proyecto y construcción de un sistema de conductos enterrados para el núcleo de la Universidad Central de Venezuela en Caicara de Maturín.

PREMISAS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA DE CONDUCTOS ENTERRADO.

Problemas de evaluación vs. Problemas de diseño

En un problema de evaluación en general, y en particular en uno de evaluación de sistemas pasivos de climatización por conductos enterrados, los datos conocidos son, además de las propiedades físicas de las sustancias y los materiales involucrados, los de carácter geométrico, como diámetros y longitudes de los conductos, profundidades a las que estos están enterrados, etc., mientras que las incógnitas son de naturaleza térmica, como temperaturas del aire a la entrada y a la salida de los conductos y del subsuelo en contacto con estos, tasa de flujo de calor transferido entre el aire y el subsuelo, etc. Por el contrario, en un problema de diseño en general, y en particular en uno de diseño de sistemas pasivos de climatización por conductos enterrados, los datos conocidos son, nuevamente además de las propiedades físicas de las sustancias y los materiales involucrados, los de carácter térmico (temperaturas, tasa de flujo de

calor, etc.), mientras que las incógnitas son de naturaleza geométrica (diámetros, longitudes, profundidades, etc.). Lo anterior establece una gran diferencia entre un problema de evaluación y uno de diseño, ya que el primero es un problema con única solución, mientras que el segundo es uno con múltiples soluciones.

Para resolver un problema de diseño es necesario, además de un procedimiento de cálculo que también se requiere para resolver un problema de evaluación, un método conocido como "método de diseño", el cual es para la tecnología lo que el "método científico" es para la ciencia. En el método de diseño deben plantearse diferentes opciones de solución al problema, siendo necesario hacer la evaluación de cada una de ellas, lo que transforma esta fase del problema de diseño en tantos problemas de evaluación como opciones se hayan planteado.

Con base en lo anterior Fontalvo y Silva (2009), llevaron a cabo un estudio destinado a la afinación de un procedimiento de cálculo simplificado (Lorenzo 2007), utilizado por el IDEC para determinar las características del sistema de conductos enterrados en función de las variables climáticas y arquitectónicas del lugar de aplicación. Entre los aportes destaca la inclusión de ecuaciones de ajuste a las curvas características del comportamiento de ventiladores, permitiendo la selección de los ventiladores que se especificaron en el proyecto del Núcleo de la UCV, en Caicara de Maturín. Del mismo modo, se incluyó la correlación empírica de Ravigururajan y Bergles, permitiendo la estimación del coeficiente de transferencia de calor por convección en superficies con aletas, como opción a considerar en futuros diseños de sistemas pasivos de climatización por conductos enterrados, ya que incrementaría la tasa de flujo de calor transferido entre el aire y el subsuelo.

Evaluación de sistemas pasivos de climatización por conductos enterrados. Comportamiento térmico del subsuelo

Gómez y Pérez (2009), evaluaron mediante simulación computacional, el comportamiento de la instalación experimental de un sistema pasivo de climatización por conductos enterrados desarrollado previamente por el IDEC en El Laurel, núcleo de la Facultad de Agronomía, a las afueras de Caracas, incluyendo el comportamiento térmico del subsuelo, con resultados satisfactorios. Se utilizó el *software* propietario ANSYS® CFX™, que a partir de balances de energía, *momentum* y masa en régimen transitorio, implementa el método numérico de volúmenes finitos basados en elementos, que requiere discretizar el dominio computacional de

manera relativamente fina para lograr una precisión adecuada, demandando gran capacidad de cómputo (se utilizó una estación de trabajo de dos procesadores de 64 bits, con 4 GB de memoria RAM), para resolver mediante simulación computacional un problema de evaluación.

Vale la pena destacar que gracias a ambas experiencias, se evidenció la conveniencia de formular un balance de energía para el ciclo día-noche, que considere las características propias de las diferentes regiones de Venezuela, que a su vez, permita la creación de un modelo físico-matemático simplificado, cuya solución considere el comportamiento térmico del subsuelo nacional en el procedimiento de cálculo con una adecuada precisión y poca capacidad de cómputo, ya que en la búsqueda de la solución de un problema de diseño son necesarias varias simulaciones de las que se requieren para resolver un problema de evaluación.

Al profundizar un poco más sobre el comportamiento térmico del subsuelo en Venezuela, Gómez y Pérez (2009) revisaron literatura especializada y establecieron lo que bien pudiera llamarse el correspondiente "estado del arte". También, se entrevistaron con investigadores de la Facultad de Agronomía de la UCV y del Departamento de Ingeniería Hidrometeorológica, Escuela de Ingeniería Civil y la Facultad de Ingeniería, UCV, obteniendo datos sobre las características de los suelos, y su temperatura, registradas específicamente en el *campus* de la UCV en Maracay y la Ciudad Universitaria de Caracas. Además, de contar con los datos medidos por Lorenzo (2008) en El Laurel, donde el IDEC dispone de un prototipo experimental del sistema de climatización pasiva por conductos enterrados.

Como resultado, demostraron que debido a la radiación solar directa, que sólo incide sobre el suelo durante las horas de insolación, según una curva casi-sinusoidal de intensidad de radiación vs. hora del día, se pueden establecer tres profundidades límite (0.15 m, 0.75 m y 2 m, al menos en las tres localidades anteriormente mencionadas) que definen cuatro capas del subsuelo, de comportamiento térmico bien diferenciado: la primera, en régimen transitorio severo, la segunda en régimen transitorio intermedio, la tercera en régimen transitorio leve o casi-permanente y la cuarta en régimen permanente.

Estas cuatro capas térmicas se caracterizan por:

- Capa térmica en régimen transitorio severo, de gran variación de temperatura (en el entorno de 25 °C) para profundidades menores que 0.15 m: la temperatura varía, además de con la profundidad, con la hora del día y el día del año.
- Capa térmica en régimen transitorio intermedia, de moderada variación de temperatura (menores de 10 °C), para profundidades mayores que 0.15 m y menores que 0.75 m: la temperatura varía, con la profundidad y, de manera significativa, con el día del año.
- Capa térmica en régimen transitorio leve o cuasi-permanente, de insignificante variación de temperatura (en el entorno de 5 °C), para profundidades mayores que 0.75 m y menores que 2 m: la temperatura varía con la profundidad y, de manera leve, con el día del año.
- Capa térmica en régimen permanente, de nula variación de temperatura (0 °C), para profundidades mayores que 2 m: la temperatura varía sólo con la profundidad y la determina el denominado "gradiente geotérmico", expresado en °C/m.

Paralelamente a estos temas desarrollados conjuntamente entre el IDEC de la FAU y la Escuela de Ingeniería Mecánica, mediante la tutoría de las tesis de pregrado señaladas además del prototipo experimental construido y evaluado en la planta experimental del IDEC, se pudo llevar a cabo un proyecto de conductos enterrados para su aplicación en Caicara de Maturín, cuyas condiciones climáticas bastante más desfavorables que las del núcleo El Laurel constituyen un interesante desafío para alcanzar un grado de confort aceptable.

CASO DE APLICACIÓN

Alcance del proyecto.

La construcción del núcleo de la Universidad Central de Venezuela en Caicara de Maturín ha sido abordada desde un enfoque sustentable que busca cubrir al máximo las condiciones de habitabilidad. De tal manera que como parte del proceso de diseño se comenzó realizando un estudio que permitió determinar las condiciones adecuadas de confort térmico en los momentos más calurosos del día. Asimismo a partir del análisis de las características climáticas de la zona se determinó la técnica de climatización pasiva más apropiada para la climatización de los módulos de aulas, desarrollando finalmente el proyecto para su construcción "in situ".

Estudio de las condiciones climáticas de Caicara de Maturín - Monagas.

Caicara de Maturín, está ubicada en latitud $09^{\circ}48' - 58^{\circ}78' N$ y longitud $63^{\circ}36' - 52^{\circ}27' O$, con una altitud de 300 m sobre el nivel del mar, lo que la convierte en una región de clima tropical. Asimismo por su ubicación geográfica y los diferentes factores locales del clima (microclima) los valores de humedad en el aire son bastante elevados durante todo el año.

El estudio partió del análisis del comportamiento climático de la región, obteniendo inicialmente las fluctuaciones de temperatura anual, diferencias de temperatura entre el día y la noche, temperaturas máximas, mínimas y promedios, así como la variación de la humedad contenida en el aire durante el día. (Figura n°1).



Figura n°1.- Comportamiento climático anual Caicara de Maturín.
Fuente: Elaboración propia, con base en el programa WeatherTool.

En la Figura n°1 se observa que durante todo el año las temperaturas máximas en la región no superan los $36^{\circ}C$, siendo Abril y Mayo los meses más calurosos. Asimismo las temperaturas más bajas se registraron en el mes de Enero y las mismas rondan los $18^{\circ}C$. La humedad relativa del aire es elevada durante todo el año, y ésta tiende a subir cuando baja la temperatura y viceversa.

Una vez realizado el estudio detallado de las variables climáticas de la región de Caicara, se generó un ábaco psicrométrico donde se indica la zona de confort térmico, si se realiza una actividad sedentaria en ausencia de viento. (Figura n°2).

Esta zona de confort esquematizada en la figura n°2, demuestra que en la ciudad de Caicara de Maturín, si se realiza una actividad sedentaria (leer, escribir, estudiar, etc.) en ausencia de viento, no se logrará estar en ningún momento del año dentro de la zona de confort. Si bien existen temperaturas relativamente bajas que pudieran estar dentro de la zona de confort, lo que impide que esto se logre, es el elevado nivel de humedad presente en el aire, ya que el mismo no facilita la transpiración, como mecanismo de refrescamiento natural del cuerpo humano.

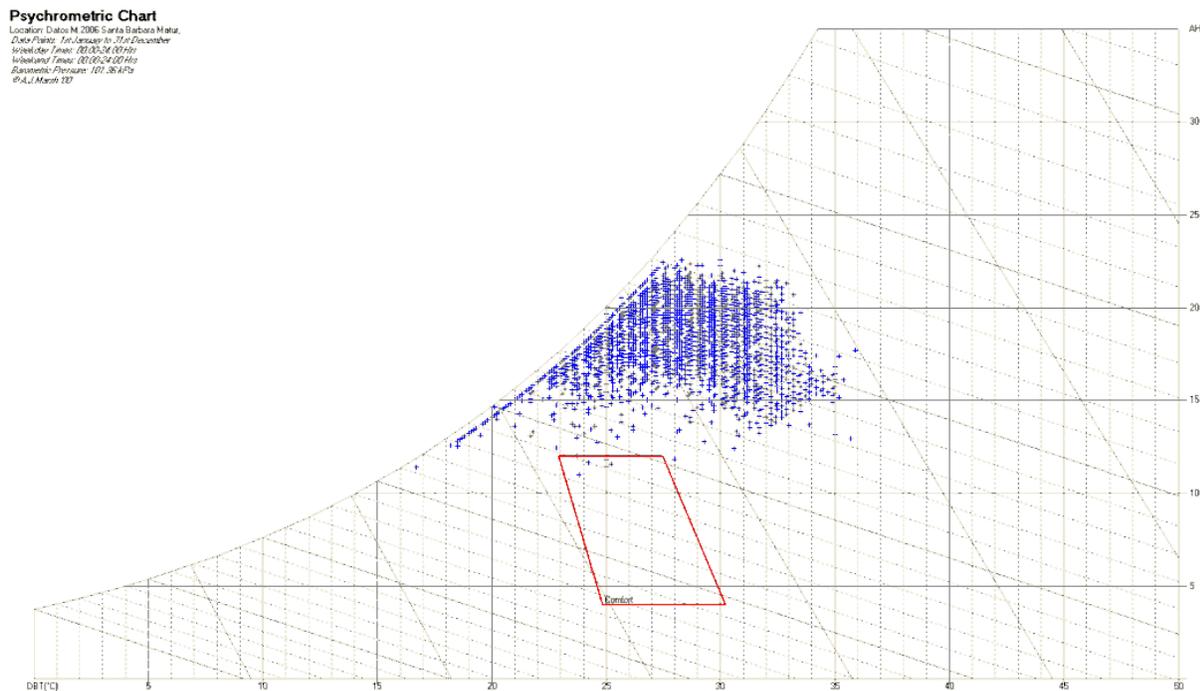


Figura n°2.- Zona de confort Caicara de Maturín.
 Fuente: Elaboración propia, con base en el programa WeatherTool.

En este contexto climático, se concluye que es necesaria la aplicación de estrategias de climatización enfocadas en la estimulación de los intercambios de calor con la piel, garantizando así un refrescamiento efectivo de la misma.

Se realizaron estudios de las posibles estrategias capaces de contribuir en la mejora de las condiciones térmicas. De los análisis respectivos se desprende que el logro de una ventilación

cruzada efectiva (bien sea de manera natural o forzada) permite ampliar la zona de confort a tal punto, que se puede sentir satisfacción térmica durante la mayor parte del año sin el uso de equipos activos de climatización. Asimismo se observó que en los momentos en que la temperatura exterior supera los 33°C (temperatura de la piel) la ventilación natural pierde efectividad, por lo que surge la necesidad de implementar algún otro sistema de climatización que permita la reducción de la temperatura del aire, como el sistema de enfriamiento del aire a través de tubos enterrados. (Figura n°3).

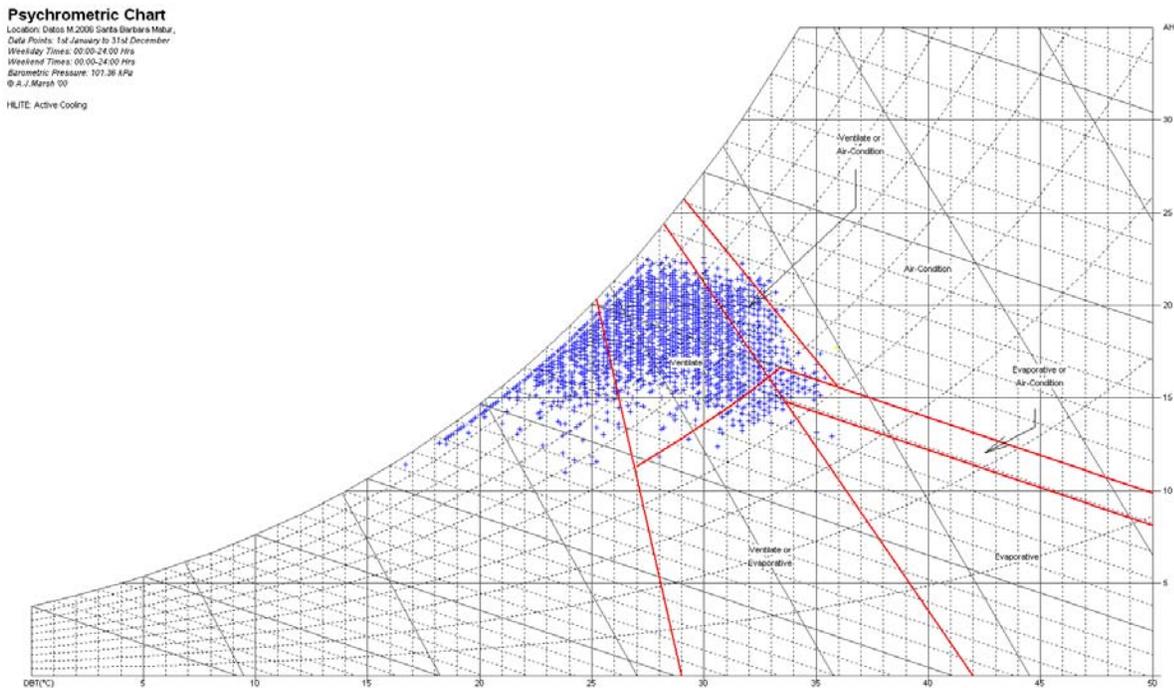


Figura n°3.- Estrategias de climatización en Caicara de Maturín (Weatool V1.2)
 Fuente: Elaboración propia, con base en el programa WeatherTool.

Es importante destacar, que a la par del logro de un efectivo sistema de ventilación, no debe perderse de vista la necesidad de una adecuada protección solar, como complemento de las distintas acciones propuestas para alcanzar el confort dentro de los módulos de aulas.

Estudio y viabilidad de la técnica de climatización pasiva por conductos enterrados en Caicara de Maturín – Monagas.

El enfriamiento por el suelo se fundamenta en la disipación del calor hacia el suelo, cuya temperatura, luego de cierta profundidad, es sensiblemente menor que la del ambiente. El recurso más simple es enterrar parcialmente la edificación (enfriamiento directo), con lo cual se crean paredes frescas cuya masa térmica se incorpora a la del terreno, lo que reduce la temperatura radiante y disipa hacia el terreno por conducción el calor que se genera en los espacios.

Más elaborado es el sistema de tubos enterrados, que como su nombre indica, consiste en enterrar una serie de conductos hechos de un material con conductividad elevada, de tal modo que a través de ellos, circulará aire que, tomado del exterior del edificio pasará por los conductos, hasta finalmente entrar en el edificio a una temperatura inferior.

El principio de este sistema de climatización parte, de que la temperatura de la tierra alrededor de los dos metros de profundidad se mantiene prácticamente constante durante todo el año y con valores cercanos a la temperatura media anual de la región.

El aire en vez de ser insertado a la edificación de manera directa, se hace recorrer primero por un sistema de tubos enterrados a cierta profundidad, lo que permitirá la activación de los intercambios convectivos entre el aire y la superficie interior del tubo, obteniendo finalmente una reducción o aumento de la temperatura del aire según sea el caso (Figura 4).

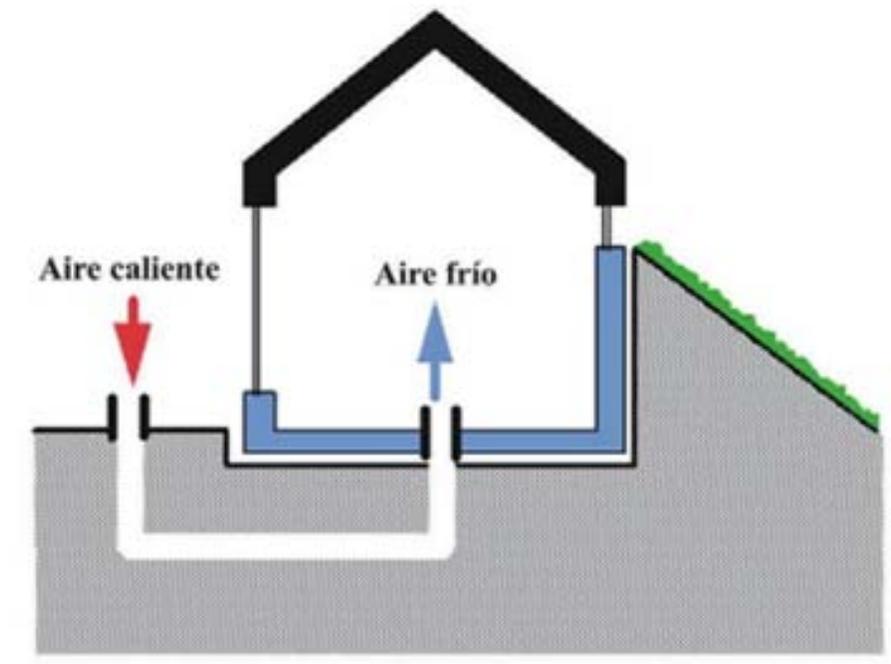


Figura n°4.- Principio de la tecnología de tubos enterrados.
Fuente: L. Rosales, Acondicionamiento Ambiental. FAU-UCV.

La versatilidad de esta tecnología permite que sea utilizada tanto en climas calientes como fríos, siendo el principio exactamente el mismo. Su comportamiento en climas cálidos es muy bueno por reducir considerablemente la temperatura interior de las edificaciones, mientras se logra:

- 1.- Usar 10 veces menos de energía, que con equipos activos de climatización.
- 2.- No modificar las propiedades del aire natural, lo que en ciertas ocasiones conlleva a problemas de salud.
- 3.- Renovar los caudales de aire recurrentemente.
- 4.- Un flujo de aire que permite acelerar los procesos naturales de evaporación y generar mejores condiciones de confort.

Ahora bien, en todos los casos es necesario realizar una evaluación "in situ", para verificar el potencial real de la tecnología. En Caicara de Maturín se comenzó realizando una perforación que nos permitió tener acceso a los distintos niveles de profundidad deseados, para así y con la ayuda de equipos de medición especializados, tomar la temperatura en cada uno de los casos a evaluar (1,5m, 2m 2,5m y 3m).

Una vez finalizado el periodo de mediciones se observó que la temperatura de la tierra en la zona permanece estable a partir del metro y medio de profundidad con una temperatura de 29,1°C, mientras en el exterior se registraron picos que llegaron a los 35 °C (Figura n°5).

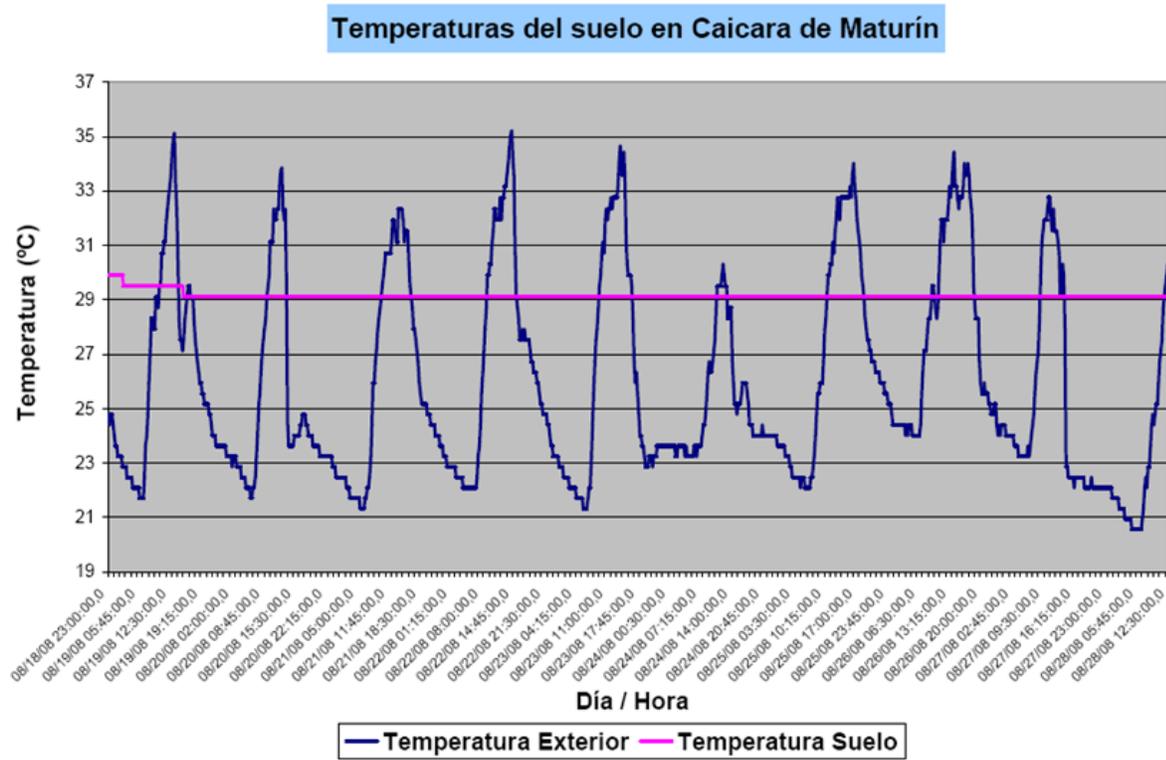


Figura n°5.- Registro de Temperaturas en Caicara de Maturín
Fuente: Elaboración propia

La diferencia de temperatura entre el suelo y la máxima exterior registrada en las mediciones, fue de 6°C, lo que hace que la técnica posea un potencial de aplicación considerable, el cual comenzaría una vez que la temperatura exterior supere los 29°C.

Sin embargo por tratarse de una aplicación que se realiza por 1ra vez en ésta zona, donde predomina un clima cálido húmedo, se procedió con base en los datos climáticos de la región, a comprobar la transferencia de calor dentro del tubo (figura n°6), para seguidamente realizar una simulación computarizada donde se evidenció el comportamiento teórico del sistema durante su funcionamiento continuo (día y noche) (Figura n° 7).

Temperatura del Aire en el Tubo

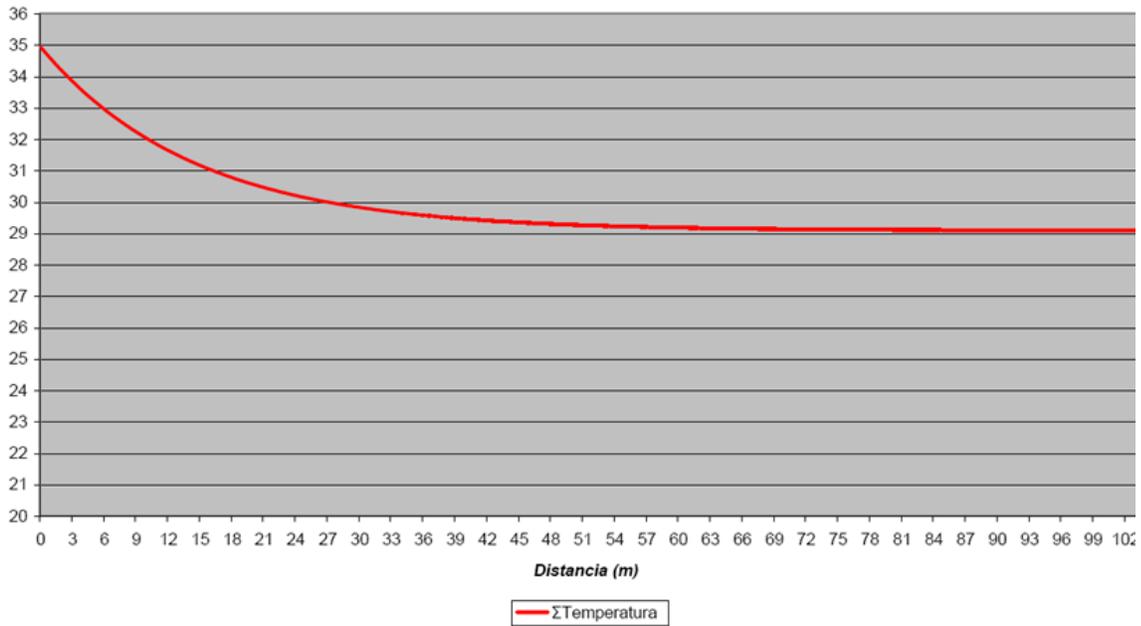


Figura nº 6.- Intercambio de calor entre el aire y el tubo de 6".Velocidad de aire de 3m/s.
Fuente: Elaboración propia

Predicción del comportamiento del sistema de tubos enterrados Caicara de Maturín

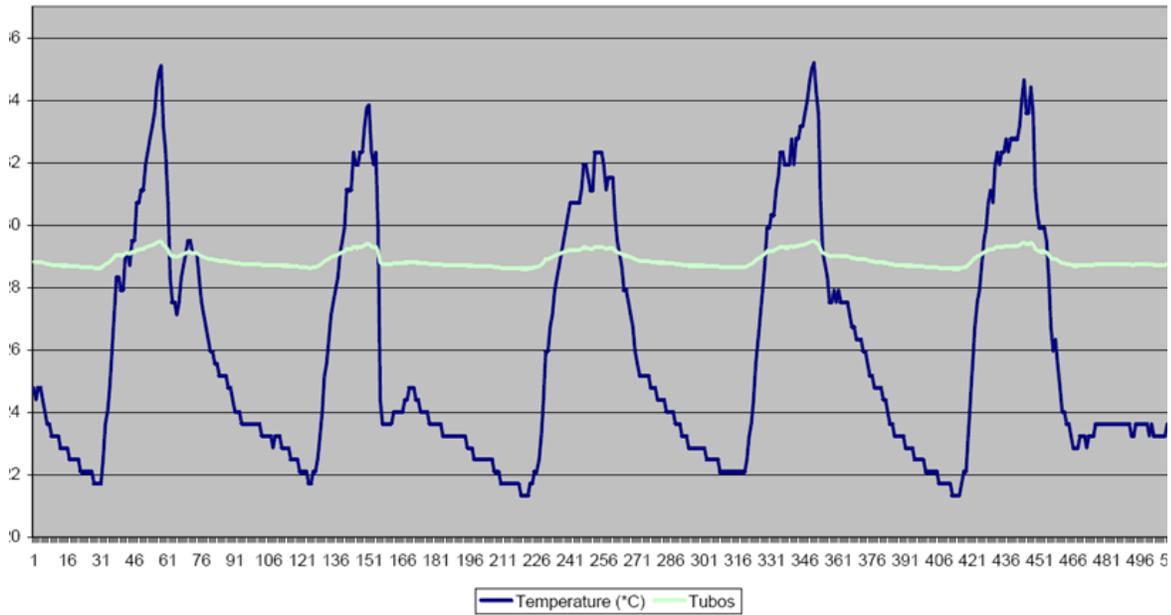


Figura nº 7.- Simulación del comportamiento del sistema de conductos enterrados en Caicara de Maturín.
Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que el sistema tiende a unificar la temperatura, tanto en el día, como en la noche. De lo anterior se desprende que si el sistema es utilizado de noche, la temperatura obtenida seguramente será mayor que la temperatura exterior, sin embargo durante el día, el efecto es el inverso.

Es posible decir en base a los resultados obtenidos de la simulación, que el sistema de enfriamiento de aire por tubos enterrados, comienza a ser de gran utilidad, una vez que la temperatura exterior supera los 29 °C, lo cual suele suceder todos los días a partir de las 10:00 AM hasta las 4:00 PM. Luego de estos rangos de horas, el sistema podría funcionar solo como activador de los intercambios convectivos entre el aire y la piel de los usuarios, siempre y cuando no se pueda garantizar una ventilación cruzada de manera natural dentro de los espacios.

Por responder la presente propuesta a una línea de investigación dentro del Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción, es de vital importancia el hacerle seguimiento a los resultados del sistema de ventilación mixta propuesto (sistema de tubos enterrados y ventilación natural) de tal manera de documentar el comportamiento del mismo dentro del contexto real, donde se manejen las distintas variables incorporadas en respuesta del tipo de uso de los espacios.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Tanto el desarrollo y perfeccionamiento del procedimiento de cálculo para el dimensionado y evaluación de los sistema de tubos enterrados, como el prototipo experimental y la reciente aplicación piloto del sistema en los módulos de aulas del núcleo UCV en Caicara de Maturín, han marcado precedente en el país. Los resultados de las mediciones y simulaciones, permitieron evaluar detalladamente el comportamiento real de este sistema en climas cálido - húmedo, arrojando conclusiones precisas de gran interés.

En efecto se constata que la temperatura del aire al final del tubo luego de un recorrido determinado, presenta una reducción importante de temperatura, la cual va a ser aún mayor mientras:

- 1.- Mayor sea el recorrido del aire dentro del tubo.

2.- Menor sea el diámetro del tubo.

3.- Menor sea la velocidad del aire dentro del tubo.

4.- Mayor sea la diferencia de temperatura.

De igual forma se comprueba que por no registrarse temperaturas cercanas a la de rocío dentro del tubo, el aire que es introducido desde el exterior, no sufre ninguna variación de los niveles de humedad absoluta iniciales.

Con base en lo anterior se pretende demostrar, que los sistemas de climatización pasiva de edificaciones, de los cuales forma parte el sistema de tubos enterrados, son una alternativa real al problema del consumo energético y la sustentabilidad de las edificaciones, en esto radica la importancia de implementar progresivamente dichos sistemas dentro del contexto venezolano.

Al igual que cualquier otro sistema de enfriamiento destinado a una aplicación supeditada al tipo de edificación, el sistema de tubos enterrados, así como las demás estrategias de diseño pasivo, debe contar previo a su diseño, con una evaluación de las variables del lugar donde serán implantados (constructivas, de espacio, contexto, clima, etc.). El desconocimiento de dichas variables pudiera desencadenar un impedimento en la aplicación o correcto funcionamiento de los mismos.

Asimismo, es de gran importancia, analizar los costos por climatización a lo largo de la vida útil de la edificación, ya que usualmente, con una inversión inicial levemente mayor, las respuestas pasivas de climatización compensan ampliamente los costos iniciales en poco tiempo, a la vez que repercuten en un ahorro considerable de energía de manera permanente.

Finalmente, se vislumbra como pertinente repensar a las edificaciones que durante años consideraron al consumo de energía como una muestra de calidad y adelanto tecnológico, a diferencia del nuevo paradigma que retoma la idea de la racionalidad y eficiencia energética haciéndola compatible con calidad de vida y construcciones sustentables.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Banco mundial (2007) "Indicadores de desarrollo mundial. Consumo de energía eléctrica (kWh per cápita)" con base en datos de la Agencia Internacional de Energía, estadísticas y balances de energía de países que no forman parte de la OCDE y estadísticas de energía de países de la OCDE.
- Fontalvo, R. y Silva, V. 2009, Modelo físico-matemático simplificado para diseño de sistemas pasivos de climatización por conductos enterrados. Trabajo final de grado, Ingeniero mecánico, tutores: Segura, J. y Lorenzo, E. Escuela de Ingeniería Mecánica, UCV.
- Gómez, W y Pérez, J. 2009, Estudio numérico-experimental del desempeño de sistemas pasivos de climatización por conductos enterrados. Trabajo final de grado, Ingeniero mecánico, tutores: Segura, J. y Hobaica, M. Escuela de Ingeniería Mecánica, UCV.
- Hobaica, M; Belarbi, R; Rosales, L. (2001). "Los sistemas pasivos de refrescamiento de edificaciones en clima tropical húmedo". *Tecnología y Construcción*, 17-I. pp. 57-68.
- IPCC (2007). Pachauri, R.K. y Reisinger. "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, Cambridge University.
- Lorenzo, E. Hobaica, M. Conti, A. (2008). "Desarrollo experimental de un prototipo del sistema de tubos enterrados". *Tecnología y Construcción*, 24 -I. pp. 43-50.
- Lorenzo, E. (2007) "Climatización pasiva por conductos enterrados. Caso de aplicación: Almacenes L & G para bebidas alcohólicas y gaseosas". *Trabajo especial de grado*. Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción (IDEC). Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU) Universidad Central de Venezuela (UCV), Caracas, Venezuela.