

VIABILIDAD DE LA TÉCNICA DE CLIMATIZACIÓN PASIVA POR CONDUCTOS ENTERRADOS EN VENEZUELA

Lorenzo, Ernesto

Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción, Universidad Central de Venezuela, Caracas.
ernestolorenzor@gmail.com

Introducción

Es cada vez más notable el interés mundial por frenar el calentamiento de la atmósfera terrestre a causa de los gases tóxicos (CO₂) y la contaminación. El ahorro y eficiencia energética ha pasado actualmente a ser considerado como prioridades, no solo por los países del primer mundo y las compañías eléctricas, sino también por los mismos usuarios.

Las edificaciones dentro de dicho contexto juegan un papel preponderante, por ser éstas grandes consumidoras de energía a causa del desarrollo tecnológico basado en un alto gasto energético, que a su vez, ha conducido a un aumento lineal de la producción de CO₂ liberado al ambiente. Según estadísticas internacionales, alrededor del 50% de la energía total consumida se destina a las edificaciones¹ y se estima que a causa del aumento general del nivel de vida y por consiguiente la elevada demanda de servicios, se producirá entre otras cosas, la proliferación cada vez mayor de instalaciones de climatización artificial, lo que afectará aun más la tendencia alcista en el consumo energético mundial, el cual en el año 2006 aumento un 2,4 % con respecto al año 2005, según lo indicado por la petrolera *British Petroleum* en su reciente informe *Statistical review of world energy*.

Por consiguiente, en la actualidad son muchas las razones que promueven el interés de incursionar en las nuevas demandas mundiales, estudiando novedosas maneras de obtener ambientes climáticamente confortables por diversos medios, en pro de racionalizar el uso y abuso de la climatización artificial, reduciendo en consecuencia el gasto energético en las edificaciones.

¹ Tomado de: Programa Agenda Ciudad. (2004). "Técnicas de reducción del gasto energético en edificaciones" FONACIT / IDEC-FAU-UCV / Departamento de Hidrometeorología / C.A La Electricidad de Caracas

En dicho contexto adquieren vigencia todo un conjunto de técnicas basadas en el diseño bioclimático, logrando especial relevancia los sistemas de acondicionamiento pasivo, los cuales tiene como objetivo principal, mejorar el comportamiento climático de las edificaciones, actuando sobre los fenómenos de radiación, térmicos y de movimiento del aire, a fin de generar bienestar en los usuarios sin la necesidad de utilizar fuentes de energía artificial, o hacerlo de forma muy reducida. De hecho, el sistema pasivo por excelencia es la ventilación natural, cuya aplicación en regiones cálidas – húmedas genera beneficios indiscutibles en los ambientes interiores, siempre y cuando la temperatura exterior no sobrepase excesivamente la zona de “confort”. Otra de las ventajas que presentan estos sistemas, es que no requieren de una inversión elevada, además de ser parte integral de la obra arquitectónica. *(Koenigsberger 1977; Givoni, 1994).*

En Venezuela, la profesora Hobaica, junto con el profesor Rafik Belarbi de la Universidad de la Rochelle (Francia), se plantearon la elaboración de una estrategia destinada a evaluar el potencial climático de algunos de estos sistemas pasivos, así como su relación con el confort global en las zonas climáticas más representativas de nuestro país, de modo de sentar las bases para su aplicación, principalmente en edificaciones colectivas y en sitios urbanos.

Los resultados de estas investigaciones indicaron que Venezuela posee un gran potencial en la aplicación de sistemas pasivos de climatización, y en especial el sistema de tubos enterrados, por haber obtenido éste, un factor de cobertura del 100% en todas las zonas climáticas del país.

Por consiguiente, y en virtud de contribuir en forma específica con el desarrollo de la técnica de conductos enterrados para climatización pasiva de edificaciones, se desarrollo un proyecto para la distribuidora Dorta Margarita C.A, quien expresó su intención de utilizar racional y eficientemente la energía en uno de sus galpones, dedicados al almacenamiento de bebidas alcohólicas y gaseosas, siempre y cuando se garantizara el cumplimiento de las condiciones climáticas requeridas para la correcta conservación de los productos.

En el marco de desarrollo del proyecto, se propone la zonificación de la edificación según las características de conservación de los productos, a fin de evaluar las necesidades energéticas de cada grupo y resolverlas puntualmente con soluciones de climatización diversas ajustadas a los requerimientos reales, permitiendo un ahorro energético efectivo.

Igualmente, el presente trabajo aporta la realización y evaluación preliminar de un prototipo construido in situ, el cual permitió cuantificar el potencial real de este sistema de climatización en climas calidos - húmedo, así como sus posibles ventajas y desventajas.

Fundamentación

El enfriamiento pasivo consiste en la disipación del calor interior de una edificación hacia sumideros o conductos que posean temperaturas inferiores a la del ambiente a tratar, dicha temperatura puede ser real (temperatura del suelo) o hipotética (temperatura de la bóveda celeste), pero en ambos casos ésta es la temperatura mínima que puede alcanzar el fluido portador de calor a la salida del sistema de refrescamiento. Igualmente es necesario considerar las características físicas de este fluido que generalmente es aire, así como su medio de origen que puede ser el medio exterior o la zona tratada (reciclaje), es decir, el estado del fluido en la entrada del sistema de refrescamiento.

La efectividad de estos sistemas depende fundamentalmente de:

- La diferencia de temperatura entre el aire del ambiente y la fuente de enfriamiento.
- La intensidad del flujo térmico disponible en la fuente de enfriamiento.
- La posibilidad de evacuar de la fuente de enfriamiento el calor que le es transferido, de manera que se mantenga su temperatura a un nivel lo suficientemente bajo durante un período de tiempo conveniente.

Enfriamiento por contacto con el suelo.

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 a una determinada profundidad, por donde se hace pasar el aire exterior mediante ventiladores adecuados. Por intercambio convectivo entre el aire y la superficie interior del conducto se establece un flujo de calor, de tal modo que, al estar más fría la superficie del conducto, se produce una bajada de la temperatura del aire, que finalmente entrará en el edificio a una temperatura inferior.

En general, podemos afirmar que la eficiencia del intercambio energético aumenta cuando:

- Aumenta la diferencia de temperatura.
- Disminuye el diámetro del tubo.
- Aumenta la longitud de tubo.
- Disminuye el caudal.

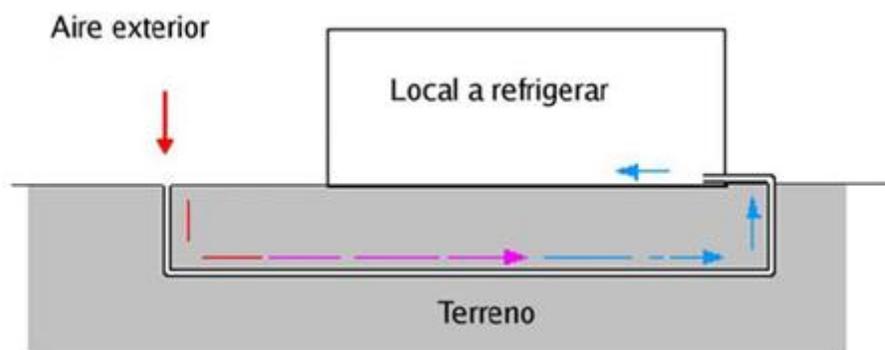


Figura 1.1.- Técnica de tubos enterrados.
Fuente: Elaboración propia.

El prototipo experimental

Como se dijo anteriormente, Venezuela posee en toda su extensión un gran potencial de aplicación de los sistemas de tubos enterrados, pero debido a la falta de políticas de estado durante tantos años, así como nuestra condición de país petrolero y productor de energía relativamente "económica", contamos actualmente con un desarrollo precario o inexistente, de tecnologías alternativas de bajo consumo energético, es por esto que decidimos realizar un prototipo experimental, que nos permitiera demostrar la eficiencia del sistema de tubos enterrados en nuestro país, donde actualmente contamos con reducidas perspectivas tecnológicas en el área del ahorro y eficiencia energética.

La experimentación fue realizada en la planta experimental del Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción (IDEC), ubicada en el laurel, en las afueras de la ciudad de Caracas, en una zona de montaña, donde predomina un clima calido – húmedo a moderado durante todo el año.

Es importante tener en cuenta que el potencial de estos sistemas depende de muchos factores, pero principalmente de la diferencia de temperatura existente entre el suelo y el aire exterior, es por esto que resulta indispensable realizar mediciones previas de la temperatura de la tierra a distintos niveles de profundidad, para así poder cuantificar la diferencia de temperatura. Se estima que para que un sistema de este tipo sea eficaz, la temperatura del suelo debe ser al menos 6°C menor que la del aire ambiental.

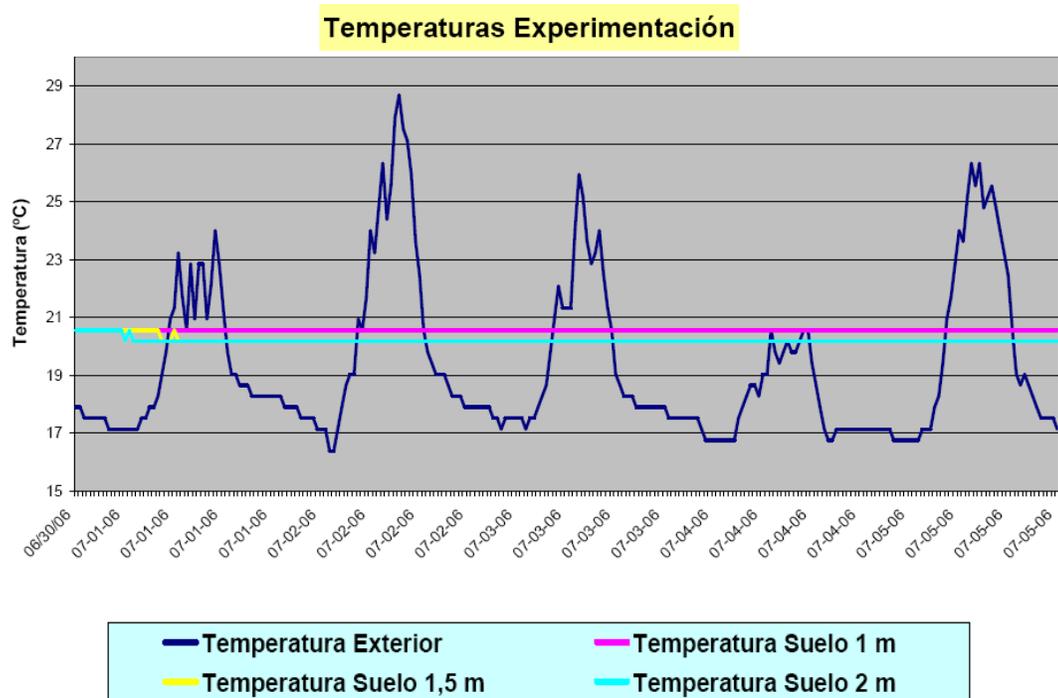


Figura 1.2.- Resultado de las mediciones previas al diseño del prototipo experimental.
Fuente: Elaboración propia.

Si analizamos los resultados obtenidos en las mediciones preliminares realizadas en la planta experimental del IDEC (Figura 1.2), observaremos que la temperatura de la tierra a partir de un metro y medio de profundidad, permanece constante en 20,5 °C, a la vez que no sufre ninguna variación durante los días de medición. Igualmente, si comparamos la temperatura mínima de la tierra con la temperatura máxima del exterior (29°C invierno) se puede identificar una diferencia de temperatura muy cercana a los 9 °C, lo cual evidencia el potencial de esta tecnología en la zona.

Ahora bien, una vez realizada estas mediciones, y comprobado el potencial, se procedió a la construcción de un prototipo que nos permitiera cuantificar la eficacia de la tecnología.

Se realizó una zanja de dos metros de profundidad, donde posteriormente se colocaron tres tubos de PVC, uno de 4" y 6" con 15 metros de longitud y otro de 4" con 30 metros de longitud, lo que nos permitirá comparar a su vez, el comportamiento de la temperatura del aire, según el diámetro y longitud. (Figura 1.3).

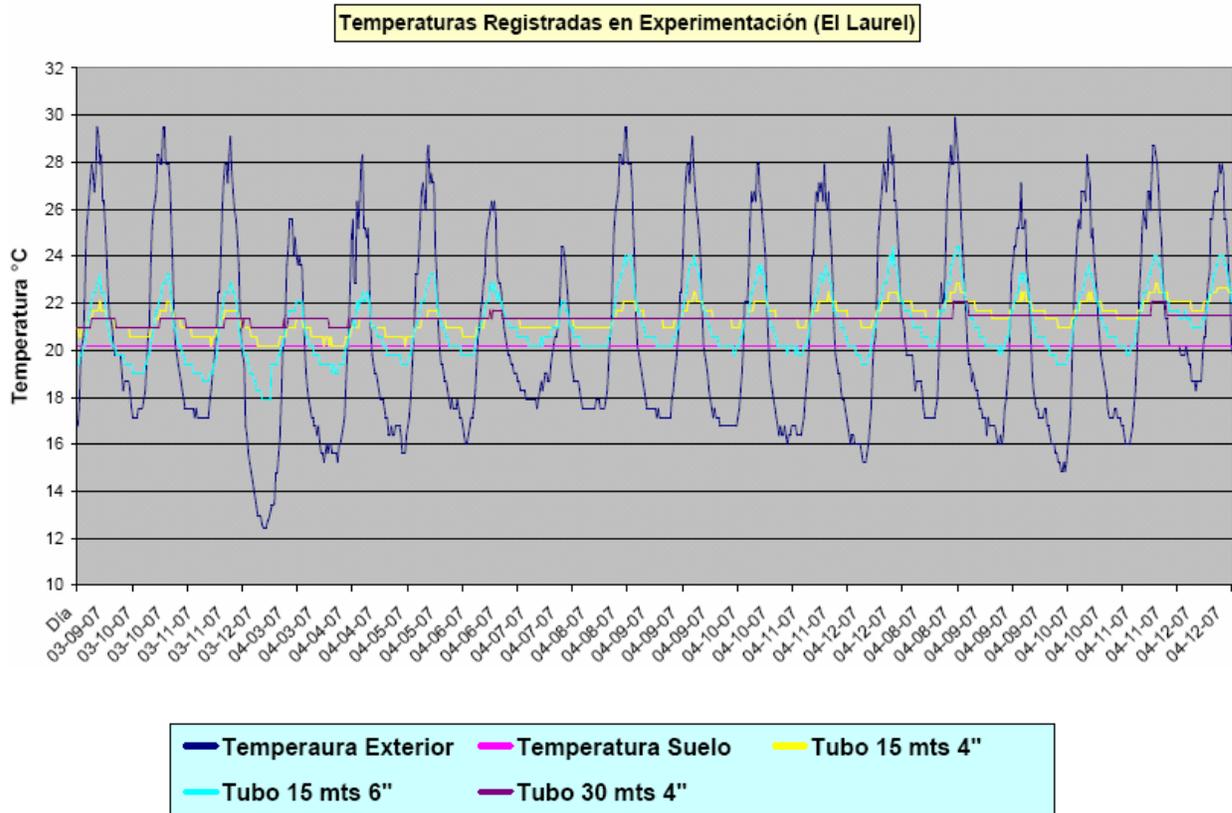


Figura 1.3.- Temperaturas registradas en el prototipo experimental.
Fuente: Elaboración propia.

Si analizamos los resultados obtenidos (Figura 1.3) podemos observar que en los tres tipos de tubos experimentados, se logró una diferencia de temperatura, con respecto a la exterior de hasta 10 °C en los momentos más calurosos del día, es por esto, que una vez finalizadas las mediciones en el prototipo, donde se lograron registros continuos cada 15 minutos por un periodo aproximado de un mes y medio, obteniendo en todos los casos resultados muy satisfactorios, se demostró claramente el enorme potencial de esta tecnología, en climas calido – húmedo a moderado.

Caso de aplicación

La distribuidora Dorta Margarita C.A, es una empresa de vanguardia en nuestro país, dedicada al rubro de almacenamiento y distribución de bebidas alcohólicas y gaseosas de gran renombre internacional, contando actualmente con la distribución exclusiva, en todo el territorio nacional, de productos importados de excelente calidad.

Por tal motivo, y en virtud de la necesidad de reducir el consumo energético habitual de los galpones destinados al maceramiento de bebidas alcohólicas y gaseosas, se acordó desarrollar un proyecto para la aplicación de sistemas de tubos enterrados y otras técnicas pasivas de climatización, en un galpón, ubicado en la zona de la Limonera, al sureste de la ciudad de Caracas, donde predomina un clima calido – húmedo.

Criterios de diseño en base a los requerimientos.

En virtud de ofrecer una respuesta mucho más eficiente y ajustada a las necesidades de climatización real de cada producto, se decidió trabajar realizando una separación por grupos, según los requerimientos de conservación.

En este orden de ideas, y luego de evaluar con especialistas en conservación, los requerimientos de cada producto, se logró definir tres grupos para el almacenamiento adecuado de los mismos: Vino y champagne, Whisky y bebidas energizantes y bebidas gaseosas.

De igual forma, se realizaron mediciones de temperatura en distintas zonas del galpón, lo que permitió identificar las variaciones de la misma según los tipos de cerramiento o ubicación (Figura 1.4).

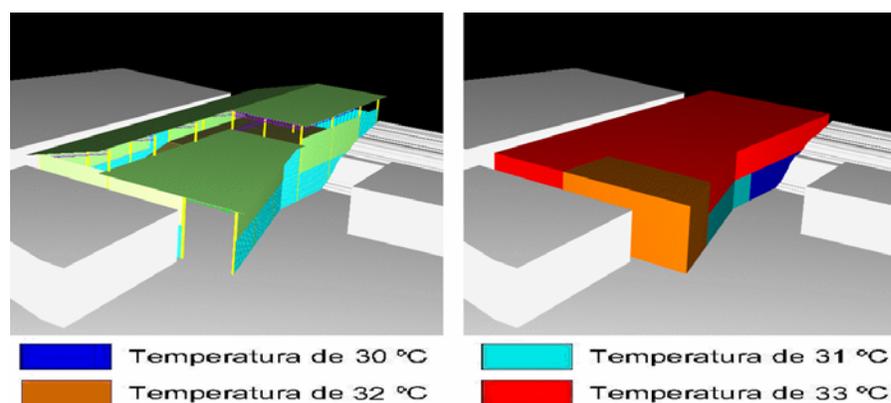


Figura 1.4.- Temperaturas registradas dentro de la edificación.
Fuente: Elaboración propia.

Así mismo, estas variaciones permitieron seleccionar donde ubicar las distintas zonas para el almacenamiento de los productos, buscando aprovechar las condiciones originales del espacio, y reducir así las cargas térmicas que deberán ser vencidas posteriormente, por los sistemas de climatización que se requieran (Figura 1.5).

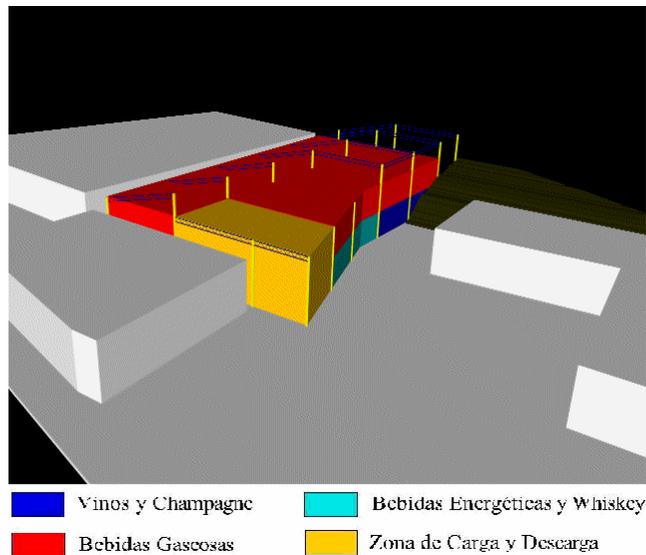


Figura 1.5.- Zonas de almacenamiento por tipo de productos.
Fuente: Elaboración propia.

Zona para almacenamiento de Vinos y Champagne.

Tanto las altas temperaturas como sus variaciones influyen en la evolución bioquímica del vino. Si las temperaturas son muy elevadas se afecta directamente su proceso de envejecimiento natural, Además si éstas son fluctuantes, dilatan y contraen el vino, provocando la fatiga del mismo y minando su vitalidad orgánica. Es por esto que se hace imprescindible para una conservación óptima de estos productos, mantener temperaturas estables comprendidas entre 18°C y 20°C.

Al conocer los requerimientos que debían ser alcanzados en esta zona, fue necesario realizar mediciones de la temperatura de la tierra a distintos niveles de profundidad, para saber si era posible la utilización de un sistema de conductos enterrados como tecnología alternativa al equipo de aire acondicionado.

Una vez obtenido los resultados (Figura 1.6), se evidenció que la temperatura de la tierra a 2 metros de profundidad, además de mantenerse constante a lo largo del periodo de medición, registró una temperatura cercana a los 23 °C, la cual si es comparada con la temperatura exterior en las horas más desfavorables, lograría una diferencia de temperatura de 8°C, lo que es perfecto para lograr condiciones de confort en el ser humano, pero no es suficiente para los requerimientos de los vinos y champagnes.

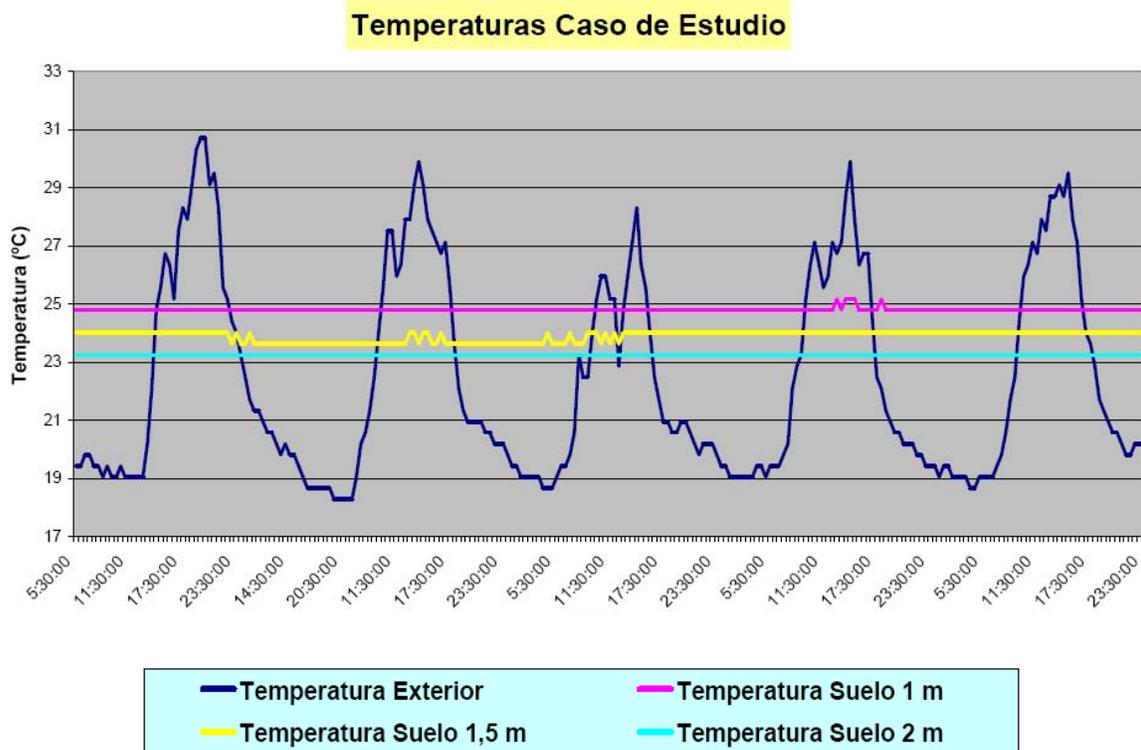


Figura 1.6.- Resultado de las mediciones en el galpón.
Fuente: Elaboración propia.

Luego de dichos resultados, era difícil pensar en algún sistema de climatización distinto a los equipos de aire acondicionado, ya que son los únicos capaces de alcanzar estas temperaturas en un clima calido húmedo, por lo tanto era imposible prescindir de ellos en esta ocasión. De igual forma, luego de algunas investigaciones sobre el funcionamiento de estos equipos, se propuso la posibilidad de reducir la potencia y por ende su consumo eléctrico, preenfriando el aire que es tomado del exterior, para cumplir con las renovaciones exigidas por las normas sanitarias en espacios climatizados artificialmente.

Es decir, si evaluamos el funcionamiento de un aire acondicionado, podemos decir que tiene una toma de aire del exterior y otra que proviene del espacio ya climatizado (retorno), ambas se mezclan, dando como resultado una temperatura promedio, siendo esta la que el equipo debe enfriar hasta la temperatura deseada (Figura 1.7), es por esto que, si logramos reducir la temperatura del aire tomado del exterior, el promedio a causa de la unión de ambos caudales de aire sería menor, y por consiguiente el consumo de energía que necesitaría el equipo para llevarlo a la temperatura deseada también se reduciría.

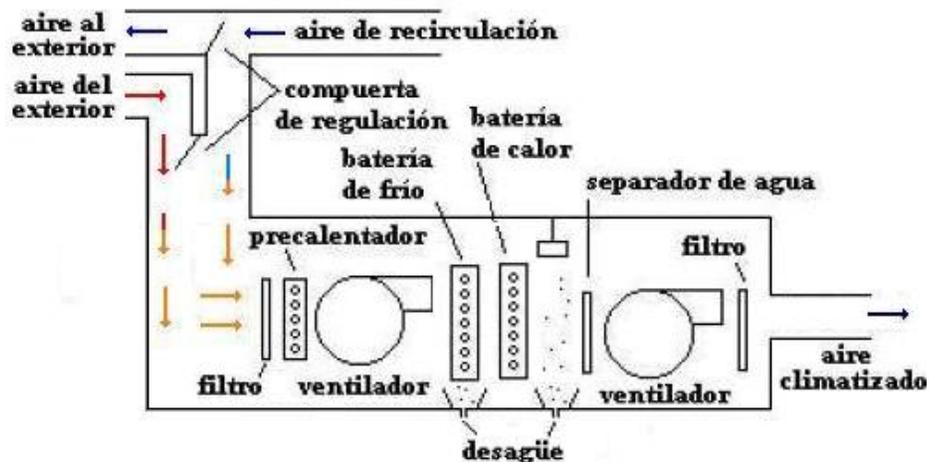


Figura 1.7.- Esquema básico del funcionamiento de un equipo de aire acondicionado común.
Fuente: Carrier internacional (2006).

Luego de dichas premisas, lo que se propuso fue utilizar un tubo enterrado, que se conectaría directamente al equipo de aire acondicionado, el cual en principio funcionaría exactamente igual que un conducto de retorno, pero donde se tomará el aire proveniente del exterior ya preenfriado (Figura 1.8).

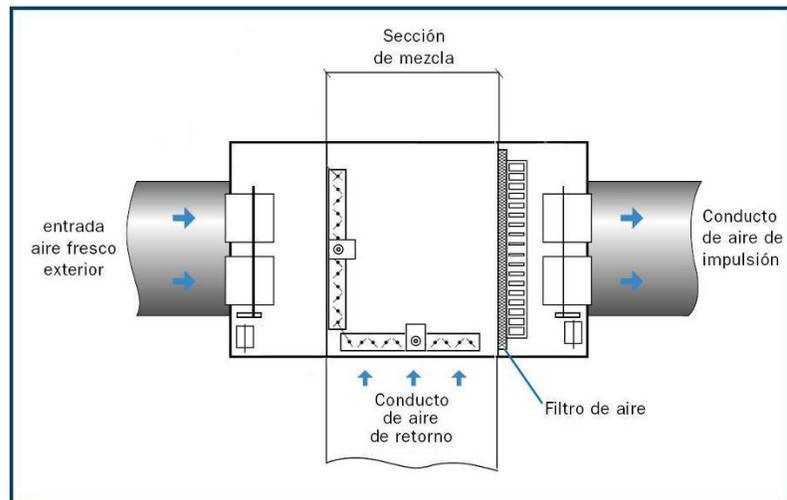


Figura 1.8.- Detalle de conexión del tubo enterrado con el equipo de aire acondicionado.
Fuente: Elaboración propia en base a detalles Carrier internacional.

Finalmente, en complemento con las estrategias de diseño, se propuso la utilización de aislantes en las paredes este y oeste, para así reducir la transferencia de calor por efecto de la radiación solar en paredes exteriores.

Zona para almacenamiento de Whisky y bebidas energizantes.

Los Whiskys y bebidas energizantes no requieren condiciones tan estrictas de conservación como los vinos y champagnes, pero suelen reaccionar negativamente cuando se encuentran ante temperaturas elevadas, por lo que es necesario un control moderado de la temperatura.

Igualmente, este espacio debido a su ubicación dentro del galpón, debió contar con la inserción de unos pequeños módulos dedicados a oficinas y recepción, lo que introduce nuevos requerimientos de climatización, que deben cumplir ahora con las necesidades de confort térmico de sus ocupantes.

En este orden de ideas, y en la búsqueda de no utilizar equipos de aire acondicionado, se propuso la utilización de un sistema de conductos enterrados que permitiera dentro del espacio una ventilación cruzada forzada con aire preenfriado, con lo cual se lograría una ampliación de los rangos de confort térmico humano (Figura 1.9) a causa de los intercambios convectivos inducidos por el roce del aire con la piel.

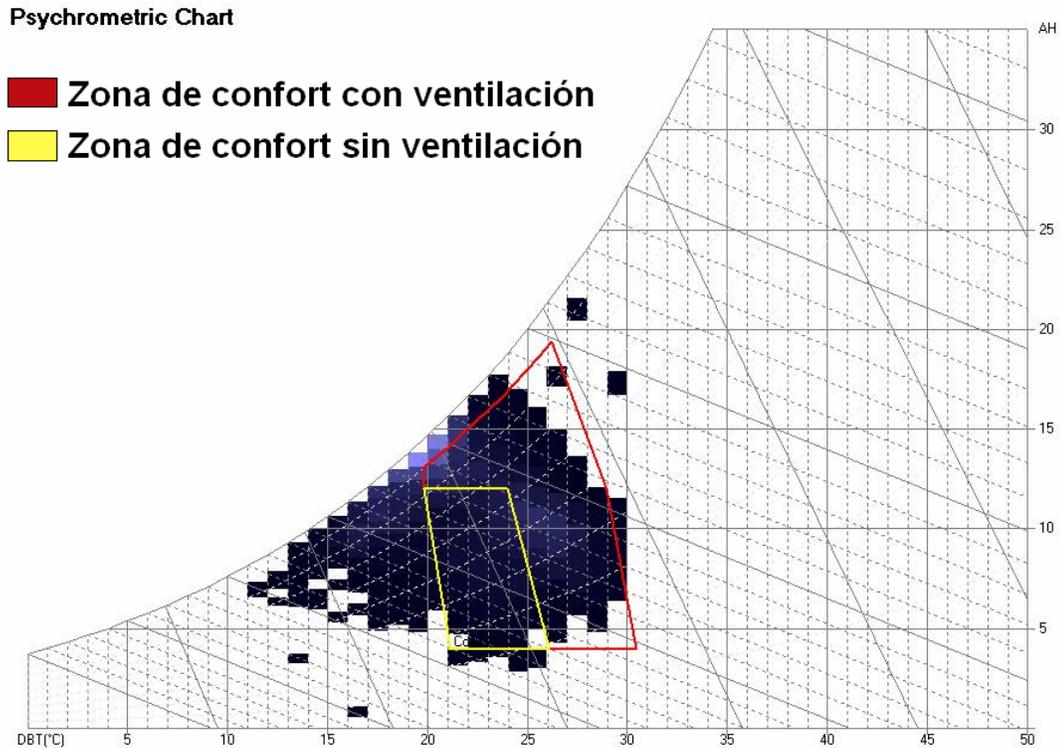


Figura 1.9.- diagrama psicrométrico, indicando zona de confort.
Fuente: Elaboración propia, con la ayuda del programa Weather Tool.

De igual forma, con la implementación de este sistema pasivo de climatización, se logra la expulsión recurrente de caudales de aire caliente, que será sustituido por aire más fresco proveniente de los tubos enterrados, lo cual es conocido como intercambios de masa, y su eficacia depende de la diferencia de temperatura entre el aire que entra y el aire que sale, así como del caudal de ventilación: a mayor diferencia de temperatura y mayor caudal, será entonces mayor la potencia de enfriamiento.

Ahora bien, basados en las mediciones preliminares realizadas para conocer el potencial de la tecnología de conductos enterrados en el galpón, se estimó, con la ayuda de una metodología de cálculo simplificada, que con la utilización de dicho sistema, se lograría introducir en el espacio, un caudal de aire de 1.360 m³/h a una temperatura aproximada de 24 °C, lo que garantizaría el logro de las condiciones óptimas requeridas, tanto del confort humano, como de preservación de los productos almacenados.

En complemento a la aplicación del sistema de tubos enterrados, se diseñaron unas aberturas en la parte superior de la pared opuesta a donde fue insertada la entrada de aire preenfriado proveniente de los tubos, para así garantizar el recorrido y finalmente expulsión del aire que se encuentra dentro de la edificación (figura 1.10).

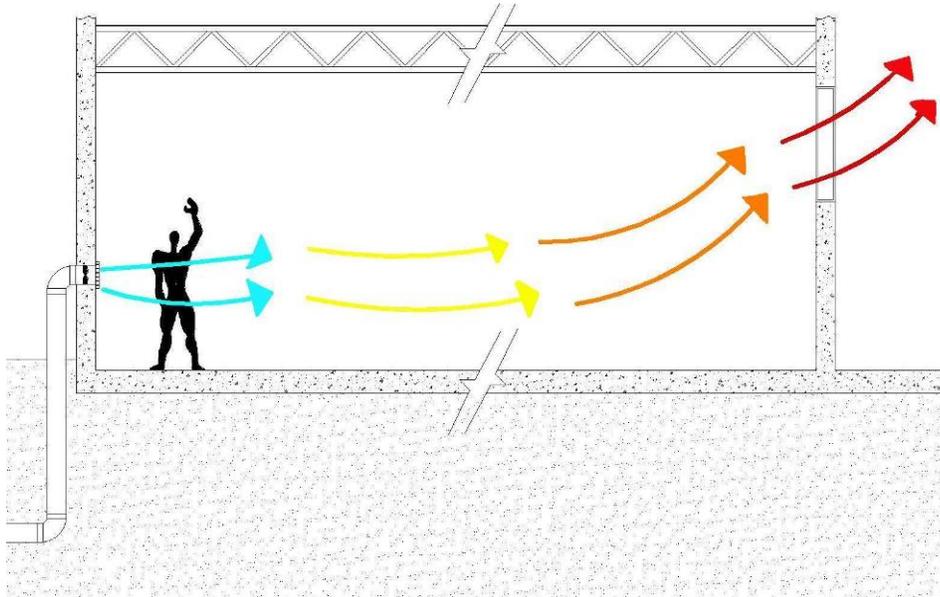


Figura 1.10.- Recorrido del aire dentro del galpón.
Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, en conjunto con las demás estrategias, se propuso la utilización de aislantes en las paredes este y oeste, para así reducir la transferencia de calor por efecto de la radiación solar en paredes exteriores.

Zona para almacenamiento de gaseosas.

Las gaseosas no sufren ninguna variación en su composición por efecto de las temperaturas alcanzadas durante su almacenaje, es por esto que las exigencias para su correcta conservación son casi nulas, en tal sentido, se buscó reducir la transferencia de calor en paredes y techos, a la vez del lograr una ventilación natural cruzada.

En principio se propone realizar un doble techo tipo plafón que sea ventilado, para que así se pueda expulsar el calor acumulado en la cámara de aire, antes de que el mismo se transfiera

al espacio interior. Igualmente se proponen aberturas inferiores en la fachada de presiones positivas, y aberturas superiores en las de presiones negativas, para lograr una ventilación cruzada que garantice la activación de los intercambios convectivos en las personas y objetos dentro del recinto (Figura 1.11)

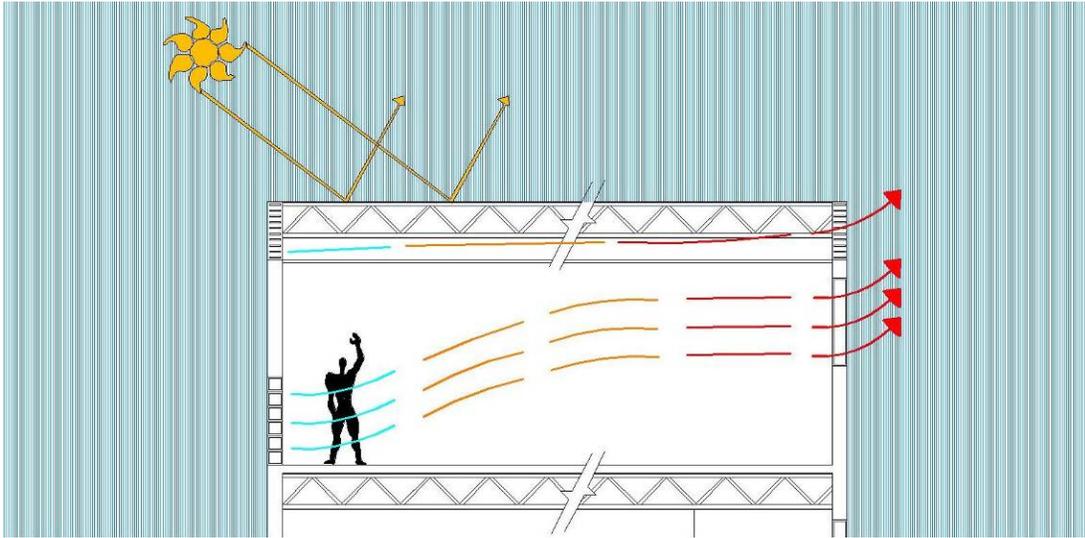


Figura 1.11.- Estrategias de refrescamiento dentro del espacio.
Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, al igual que en los otros espacios anteriores, se propuso la utilización de aislantes en las paredes este y oeste, para reducir la transferencia de calor por efecto de la radiación solar en las paredes exteriores.

Estimaciones generales de ahorro energético

Al cuantificar los ahorros logrados por la implementación de estos sistemas pasivos de climatización, se estimaron reducciones cercanas al 75% en comparación con el consumo convencional, solo por efectos de climatización (Figura 1.12).

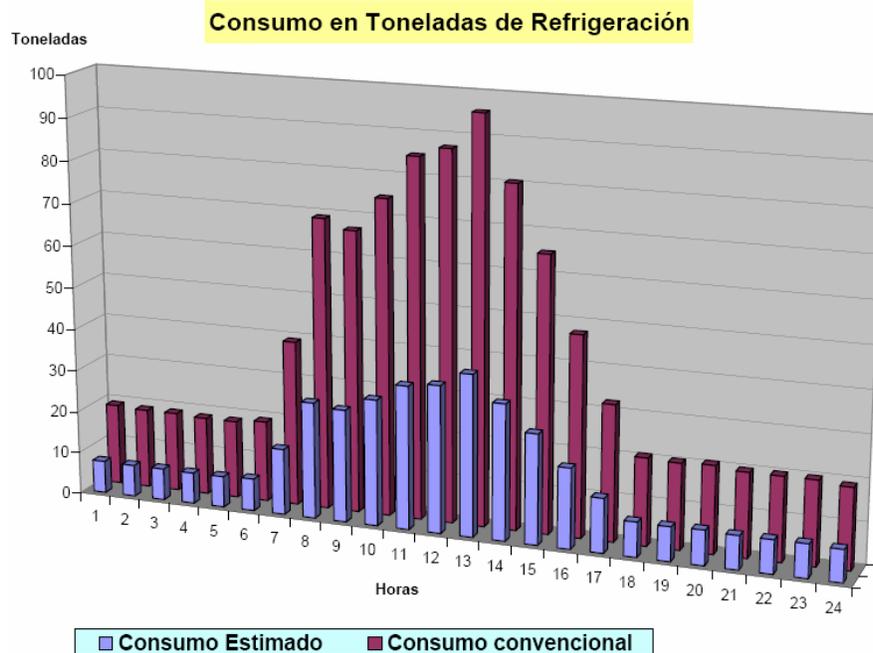


Figura 1.12.- Estimación del consumo diario en toneladas de refrigeración.
Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones y recomendaciones

Los sistemas de enfriamiento pasivo, como ya se ha explicado anteriormente, forman parte de una solución alternativa al consumo energético en las edificaciones, al tratar de resolver de manera eficiente, las necesidades de climatización de los espacios construidos.

En este orden de ideas, el sistema de tubos enterrados posee un enorme potencial para satisfacer principalmente los requerimientos de confort térmico humano, sin descartar los excelentes resultados obtenidos por la aplicación de este sistema, para preenfriar el aire tomado del exterior por los equipos de aire acondicionado, reduciendo finalmente la potencia inicial del mismo, y por ende su consumo de energía.

Es necesario que al igual que cualquier otro sistema de climatización, se diseñe en virtud de las características propias de cada caso, por lo tanto es indispensable realizar una evaluación previa, que permita obtener las distintas variables de contexto, (constructivas, espacio, requerimientos, clima, etc.), las cuales son las que finalmente indicarán la factibilidad de su aplicación.

Luego de la construcción del prototipo y la realización del proyecto de aplicación, pudimos determinar que la eficiencia del sistema de tubos enterrados depende principalmente:

- 1.- De la temperatura del suelo, que luego de los dos metros de profundidad tiende a mantenerse estable y muy cercana al promedio de temperaturas anuales de la zona.
- 2.- Del tratamiento de la superficie exterior donde se encuentren los tubos enterrados. (Soleada, Sombreada, Con capa vegetal, etc.). Igualmente, para evita la saturación del suelo alrededor de los tubos (debido a la cesión de calor desde los tubos hacia la tierra) se pueden emplear técnicas como la circulación del aire durante la noche o la irrigación del suelo para aumentar el contenido de humedad en el mismo.
- 3.- De la superficie de contacto entre los conductos y el terreno.
- 4.- De la longitud total del tubo a través del cual pasará el aire.
- 5.- Del caudal de aire que circula a través de los tubos (o lo que es lo mismo para un diámetro dado la velocidad de circulación del fluido).

De igual forma, se logró concluir que:

1. La disminución del caudal aumenta la eficiencia del sistema. Ahora bien, si el caudal de aire es pequeño, la capacidad de refrigeración disminuye considerablemente, ya que es necesaria una determinada cantidad de aire fresco para refrigerar el espacio.
2. El diámetro de los tubos es también fundamental, puesto que mientras menor sea, mayor será la eficiencia. Igualmente debe tenerse en consideración que unos tubos con pequeña sección, aumentarían asimismo la pérdida de carga, por lo que habría que aumentar la potencia de los ventiladores.
3. La longitud total de los tubos, como era de esperar, es un parámetro muy importante, para longitudes de tubo superiores a 30 metros, con caudales pequeños y un diámetro de 10 cm, las eficiencias están próximas a la unidad.

Referencias bibliográficas

- Allard, F., Limam, K. Y González E. 2000. « Ventilación natural para el control climático ». COTEDI 2000, Maracaibo, Venezuela. 20 al 25/06/2000.
- Allard F., Belarbi R., 1998. Metodología de evaluación de técnicas pasivas de enfriamiento. COTEDI' 98. Caracas, Venezuela.
- Allard F, Análisis energético de los edificios y calidad de los ambientes interiores, últimas orientaciones de las investigaciones en Europa.
- Álvarez, S. 1992. CIEMAT. Control climático en espacios abiertos (Proyecto Expo 92). Ed. Secretaría General Técnica del Centro de Investigaciones Energéticas, Medio Ambiente y Tecnología. Sevilla. 195 p.
- Curiel, E. 1982 "La arquitectura en regiones de Venezuela". Trabajo de Ascenso. Caracas - Venezuela.
- European Commission, 1996, Potential of natural cooling techniques in southern Europe. Sink Alternner Project-4. 1030/A/9488DG XVII.
- Givoni B. (1994) El hombre, la Arquitectura y el Clima. Editions du Moniteur. Paris, Francia.
- Hobaica, M.E; Belarbi, R; Rosales, L. 2001. "Los sistemas pasivos de refrescamiento de edificaciones en clima tropical húmedo". Tecnología y Construcción 17-1, enero – abril 2001. IDEC/UCV. Caracas – Venezuela.
- Koenigsberger O. H. et al. (1977) Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales. Ediciones Paraninfo S.A. Madrid. España.
- Programa Agenda Ciudad. Técnicas de reducción del gasto energético en edificaciones (2004) Fonacit / IDEC-FAU-UCV, Departamento de Hidrometeorología / C.A La Electricidad de Caracas.
- Sosa M.E., 1999. Arquitectura y Urbanismo. Ventilación Natural Efectiva y Cuantificable. Confort térmico en climas calidos-húmedos. UCV - CDCH. Colección Monografías. Nº 62.