

## ENFRIAMIENTO HIDRÓNICO DE LA MASA TÉRMICA DEL CONCRETO

<sup>1</sup>Calderón Castillo, D.C.

<sup>1</sup>Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura. Campo de conocimiento Tecnología. Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Interior s/n Ciudad Universitaria, México.

e-mail: [diana\\_calderonc3@yahoo.com](mailto:diana_calderonc3@yahoo.com)

### RESUMEN

El presente artículo realiza un análisis del sistema hidrónico radiante activo como sistema de enfriamiento de la masa térmica del concreto y en cuanto tiempo se realiza dicho enfriamiento en clima templado subhúmedo (ciudad de México, México) y en clima cálido húmedo (ciudad de San Pedro Sula, Honduras). En la investigación se realiza dos prototipos de concreto, uno con el sistema hidrónico y el otro como referencia, para comparar el funcionamiento del sistema. En el clima de la Ciudad de México, la masa térmica del concreto disminuyó 6.73°C con respecto a la temperatura del ambiente. En la ciudad de San Pedro Sula, la masa térmica del concreto disminuyó 3.32°C con respecto a la temperatura del ambiente. Por lo que el sistema posee un mejor funcionamiento en clima templado subhúmedo debido a que la temperatura de rocío es más baja que en clima cálido-húmedo, por lo que la temperatura del agua para la circulación del sistema es menor, incrementando la absorción del calor de la masa térmica del concreto.

Keywords: enfriamiento radiante; sistema hidrónico; ahorro de energía; masa térmica; confort térmico; clima cálido-húmedo

## 1.- Introducción

En Honduras, como en la mayoría de los países latinoamericanos en vías de desarrollo, mantiene una matriz energética dependiente del petróleo. San Pedro Sula, localizada en la zona norte del país, es considerada como una ciudad industrial debido a la cantidad de maquilas e industrias en la zona, representando la segunda ciudad más importante del país. En los últimos años se ha generado una crisis energética debido al incremento de la demanda de energía eléctrica, llegando a alcanzar la capacidad máxima que poseen las plantas generadoras de energía que abastecen la zona, teniendo como resultado que se den racionamiento de energía constantemente. Una de las principales razones de este incremento de energía es el aumento en el uso de los equipos de aire acondicionado, siendo las causas más trascendentales las altas temperaturas y humedad que presenta la ciudad y por el mal diseño de las edificaciones que no toman en cuenta el clima, siendo estas réplicas de otros países con diferente clima.

En diversos países europeos, asiáticos y en Estados Unidos utilizan el sistema hidrónico como complemento del sistema de aire acondicionado para climatizar los espacios internos, representando aproximadamente entre un 25% a un 40% de ahorro de energía eléctrica en comparación con los espacios que solamente utilizan el aire acondicionado. Siendo este ahorro variante según las condiciones climáticas del lugar. Al mencionar el sistema de enfriamiento hidrónico se refiere a la red de tuberías de PEX empotradas en una capa de mortero que se encuentra bajo la superficie de una edificación por donde circula agua fría.

En la investigación se plantea que con la implementación del sistema de enfriamiento hidrónico se puede disminuir la temperatura de la masa térmica del concreto para minimizar la transferencia de calor de la temperatura exterior hacia el interior. Entre los objetivos de la investigación se encuentra el análisis del porcentaje de enfriamiento de la masa térmica del concreto según las condiciones climáticas del ambiente, el análisis del tiempo requerido para el enfriamiento de la masa térmica y evitar que el sistema genere condensación en el interior de la envolvente.

La parte experimental de la investigación consiste en realizar dos prototipos de concreto. En uno de los prototipos se instala el sistema de tuberías en el interior para el paso del agua fría, utilizando el otro prototipo como referencia. Esta etapa tiene como fin poder analizar el funcionamiento del sistema hidrónico para conocer el porcentaje de enfriamiento de la masa térmica del concreto y en cuanto tiempo se realiza dicho enfriamiento en clima templado subhúmedo (ciudad de México, México) y en clima cálido húmedo (ciudad de San Pedro Sula, Honduras).

## 2.- Sistema hidrónico radiante

Entre los sistemas radiantes activos que utilizan el agua como sistema de climatización, los más utilizados son los sistemas de calefacción. Con el paso del tiempo estos sistemas han evolucionado hasta generar que sean híbridos, produciendo calefacción y enfriamiento según la época del año. Se define este sistema como un sistema de red de tuberías empotradas en una capa de concreto localizados en la superficie de la edificación. En dicha red de tuberías circula agua caliente o fría, por lo que el calor o el frío del agua se transmiten al concreto a través de las tuberías, y a su vez el concreto cede el calor o el frío al espacio interno de la edificación [1] (Ver figura 1).

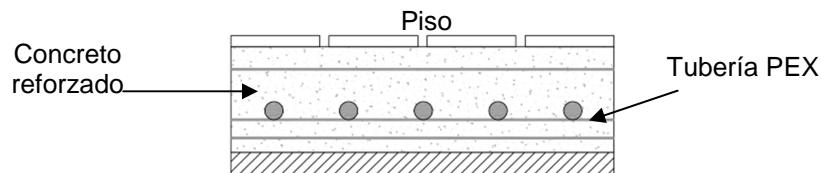


Fig. 5 “Esquema del sistema hidrónico radiante en el suelo”. Fuente: Elaboración propia.

Este sistema tiene como base el sistema de calefacción romano “Hypocausto” y el sistema coreano “Ontol”; los cuales consistían en una serie de conductos debajo de la superficie del suelo donde circulaba aire caliente (el cual era generado en estufas) y dicho aire transmitía el calor hacia el suelo y posteriormente al espacio en el interior [2].

Este sistema tiene como principio básico que el agua es 832 veces más densa que el aire, por lo que la densidad de la energía que se encuentra directamente relacionada con la densidad del material puede ser capturada y canalizada más rápido por el agua que el aire. Al mismo tiempo se basa en el funcionamiento del cuerpo humano, debido a que el cuerpo usa la transferencia radiante para intercambiar la mayoría de su energía térmica, por lo que es un sistema térmicamente activo que se calienta y enfría por medio de la transferencia de energía a través de la piel. Se considera que los edificios basados en esta lógica modifican significativamente los patrones de consumo energético y del confort humano, debido a que tienen un mayor potencial de ahorro en comparación con los sistemas de enfriamiento de aire acondicionado que utilizan el enfriamiento convectivo [3].

La instalación típica del sistema consiste en tubos PEX de alta densidad, los cuales se encuentran embebidos en una losa de concreto. El sistema se puede configurar para que el flujo del agua sea constante o tenga un fluido variable, al mismo tiempo se puede variar la temperatura del agua según cambie la temperatura del ambiente [4]. Para el funcionamiento del sistema se requiere de una bomba, válvula mezcladora para tener las diferentes temperaturas del agua y de equipos que suministren el agua caliente o fría para el funcionamiento del sistema (ver figura 2).



Fig. 6 “Esquema del sistema de enfriamiento y calefacción radiante”. Fuente: Elaboración propia.

## 2.1.- Condensación

Uno de los principales problemas de este sistema es la generación de condensación en el concreto. Existen diversas estrategias para evitar la condensación, una de las más importantes consiste en suministrar agua fría a una temperatura más elevada que la temperatura de rocío del aire en el espacio [5]. En climas cálido-húmedo, el diferencial entre la temperatura del punto de rocío con la temperatura ambiente es menor, caso contrario en climas secos; por lo que el sistema presenta mayores limitantes para reducir la temperatura de la masa térmica del concreto en este tipo de climas.

Otra estrategia para evitar la condensación es disminuir la infiltración de las condiciones de temperatura y humedad del exterior hacia el interior, esto se debe a que un alto rango de infiltración puede generar que se incremente el calor sensible, aumentando la temperatura del punto de rocío, por lo que se disminuye el margen de seguridad de temperatura para que se genere la condensación. Para disminuir la infiltración es importante aislar la envolvente de la edificación. Otra estrategia para combatir la alta humedad producido por la infiltración en el edificio es colocar en la entrada un deshumidificador de aire [6].

## 2.2.- Diseño

Existen diversos programas que realizan la simulación del sistema radiante, estos programas permiten evaluar las diferentes alternativas de acabados para saber su comportamiento, la profundidad de la losa, la longitud de los tubos, las diferentes combinaciones de temperatura, el flujo del agua y la cantidad de absorción de calor. Antes de realizar el cálculo, es necesario conocer el comportamiento térmico del edificio donde se va a implementar el sistema radiante, para saber cuánto calor se necesita eliminar o absorber del interior para generar el confort deseado. Entre los criterios de diseño del sistema se señala que el circuito de tubería de PEX debe estar distribuido con una separación máxima entre tubos de 12 pulgadas (300mm) y con una separación mínima de 6 pulgadas (150 mm). Generalmente el rango de separación es entre 8 a 10 pulgadas (200 mm a 250 mm) con el objetivo de tener un balance económico óptimo sin utilizar mucha tubería. Para no elevar el costo del sistema muchos países europeos aplican la tubería con menor diámetro, siendo entre 1/2" a 5/8" (12mm a 15mm) con una separación de 6" (150mm) [7].

## 2.3.- Ventajas y desventajas

Entre las ventajas y desventajas que presenta el sistema se realiza a continuación una tabla resumen [8]:

Ventajas	Desventajas
El sistema es más efectivo en el modo de enfriamiento cuando la circulación del agua absorbe la ganancia solar directamente del material envolvente.	No genera una circulación del aire frío alrededor del espacio.
La posible manipulación de la masa interna de un edificio. Esto se refiere a que el sistema enfría la masa térmica del edificio por lo que disminuye la transferencia de calor hacia el interior.	Bajar la temperatura del agua en exceso para incrementar la capacidad de enfriamiento puede generar sensación de inconformidad debido a la asimetría que se puede generar térmicamente (pies más fríos que la cabeza) o que se genere condensación en la superficie.
En hospitales donde se requiere por ley que haya una máxima limpieza, este sistema es altamente recomendado debido a que no generan bacterias como lo hacen los sistemas de aire acondicionado sin su debido mantenimiento.	La instalación inapropiada de la tubería o de otros elementos y/o el incorrecto dimensionamiento de la fuente de calor o de enfriamiento puede generar superficies con temperaturas dispares o no se puede generar la capacidad necesaria para calentar o enfriar los espacios.
Tiene facilidad para acoplarse fácilmente con otros sistemas de acondicionamiento.	La limitada experiencia de instalación y funcionamiento del sistema por parte de los ingenieros y arquitectos.

Tabla 3 "Ventajas y desventajas del sistema hidrónico". Fuente: Olsen, 2008.

### 3.- Comparación de enfriamiento del sistema hidrónico en la masa térmica

La primera parte del experimento se realiza en el edificio de la Unidad de Posgrados de la UNAM en la ciudad de México, con un clima templado subhúmedo. Para analizar el sistema hidrónico como sistema de enfriamiento de la masa térmica, se realizan dos prototipos de concreto de 30 cm de ancho x 30 cm largo x 15 cm de grosor. En uno de los prototipos se instala el sistema de tuberías en el interior para el paso del agua fría y en el otro prototipo se utiliza como referencia. En el prototipo de concreto se instala una tubería de PEX de ½" con una separación de 15 cm entre tubería, como se muestra en la figura 3.

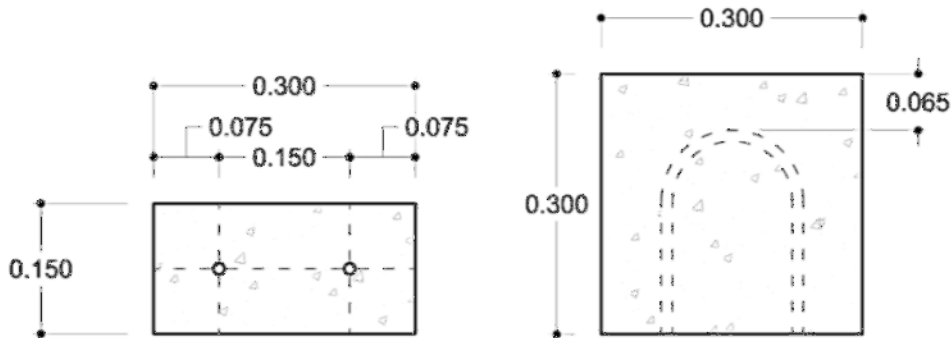


Fig. 7 "Esquema del prototipo de concreto con el sistema hidrónico". Fuente: Elaboración propia.

Para realizar las mediciones se utilizan termistores que registran la temperatura de los prototipos y la temperatura del agua de entrada y la de salida. Se realizan mediciones el 21 y 27 de noviembre del 2014 dentro del laboratorio para analizar el funcionamiento del sistema en espacios interiores. Posteriormente se realizan mediciones el 24 y 25 de enero del 2015 y del 02 al 06 de marzo del 2015, en la azotea del edificio con el objetivo de analizar el sistema afectado por la incidencia de la radiación solar; siendo estos resultados los que se muestran a continuación, escogiendo un día significativo. Para esta fase del experimento se emplea un flujo del agua de 1 litros por minuto.

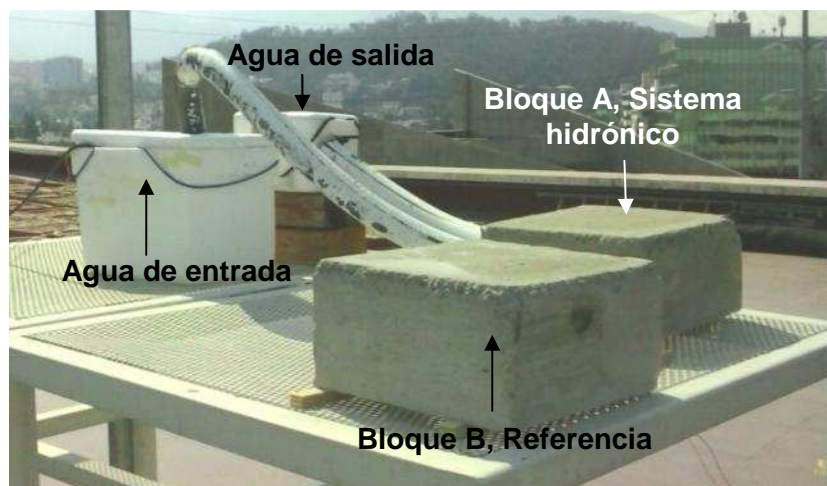


Fig. 8 "Imágenes del experimento en la azotea". Fuente: Elaboración propia.

El día 05 de marzo del 2015, el sistema hidrónico se encontró en funcionamiento desde las 10:30 am hasta las 6:00 pm. Se colocaron sensores para medir la temperatura de la superficie inferior del bloque, con el fin de realizar una comparación entre la temperatura que se tiene en la superficie superior (siendo esta la que recibe la radiación solar directa), la temperatura del interior y la temperatura

en la superficie inferior del bloque. Para obtener la temperatura superficial en todas las caras de los bloques se dividen las caras de los bloques en seis partes, las superficies laterales: norte, sur, este y oeste; y en nueve partes la superficie superior del bloque. Se realizan mediciones a cada 10 minutos por una hora con el termómetro infrarrojo de FLUKE en cada una de las divisiones, para obtener la temperatura promedio en cada superficie y compararlas con la temperatura de los termistores (ver figura 5).

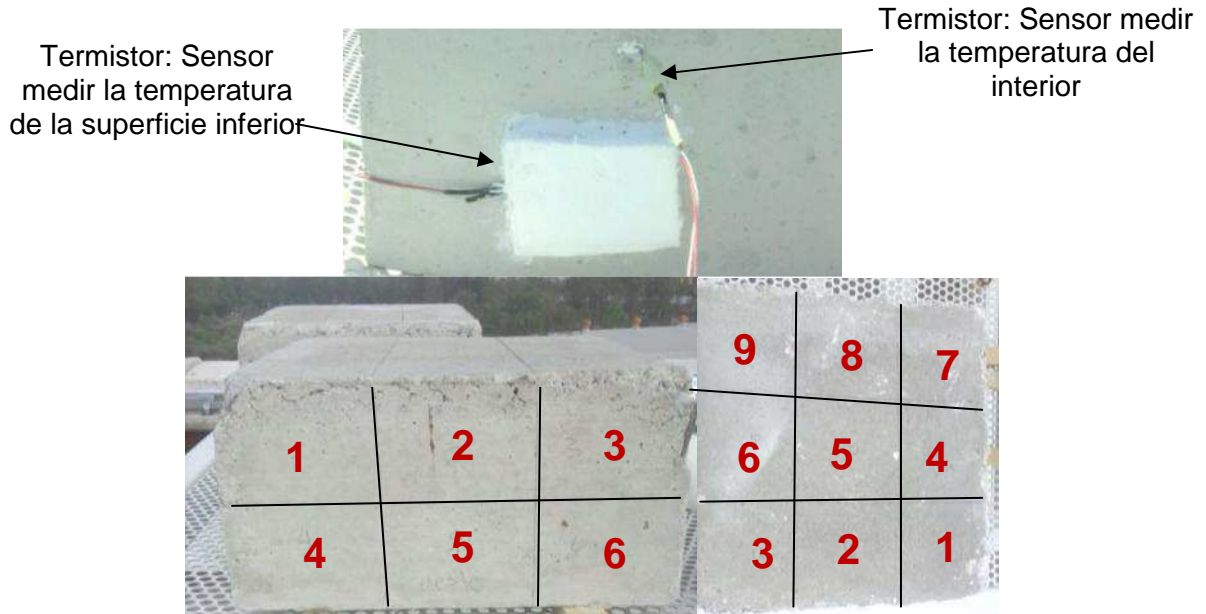
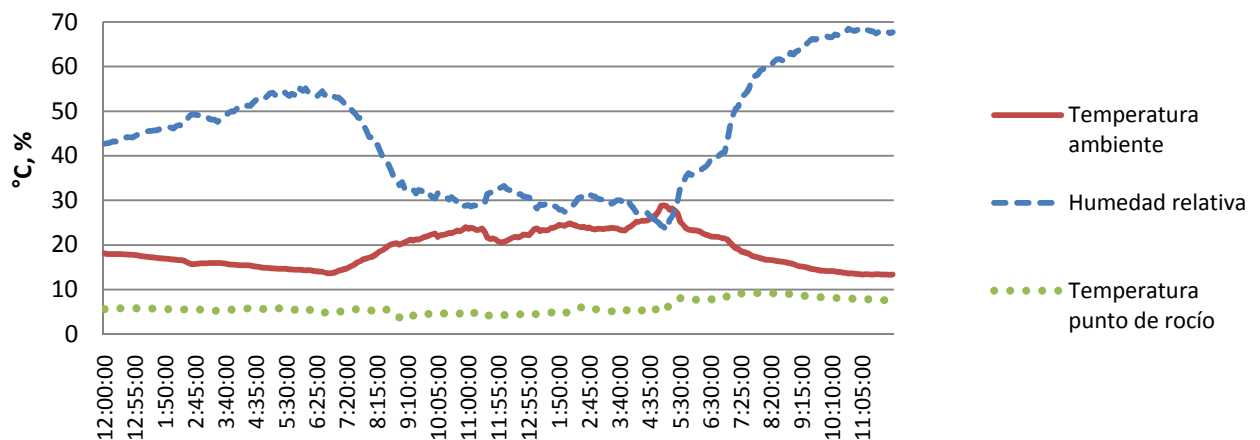
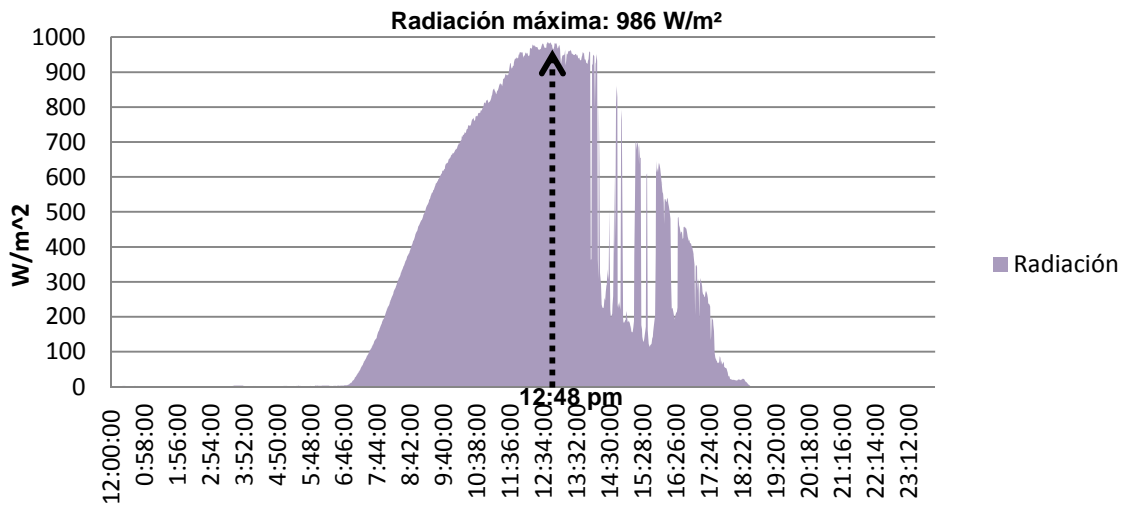


Fig. 9 “Ubicación de los sensores en la superficie inferior de los bloques y la división de las superficies en todas las caras de los bloques”. Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica 1 se muestra la temperatura ambiente, la humedad relativa y la temperatura del punto de rocío que se presentó el día 05 de marzo del 2015. La temperatura ambiente osciló entre los 13.30°C y los 28.84°C; la humedad relativa se encontró en un rango entre el 23.34% y el 68.47% y el rango de la temperatura del punto de rocío se mantuvo entre los 3.76°C y los 9.29°C. La radiación máxima se presenta a las 12:48 pm con 986 W/m<sup>2</sup>, en la gráfica 2 se observa que después de la 1:30 pm se encontró nublado por lo que la cantidad de radiación disminuye.



Gráfica 9 “Temperatura ambiente, humedad relativa y temperatura del punto de rocío el 05 de marzo del 2015”.



Gráfica 10 “Radiación solar el día 05 de marzo del 2015”

	Temp, °C	RH, %	Punto de rocío, °C	Bloque referencia	Superficie inferior bloque referencia	Bloque hidrónico	Superficie inferior bloque hidrónico	°C agua entrada	°C agua salida
Mínimo	13.305	23.348	3.76	12.58	14.489	12.70	14.282	4.94	6.18
Máximo	28.841	68.471	9.29	30.733	30.407	23.94	25.683	15.22	18.66
Promedio	18.97	44.21	6.07	20.71	24.25	18.19	20.99	2.62	12.57

Tabla 4 “Resultados de las pruebas realizadas el 05 de marzo del 2015”.

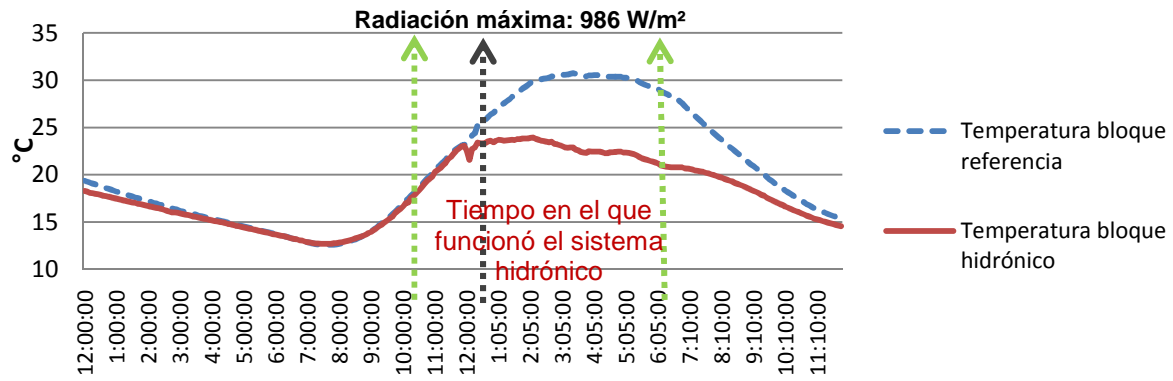
En la tabla 2 se muestra que el bloque de referencia presentó una temperatura máxima al interior del bloque de 30.73°C a las 3:25 pm, a esa misma hora el bloque con el sistema hidrónico tuvo una temperatura al interior de 22.88°C, teniendo una diferencia entre ambos bloques de 7.85°C. La temperatura en la superficie inferior del bloque de referencia a esa hora fue de 30.078°C, por lo que hubo una diferencia de 0.65°C entre la temperatura interior y la superficie inferior.

En el bloque con el sistema hidrónico, a esa hora la temperatura al interior del bloque fue de 22.88°C y la temperatura en la superficie inferior fue de 24.45°C, presentando una diferencia de 1.57°C. La temperatura al interior del bloque es menor debido a la circulación del agua del sistema hidrónico. La diferencia máxima entre la temperatura del interior de ambos bloques fue de 8.14°C (ver gráfica 4), la cual se dio a las 4:25 pm; obteniendo los siguientes datos:

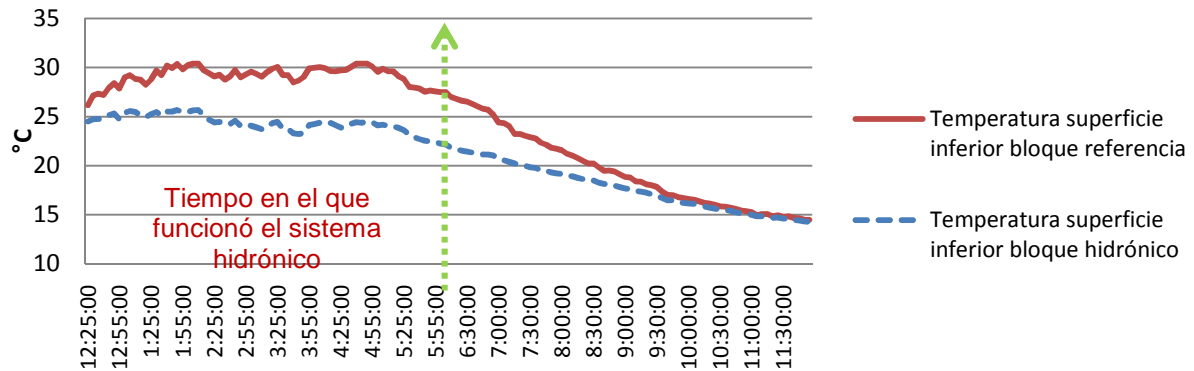
- Bloque de referencia:
- Temperatura interior: 30.42°C
- Temperatura superficie inferior: 29.70°C
- Diferencia entre ambas temperaturas: 0.72°C
- Bloque con el sistema hidrónico:
- Temperatura interior: 22.28°C
- Temperatura superficie inferior: 23.89°C
- Diferencia entre ambas temperaturas: 1.61°C

La diferencia entre la temperatura de la superficie inferior entre ambos bloques fue de 5.81°C a las 4:25 pm, por lo que el sistema hidrónico disminuye la transferencia de calor hacia el otro extremo del bloque, lo cual se puede observar en la gráfica 4. En la figura 6 se presenta el flujo de calor del bloque, se puede observar las diferentes áreas según la temperatura, presentando en la superficie inferior menor temperatura que en la superior.





Gráfica 11 “Comparación de la temperatura del interior de los bloques”.



Gráfica 12 “Comparación de la temperatura de la superficie inferior de ambos bloques”.

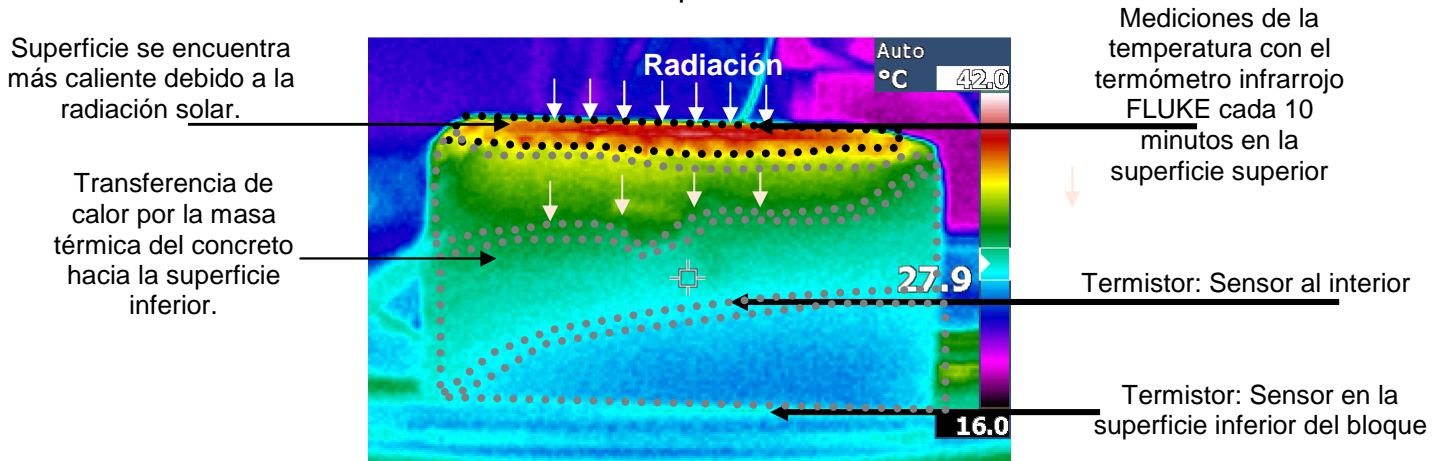


Fig. 10 “Imagen térmica del bloque de referencia”.



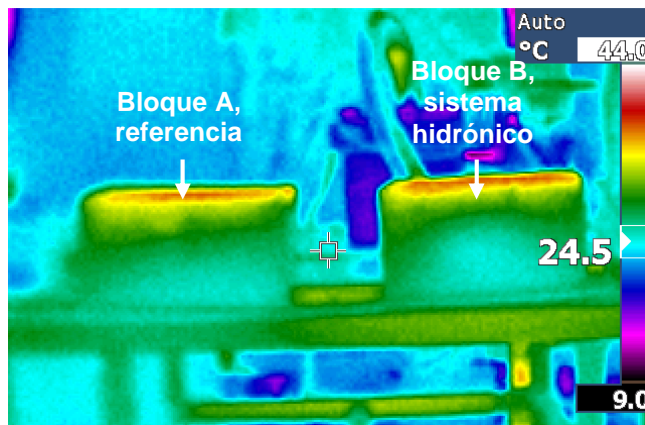
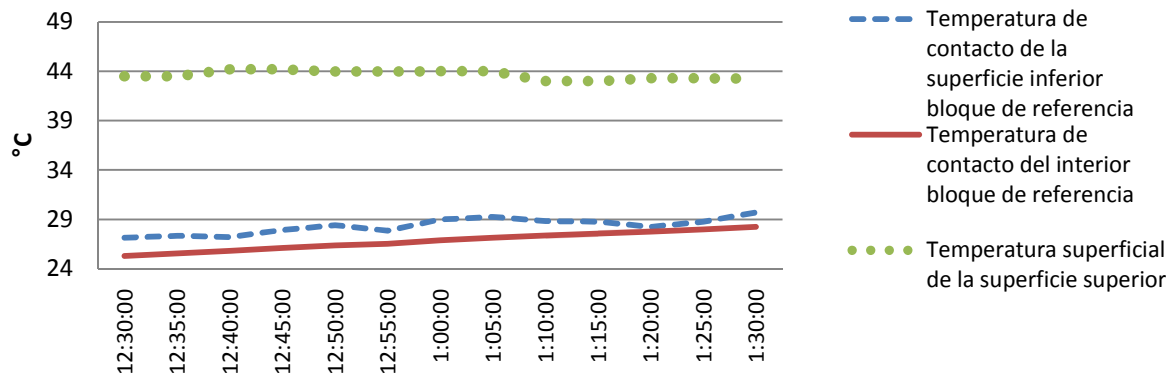


Fig. 11 "Imagen térmica de los dos bloques".

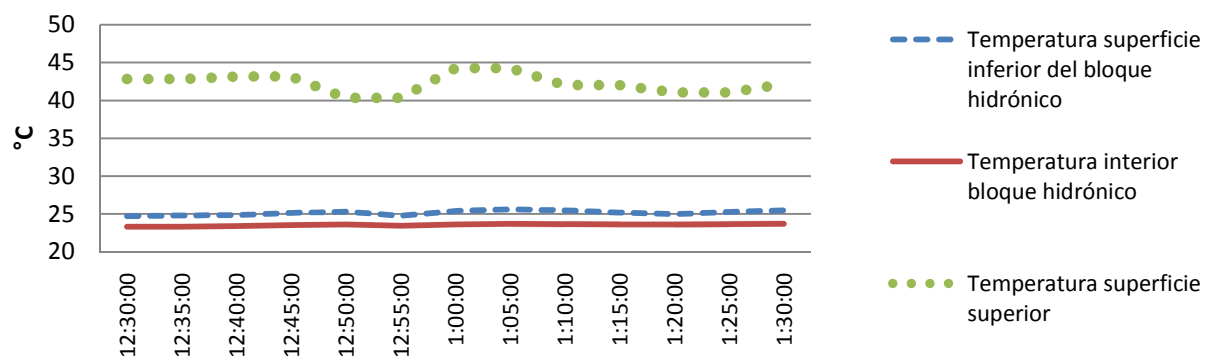
En la figura 7 se presenta una imagen térmica de ambos bloques a las 12:30 pm, se puede observar que en el bloque B presenta un área mayor con temperaturas más bajas al centro que el bloque A, el cual se debe al paso del agua fría del sistema hidrónico.

Hora	Temperatura superficies Bloque referencia					Temperatura superficies Bloque hidrónico				
	Superior	Norte	Oeste	Este	Sur	Superior	Norte	Oeste	Este	Sur
12:30:00 p.m.	43.48	25.68	26.17	33.72	34.87	42.83	26.92	26.70	33.88	34.65
12:40:00 p.m.	44.21	25.20	25.38	32.78	34.62	43.17	24.83	25.60	32.15	34.37
12:50:00 p.m.	43.98	23.47	24.95	31.28	34.03	40.31	30.03	26.27	30.03	31.20
01:00:00 p.m.	44.00	24.77	26.02	31.10	34	44.27	25.25	25.80	31.83	33.93
01:10:00 p.m.	43.01	24.90	25.83	29.65	34.57	42.00	24.75	25.48	30.65	34.62
01:20:00 p.m.	43.28	24.30	25.67	29.23	35.70	41.02	24.50	25.60	28.60	35.00
01:30:00 p.m.	43.24	24.62	25.95	29.18	36.22	42.17	25.58	26.62	28.83	35.60

Tabla 5 "Temperatura promedio en las caras de los bloques".



Gráfica 13. "Comparación temperatura superficie superior, inferior e interior del bloque de referencia el día 05 de marzo del 2015".



Gráfica 14 “Comparación temperatura superficie superior, inferior e interior del bloque con el sistema hidrónico el día 05 de marzo del 2015”.

En la tabla 3 se presenta las temperaturas promedio en una hora, las cuales se obtuvieron con las mediciones a cada 10 minutos en las diferentes divisiones que se realizaron en las caras de los bloques con el termómetro infrarrojo de FLUKE. En gráfica 5 y 6 se realiza una comparación, entre las 12:30 pm y la 1:30 pm, del comportamiento de la temperatura entre la superficie superior, la inferior y el interior de los bloques. Se observa que la temperatura superior del bloque de referencia se mostró constante entre los 43 °C y los 44°C. La temperatura de la superficie inferior del bloque oscila entre los 27°C y los 29°C; y la temperatura en el interior del bloque se presentó entre los 25°C y los 28°C. Se presenta una diferencia de temperatura promedio de 15.29°C entre la temperatura de la superficie superior con la inferior.

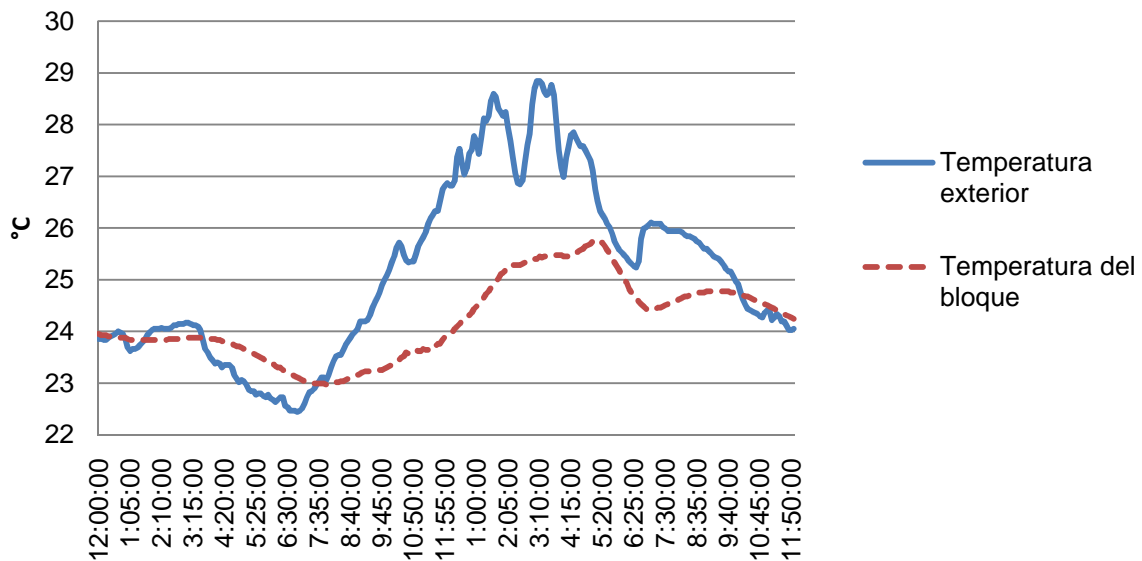
En la gráfica 6 se presenta la diferencia de temperatura de las superficies con respecto al interior del bloque con el sistema hidrónico. La temperatura de la superficie superior se encuentra entre los 41°C y los 44°C; la temperatura de la superficie inferior del bloque osciló entre los 24°C y los 25°C; y la temperatura al interior del bloque fue entre los 23°C y los 24°C. Se presenta una diferencia de temperatura promedio de 17.13°C entre la temperatura de la superficie superior con la temperatura inferior y una diferencia de 18.71°C con respecto a la temperatura del interior del bloque. Con esto se comprueba que el sistema hidrónico, aparte de enfriar la masa al interior del bloque, disminuye la transferencia de calor hacia el interior de los espacios; en este caso se obtuvo una diferencia de 3.21°C entre la superficie inferior de ambos bloques en la hora donde se presenta mayor radiación solar entre las 12:30 pm a la 1:30 pm.

En la segunda parte del experimento se realiza una réplica del experimento en la ciudad de San Pedro Sula, Honduras; con un clima cálido-húmedo. En esta parte del experimento solamente se realizan el bloque con el sistema radiante debido a la escasez de equipos de medición. El período en el que se realizaron las mediciones fue del 8 al 18 de enero del 2015. Los equipos utilizados para esta parte del experimento es un HOBO U12-013, para realizar las mediciones de la temperatura, humedad relativa y temperatura de rocío ambiente. A este equipo se conectaron los sensores TMC6-HD para registrar la temperatura del agua y del bloque.

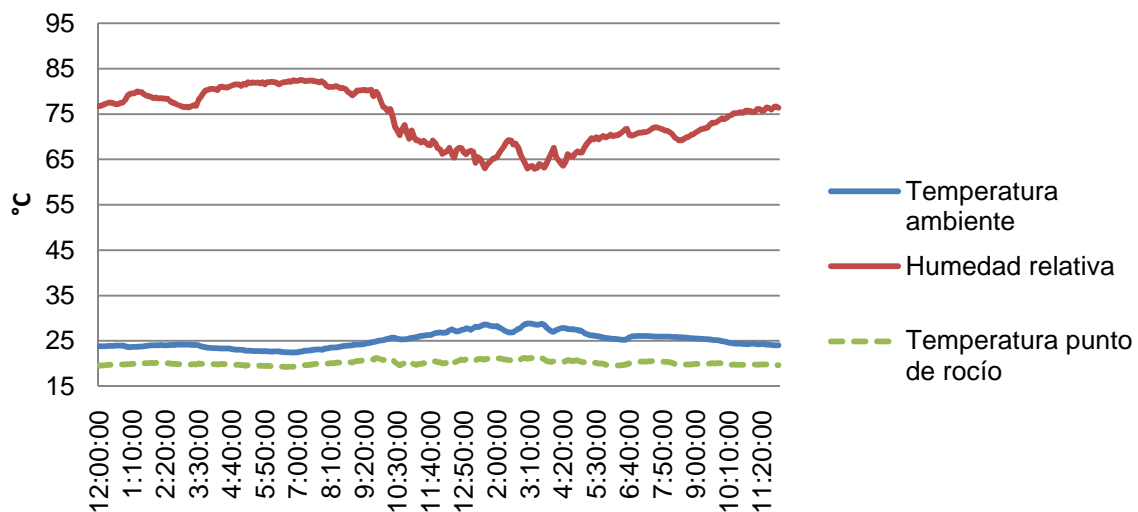
En la gráfica 7 se presenta el comportamiento de la temperatura de la masa térmica del bloque de concreto comparándola con la temperatura ambiente durante las mediciones del 10 de enero del 2015. La temperatura ambiente osciló entre los 22.44°C hasta los 28.84°C, la humedad relativa se encontró entre el 62.88% y el 82.51% y la temperatura del punto de rocío fue entre los 19.27°C y los 21.23°C.

La temperatura del agua de entrada se mantuvo entre 1°C y 2°C de diferencia entre la temperatura del punto de rocío. Durante las mediciones se registra que la temperatura de la masa térmica del concreto logra alcanzar una diferencia más baja

a la temperatura ambiente de 3.32°C entre la 1:00 pm y las 2:00 pm. La temperatura mínima que se logra enfriar la masa térmica del concreto es de 1.3°C entre las 9:00 am y las 10:00 am, en un lapso de tiempo de una hora desde que se inicia la circulación del agua fría.



Gráfica 15 “Comparación temperatura ambiente con la temperatura de la masa térmica del concreto con el funcionamiento del sistema hidrónico el 10 de enero del 2015”.



Gráfica 16 “Temperatura ambiente, humedad relativa y temperatura del punto de rocío el 10 de enero del 2015”.

#### 4.- Conclusiones

Se puede concluir que el sistema hidrónico logra enfriar la masa térmica de la envolvente, con el experimento se demostró que el sistema enfría 6.73°C la masa térmica del concreto con respecto a la temperatura ambiente en clima templado subhúmedo y 3.32°C en clima cálido húmedo. Se considera que se puede incrementar la temperatura de enfriamiento aislando los prototipos para lograr que

se posean las condiciones climáticas deseadas, especialmente con una temperatura de punto de rocío bajo para poseer una menor temperatura del agua para enfriar la masa térmica y lograr tener una diferencia mayor.

On the sub humid weather, the hydronic cooling system reduce the heat transference generated by the solar radiation over an exterior surface of the other surface in the interior, getting a temperatura difference of 5.81°C. This heat reduction decrease the consumption of the air conditioning systems.

## **AGRADECIMIENTOS**

Se le agradece al Mtro. En Arquitectura Leonardo Zeevaert, encargado del campo de Tecnología del Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura de la UNAM, por su asesoría y apoyo en el transcurso de la maestría. Al mismo tiempo al Mtro. en Arquitectura Arturo Valeriano, catedrático de la UNAM, por el apoyo brindado en la realización del experimento.

## **REFERENCIAS**

- [1] Sánchez Quintana, F. (1992). Instalaciones de calefacción por suelo radiante. Sevilla: PROGENSA.
- [2] Bean, R., W. Olesen, B., & Woo Kim, K. (2010). Part 1 History of radiant heating and cooling systems. ASHRAE Journal, 40-47.
- [3] [7] Moe, K. (2010). Thermally Active Surfaces in Architecture. Prince-ton Architectural Press.
- [4] Nall, D. H. (2013). Part 1. Thermally active floors. ASHRAE Journal, 32-44 pp.
- [5] [6] Nall, D. H. (2013). Part 2. Thermally active floors. ASHRAE Journal, 36-46 pp.
- [8] Olsen, B. (2008). Radiant floor cooling systems. ASHRAE Journal, 16-22 pp