

ESTUDIO DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR DE UN PISO RADIANTE HIDRÓNICO SOLAR A UN ESPACIO

Oscar Enrique Rodea García- racso_rogo@msn.com,

Manuel Domingo Gordon Sánchez- mgs@correo.azc.uam.mx

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco Posgrado en Diseño, División de Ciencias y Artes para el Diseño

Resumen. *La envolvente de una edificación controla en buena medida el ambiente interior en cuanto a luz, temperatura y sonido. Desde el punto de vista térmico, sus características determinan la magnitud del flujo de calor que pasará hacia el interior de la vivienda o edificio. Las pérdidas térmicas que se presentan se ven acrecentadas por los tipos de materiales, formas y espesores de los sistemas constructivos de las viviendas o edificios. Esto implica el uso de dispositivos mecánicos para su climatización; y por lo tanto, un mayor consumo energético. La energía solar térmica se puede usar en las edificaciones para la climatización de un espacio, por medio de dispositivos solares, los cuales ayudan a obtener mejores rangos de confort, un mayor ahorro energético, y por lo tanto mayor grado de sustentabilidad.*

Con el afán de contribuir a ahorro energético en esta investigación se realizó un análisis a un dispositivo de calefacción por piso radiante hidrónico solar, el estudio se llevo a cabo en un modulo experimental, donde se implemento sistema de piso radiante para comprobar si el aporte de calor al espacio es optimo para mantenerlo dentro de confort. Para realizar un buen análisis del dispositivo de calefacción se realizó un análisis de las condiciones climáticas de la ciudad de México que en donde se llevo a cabo el experimento, como segundo punto se realizó el análisis térmico del modulo para conocer los requerimientos de la carga térmica necesaria para mantenerla dentro de un rango de confort, el cual es de 20.5 a 25.5 en la ciudad de México, para este análisis se monitoreo el espacio por 5 días para conocer las temperaturas interiores sin dispositivo y posteriormente se monitoreo por 5 días más con el dispositivo de piso radiante en marcha, esto para conocer el comportamiento térmico dentro del modulo así como la eficiencia y la cantidad de calor que proporciona el piso radiante.

Palabras-clave: Análisis térmico, Piso radiante, Transferencia de calor

1. ANALISIS DE LAS TEMPERATURAS EN LA CIUDAD DE MEXICO

Las condiciones de comodidad o confort térmico dependen de las variables del medio ambiente, como la temperatura, humedad, velocidad del aire y radiación incidente. Los métodos para determinar las condiciones de comodidad térmica se desarrollaron desde finales del siglo pasado, y a partir de estos se implementaron normas o sugerencias de valores de los parámetros, dentro de los cuales el ser humano siente comodidad. Los conceptos listados anteriormente, resultan muy importantes para fijar las estrategias de diseño térmico de una vivienda o cualquier otro espacio. Por consiguiente como primer punto analizaremos las condiciones climáticas en donde se realizó el experimento, en este caso es la ciudad de México.

Actualmente la zona metropolitana de la ciudad de México cuenta con una superficie aproximada de 1,500 km², en su mayor parte la ciudad de México presenta un clima templado. “El verano es fresco, lluvioso y prolongado, mientras que el invierno es seco con lluvias escasas; se presenta poca oscilación anual y el clima es de tipo Ganges.” (Freixanet 2000). De acuerdo a los datos de la estación del observatorio meteorológico de Tacubaya, su clasificación según Koppen-García es Cb(w1)w(i)g. En cuanto a su agrupación bioclimática, se considera semifrío, ya que la temperatura media del mes más caluroso es menor a 21°C y su precipitación pluvial anual se encuentra entre 650 y 1000mm.

En la gráfica de días grado (fig. 2), podemos determinar cuando son necesarios los requerimientos de calentamiento y enfriamiento a lo largo del año. Descuerdo a los días grado, la mayor parte del año se tienen requerimientos de calentamiento con excepción en los meses de abril y mayo donde no hay requerimientos de calentamiento por el día, por el contrario, se necesita enfriamiento, el resto del año si se requiere de calentamiento

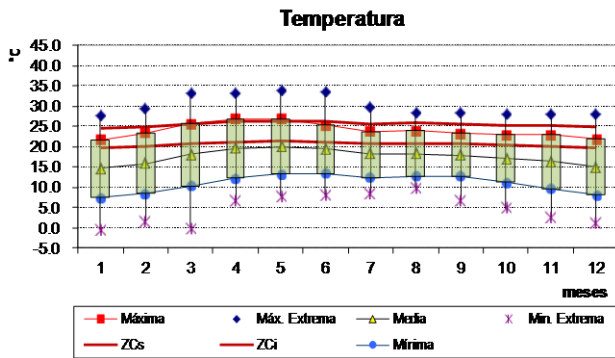


Figura 1- Grafica que muestra la temperatura de la ciudad de México durante todo el año. Fuente: elaboración propia, datos obtenidos del observatorio de Tacubaya

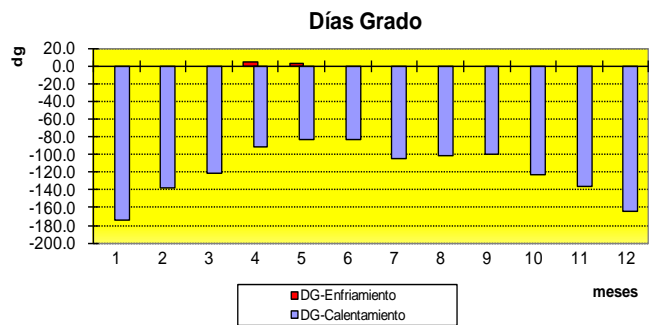
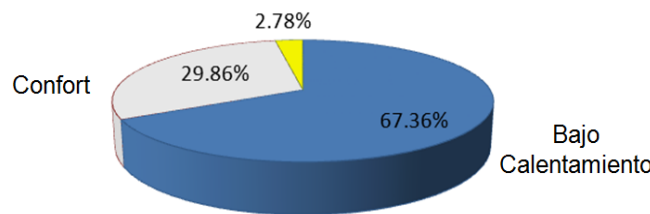


Figura 2- Grafica que muestra los días grado de la ciudad de México durante todo el año. Fuente: elaboración propia, datos obtenidos del observatorio de Tacubaya

De acuerdo con el análisis de las temperaturas horarias, se tienen condiciones de confort el 29.86% del tiempo. En la época calurosa que va de marzo a mayo el confort está comprendido entre las 12 y las 20 horas, sin embargo se presenta temperaturas por arriba de confort entre las 14 y las 17 horas, las cuales representan solo el 2.78% del tiempo. Mientras que en diciembre solo se presentan 4 horas de confort y en enero 5 horas de confort (entre las 14 y 18 horas) las temperaturas que están por debajo del confort representan el 67.36% del tiempo.



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
11.0	9.8	8.8	8.0	7.6	7.4	7.8	9.1	11.0	13.4	15.9	18.2	20.1	21.3	21.7	21.5	21.1	20.4	19.4	18.2	16.9	15.4	13.9	12.4
12.2	10.9	9.9	9.1	8.7	8.5	8.9	10.2	12.2	14.5	17.1	19.6	21.6	22.9	23.4	23.2	22.7	22.0	20.9	19.6	18.2	16.6	15.0	13.6
14.3	13.0	11.9	11.1	10.6	10.4	10.9	12.2	14.3	16.8	19.5	21.9	23.9	25.2	25.7	25.5	25.1	24.3	23.2	21.9	20.5	19.0	17.4	15.8
16.0	14.7	13.7	12.9	12.5	12.3	12.7	14.0	16.0	18.4	20.9	23.2	25.1	26.4	26.8	26.6	26.2	25.4	24.4	23.2	21.9	20.4	18.9	17.4
16.6	15.5	14.5	13.8	13.3	13.2	13.6	14.8	16.6	18.8	21.2	23.4	25.2	26.4	26.8	26.7	26.2	25.5	24.6	23.4	22.1	20.7	19.3	17.9
16.5	15.5	14.6	14.0	13.6	13.5	13.9	14.9	16.4	18.4	20.4	22.3	23.9	24.9	25.3	25.2	24.8	24.2	23.3	22.4	21.2	20.0	18.8	17.6
15.4	14.4	13.6	13.0	12.6	12.5	12.8	13.9	15.4	17.3	19.2	21.0	22.5	23.5	23.8	23.7	23.3	22.7	22.0	21.0	20.0	18.9	17.7	16.5
15.5	14.6	13.8	13.2	12.8	12.7	13.0	14.0	15.5	17.3	19.3	21.1	22.6	23.6	23.9	23.8	23.4	22.8	22.0	21.1	20.0	18.9	17.7	16.6
15.4	14.5	13.7	13.2	12.8	12.7	13.0	13.9	15.3	17.1	18.9	20.6	22.1	23.0	23.3	23.2	22.8	22.3	21.5	20.7	19.6	18.6	17.4	16.4
14.2	13.2	12.3	11.7	11.3	11.2	11.6	12.6	14.2	16.1	18.2	20.0	21.6	22.6	22.9	22.8	22.4	21.8	21.0	20.0	19.0	17.8	16.6	15.3
13.0	11.9	11.0	10.3	9.8	9.7	10.1	11.2	13.0	15.2	17.4	19.6	21.4	22.5	22.9	22.8	22.3	21.6	20.7	19.6	18.3	17.0	15.6	14.3
11.6	10.4	9.4	8.7	8.3	8.1	8.5	9.7	11.5	13.8	16.2	18.4	20.3	21.5	21.9	21.7	21.3	20.6	19.6	18.5	17.1	15.7	14.3	12.9
14.3	13.2	12.3	11.6	11.2	11.0	11.4	12.5	14.3	16.4	18.7	20.8	22.5	23.6	24.0	23.9	23.5	22.8	21.9	20.8	19.6	18.2	16.9	15.5

Figura 3- Tabla que muestra las temperaturas horarias durante todo el año. Fuente: elaboración propia, datos obtenidos del observatorio de Tacubaya

La zona de confort para la ciudad de México se encuentra entre los 20.5 °C y 25.5 °C, por lo tanto las condiciones del clima de la Ciudad de México son aptas para el dispositivo hidrónico solar de calefacción ya que la mayor parte de los meses del año se tienen requerimientos de calentamiento, como se observa en la figura 3, con excepción de los meses de Marzo a Mayo donde es necesario enfriar para llegar al confort térmico.

La temperatura de confort se puede calcular con las siguientes ecuaciones:

$$T_n = 17.6 + (0.31 * T_{med})$$

Dónde:

(1)

T_n = Temperatura neutra

T_{med} = Temperatura media anual

Z_c = Zona de confort

Partiendo del análisis climático de la ciudad de México se tomaron parámetros para calcular y diseñar un dispositivo de calefacción por piso radiante. El cual debe de ser viable, técnica y económicamente.

Para el cálculo de la carga de calefacción, se emplea el método de los grados-día, basado en el hecho de que la cantidad de calor necesario para mantener la temperatura interior seleccionada depende de la diferencia de temperaturas entre el ambiente interior y el exterior

2. DESARROLLO

Como primer punto se realizó el estudio térmico de un espacio localizado en la ciudad de México, en el cual se implementó un sistema de piso radiante hidrónico alimentado con un colector solar de tubos evacuados. El prototipo consta de un módulo de 1.22m de ancho x 2.44m de largo y 2.44m de altura, con paredes y techo de panel de yeso al interior y placas de durock al exterior, cuenta con aislante entre las dos placas, finalmente, el modelo se recubrió con impermeabilizante de color blanco. Fig 4.

El sistema de piso radiante se compone de un serpentín de tubos plásticos de polietileno uniformemente repartido enterrado en el suelo a 3 cm de la superficie, por los cuales circula el agua a una temperatura de 40 a 50° C. El agua cede calor al suelo y este a su vez lo transmite al ambiente del espacio, este dispositivo se alimenta por medio de un colector solar de tubos evacuados. fig 5.



Figura 4- Imagen que muestra el proceso constructivo del módulo, en él se pueden observar los materiales con los que está construido.



Figura 5- Imagen que muestra la configuración del piso radiante, materiales y los termopares con los cuales se hicieron las mediciones de las temperaturas

Este prototipo se construyó con el objetivo de monitorear el comportamiento térmico del espacio así como el análisis de la transferencia de calor que se lleva a cabo por el sistema de piso radiante. El periodo de monitoreo se subdividió en

dos: en el primer periodo de monitoreo, las mediciones fueron tomadas con el dispositivo de calefacción apagado, es decir, que el sistema estuvo sin flujo de agua caliente, esto fue durante 5 días, con el objetivo de conocerlas las temperaturas interiores del prototipo y así obtener los requerimientos de calentamiento de dicho espacio.

En la fig. 6 Se muestra el análisis de las temperaturas interiores del módulo, así como la temperatura ambiente, estas mediciones se tomaron durante el primer periodo de monitoreo, el cual se realizó durante 5 días, en este periodo se midieron las temperaturas a 3 diferentes alturas dentro del modelo, la primera maya se compone de 12 termopares a una altura de 30 cm por arriba del piso. Como se puede observar en la fig. 6 la temperatura interior se encuentra fuera de la zona de confort, lo que nos indica requerimientos de calentamiento. En la segunda maya de termopares, la cual esta a una altura de 1.60 m por arriba del psio, se observan los requerimientos de calentamiento, como se puede observar las temperaturas decien den hasta los 13°C a partir de las 5 am. En la tercer maya de termopares la cual esta a una altura de 2.20 m se observa que el comportamiento de las temperaturas es muy similar al de las mayas anteriores, es decir, estan muy por debajo de confort.

En cuanto a la temperatura ambiente observamos que esta muy por debajo de la zona de confort desde las 8.00pm hasta las 6.00 am, con temperaturas que van de los 20°C a los 10°C. (fig. 6)

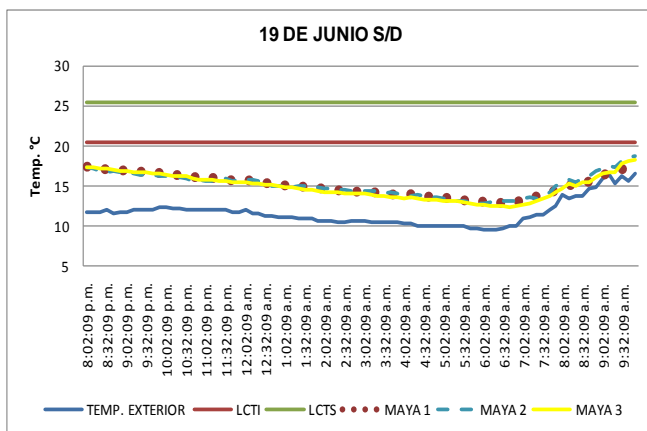


Figura 6-. Imagen que muestra el comportamiento térmico dentro del módulo en las maya de termopares a una altura de 0.30, 1.60 y 2.20cm por arriba del piso

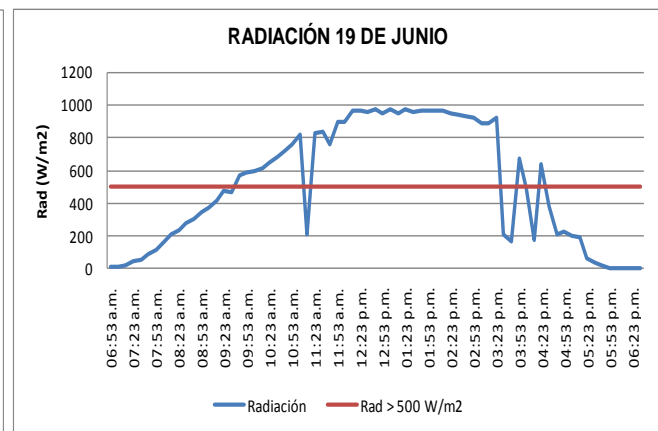


Figura 7-. Imagen que muestra los datos de radiación solar a lo largo del día 19 de junio

3. RESULTADOS

El segundo periodo de monitoreo se realizó durante 5 días más, pero con el dispositivo de piso radiante en funcionamiento, se hicieron mediciones de las temperaturas a 3 diferentes alturas dentro del módulo, así como las mediciones de la temperatura ambiente, con el objetivos de comparar la temperatura ambiente con la temperatura interior y ver la eficiencia del dispositivo de piso radiante, también se hizo una comparación de las temperatura y de la radiación del primer periodo de monitoreo contra el segundo periodo de monitoreo.

Analizando la gráfica de radiación solar del día 29 de junio (fig. 8) observamos que es muy similar a la del día 19 de junio, ya que la radiación es alta desde las 9.00 am hasta las 5.00 pm sobrepasando los 500w/m2 y en las horas del mediodía sobrepasa los 960w/m2, es decir que existen condiciones muy similares en cuanto a radiación entre estos dos día, lo cual nos permite hacer una comparación, para analizar el desempeño del colector solar que alimentara al piso radiante.

En cuanto al análisis térmico del módulo encontramos que para el día 29 de junio el piso radiante logro elevar las temperaturas interiores y llevarlas hasta la zona de confort. Si comparamos le temperatura ambiente con las temperaturas interiores vemos que la temperatura ambiente está muy por debajo de la zona de confort con temperaturas que van desde los 20°C hasta los 11°C en las últimas horas de la madrugada. (fig. 9)

En la fig. 9 se observan las temperaturas interiores a tres diferentes alturas, 0.30 cm maya 1, 1.60 maya 2 y 2.20cm que corresponde a la maya 3, en la maya 1, vemos que las temperaturas se encuentran entre los 19°C y los 25°C. La temperatura máxima que se puede usar en el piso radiante a la altura de los pies es de 29° C si se sobrepasa esta temperatura la sensación

térmica nos produciría malestar, por lo tanto las temperaturas alcanzadas hasta los primeros 30 cm dentro del módulo se encuentran en confort.

En la segunda maya de termopares que se encuentra a la altura de los ocupantes 1,60 cm (fig. 9) encontramos que las temperaturas están entre los 25 °C y los 18.6 °C, es decir, las temperaturas están dentro de confort solo en algunas horas las temperaturas de la maya 2 y 3 están por debajo de los 20°C. Comparando las temperaturas interiores con la ambiente exterior vemos que el comportamiento térmico dentro del módulo es muy favorable ya que se logró llegar a la zona de confort en la mayor parte de la noche. Si observamos la fig. 9 vemos que la diferencia de temperaturas entre el interior del módulo y el ambiente exterior puede llegar hasta 8°C.

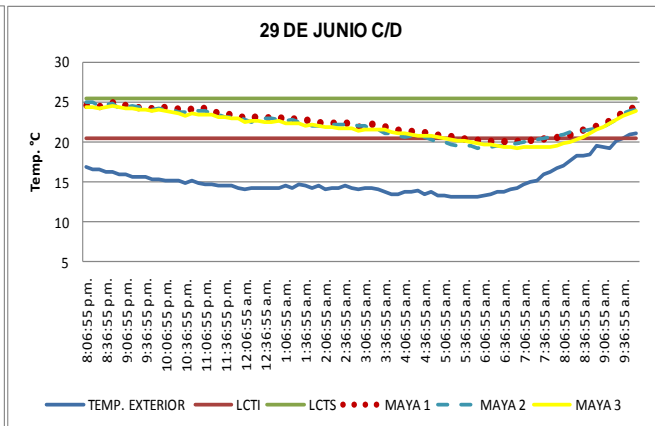
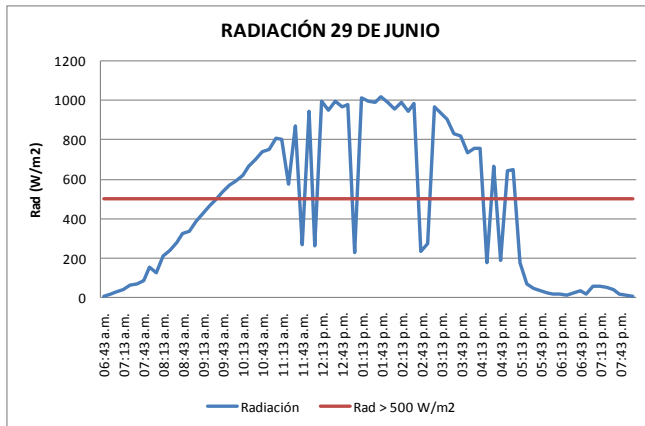


Figura 8- Imagen que muestra los datos de radiación solar a lo largo del día 19 de junio

Figura 9- Imagen que muestra el comportamiento térmico dentro del módulo en las maya de termopares a una altura de 0.30, 1.60 y 2.20cm por arriba del piso

Podemos ver que el dispositivo de calefacción hidrónica solar funciona de manera eficiente ya que se logró aumentar la temperatura interior llevándola hasta los rangos de confort, sin embargo, este desempeño puede llegar a verse afectado si la radiación solar disminuye, debido a que esta es la principal fuente de energía del dispositivo, generalmente uno de los principales factores que afectan a la radiación que incide sobre la superficie del colector solar es la nubosidad. En la fig. 10 observamos que los meses con mayor predominancia de días despejados en la ciudad de México son de enero a finales de marzo mientras que la época de nublados o cerrados se manifiesta entre junio y finales de octubre, se presentan también dos épocas de transición o medios nublados, la primera entre abril siendo el punto de inflexión a principios de mayo, la segunda época de medios nublados se presenta en noviembre y diciembre, la máxima nubosidad coincide con el mes de mayores lluvias. Se observa una ligera disminución de nublados en agosto, la cual vuelve a incrementarse en septiembre. Es evidente como la radiación descende durante los meses de precipitación (junio a agosto), debido principalmente a la nubosidad. También es claro que la radiación descende en la época invernal debido a la declinación solar.

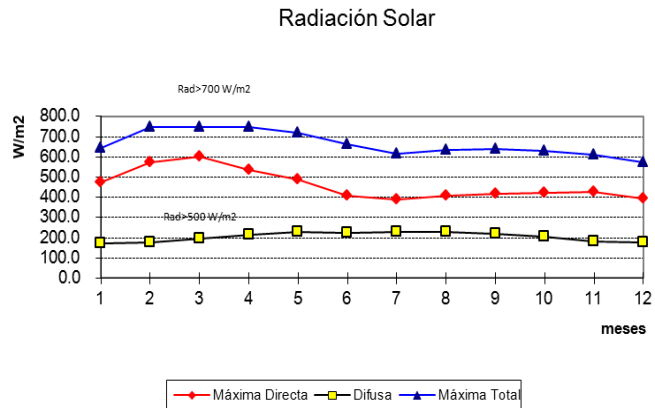
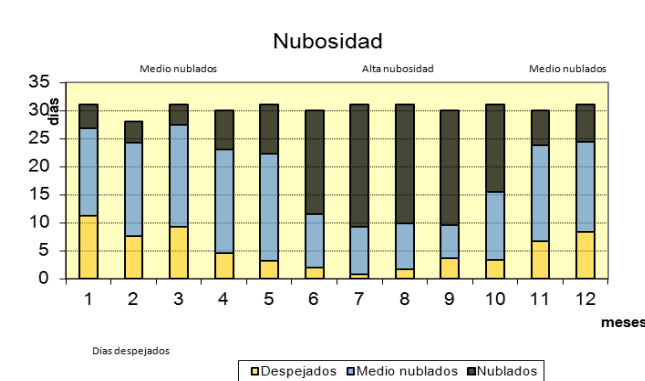


Figura 10- Imagen que muestra los niveles de nubosidad a lo largo del año

Figura 11- Imagen que muestra el comportamiento de la radiación solar a lo largo del año

Sin embargo, la radiación total alta se presenta de mediados de enero hasta principios de mayo sobrepasando los 700w/m², esto representa aproximadamente el 70% o más, de la radiación teórica total máxima posible que podría incidir sobre el plano horizontal en la latitud de la ciudad de México para cada uno de los meses del año.

Debido a este factor el desempeño del dispositivo de calefacción baja su rendimiento y por tanto la tasa de transferencia de calor al espacio interior disminuye considerablemente, en la fig. 12 observamos el desempeño del dispositivo de calefacción solar en un día nublado

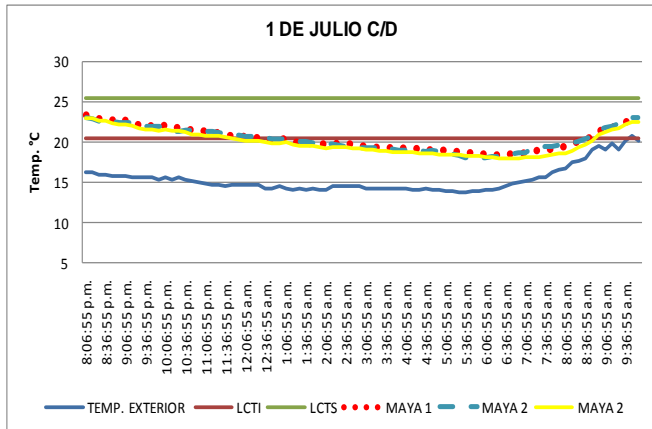


Figura 12- Imagen que muestra el comportamiento térmico dentro del módulo a diferentes alturas de 0.30, 1.60 y 2.20 cm

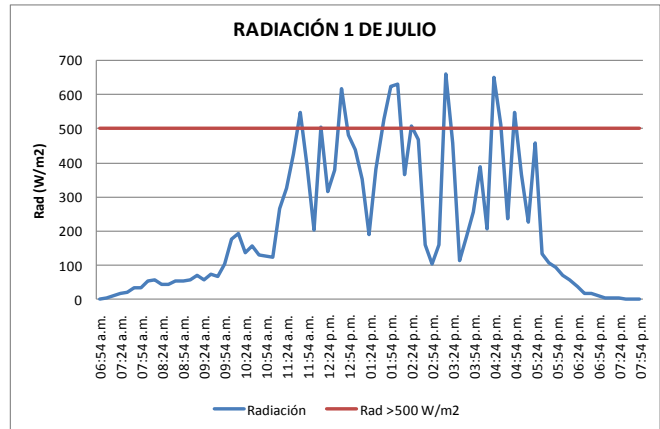


Figura 13-. Radiación solar en un día con nubosidad media, se puede apreciar la disminución de w/m² en comparación con un día despejado

Como podemos ver en las fig. 12 el desempeño del piso radiante hidrónico solar bajo su rendimiento en cuanto a transferencia de calor, esto es debido principalmente a la disminución de la radiación solar que incide en el colector solar que es la principal fuente de energía del sistema de calefacción, sin embargo, podemos observar que el aporte de calor del piso radiante sigue siendo bastante considerable ya que las temperatura interior alcanza la zona de confort entre las 8:00pm y las 12:00am, a partir de esta hora las temperatura interior desciende hasta los 18°C, pero si comparamos la temperatura interior en este punto contra la temperatura exterior vemos que hay una diferencia de hasta 5°C

Una vez realizado el análisis térmico de las condiciones climáticas de la ciudad de México así como el comportamiento térmico dentro del modulo experimental en el cual se realizo el análisis térmico mediante las mediciones interiores de la temperatura podemos proseguir con el cálculo del aporte de calor que el piso radiante sede al espacio, Para cálculo del aporte de calor es necesario contar con los datos de temperatura de del piso y la temperatura del agua dentro del serpentín de polietileno, la cual fue obtenida por las mediciones en el sitio. En primer lugar se establece un día de cálculo, en este caso será el 29 de junio, y a partir de un primer registro de temperatura tomado en sitio, se comienza el cálculo. Para este fin, se requiere conocer los materiales constructivos de los que está compuesto el sistema de piso radiante y sus propiedades físicas.

La ecuación que nos ayudara a determinar cuál es el aporte de calor que proporciona el serpentín del piso radiante es la siguiente:

$$q^{\circ} = \frac{\lambda \pi K L}{L n \frac{r_0}{r_i}} (t_i - t_o)$$

Donde:

q° = Flujo de calor radial en tubos de polietileno reticulado

K= coeficiente de transferencia de calor del tubo de polietileno

L= longitud en metros del tubo de polietileno

(2)

r_0 = radio exterior hasta la pared exterior del tubo

r_i = radio interior del tubo

t_0 = temperatura de la superficie del piso

t_i = temperatura del fluido al interior del tubo

Con ayuda de la ecuación (2) se determino el flujo de calor radial que el piso radiante sede al espacio interior del modulo, conociendo estas variables se realizo el caculo para el segundo periodo de monitoreo que se llevo a cabo durante 5 días.

En la fig. 14 se muestra la grafica del día 29 de junio en ella se observa el flujo de calor que aporta el piso radiante al espacio.

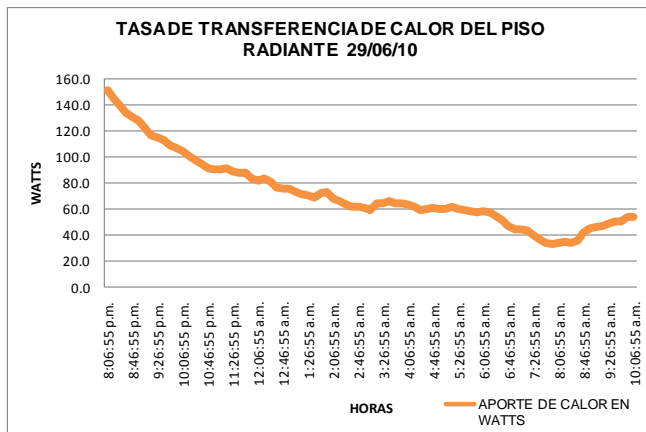


Figura 14- Tasa de transferencia de calor en watts a partir de las 8:00pm a 10:00 am del siguiente día, en este día la radiación solar supero los 600 w

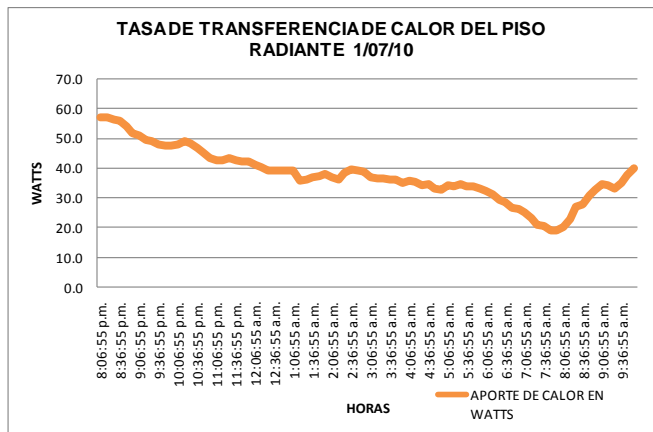


Figura 15- Tasa de transferencia de calor en watts a partir de las 8:00pm a 10:00am del siguiente día, en este día la radiación fue menor a los 500 w

4. CONCLUSIONES

Se encontró que la temperatura del espacio interior de las 6.00 pm a las 9.00 am está en un rango de 18°C a 25°C a la altura de los ocupantes, la cual es una temperatura óptima para el confort, la temperatura del piso no excede los 29° y la temperatura por arriba de los ocupantes se encuentra entre 20°C y 25°C de las 6.00 pm a las 6.00 am. Podemos concluir que el dispositivo de calefacción hidrónica solar funciona de manera eficiente ya que logro aumentar la temperatura interior llevándola hasta los rangos de confort, sin embargo, el periodo en el cual se realizaron las pruebas es el de menor requerimientos de calentamiento y el de mayor radiación solar según los datos del observatorio de Tacubaya. Estos resultados obtenidos servirán para hacer una simulación térmica del espacio por medio de un software, en el cual se analizara el mes más crítico en cuanto a requerimientos de calentamiento, en el caso de la Ciudad de México, es el mes de Enero, donde la temperatura mínima es de 7.4°C y la máxima es de 21.4, es decir, la temperatura máxima apenas alcanza la zona de confort durante 4 horas del día.

En cuanto al colector solar podemos concluir que se adaptó exitosamente al piso radiante, debido a que la energía acumulada en el piso durante las horas de mayor radiación es entregada al ambiente interior cuando la temperatura exterior es más baja y la necesidad de calefacción es mayor.

6. REFERENCIAS

Chávez, j. R. (2000). Arquitectura y medio ambiente en la ciudad de México. México: Universidad Autónoma Metropolitana.

Freixanet, V. A. (2004). Clima y Arquitectura. México D.F.: Universidad Autónoma Metropolitana.

Secretaría de Energía. (2008). Balance Nacional de Energía 2008.

SMN (2007), Normales Climatológicas. CNA, México

Vivienda, C. N. (2008). Programa Nacional de Vivienda 2007-2012: Hacia un desarrollo habitacional sustentable. México, D.F.: Conavi.