

## PISO RADIANTE DE HORMIGÓN CON AGUA ENCAPSULADA Y RECIRCULACIÓN AUTÓNOMA, PRIMEROS AVANCES

Nicolás Di Lalla, Andrés E. Díaz, Alejandro L. Hernández

INENCO (UNSa-CONICET), Av. Bolivia 5150, CP A4400FVY, Salta, Argentina.

Tel. 0387 425-5410 e-mail: ndilalla@gmail.com

**RESUMEN:** Se presentan los avances en el desarrollo de un nuevo sistema calefactor de piso radiante. El mismo se basa en un piso de hormigón que posee en su interior agua encapsulada en botellas de plástico. El calentamiento del piso se realiza a través de circulación de agua caliente por un espiral de manguera de PEBD que también está incrustado en el hormigón. El hormigón y el agua encapsulada conforman una masa térmica de acumulación por calor sensible. Este piso radiante fue diseñado para que opere totalmente autónomo de la red (gas o electricidad). El calentamiento es a través de colectores solares térmicos, que pueden ser autoconstruidos, y la impulsión del agua recirculante es por una bomba energizada por un panel fotovoltaico de muy baja potencia. Conformándose un sistema automatizado simple y económico. Para evaluar la factibilidad de la idea se armó un piso prototipo de menor área 1 m x 1 m x 0,15 m. Usándose una relación de volúmenes de agua encapsulada y hormigón  $V_a/V_H=0,33$ . Como característica básica de diseño se buscó que en invierno la superficie del piso se mantenga en el rango higrotérmico de 18°C a 29 °C. Esto pudo lograrse utilizando una relación de 0,5 m<sup>2</sup> de superficie de colección solar/m<sup>2</sup> de piso radiante.

**Palabras clave:** piso radiante, recirculado, fotovoltaico.

### INTRODUCCIÓN

#### *Consideraciones higrotérmicas*

Se ha comprobado que los sistemas de calefacción por piso radiante son los más saludables ya que no resecan el aire de la habitación y no levantan el polvo como lo hacen los sistemas de radiadores. Además, el sistema de piso radiante es silencioso y se encuentra oculto de la vista no interfiriendo con la decoración. En cuanto a la circulación del fluido calo portador existen dos tipos de pisos radiantes, por circulación con aire, o con agua (denominado hidrónico). En cuanto a la acumulación de calor pueden ser utilizados materiales de cambio de fase (Liua et al., 2022); o simplemente, acumular por calor sensible en el mismo hormigón, o en el hormigón con agua encapsulada (Viegas et al., 2018). En todos los casos se ha establecido que del calor que aporta al ambiente, un 60% de la transferencia es por radiación y un 40% es por convección (Bilgen et al., 2002).

Para mantener los rangos de temperatura de confort, tanto para calefacción como para refrigeración edilicia, se requiere un cierto consumo de energía. La arquitectura bioclimática busca que el aporte de esa energía sea preferentemente por fuentes renovables, que su aprovechamiento se realice con buena eficiencia energética y que el impacto ambiental sea el menor posible. En este sentido en este trabajo se explora la posibilidad de elaborar, a bajo costo, un sistema de piso radiante hidrónico acumulador de calor cuya fuente de energía es el sol.

Por otra parte, desde el punto de vista del diseño arquitectónico, es necesario lograr ambientes saludables y seguros, con interiores que brinden el suficiente confort térmico (o comodidad higrotérmica), ya que la gente pasa cerca del 90 % del día en ellos, (Klepeis et al., 2001). Como se sabe, en un estado de confort térmico se mejoran la productividad física y mental del ser humano. Fisiológicamente, un estado de comodidad higrotérmica es aquel en el que, estando con una indumentaria ligera y realizando una actividad sedentaria, no intervienen los mecanismos termo reguladores del cuerpo.

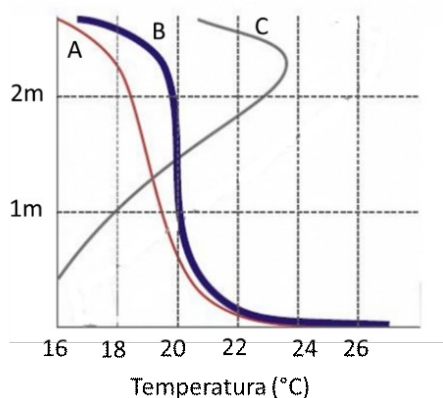
Desde otro punto de vista, la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE) definió al confort térmico como la condición en que una persona manifiesta satisfacción con el ambiente en el que se encuentra (ANSI/ASHRAE, 2004). Por supuesto que las condiciones de satisfacción son subjetivas, y no son iguales para todos, por lo que se requiere hacer estudios estadísticos de campo para establecer qué porcentaje de personas estarán térmicamente cómodos en ciertas condiciones ambientales. En este sentido en la década de los 70' Fanger (Fanger, 1970) comenzó estudios estadísticos en cámara de clima controlado que combina las teorías del balance de calor con la fisiología de la termorregulación (sudor, temblor, flujo de sangre). Se buscó determinar un rango de temperaturas de comodidad denominada condición de neutralidad térmica. De los resultados se pudo inferir que para garantizar que al menos el 90% de los ocupantes se sientan térmicamente satisfechos se recomiendan los valores de temperaturas de la Tabla 1, (Orosa, 2009).

*Tabla 1. Recomendaciones de confort térmico resultados del estudio estadístico de Fanger, (a una humedad relativa del 50%, una tasa metabólica de 1,2 met. El aislamiento de la ropa se definió como 0,9 clo en invierno y 0,5 clo en verano).*

Época del año	Temperatura nominal de diseño del aire °C (a la altura media de la habitación)	Rango de temperatura del aire aconsejado °C
Verano	22	20-23
Invierno	24,5	23-26

### Metodología

Es importante hacer notar que los sistemas convencionales de calentamiento por estufas producen un calor desigual en la habitación, con temperaturas del aire más altas cerca de los techos, desaprovechándose gran parte de esa energía. En contraposición, las utilizaciones de sistemas de calentamiento por pisos radiantes calientan si generar una gran estratificación de temperaturas en la habitación, y da como resultado un gradiente de temperatura en altura que se aproxima a la curva ideal de confort (Woodson, 1999), Fig.1.



*Figura 1. Gradiente vertical de temperaturas. A: curva ideal de confort humano., B: curva obtenida por calefacción por piso radiante. C: curva obtenida por radiador.*

En este sentido, la Norma UNE-EN ISO 7.730 2006 establece la expresión que da el índice porcentual de incomodidad (porcentaje de insatisfechos "PD") por gradiente térmico vertical en una habitación, Ec. (1) (Laffón et al., 2007). Esta expresión es válida para  $\Delta T < 8 \text{ }^\circ\text{C}$ , siendo  $\Delta T$  la diferencia vertical de temperatura entre la cabeza y los pies, su gráfica se observa en la Fig. 2.

$$PD_{\Delta T} = \frac{100}{1 + \exp(5,76 - 0,856\Delta T)} \quad (1)$$

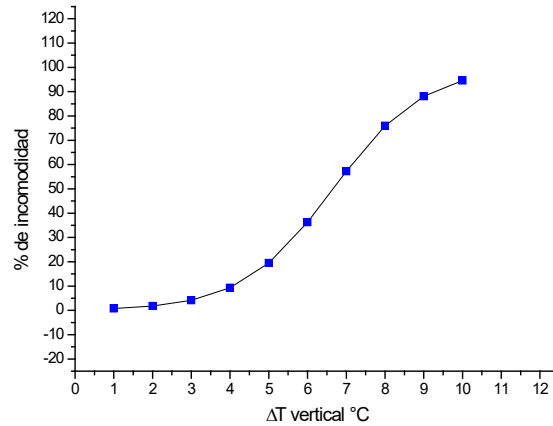


Figura 2. Índice porcentual de incomodidad por diferencia de temperaturas entre la cabeza y los pies.

También habrá que tener en cuenta la incomodidad producida por un piso muy frío o muy caliente, la expresión que da el porcentaje de personas descontentas por esta incomodidad es la Ec. (2) (Laffón et al., 2007),  $T_s$  en °C es la temperatura superficial del suelo. La Fig. 3 muestra la gráfica correspondiente.

$$PD_{T_s} = 100 - 94 \exp(-1,387 + 0,118T_s - 0,0025T_s^2) \quad (2)$$

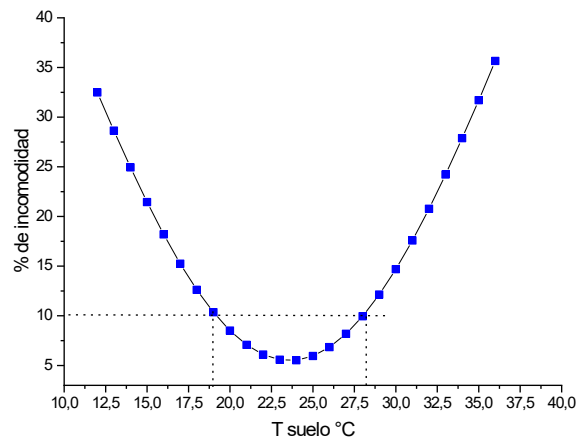


Figura 3. Gráfica que muestra el porcentaje de personas descontentas por incomodidad ocasionada por la temperatura del piso.

De esto último podemos decir, por ejemplo, que un piso que durante una jornada varíe su temperatura en el rango 18-29 °C satisfará cerca del 90% de las personas. Estos valores fueron tenidos en cuenta en el diseño presentado en este trabajo.

## DISEÑO DEL PISO RADIANTE

### Piso radiante propuesto

El objetivo de este trabajo es proponer un diseño de piso radiante que obedezca al concepto de "tecnología apropiada" (Turner, 1972). En orden a esto, el diseño se basó en obtener un sistema fácil de construir, que demande menos recursos, un menor costo, y genere menor impacto sobre el medio ambiente respecto a otras tecnologías convencionales, para ser aplicado en la construcción de viviendas bioclimáticas.

La idea propuesta se basa en un piso radiante que opere por acumulación por calor sensible; el piso está compuesto por hormigón con cierta masa de agua encapsulada en botellas recicladas de plástico PET. Ambas sustancias constituyen la masa térmica acumuladora de calor. La idea se completa con la implementación de un sistema de recirculación totalmente autónomo de la red, a través de un bombeo fotovoltaico de muy baja potencia. La recirculación del agua caliente es proveniente de colectores solares, y se realiza a través de una manguera plástica (PEBD) de 3/4" K4 en forma de espiral empotrada en el hormigón. Una aislación térmica por los laterales y la base del piso asegura que el flujo de calor sea mayoritariamente a través de su parte superior. La Fig. 4 muestra un esquema del concepto propuesto.

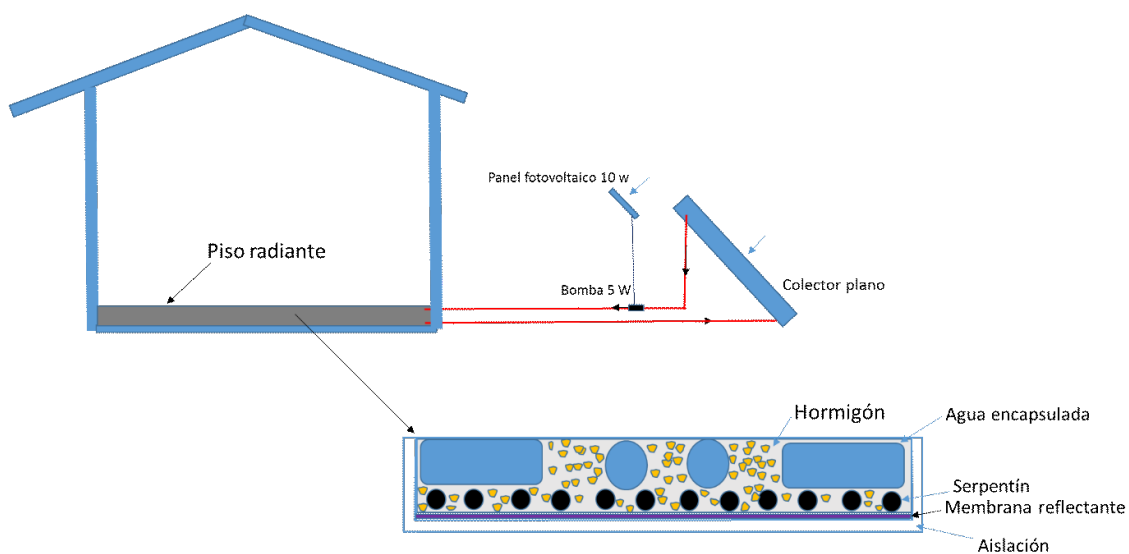


Figura 4. Esquema del piso radiante acumulador autónomo propuesto en este trabajo.

Para evaluar la factibilidad práctica de la idea, se elaboró un piso prototipo a escala (1m x 1 m x 0,15 m) que fue evaluado térmicamente. Se consideró que la proporción de volumen de agua encapsulada en comparación con el del hormigón no sea tan elevada como para comprometer la resistencia del piso. Fundamentalmente, la idea fue determinar las relaciones entre la masa de agua encapsulada, la masa de hormigón y el área de colección del calentador solar, para obtener en la superficie del piso una temperatura en el rango 18-29°C en época invernal. O sea, que el calor acumulado durante el día no produzca un sobrecalentamiento del piso, y sea suficiente para poder entregarlo de noche a una habitación.

#### ***Estimación de la masa térmica del piso y área de colección solar requeridas***

La idea de incorporar agua encapsulada al piso de hormigón, es debida a sus mejores propiedades de acumulación térmica. El reemplazo de un cierto volumen de hormigón por su equivalente en agua significa un incremento del 130% de masa térmica ( $M_T$ ). Esto se desprende de la comparación de las propiedades del hormigón y del agua, Tabla 2.

Tabla 2. Propiedades físico-térmicas del hormigón y del agua.

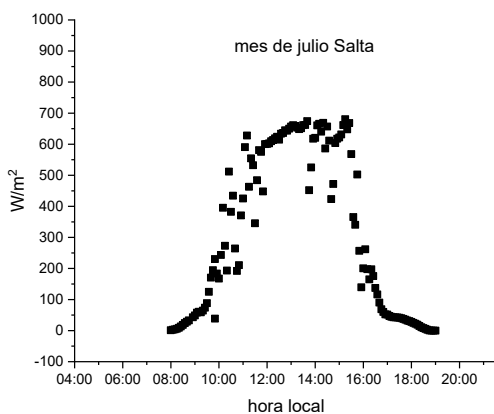
Material	$\delta$ (Kg/m <sup>3</sup> )	C <sub>p</sub> (J/Kg°C)	M <sub>T</sub> = $\delta$ V C <sub>p</sub> por m <sup>3</sup> de material (J/°C)
Hormigón	2100	880	1.848.000
Agua	1000	4180	4.180.000
			M <sub>T</sub> agua/M <sub>T</sub> hormigón≈2,3

Para determinar la masa de agua encapsulada a utilizar en el piso prototipo, se realizó una estimación previa a través de una simulación térmica. Se buscó determinar las proporciones requeridas entre el volumen de agua a encapsular "V<sub>a</sub>" en el volumen total del piso "V<sub>T</sub>", y el área de colección solar necesaria "A", para que el piso no sobrepase los 29°C en un día típico de invierno. Para ello se tuvo en cuenta el balance de energía de la Ec. (3). Este balance contempla la energía solar convertida en calor por un colector de placa plana auto construido con un rendimiento global de conversión fototérmica de  $\eta = 0,38$ , la energía acumulada por la masa térmica total, y la energía que se disipa al ambiente por el área superior del piso "A<sub>p</sub>".

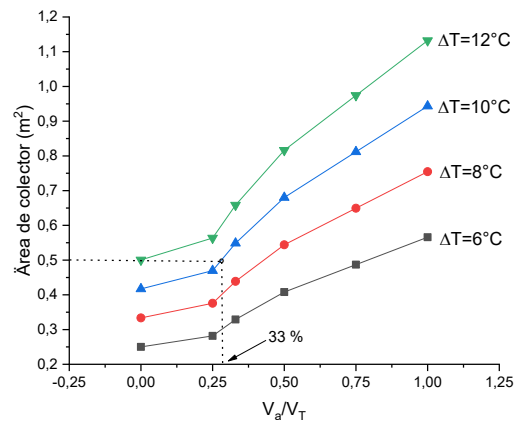
$$E A \eta = (V_h \delta_h C_{p_h} + V_a \delta_a C_{p_a}) \Delta T + h A_p (T - T_a) \quad (3)$$

"h" es el coeficiente de transferencia de calor total (radiación + convección) de la superficie del piso, tomándose para esta simulación un valor de  $h=8\text{W/m}^2 \text{K}$  (Meijje et al., 2022). "T<sub>a</sub>" es la temperatura ambiente. "E" es la energía diaria que llega, en invierno, en un plano de 1m<sup>2</sup> inclinado 45° (ángulo en el cual se ubicará el colector). Para este dimensionamiento se utilizó un valor estándar de insolación para el mes de julio en la ciudad de Salta de 12,7 MJ/m<sup>2</sup>día en plano horizontal, este valor es la integración de los datos de irradiancia mostrados en la Fig. 5a.

Siendo que, el volumen total del piso "V<sub>T</sub>" es 1 m x 1 m x 0,15 m = 0,15 m<sup>3</sup> o sea, es la suma del volumen del hormigón "V<sub>h</sub>" más el del agua encapsulada "V<sub>a</sub>", resulta  $V_h = V_T - V_a$ . Entonces reemplazando V<sub>h</sub> en la Ec. (3) se obtuvo una relación con la cual se elaboró un gráfico de A versus la relación V<sub>a</sub>/V<sub>T</sub> (Fig. 5 b). En este gráfico se muestran las curvas para distintos posibles saltos térmicos diarios del piso "ΔT" = 6, 8, 10 y 12°C, en todos los casos se consideró una temperatura ambiente de 21°C.



(a)



(b)

Figura 5. (a): Irradiancia típica del mes de julio para un día claro en la Ciudad de Salta. (b): Área de colector requerida Vs proporción de agua encapsulada en el hormigón.

Para ensayar experimentalmente, del gráfico de la Fig.5b se seleccionó una proporción de volúmenes de  $V_a/V_T = 0,33$  y un salto térmico diario para el piso de 10°C. Con lo que en principio se necesitaría

un área de colección solar de aproximadamente 0,5 m<sup>2</sup>. El ensayo de un prototipo con las medidas elegidas nos servirá para poder determinar si el piso se mantiene en el rango de temperaturas de diseño de 18-29 °C.

**Simulación térmica del calentamiento y enfriamiento del piso radiante**

Se realizó una simulación térmica preliminar del calentamiento y el enfriamiento considerando un piso de hormigón con 33% de su volumen con agua encapsulada, y se lo comparó con uno con 100% de hormigón. En los cálculos se supuso una distribución uniforme de temperatura en el piso. Se tuvo en cuenta el balance térmico dado por la Ec. (4), la misma considera que la potencia entregada al piso "P", se reparte como calentamiento del piso y como pérdida de calor al ambiente.

$$P = M_T dT/dt + hA(T-T_a) \tag{4}$$

Resolviendo la Ec. (4) se obtiene la temperatura instantánea del piso "T(t)" durante el calentamiento y el enfriamiento Ec. (5) y Ec. (6) respectivamente.

$$T(t) = T_o + P/hA_p [1 - \exp(-hA_p t/M_T)] \tag{5}$$

$$T(t) = (T_o - T_a) \exp(-hA_p t/M_T) + T_a \tag{6}$$

Donde T<sub>o</sub> es la temperatura inicial del piso y T<sub>a</sub> es la temperatura ambiente, además, la potencia media P suministrada al piso durante una jornada solar se tomó acorde a la gráfica de la Fig. 5a. Se consideró un ambiente a una temperatura de 21°C y un h=8W/m<sup>2</sup> °C. La simulación comparativa obtenida se muestra en la Fig. 6. Se observa que el bloque de hormigón en una jornada de invierno sobrecalentaría a valores cercanos a los 34°C perdiéndose comodidad higrotérmica. Mientras que el reemplazo del 33% del volumen por agua encapsulada en principio cumpliría con los requisitos de diseño propuestos de mantener la temperatura del piso en el rango 18-29 °C.

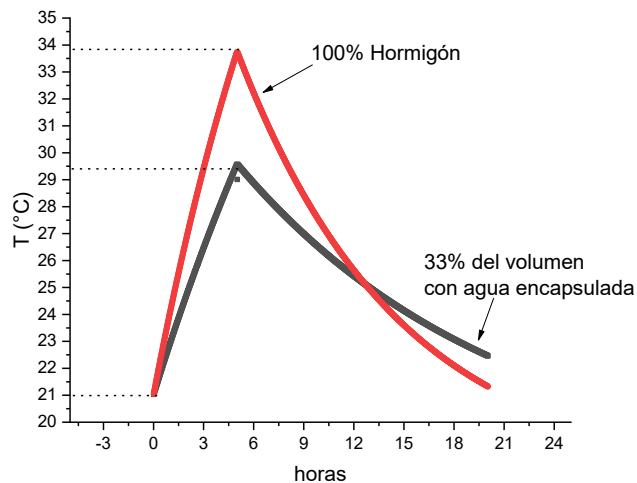


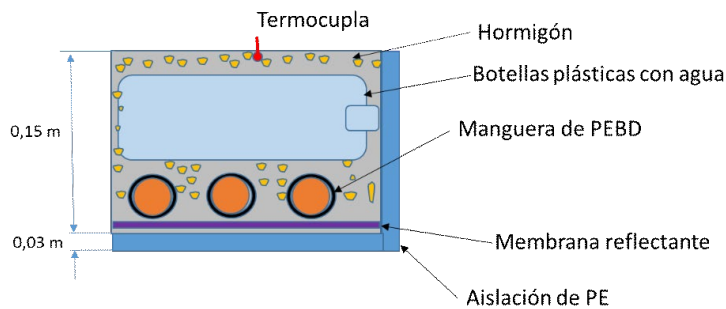
Figura 6. Comparación térmica simulada de la evolución de temperatura del piso en las dos situaciones.

**PARTE EXPERIMENTAL**

**Elaboración del prototipo de piso radiante para ensayar**

El piso prototipo fue elaborado acorde a la disposición y medidas mostradas en la Fig.7. La proporción de volumen de agua encapsulada utilizada fue de V<sub>a</sub>/V<sub>T</sub> = 0,33. El hormigón fue preparado con cemento,

arena y grava en una relación en volumen de 1:3:3. Antes de los ensayos al hormigón se lo dejó fraguar por 28 días.



*Figura 7. Disposición de los elementos en el piso prototipo.*

El serpentín con forma de espiral para la recirculación del agua fue realizado con 15 m de manguera de PEBD K4 de 3/4". Para asegurar que el flujo de calor sea por la cara superior del piso, el prototipo fue aislado en la parte inferior y en los lateralmente con placas de poliestireno expandido (PE) de 25 Kg/m<sup>3</sup> de 3 cm espesor. La aislación de la parte inferior del piso fue reforzada con una membrana de espuma de polietileno reflectante de 5 mm de espesor puesta por encima de la placa de PE.

### **El colector**

Para el ensayo del piso radiante se elaboró un colector solar de placa plana de bajo costo de medidas externas 0,90 m x 0,60 m dando un área de colección efectiva de 0,52 m<sup>2</sup>. Su absorbedor se realizó con chapa galvanizada de calibre 25, pintada de negro mate. Y para la circulación del agua por el colector, sobre esta chapa absorbedora fueron fijados 4 ramales en paralelo de manguera negra de PEBD K4 de 3/4". La aislación se realizó con poliestireno expandido de 25 Kg/m<sup>3</sup> de 3 cm de espesor. La cubierta fue realizada con policarbonato alveolar de 4 mm de espesor.

Para estimar el rendimiento de conversión fototérmica del colector este fue conectado a un tanque con 40 litros de agua convenientemente aislado del exterior con 5 cm de PE de 25Kg/m<sup>3</sup>. El colector fue ubicado en un ángulo de 45° mirando al Norte e interconectado al tanque por intermedio de una bomba de 2 W para la recirculación del agua. El ensayo consistió en registrar la evolución de temperatura del agua del tanque ( $T_T$ ) y así calcular el calor útil aportado al agua cada una hora. Además se midió la radiación solar en el plano del colector, y la evolución de la temperatura del ambiente externo ( $T_a$ ). El ensayo se realizó en un día típico del mes de julio en la ciudad de Salta, el día del ensayo se registró una irradiancia máxima al mediodía de 680W/m<sup>2</sup> y la temperatura ambiente varió entre 10°C <  $T_a$  < 12 °C. La Fig. 8 muestra la gráfica del rendimiento en función del salto térmico  $T_T - T_a$  experimentado durante esa jornada. El rendimiento medio del colector fue estimado en 0,38, valor utilizado en los cálculos para este trabajo.

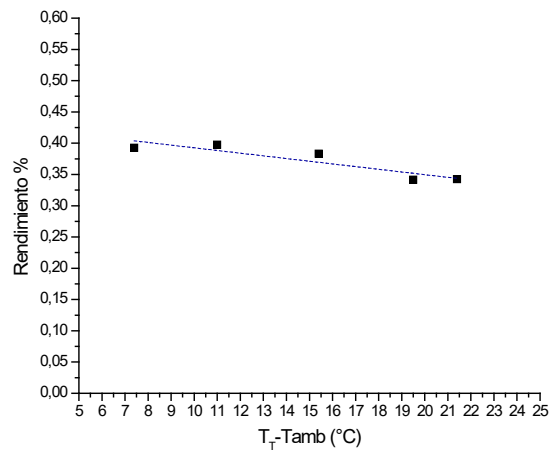


Figura 8. Rendimiento de conversión térmica del colector elaborado para el ensayo del piso radiante.

### La bomba de recirculación y el panel fotovoltaico

Para la recirculación del agua, en el circuito conformado por el colector solar y el serpentín empotrado en el piso, se utilizó una mini bomba de 2 W y 12 V (Fig. 9). En este caso esta potencia de bombeo es suficiente debido a la pequeña carga hidrodinámica presentada por los 15 m de manguera del serpentín. Este tipo de bomba posee cojinetes cerámicos y pueden trabajar con agua a  $T < 60^\circ\text{C}$ , en nuestro caso la temperatura de trabajo está muy por debajo de este valor, ya que el piso estará siempre a  $T < 30^\circ\text{C}$ . La mini bomba puede conseguirse en el mercado actual por unos \$ 8.000, y según los datos del fabricante la vida útil es de 30.000 horas. En cuanto al panel fotovoltaico se utilizó uno de 5 W<sub>p</sub>, que fue suficiente para comenzar a energizar a la bomba a partir de un valor umbral de irradiancia de 60 W/m<sup>2</sup>, lo cual ocurre prácticamente a las 9:00 hs. El máximo caudal aportado por la bomba al mediodía es de aproximadamente 1,3 L/min para una irradiancia aproximada de 800 W/m<sup>2</sup>. La Fig. 9 también muestra la foto del piso radiante conectado al colector solar y al panel fotovoltaico.

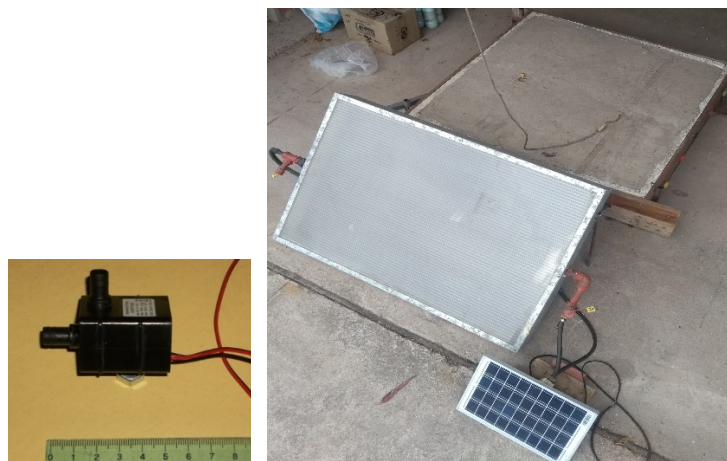


Figura 9. Foto de la mini bomba utilizada para la recirculación, y del piso radiante conectado al colector solar.

### MEDICIONES EXPERIMENTALES

Para la evaluación térmica del piso prototipo en todos los ensayos se empleó para la recirculación la bomba y el panel fotovoltaico mencionados, posicionado este último fijo en un ángulo de 45° mirando al Norte. Y como se dijo, se utilizó un colector de 0,52m<sup>2</sup>.

### Estimación del coeficiente de transferencia $h$ del piso

Primeramente, se estimó el coeficiente de transferencia de calor de la superficie del piso "h". Para ello, se calentó el piso y luego se lo dejó enfriar, registrándose simultáneamente las temperaturas instantáneas de su superficie y del ambiente. Asumiendo un enfriamiento exponencial se graficó  $\ln(T(t)-T_a)$  Vs tiempo. De la regresión lineal se obtuvo un valor de  $h = 7,5 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ , un valor cercano al usado en la estimación del área de colección, Fig. 10.

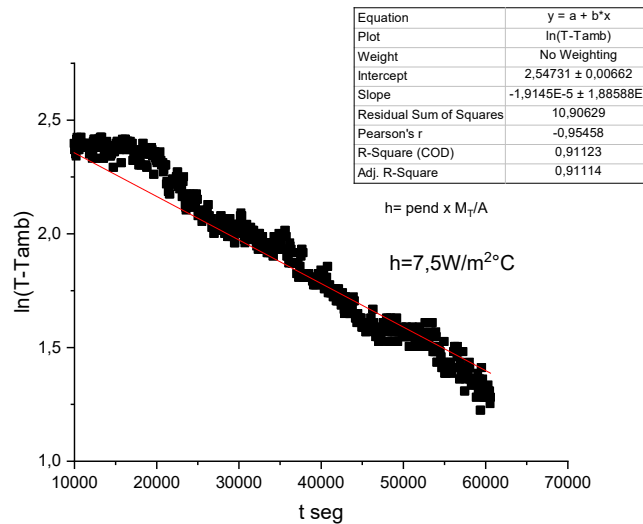


Figura 10. Estimación del coeficiente de pérdidas global del piso.

### Ensayo de calentamiento del piso radiante

El ensayo de calentamiento se realizó bajo los valores horarios de irradiancias mostrados en la Tabla 3. Esta tabla también muestra los valores de caudal suministrado al serpentín por la bomba durante el ensayo. La Fig. 11 muestra la evolución diaria de la temperatura del piso, se observa que al finalizar la jornada solar alcanza una temperatura máxima de  $29^\circ\text{C}$ , satisfaciendo esta pauta de diseño. En la experiencia la temperatura ambiente externa se mantuvo entre  $20$  y  $21^\circ\text{C}$ .

Tabla 3. Datos de irradiancias y caudales suministrados por la bomba durante el ensayo de calentamiento.

Hora	Irradiación ( $\text{W/m}^2$ )	Caudal (L/min)
09:00	57	0,1
09:30	104	0,2
10:00	197	0,3
10:30	450	0,3
11:00	501	0,5
11:30	607	0,86
12:00	708	0,9
12:30	725	1
13:00	775	1,2
13:30	780	1,2
14:00	732	1,1
14:30	775	1,2
15:00	733	1
15:30	670	0,11
16:00	236	0,3
16:30	162	0,2
17:00	60	0,1

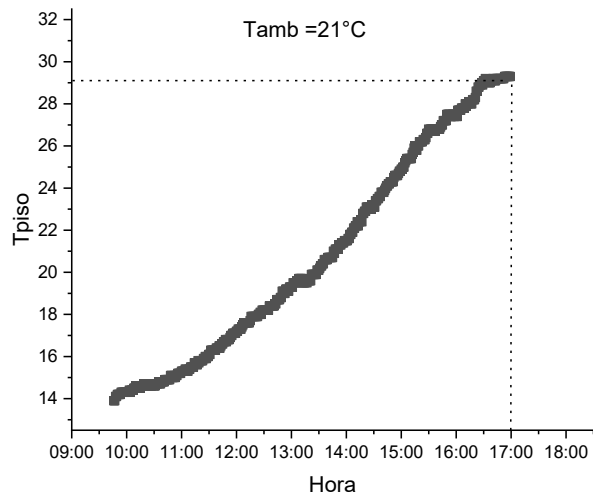


Figura 11. Evolución de la temperatura del piso prototipo en una jornada solar de invierno.

### Ensayo de enfriamiento del piso radiante

La Fig. 12 muestra la variación nocturna de temperatura de piso expuesto en un ambiente cuya temperatura varió entre 25 y 20°C. A las 8 de la mañana la temperatura registrada en el piso fue de 23°C.

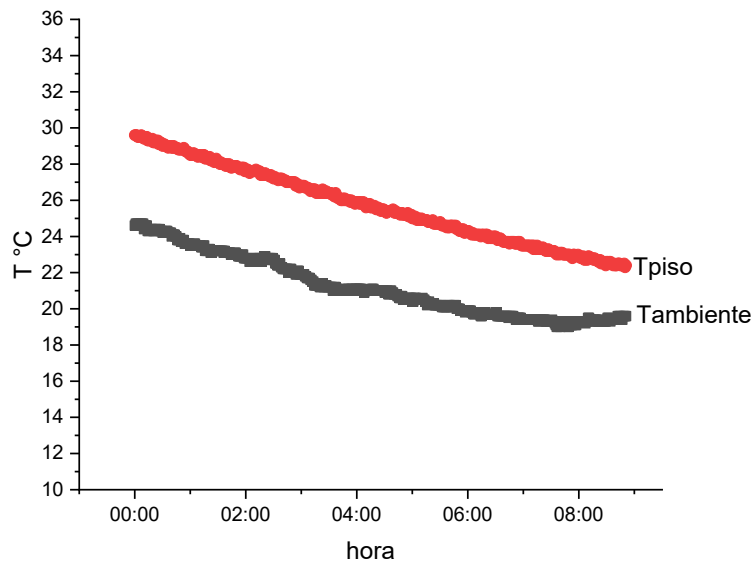


Figura 12. Enfriamiento nocturno del piso.

Una reflexión: observando la Fig. 12, en cuanto a la temperatura final del piso luego del enfriamiento nocturno ( $T = 23^\circ\text{C}$  en este ensayo), en una situación real este valor dependerá de las condiciones ambientales en la que se encuentre. Entonces, valores muy elevados de temperatura del piso al arranque de la jornada podría ocasionar la posibilidad de sobrecalentamiento durante el día. A raíz de ello, estamos evaluando el diseño de una automatización de bajo costo que actúe durante el día y así mantener las condiciones higrotérmicas requeridas. La estrategia se basa en un monitoreo de temperatura del piso asociado a un sistema que pueda derivar el flujo de agua caliente de los colectores hacia otra aplicación, como por ejemplo la obtención de agua caliente sanitaria para vivienda

## CONCLUSIONES DE LOS PRIMEROS AVANCES

### *En cuanto al sistema de recirculación:*

El sistema implementado basado en la recirculación autónoma mediante la dupla bomba - panel fotovoltaico de baja potencia (en estos ensayos de 2 y 5 W respectivamente) es económica, muy sencilla y eficiente. Al no requerirse ningún tipo de aporte de energía de red hace que esta idea sea 100% sustentable. De implementarse en un piso radiante para una habitación de unos 10 m<sup>2</sup> se requerirá una bomba de recirculación de aproximadamente 5W ya que tendrá que hacer recircular agua a través de 100 m de espiral de manguera de ¾ “.

### *En cuanto al colector solar utilizado:*

los ensayos térmicos indicaron que con la aplicación de colectores solares auto construidos de eficiencias aceptables del orden del 38%, se requiere una relación de áreas de colector y de piso radiante de  $A_c/A_p \approx 0,5$ . Con esta relación se puede satisfacer la demanda térmica del piso en invierno para cumplir el requisito de confort establecido de 18°C a 29 °C.

### *En cuanto a la proporción de la masa de agua encapsulada*

la incorporación de agua encapsulada al hormigón del piso radiante en una proporción del 33% en volumen, por el incremento de la masa térmica, otorga al piso la posibilidad de acumular un 40% más de calor, en comparación de uno similar 100% hormigón. Con la experiencia y los resultados térmicos obtenidos con el prototipo, se prevé hacer otro con una mayor relación (50%), que dará mayor inercia térmica, pero primero se evaluará si ésta proporción compromete la resistencia mecánica del piso.

### *En cuanto al comportamiento térmico del prototipo:*

de los ensayos térmicos realizados se concluye que la incorporación de agua encapsulada en el piso radiante en una relación del 33 % en volumen, genera menos riesgo de sobre calentamiento si se lo compara con uno similar, pero 100% de hormigón. Dicha incorporación permite acumular más energía para entregar a la habitación durante la noche. En los ensayos se observó que el piso al culminar la jornada solar de invierno, en un ambiente cuya temperatura ronda los 21°C, llega a temperaturas cercanas a los 29°C. En cuanto al enfriamiento nocturno se observó que en un ambiente cuya temperatura varió de 25 a 20°C, a las 08:00 hs la temperatura registrada en el piso fue de 23°C.

### *Trabajo a futuro:*

Se prevé realizar un piso prototipo a escala con mayor cantidad de agua encapsulada (50%), de los resultados de los ensayos se decidirá la proporción a utilizar para la elaboración un piso radiante, del tipo propuesto en este trabajo, en una habitación de 8 m<sup>2</sup>. En este caso, para la recirculación del agua caliente será necesaria la aplicación de 100 m de manguera empotrada en el piso, y la utilización de 4 m<sup>2</sup> de colector de bajo costo. Se utilizará una bomba de 5 W y un panel fotovoltaico de 10 W. Para evitar un posible sobrecalentamiento del piso durante el día, se evaluará la posibilidad de incorporar un sistema de bajo costo que permita derivar el excedente de calor, generado por el colector, hacia un tanque aislado, para poder además contar con agua caliente sanitaria.

## REFERENCIAS

- ANSI/ASHRAE Standard 55, (2004). Thermal Environment Conditions for Human Occupancy.
- Bilgen E., Richard M. A. (2002). Horizontal Concrete Slabs as Passive Solar Collectors. Solar Energy 72, 5, pp. 405–413.
- Turner J., Fichter R. (1972). Libertad para construir. México, D. F.: Siglo XXI.
- Liua L. Hammamia N., Trovaleta L., Bigota D., Habasb J., Malet-Damoura B. (2022). Description of phase change materials (PCMs) used in buildings under various climates: A review. Journal of Energy Storage 56.
- Klepeis N. E, Nelson W. C., Ott W., Robinson J. P.. (2001). The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): A resource for assessing exposure to environmental pollutants. Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology 11(3):231-52.

- Fanger, P.O. (1970). Thermal comfort, analysis and application in environmental engineering. Copenhagen: Danish Technical Press; 1970.
- Laffón Blasco B., Fernández J. M., Valdés C., Viñas Arrebola (2007). Cálculo de índices de confort térmico en recintos cerrados con transferencia de calor. I Jornada Nacional de Investigación en Edificación. Universidad Politécnica de Madrid 2007. [https://oa.upm.es/3676/2/LAFFON\\_PON\\_2007\\_01.pdf](https://oa.upm.es/3676/2/LAFFON_PON_2007_01.pdf).
- Meijie Wang, Papan Li, Weijie Liu, (2022). Generic mathematical formulation of the total heat transfer coefficients between heated radiant floor surfaces and rooms Building and Environment, Volume 211, 1 March 2022, 108701.
- Orosa JA. (2009). Research on general thermal comfort models. European Journal of Scientific Research; 27(2):217–27. 1450-216X.
- Viegas G.M., Jodraa J.I., San Juana G.A., Díscoli C. A.. Heat storage wall made of concrete and encapsulated water applied to mass construction social housing in temperate climates. Energy and Buildings. Volume 159, 15 January 2018, Pages 346-356.
- Woodson r. D. (1999). Complete construction, radiant floor heating McGraw-Hill Publishing. ISBN 007134786-0.

## **CONCRETE RADIANT FLOOR WITH ENCAPSULATED WATER AND AUTONOMOUS RECIRCULATION, FIRST PROGRESS.**

**ABSTRACT:** Advances in the development of a new radiant floor heating system are presented. It is based on a concrete floor that has water encapsulated in plastic bottles inside. The heating of the floor is done through the circulation of hot water through a PEBD hose spiral that is also embedded in the concrete. The concrete and the encapsulated water make up a thermal mass of accumulation by sensible heat. This radiant floor was designed to operate totally autonomous from the network (gas or electricity), the heating of water is through solar collectors, the impulsion of the recirculating water is for a pump energized by a photovoltaic panel of very few Watts. Conforming a simple and economical automated system. To evaluate the feasibility of the idea, a prototype floor with a smaller area of 1 m x 1 m x 0,15 m was assembled. Using a ratio of volumes of encapsulated water and concrete  $V_a/V_H = 0.33$ . As a basic design feature, it was sought that in winter the floor surface be maintained in the hygrothermal range of 18°C to 29°C. This could be achieved by using a ratio of approximately 0,5 m<sup>2</sup> of solar collection surface /m<sup>2</sup> of floor heating.

**Keywords:** radiant floor, recirculated, photovoltaic.