

CONSTRUCCIÓN Y ENSAYO DE UNA PARED RADIANTE HIDRÓNICA SOLAR

F. Mendoza, L. Cardón*

*Laboratorio de Ciencia Computacionales, *INENCO

Facultad de Ciencias Exactas. Universidad Nacional de Salta – Av. Bolivia 5150 C.P. 4400 – Salta
e-mail: cardonluis2008@gmail.com

RESUMEN: Se construyó y ensayó una pared radiante hidrónica solar como medio calefactor de una habitación situada en la zona sur de una vivienda familiar. La pared, a su vez, es calefaccionada por agua caliente que circula por una tubería de polímero empotrada en ella. El serpentín de tubos calefactores está dispuesto en serie con otro que calienta un piso radiante en otra habitación de la vivienda. El agua se calienta en un conjunto de cinco colectores solares dispuestos en el techo. En este trabajo se describen los aspectos constructivos de la pared, las mediciones realizadas, el estudio de su comportamiento térmico como elemento calefactor. La pared pudo aportar una potencia media diaria de 150W.

Palabras Clave: pared radiante hidrónica solar

INTRODUCCION

Los pisos radiantes son uno de los sistemas de calefacción más avanzados con características tales que resultan energéticamente convenientes desde el punto de vista del ahorro energético y del confort térmico aún si se usaran combustibles fósiles como fuente de energía. En un trabajo precedente (Hernández y Cardón, 2007) se demostró que es posible calefaccionar pisos radiantes hidrónicos (agua como fluido caloportador) reemplazando la caldera a gas de un sistema convencional por un conjunto de colectores solares. El piso radiante hidrónico solar desarrollado funciona satisfactoriamente desde 2008 y se ha demostrado su eficacia desde el punto de vista técnico, si bien no todavía del económico.

Dado que la tecnología de pisos radiantes hidrónicos convencionales está bien desarrollada, tiene respaldo de fabricantes de tubos y accesorios a nivel nacional e internacional, y existen empresas que la proveen e instalan, podría ser un vehículo para introducir la tecnología solar en la construcción de viviendas y edificios de mayor concentración de consumo.

En este trabajo se ha utilizado la tecnología estándar usada en la construcción de pisos radiantes para desarrollar una “pared radiante hidrónica solar”, con el propósito de calefaccionar dos habitaciones localizadas al sur en una vivienda familiar, y se ha evaluado su funcionamiento.

La “pared radiante hidrónica solar”, introducida por Cardón, es una pared de mampostería común (ladrillo o ladrillo hueco, argamasa y revoque) en la que se ha embutido un serpentín de tubería de polímero u otro material para transportar agua caliente proveniente del calentador, en nuestro caso uno o más colectores solares. Por conveniencia energética los tubos se empotran del lado interior de la pared a los efectos de calentar su superficie y transmitir calor al interior de la habitación por radiación y convección. La pared, en alguna medida y dependiendo del material de construcción, sirve de acumulador de calor. Para disminuir las pérdidas la pared se aísla exteriormente. El presente trabajo la pared radiante está acoplada a un piso radiante, que en buena medida, controla la temperatura del fluido caloportador que ingresa a la pared.

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

La pared radiante se construyó sobre la pared sur (frente) de dos habitaciones de una vivienda familiar de un barrio residencial de la ciudad de Salta. La vivienda estuvo habitada durante el período de construcción y de ensayo. Uno de los requisitos del comitente para permitir la realización del trabajo, fue la prohibición de romper alguno de los interiores de la vivienda, lo que caracteriza la intervención como retrofit. Para ello hubo que resignar la posibilidad de empotrar los tubos en el interior de la pared, con alguna pérdida de eficiencia en el sistema.

La pared sur fue remodelada incorporándose un serpentín de tubo TuboTherm, de polímero *PECO* (Polietileno Copolímero Octeno) termofusionable, de 2 cm de diámetro exterior y 1.6 cm de diámetro interior. Los tubos de polímero se insertaron fácilmente en una caladura efectuada en los ladrillos huecos de nueve tubos constituyentes de la pared y revocado posteriormente para mejorar el contacto térmico.

En la Figura 1 se muestra una fotografía de la pared radiante a medio construir y el esquema de la vista de frente de la pared con sus respectivas medidas.

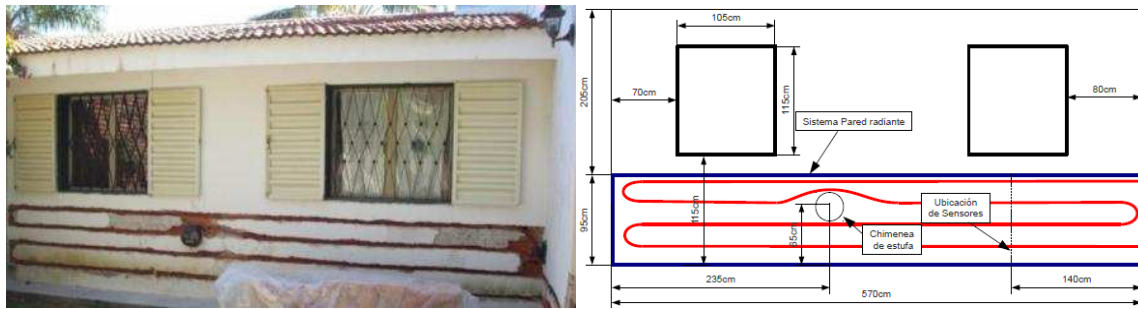


Figura 1: Vista y esquema con dimensiones de la pared calefactora.

La zona calefaccionada tiene un área de aproximada de 5.4 m^2 ($5.7 \text{ m} \times 0.95 \text{ m}$). Los serpentines están a 22 cm del suelo y distanciados la misma longitud entre sus pasadas. Cubren toda la extensión longitudinal de la pared, atravesándola cuatro veces, con un largo aproximado de tubería de 24 m . La pared posee una salida de gases de combustión (chimenea), que proviene de una estufa a gas de tiro balanceado preexistente y que calienta la habitación de la izquierda. El monitoreo y la evaluación térmica se ha realizado sobre la habitación de la derecha. El centro de la chimenea está ubicada a 0.65 m del suelo, y a 2.35 m del extremo izquierdo de la pared. Los conductos de la chimenea están ubicados a pocos centímetros de los tubos de plástico, y podrían contribuir indirectamente a la calefacción de la habitación monitoreada por lo que esta estufa no fue encendida. Cada dormitorio tiene una ventana de vidrio simple, con marco de metal de $1,05 \text{ m} \times 1,15 \text{ m}$, que da hacia el exterior.

Una vez empotrados los tubos y revocada la caladura, la superficie de la pared queda nuevamente plana y sobre ella se dispuso una aislación térmica de poliestireno expandido de alta densidad. Se usó tres placas de $100 \times 200 \times 5 \text{ cm}$ que se recortaron y moldearon para adaptarlas a la pared. La aislación fue protegida exteriormente por una pared de ladrillo común colocado de canto, terminado con revoque. La figura 2 muestra detalles constructivos de la aislación (vistas en una pequeña pared lateral a la pared sur) y la protección de ladrillo de canto, en la misma figura además se observa la chimenea del calefactor de tiro balanceado.



Figura 2: Detalles de a) la chimenea de la calefacción a gas, b) la aislación y la entrada de los tubos(sobre una pared lateral) y c) pared protectora de ladrillo de canto.

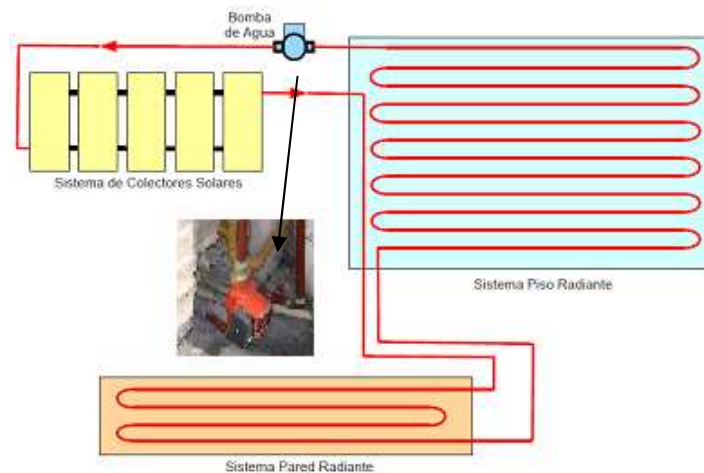


Figura 3: Detalle del circuito de circulación de agua caliente.

Por el serpentín circula agua calentada en un conjunto cinco de colectores solares de placa plana, con un total de 10 m^2 de área de colección. Los colectores están situados en el techo y orientados hacia el Norte con un ángulo de inclinación de 45° respecto de la horizontal, Figura 4.



Figura 4: Vista del sistema de Colectores ubicados en el techo.

La circulación del agua es forzada por una electrobomba centrífuga marca *SALMSON* Modelo *NYL 53* de tres velocidades (Figura 3), con un consumo máximo aproximado de 93 W .

INSTRUMENTACION

Se dispusieron ocho termocuplas para medir la evolución de las distintas temperaturas. Tres se colocaron sobre los serpentines, por debajo de la ventana, 1.4 m del borde derecho, a 22 , 66 y 88 cm medidos desde el suelo. Estos valores se tomaron como representativos de la temperatura del fluido a la entrada y salida de los tubos. Una termocupla se instaló para medir la temperatura de la superficie externa de la pared, antes de la aislación, otra entre la aislación y la protección de ladrillo de canto.

En la Figura 5a se muestran las termocuplas fijadas a los tubos, también se observa que aquellas se encuentran esmaltadas para protegerlas que la corrosión. Se dispusieron dos termocuplas embebidas superficialmente en el revoque de la pared del lado exterior e interior de la pared (Figura 5b) y una tercera dentro del dormitorio a una altura de 2 m del suelo y otra para tomar la temperatura del ambiente exterior a unos 20 cm de la pared cerca del suelo.

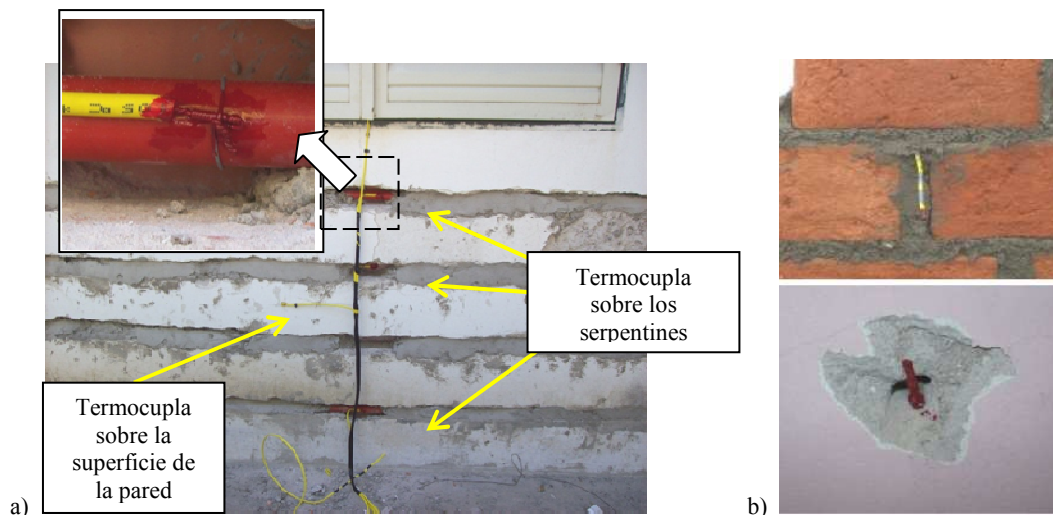


Figura 5: Vista de la ubicación de las termocuplas a) sobre los tubos y en la superficie exterior, b) después de la aislación, y en la superficie interior de la pared.

Las temperaturas se midieron con módulos *NuDAM 6018* y *ADAM 4018* controlados desde una PC. El caudal de agua impulsado por la electrobomba fue determinado con un rotámetro (caudalímetro de área variable) y es de 6.5 Litros/min (0.108 Kg/seg) (Hernández y Cardón, 2007). La irradiancia solar sobre superficie horizontal fue obtenida de las medidas de Ricardo Echazú, en el *INENCO*, a 600 m del sitio del ensayo, con un Piranómetro *KIPP and ZONEN CM3*. El análisis de los datos obtenidos se realiza a continuación.

ENSAYO DE LA PARED RADIANTE

Se ensayó la pared continuamente durante 17 días, del 8 al 24 de Septiembre del 2008 y se estudio la evolución de las temperaturas en la pared durante todo el período y con más detalles la de un día particular. El ensayo se condujo en las siguientes etapas: a) puesta a prueba del funcionamiento del equipo, durante la cual se utilizó calefacción solar por un día, b) prueba de funcionamiento de referencia, sin calefacción solar durante diez días, c) prueba de funcionamiento con calefacción solar durante seis días.

La colección solar se inició cada mañana aproximadamente a hs 11:00, con todos los colectores irradiados y se detuvo alrededor de las 19:00 hs. El encendido manual tardío obedece a problemas de sombreado. Estuvo a cargo de los habitantes de la vivienda y no fue siempre sistemático.

Se midió la irradiancia solo a los efectos de detectar los días soleados y la hora de salida y puesta del sol. La temperatura en la pared fue medida en los sitios indicados en los esquemas de la figura 6 con la siguiente nomenclatura: *Tae*: Temperatura del aire ambiente exterior, *Tpa*: Temperatura de la interface pared aislante. *Tpe*: Temperatura superficial exterior de la pared. *Tpi*: Temperatura superficial interior de la pared. *Tai*: Temperatura del aire en el dormitorio. *Tci*: Temperatura del tubo cercana a la entrada de agua. *Tcm*: Temperatura del tubo a la altura media en la pared. *Tco*: Temperatura del tubo cercana a la salida de agua.

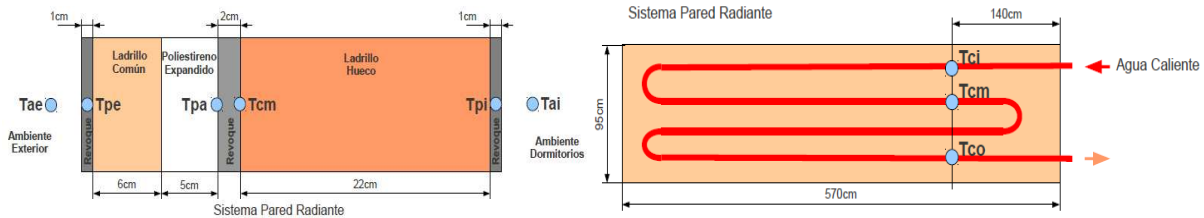


Figura 6: Disposición de los sitios de medida. A la izquierda, corte en profundidad de la pared. A la derecha, vista de frente de la pared.

EVOLUCION DE LAS TEMPERATURA DURANTE TODO EL ENSAYO

La irradiancia y la temperatura del aire exterior se muestran en la figura 7. Se observa días soleados, con una irradiancia entre 876 W/m^2 y 971 W/m^2 , y un interregno nublado, del día 13 al 16.

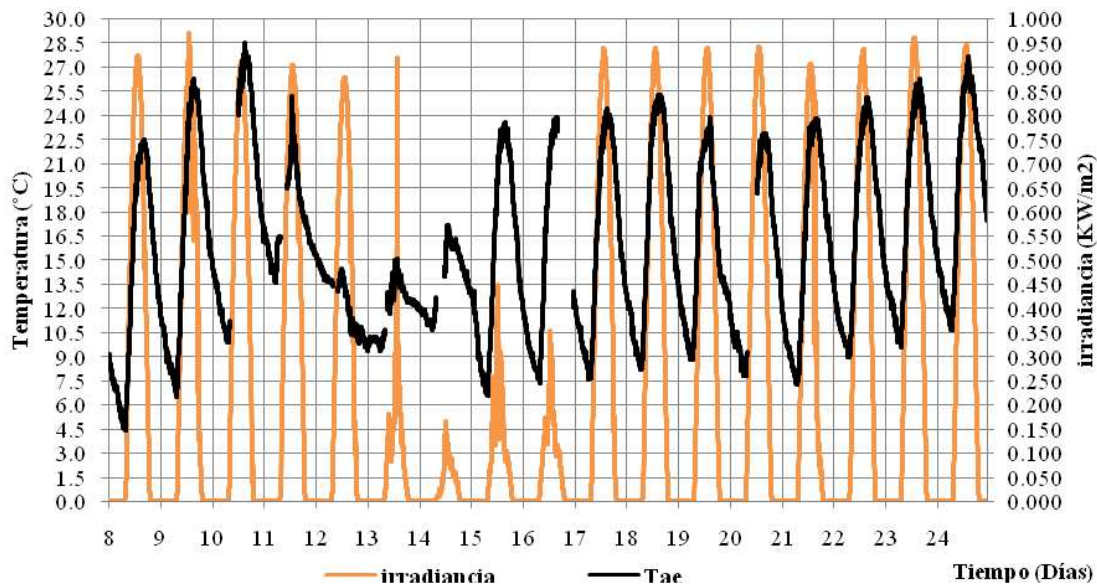


Figura 7: Irradiancia solar sobre un plano horizontal para Salta desde el 08 al 24 de Septiembre.

La Figura 8 muestra la evolución de las temperaturas en la pared.

Se inició el ensayo el día 8 al mediodía, haciendo funcionar los colectores por un día para comprobar el funcionamiento del sistema y del equipo de medición. Se observa que esto produce un pronunciado aumento de la temperatura del tubo medio de

la pared, T_{em} , que de 19.3°C pasa a un máximo de 34°C . Luego el sistema se apagó para obtener valores de referencia, sin calefacción solar. Esta etapa duró hasta el día 19, cubriendo un período soleado, y un período nublado.

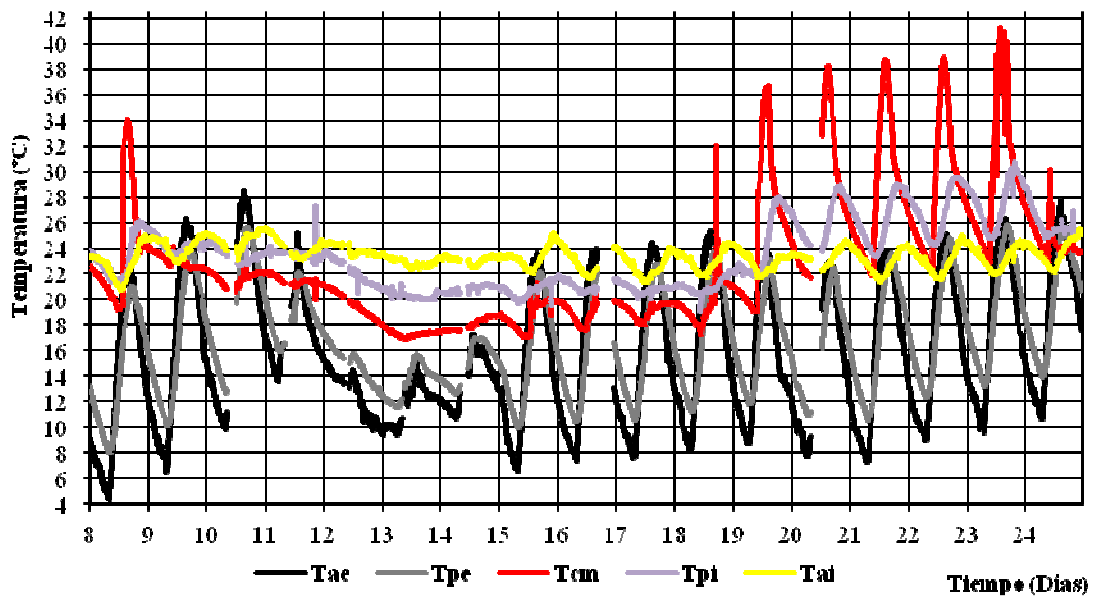


Figura 8: Evolución de las temperaturas medidas en la pared desde el 08 al 24 de Septiembre. T_{ae} : temperatura ambiente exterior, T_{pe} : temperatura superficial exterior de la pared, T_{cm} : temperatura del tubo calefactor, T_{pi} : temperatura de la superficie de la pared interior, T_{ai} : temperatura del ambiente interior. Las posiciones de los respectivos sensores se muestran en la Figura 6.

Los dos días subsiguientes, del 9 al 10, fueron días claros y la temperatura ambiente exterior, T_{ae} , fue subiendo desde los 22.5°C a los 28.5°C . La temperatura superficial exterior de la pared T_{pe} , y la temperatura del aire en el interior del dormitorio, T_{ai} , reflejan el efecto de la sucesión de días soleados con valores levemente ascendentes entre 23 y 25°C . La temperatura del tubo, T_{cm} , sin calentamiento solar decrece en ese período. Los días posteriores, del día 11 al 13, se observa menos irradiancia y menos temperatura ambiente exterior, todas las temperaturas (T_{ae} , T_{pe} , T_{cm} , T_{pi} y T_{ai}) tienden a disminuir, siendo la temperatura del aire en el interior del dormitorio, T_{ai} , la menos afectada, probablemente debido a la inercia térmica de la casa y a la diversas fuentes de calefacción de la misma. Después del día 15, las condiciones climáticas exteriores (temperatura exterior, T_{ae}) permanecen estables y buenas con máximos de temperatura cercanos a los 28°C , y los mínimos cercanos a los 7°C por seis días continuos (del 15 al 18). Las condiciones buenas permanecen así hasta la finalización de ensayo.

El efecto de la calefacción solar se observa desde su encendido, el día 18 (T_{cm} , acusa un pico de 32°C , marcando la puesta en marcha del sistema calefactor) y en los días subsiguientes todas las temperaturas internas se elevan.

La variable más significativa desde el punto de vista del potencial de calefacción de la pared es la temperatura su temperatura superficial interior, T_{pi} . Sus valores se incrementan en unos 6°C en primer día (18 al 19) y luego continúan aumentando. Sus máximos aumentan casi linealmente, yendo desde los 28.1°C a los 30.8°C (medido el 23). El aumento en la temperatura de los tubos calefactores es aun más notable yendo sus máximos desde los $36,7^{\circ}\text{C}$ a los 41.3°C (19 al 23).

La temperatura ambiente en la habitación, T_{ai} , fluctúa con menor amplitud entre 21°C y 25°C . Esta temperatura está controlada no solo por el aporte de la pared sino por su acoplamiento térmico con el resto de la vivienda, y es una variable fuera de la posibilidad de control del ensayo.

La temperatura superficial externa de la pared, T_{pe} , con una amplitud de alrededor de 16°C , siempre acompaña de cerca la temperatura del aire exterior, T_{ae} , como es de esperar, con unos seis grados menos de amplitud y un pequeño desfase temporal causados por la inercia de la pared. Luego de que el efecto del encendido de prueba desaparece, del día 10 en adelante, las temperaturas del tubo, T_{cm} , y la temperatura del la superficie interior de la pared, T_{pi} , siguen un derrotero muy parecido con un desplazamiento de unos 2°C a $2,5^{\circ}\text{C}$.

En la Figura 9 se muestran las temperaturas medidas en los tubos, T_{ci} y T_{co} , cuya diferencia puede considerarse una estimación de la diferencia de la temperatura de entrada y salida del agua en los tubos y se utilizará luego para evaluar caloriméricamente el aporte de calor a la pared.

A mediados del mes (del 9 al 17) las temperaturas de los tubos, T_{ci} , T_{cm} y T_{co} presentan variaciones pequeñas alrededor de los 19°C , comparadas con las variaciones que sufren en el resto de los días. Para T_{ci} desde el 18 al 23, los máximos aumentan progresivamente desde los 34.3°C a los 42°C , y las mínimas se incrementan desde los 16.4°C a los 22.4°C . Las diferencias de temperaturas entre ellas no son muy grandes y sus curvas se acompañan mutuamente en su evolución, salvo hacia el comienzo y final de cada día en que se separan. Estas diferencias se utilizarán luego para estimar la potencia térmica entregada a la pared.

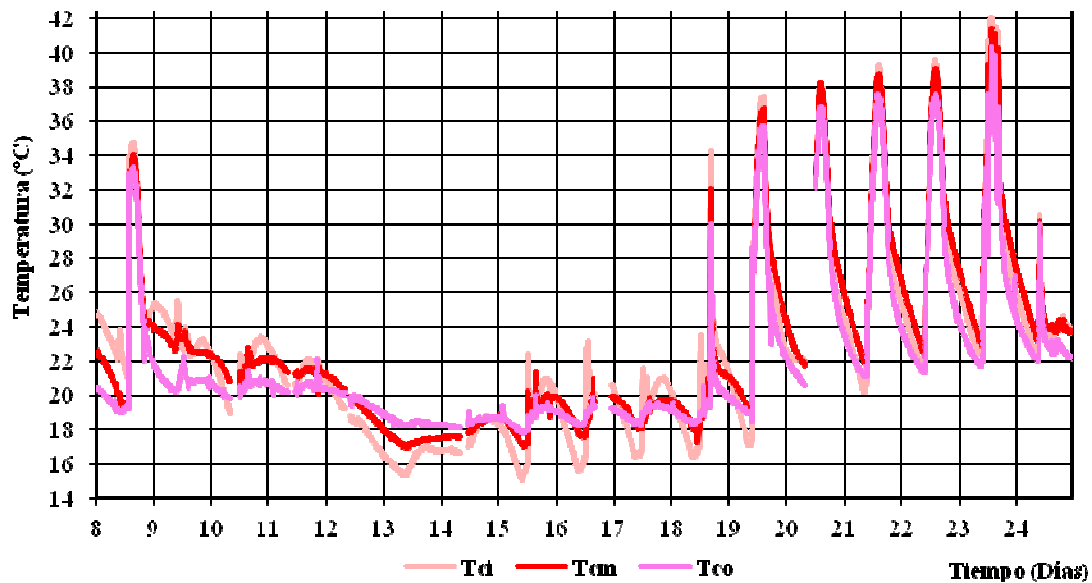


Figura 9: Evolución de las temperaturas verticales en la pared desde el 08 al 24 de Septiembre.

EVOLUCION DE LA TEMPERATURA INSTANTANEA PARA UN DÍA TÍPICO

Se analizó en detalle la evolución instantánea de las temperaturas para un día típico de buena irradiación (día 21), que se contrasta con un día similar sin calefacción (día 16) y un día nublado (día 17). La Figura 10 muestra la evolución de la temperatura en la pared radiante en superposición con la irradiancia solar sobre superficie horizontal. El valor máximo de irradiancia solar, *irradiancia*, de 901 W/m^2 se observa a hs 13:16. En promedio llega a una superficie horizontal para este día 277 W/m^2 .

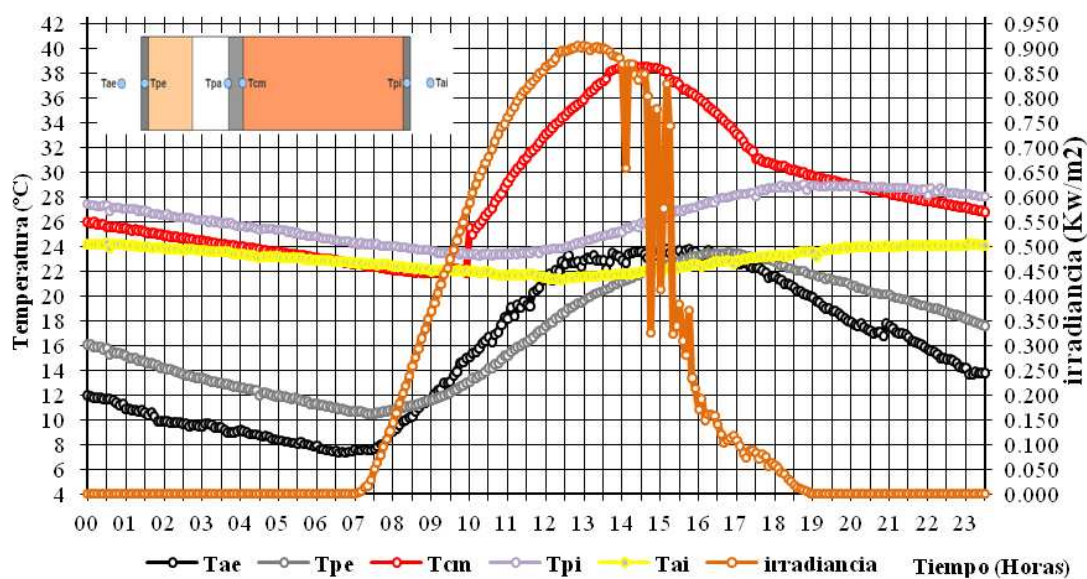


Figura 10: Evolución de las temperaturas en la pared y la irradiancia solar para el 21 de Septiembre.

La temperatura del ambiente en el dormitorio, T_{ai} , se mantiene alrededor de los 23°C . La amplitud de temperatura de esta variación es de solo 3°C , con un mínimo de 21.4°C que se presenta a hs 12:30, y un máximo de 24.3°C a hs 23:32. La temperatura ambiente exterior, T_{ae} , en cambio, tiene un promedio de 17.4°C y una amplitud de temperatura de 16.5°C , con un mínimo con 7.3°C a hs 6:45, y máximo de 23.8°C a las hs 15:00. El desfase de tiempo entre los máximos de ambas temperaturas es de ocho horas y es favorable desde el punto de vista del confort térmico. Comparando las temperaturas en el interior y exterior de la habitación, se puede decir que se ha amortiguado la amplitud de temperatura del dormitorio, T_{ai} , en unos 14°C , con mejores condiciones en la tarde y de la noche.

En cuanto a la temperatura superficial interna, T_{pi} , varía alrededor de los 26.7°C con una amplitud de 5.8°C , un mínimo 23.4°C registrado a hs 10:30, el máximo de 29.1°C a las hs 20:23. La diferencia de temperatura entre las superficies externa e interna de la pared (T_{pe} y T_{pi}) es mínima entre las 14:00 y 17:00 hs, de 4°C aprox. y máxima entre las 3:30 las 8:30 hs, de unos 14°C .

La Figura 11 y 12 muestra la evolución de la temperatura en la pared radiante para día nublado y un día claro (16 y 17 respectivamente), sin calefacción solar. A los efectos de referencia (no se ha utilizado en los cálculos), se muestra la irradiancia sobre superficie horizontal, cuyo máximo para el 16 es de 353 W/m^2 observado a hs 12:37, y 939 W/m^2 dado a hs 13:18 para el 17. La irradiancia promedio es de 63 W/m^2 y 277 W/m^2 para el día 16 y 17 respectivamente

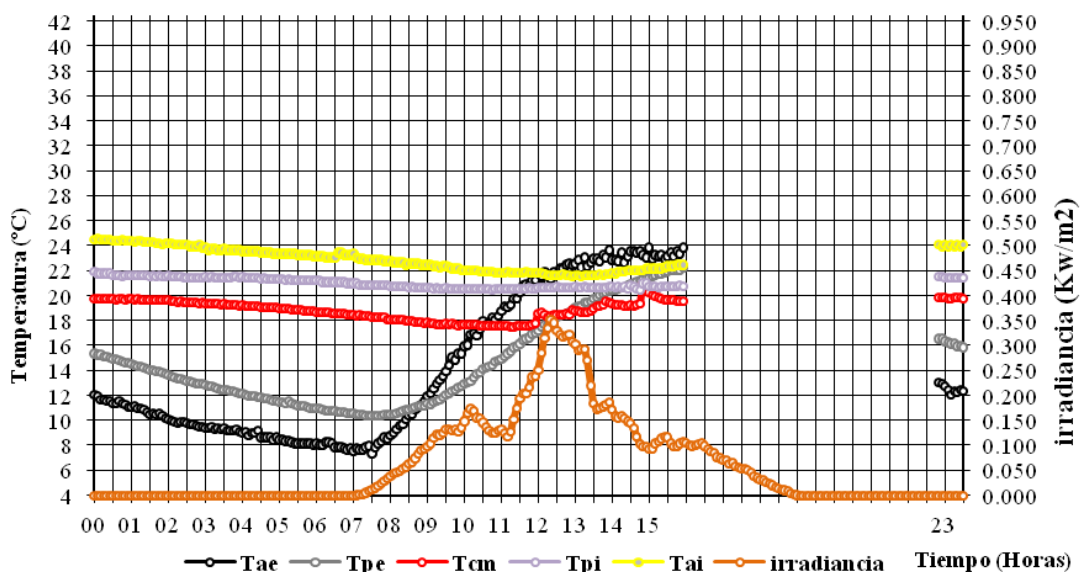


Figura 11: Evolución de las temperaturas en la pared y la irradiancia solar para el 16 de Septiembre.

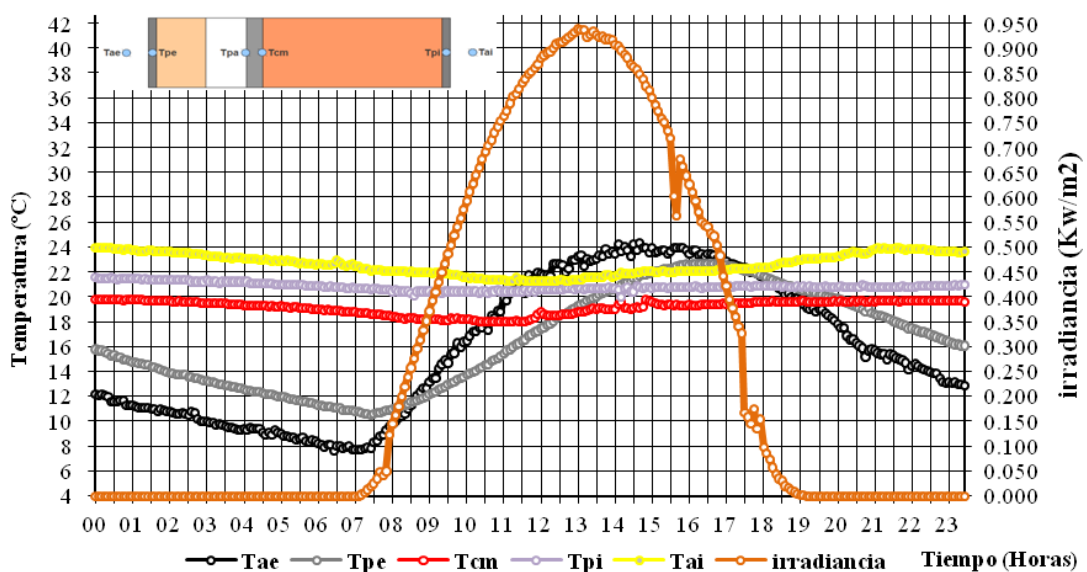


Figura 12: Evolución de las temperaturas en la pared y la irradiancia solar para el 17 de Septiembre.

La discontinuidad de los datos de la Figura 11 se debe a un corte del suministro energético en la vivienda desde 16:00 a 22:00 Hs.

La temperatura ambiente, T_{ai} , varía alrededor de los 23°C con una amplitud aproximada de 3°C tanto para días claros como para soleados. La temperatura de la pared, T_{pi} , lo hace alrededor de 21°C con una amplitud de 1.5°C .

La variación temperatura ambiente, T_{ai} , para los días claros o nublados, sin calefacción solar, analizados arriba, tiene un comportamiento muy parecido a la correspondiente del día 21 (con calefacción solar). Esto se debe a que la temperatura interna de la habitación está gobernada principalmente por su intercambio convectivo con el resto de la vivienda, en donde sus ocupantes controlan la temperatura de acuerdo a sus necesidades de confort.

En la gráfica de la Figura 13 se muestra la evolución de la diferencia de temperatura entre la de la pared exterior y el ambiente exterior, T_{pe} y T_{ae} , y la diferencia de temperatura entre la de la pared interior y el ambiente de la habitación, T_{pi} y T_{ai} , y además la evolución de la irradiación solar. Con la primera se pueden estimar las pérdidas de calor al exterior. La segunda diferencia es particularmente útil porque permite estimar el flujo de calor a la habitación.

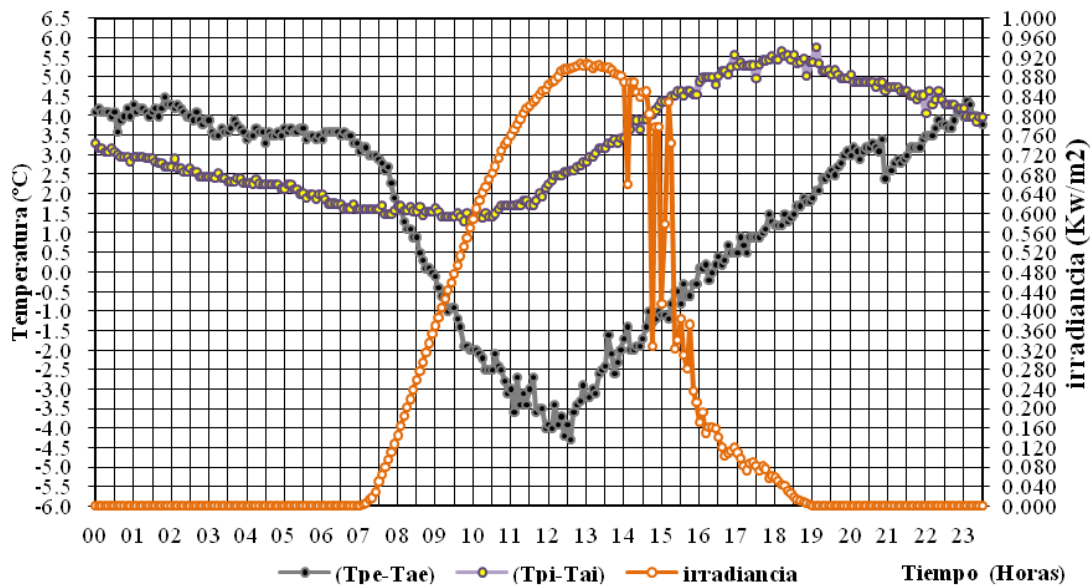


Figura 13: Evolución de la diferencia de temperatura ($T_{pe}-T_{ae}$), ($T_{pi}-T_{ai}$), y la irradiación solar para el 21 de Septiembre.

De la diferencia de temperatura ($T_{pe}-T_{ae}$), se disciernen regiones bien definidas por el signo de la diferencia. El signo positivo indica pérdida de calor hacia al exterior. Desde 00:00 hs a 9:06 hs, y luego de desde 16:14 hs a 23:59 hs la pared pierde calor hacia el exterior. En total, 16 horas, con una diferencia máxima de 4°C a las 23:30 hrs.

Se analiza de la misma manera la diferencia de temperatura entre pared y habitación, ($T_{pi} - T_{ai}$). Para ella no existen regiones negativas, es decir la pared siempre calienta el dormitorio. El aporte matutino es pequeño, alcanzándose un mínimo a las 09:57 hrs, con una diferencia de 1.3°C . Luego, puesto en funcionamiento el colector solar, el aporte es mayor hasta a las 19:27 hrs con una diferencia de 5.8°C . El mayor aporte de energía ocurre desde las 13:30 hs hasta las 23:59 hs. Este continúa aún después de la puesta de sol por efecto de la inercia térmica de la pared.

ENERGÍA APORTADA A LA HABITACIÓN

La potencia cedida por los serpentines a la pared considerando el cambio en la entalpía del fluido es

$$Q = m' \cdot C_p \cdot (T_{ent} - T_{sal}) \tag{1}$$

donde Q es la potencia (W), m' es el flujo másico ($\sim 0.108 \text{ Kg/seg}$), y C_p es el calor específico del agua (4184 J/Kg.C), T_{ent} la temperatura del fluido a la entrada de la tubería (C), T_{sal} es la temperatura del fluido a la salida de la tubería (C). Para el presente caso se toma a $T_{en}=T_{ci}$ y $T_{sal}=T_{co}$.

La Figura 14 muestra la evolución de la potencia entregada a la pared (Q_p) con un máximo de 0.923 kW a las 14:00 hs.

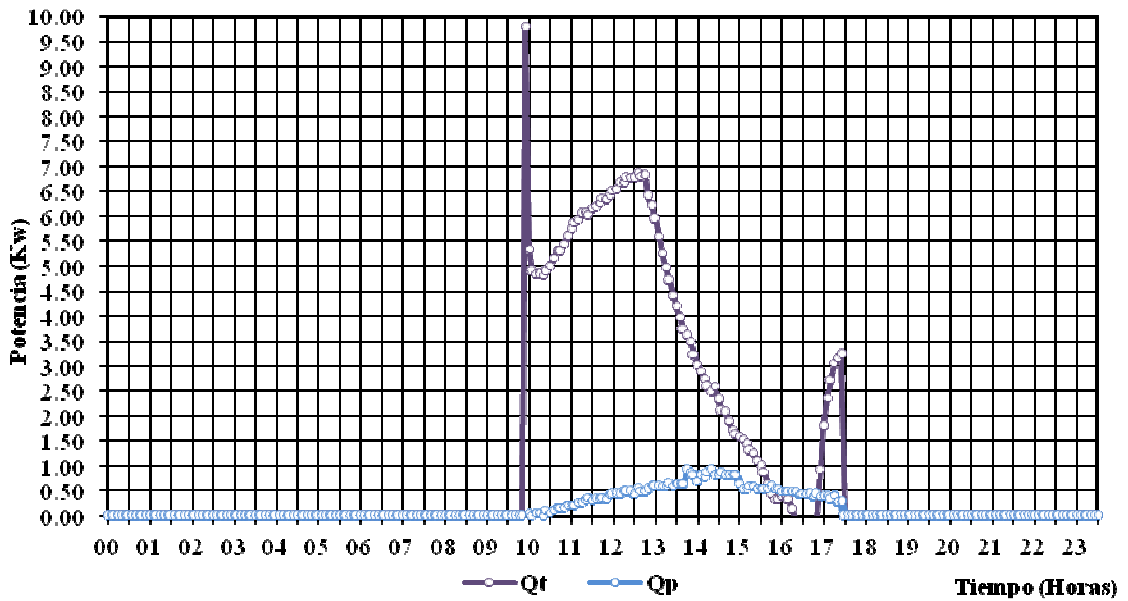


Figura 14: Evolución de la potencia transmitida a la pared radiante (Q_p) para el 21 de Septiembre.

La energía entregada durante un día puede calcularse de los datos medidos (cada 300 segundos) por

$$E = \Delta t_p \sum_{i=0}^N Q_i \quad i = 0,1,2 \dots 283 \quad (2)$$

donde E es la energía (J) entregada por el fluido a la pared, Q_i es la potencia en el intervalo i (W), Δt_i el intervalo de tiempo en i (300 seg), y N el numero de medida tomadas en el día (283)

Para un día soleado típico (21 de setiembre) se obtuvo $E=12,956 MJ$

Otro parámetro relevante para el usuario, desde el punto de vista energético, es la potencia media Q' entregada a la pared. Con este valor facilita el comparar sistemas de distintos tipos. El valor encontrado es $Q'=150 W$ aportados continuamente durante todo el día.

La potencia aportada no es elevada y no es suficiente para que por sí sola mantenga un grado de confort suficiente en la habitación. La temperatura de la pared calefaccionada, en comparación con otras paredes de la habitación, no se siente caliente al tacto, lo que no aporta a los aspectos psicológicos del confort. Una mejora evidente se obtendría con la reubicación de los tubos de lado interno de la pared, lo que favorecería el aumento de la temperatura superficial y aumentaría la potencia entregada y disminuiría las pérdidas. Otras mejoras se podrían obtener elevando la temperatura del fluido caloportador, lo que en este caso estuvo limitada por el acoplamiento con el piso radiante. Algunas de estas opciones se estudian en un trabajo complementario de simulación.

CONCLUSIONES

Se ha construido, ensayado y evaluado una pared radiante hidrónica solar. El ensayo se hizo con la pared acoplada a un piso radiante hidrónico solar, que, debido a su inercia térmica, controla la temperatura de entrada a los colectores solares y establece su valor de trabajo.

Durante los días soleados el sistema eleva la temperatura de la pared interior durante todo el día por arriba de la temperatura del aire interior, calentando la habitación. El cálculo calorimétrico usando la diferencia de temperatura entre el agua que entra y sale al serpentín confirma esta conclusión, con un aporte medio de 150 W. Este aporte, por sí solo, no es suficiente todavía para mantener condiciones de confort en la habitación y el sistema requiere mejoras, algunas de las cuales se han mencionado arriba. Si bien no se ha evaluado, al aporte medido debería sumarse la disminución de las pérdidas de calor que ocurrirían en ausencia de la pared, aun en ausencia del aporte solar, por la sola adición de mayor aislación.

El rendimiento de la pared puede mejorarse cambiando la ubicación de los tubos y aumentando la temperatura del fluido caloportador, para lo cual debería replantearse el acoplamiento con el piso radiante.

NOMENCLATURA

T_{ae} : Temperatura del aire ambiente exterior ($^{\circ}C$).

T_{pa} : Temperatura de la interface pared aislante en la pared radiante ($^{\circ}C$).

T_{pe} : Temperatura superficial exterior de la pared en la pared radiante ($^{\circ}C$).

T_{pi} : Temperatura superficial interior de la pared en la pared radiante ($^{\circ}C$).

T_{ai} : Temperatura del aire en el dormitorio ($^{\circ}C$).

T_{ci} : Temperatura del tubo cercana a la entrada de agua en la pared radiante ($^{\circ}C$).

T_{cm} : Temperatura del tubo a la altura media en la pared en la pared radiante ($^{\circ}C$).

T_{co} : Temperatura del tubo cercana a la salida de agua en la pared radiante ($^{\circ}C$).

T_{es} : Temperatura del fluido que ingresa al sistema ($^{\circ}C$).

T_{ss} : Temperatura del fluido que sale del sistema ($^{\circ}C$).

Q_t : Potencia entregada a la pared por el fluido en el intervalo de 5 min ala sistema (W).

Q_p : Potencia entregada a la pared por el fluido en el intervalo de 5 min a la pared (W).

Q_i : Potencia entregada a la pared por el fluido en el intervalo de 5 min a la pared en la medida i (W).

E : Energía entregada a la pared por el fluido (J).

Q' : Potencia media diaria entregada a la pared radiante (W).

m' : flujo de masa (agua) por los serpentines (Kg/seg).

C_p : Calor específico del agua ($J/Kg^{\circ}C$).

Δt_i : Intevalo de tiempo entre medidas para la medida i (seg).

REFERENCIAS:

Cardón, L., y Alberto, D. (2007). Efecto de la islación inferior y lateral de un piso radiante. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 11, 8205 - 8212.

Hernández, A., y Cardón, L. (2007). Evaluación térmico energética de un piso radiante hidrónico acoplado a colectores solares para calentamiento de agua. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, 20, 51 - 59.

ABSTRACT: An hydronic solar radiant wall was built as the heating element for a room on the south side of a family home. The wall is heated by hot water flowing through an embedded polymer piping. The heating coil tubes are arranged in series with another one that heats a radiant floor in another room of the house. The water is heated in a set of five solar collectors resting on the roof. This paper describes aspects of the wall construction, measurement, and the study of its thermal behavior as heating element. The wall could provide an average daily output of 150W.

Keyword: hydronic solar, radiant wall