

Libro de Actas del 3<sup>er</sup> Congreso Internacional de Construcción Sostenible y Soluciones  
Eco-Eficientes

## **Análisis de los niveles de confort a través del estudio de un pavimento cerámico en un sistema de calefacción solar pasiva**

**Piña Ramírez, Carolina<sup>(1)</sup>; Viñas Arrebola, Carmen<sup>(2)</sup>; Rio Merino, Mercedes del<sup>(3)</sup>**

(1) (3) Departamento de Construcciones Arquitectónicas y su Control, Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica, Universidad Politécnica de Madrid, Avda. Juan de Herrera 6, 28040 Madrid, Spain

(2) Departamento de Tecnología de la Edificación, Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica, Universidad Politécnica de Madrid, Avda. Juan de Herrera 6, 28040 Madrid, Spain

**Resumen** En la actualidad existe una tendencia creciente al ahorro energético en el diseño, la construcción y la explotación de los edificios, lo que ha provocado un aumento en el interés de los sistemas solares pasivos.

La reducción del consumo energético en los edificios no sólo representa un menor coste económico para sus usuarios, sino que conlleva la disminución de la contaminación asociada a su producción y reduce la dependencia de energías no renovables

El presente artículo muestra el estudio realizado de un sistema de calefacción solar pasiva mediante captación solar directa, y analiza el comportamiento del pavimento como sistema captador, acumulador y disipador de energía calorífica.

El diseño del experimento, la monitorización y el análisis de los resultados han permitido realizar la evaluación del comportamiento térmico del pavimento como captador de energía calorífica, para comprobar si los niveles de confort térmicos alcanzados resultan aceptables. Dicha comprobación de los niveles de confort se ha realizado mediante el análisis tanto de la temperatura operativa, como del índice PD.

**Palabras clave:** Construcción; Edificación; Bioclimático; Pavimento Cerámico; Confort Térmico

### **1 Introducción**

La actual crisis energética tiene su reflejo en el campo de la edificación (López-Moreno et al.2015), por lo que los factores de ahorro energético y una mayor atención a la selección de los materiales, teniendo en cuenta su impacto ambiental,

son tenidos cada vez más en cuenta en el diseño y en la construcción de los edificios.

Esto no deja de suponer una vuelta a los orígenes, dado que en la antigüedad, las limitaciones tecnológicas, energéticas y logísticas imponían que las edificaciones aprovecharan al máximo posible los recursos de la zona en las que estaban emplazadas, teniendo muy en cuenta, además factores como el clima propio de la zona y la orientación de las edificaciones.

Esta tendencia de crear una arquitectura adaptada al medio ambiente, reduciendo su dependencia energética, es conocida como Arquitectura Bioclimática, y sus principios son: La consideración del ecosistema del entorno, la eficacia y el uso racional de los materiales, la reducción en el consumo de energía, el cumplimiento de los requisitos de confort y la eficiencia energética global del proceso constructivo (Soares et al.2013).

Los sistemas de calefacción solar pasiva permiten aumentar el confort de las personas en el interior de las edificaciones (Esteban 1991), produciendo un importante ahorro energético (Woloszyn et al. 2009) y una reducción de la dependencia de las fuentes de energía no renovables (Manzano-Agugliaro et al. 2015).

La evaluación del confort en ambientes térmicos moderados se rige por la norma UNE-EN ISO 7730:2006, que presenta métodos para medir el grado de incomodidad que sufren las personas a través del cálculo de índices, siendo uno de ellos el índice PD (Percentage Dissatisfied).

Tras la realización de una búsqueda y análisis de documentación se ha encontrado mucha producción científica sobre calefacción solar pasiva, sin embargo no se han encontrado trabajos en el ámbito sobre la importancia de los pavimentos como captadores energéticos en estos sistemas, lo que justifica la realización de este estudio.

El objetivo del trabajo es analizar la influencia del pavimento como sistema calefactor, y el grado de confort alcanzado (Barrios et al. 2010), a través del cálculo de la temperatura operativa y el índice PD.

Para la realización del estudio se ha elegido



**Fig.1** Vista exterior del aula

un edificio construido con criterios bioclimáticos llamado “Aula de Educación Ambiental” (Figura 1), situado en las proximidades del Parque Forestal de Somosaguas, en la localidad Madrileña de Pozuelo de Alarcón.

En invierno la radiación solar calienta el suelo de gran parte del aula, constituido por una capa superficial de adoquines cerámicos de 5cm de espesor. Así, se pretende que este material almacene su calor hasta que sea necesario devolverlo al ambiente. En verano, como la trayectoria solar es más elevada, el sol no alcanza las masas interiores, por lo que estas se mantienen a temperaturas similares a las de la tierra que rodea el edificio y que es inferior a la ambiental (Ayuntamiento Pozuelo de Alarcón. 2014).

## 2 Métodos

### 2.1 Descripción del modelo experimental

El edificio sobre el que se ha realizado el experimento pertenece al complejo bioclimático llamado “Aula de Educación Ambiental”. Este edificio está ubicado en la ladera sur de una pequeña elevación cuya altura es de 650 m sobre el nivel del mar, y a 2,7 km del centro de la localidad madrileña de Pozuelo de Alarcón, en el entorno de Humera. El aula donde se ha realizado la monitorización del pavimento tiene una superficie útil de 51,60 m<sup>2</sup> y una capacidad para 50 alumnos, y dispone de un muro acristalado en su fachada sur, en cuya parte superior dispone de una marquesina que potencia la protección solar en los meses estivales (Figura 2).

La masa térmica que se ha dispuesto en el suelo del edificio que estudiaremos, es de un espesor de 12 cm, repartidos en una capa de mortero que recubre los conductos del suelo radiante, una cama de arena y el adoquín cerámico. Este adoquinado cerámico de 5cm de espesor, está colocado en forma lineal con junta en seco sobre una cama de arena.

Todo este suelo está dispuesto sobre un forjado de losa alveolar sobre fábrica de ladrillo, con una cámara sanitaria de una altura aproximada de 1,20m.

**Fig.2** Colocación de termopares



## 2.2 Diseño de la monitorización

Para la obtención de las temperaturas del pavimento se ha colocado en la superficie del solado 20 termopares tipo K, formando un mallado en el solado (Figura 3), colocándolos cada 1,5 metros en la parte próxima a la cristalera, y cada 2 metros en el resto del aula. Estos sensores termopares de registro continuo miden la temperatura superficial del elemento asociado (Varela Luján et al. 2015), que en el caso de estudio es el solado cerámico.

Las mediciones de temperatura han sido tomadas cada 10 segundos en cada punto y guardadas cada 10 minutos.

Se han recogido los datos registrados durante 9 días del mes de noviembre de 2015, llegando a recopilar un total de 1.440 datos por cada termopar colocado en el pavimento, por lo que en total se recogieron 28.800 datos que posteriormente fueron calibrados.

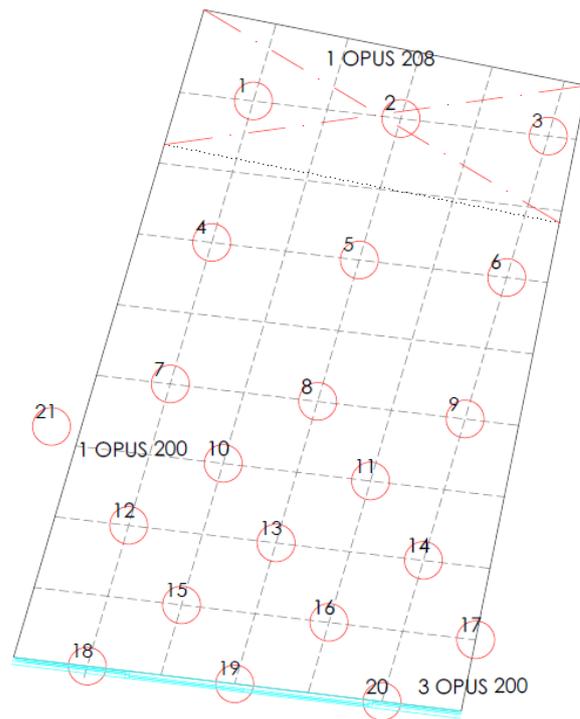


Fig.3 Distribución de los termopares

## 2.3 Cálculo del flujo de calor

Para realizar un estudio pormenorizado del comportamiento del solado, se han evaluado los flujos de calor por convección entre el pavimento y el ambiente del aula. En primer lugar se ha obtenido la diferencia entre la temperatura del solado y la temperatura ambiente, y en segundo lugar se ha utilizado como valor de la transmitancia del objeto del experimento  $0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Tras el cálculo de los flujos de calor, se analiza su evolución a lo largo del periodo estudiado.

Así mismo, se realizó el análisis de la evolución de los datos recopilados de temperatura ambiente y temperatura del pavimento, de la temperatura exterior y de la radiación solar.

## 2.4 Cálculo de las variables de confort

Para realizar el análisis del confort existente (Blasco et al. 2007) en el aula durante las horas ocupacionales, se ha determinado la temperatura operativa del aula para todo el periodo estudiado. Esta temperatura operativa, o temperatura resultante, es la temperatura media entre la temperatura radiante y la temperatura del aire (o temperatura seca) (Ec. 1):

$$t_{op} = \frac{t_a + t_r}{2} \quad \text{si la } v < 2 \text{ m/s y } (t_a - t_r) < 4^\circ\text{C} \quad (1)$$

Donde:

$t_a$ : Temperatura del aire seco ( $^\circ\text{C}$ )

$t_r$ : Temperatura radiante de la superficie del local ( $^\circ\text{C}$ )

Posteriormente para evaluar la posible insatisfacción térmica motivada por un calentamiento o enfriamiento de algunas partes del cuerpo, que hayan podido producir incomodidad local a las personas, en el periodo analizado, se ha calculado el índice PD (Percentage Dissatisfied) que mide la incomodidad debida a la diferencia de temperaturas en vertical del aire, que es el que interesa en este caso de estudio (Ec. 2).

$$PD = \frac{100}{1 + \exp(5,76 - 0,856 \cdot \Delta t_{a,v})} \quad (2)$$

Donde:

$\Delta t$  es la diferencia vertical de temperatura entre la cabeza y los pies,  $^\circ\text{C}$ .

La expresión anterior sólo debe usarse si  $C t v a \geq 8$ ,  $\Delta t$  como es el caso.

### 3 Resultados y discusión

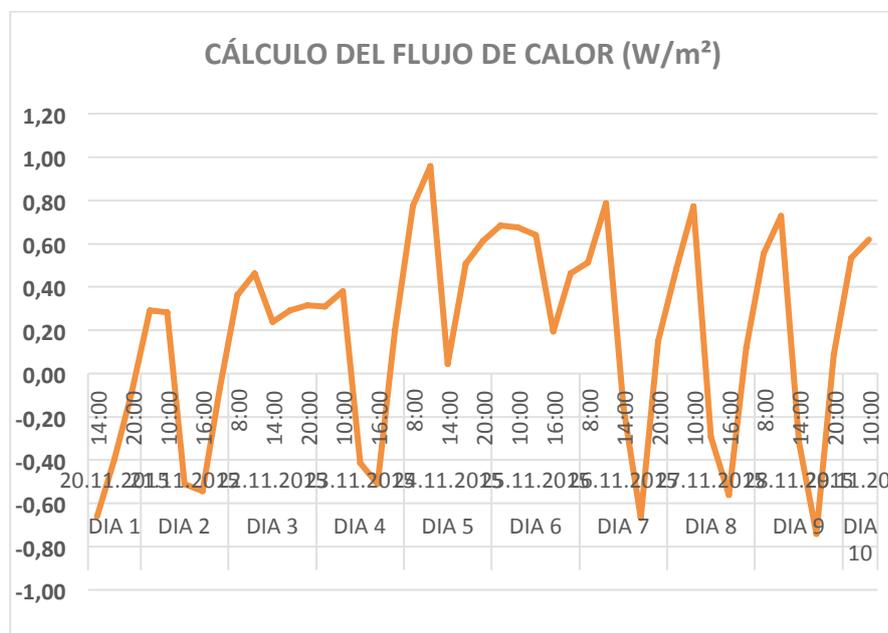
De los resultados obtenidos en el análisis del flujo de calor (Figura 4) se observa que este flujo está en términos promedio entre  $-0,7 \text{ W/m}^2$  y  $1,0 \text{ W/m}^2$ , donde el signo (-) indica un cambio de sentido del flujo de calor, por tanto, en estos casos calor es captado por el pavimento. Este intervalo de flujo de calor se mantiene prácticamente sin variación a lo largo del periodo en estudio, que es lo que interesa en el funcionamiento de un sistema de calefacción solar pasiva.

El valor medio del flujo del pavimento es positivo, es decir es emitido por el pavimento al ambiente y de un valor de  $0,30 \text{ W/m}^2$  de valor promedio, por lo que se puede corroborar que el pavimento está actuando como emisor.

El comportamiento del solado como calefactor se puede analizar observando a partir de la hora en la que se pone el sol, observando cuánto tarda en emitir calor al ambiente y durante cuánto tiempo lo hace.

A partir de las 19:00h se oculta el sol en este periodo, y se observa que el pavimento está recibiendo flujos de calor positivos hasta 21:00h que es cuándo el pavimento comienza a emitir calor al ambiente que ya se ha enfriado. Se observa que el pavimento está emitiendo calor hasta las 12:30h de la mañana de media, luego aunque en las primeras horas de la mañana este flujo resulte insuficiente para lograr el confort en el aula, el pavimento está emitiendo calor durante todas las horas de falta de radiación solar.

Durante los días nublados se observa que el pavimento actúa como emisor en todas las horas del día y de la noche, pero que no es capaz de emitir temperatura al ambiente durante más de un día sin recibir radiación solar. Por lo que se puede deducir que el calor acumulado en el pavimento durante un día de radiación, éste es capaz de emitirlo durante el periodo nocturno y un ciclo de un día únicamente, y en periodos más largos el pavimento no funcionaría como sistema de calefacción solar pasiva.



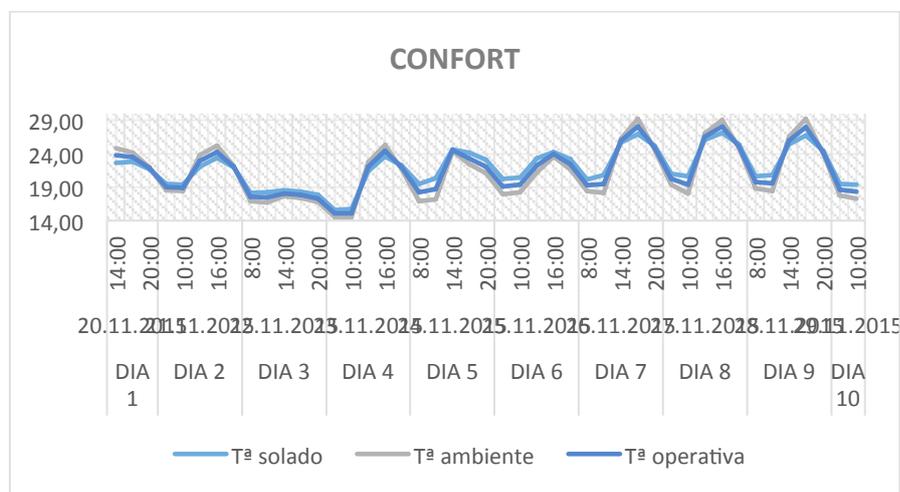
**Fig. 4** Temperaturas de Confort

En el análisis de la temperatura operativa se han podido observar (Figura 5) las horas del día que están fuera de los límites del confort (RITE 2007), y que en general de valor promedio están escasos grados por debajo de ésta.

De estos resultados obtenidos se observa que hay horas en las que el aula está en uso que están por debajo de los límites de confort establecidos, estas horas serían en las que se tendría que calentar el aula mediante un sistema de calefacción para cubrir la demanda energética.

Analizando estos datos se puede decir que en promedio haría falta menos de una hora y media de calefacción al día durante este mes de noviembre, para que en todas las horas ocupacionales del aula se alcanzase la temperatura de confort.

Por tanto, en términos de gasto energético, durante el mes analizado haría falta de promedio, una hora y media al día de un aporte extra de calefacción, lo que supone un escaso gasto energético y económico.



**Fig. 5** Temperaturas de Confort

Del análisis del cálculo del índice PD en todo el periodo estudiado, se observa que el valor máximo es de 4,11% (Tabla 1) por lo que sería inferior al 5% en todos los casos, que es lo que estima la norma como aceptable. Esto significa que menos del 5% de las personas del aula estarían insatisfechas por diferencia de temperaturas en vertical del aire.

**Tabla 1** Valores máximos y mínimos del índice DR

PD	FEHA Y HORA	Tª AMBIENTE (°C)	Tª SOLADO (°C)	$\Delta T^\circ$ (°C)	PD (%)
Máximo	28.11.2015 17:00	29,21	26,16	3,05	4,11
Mínimo	24.11.2015 09:50	16,78	20,18	-3,40	0,02

Sin embargo el valor medio del índice PD ha resultado del 0,4 %, por lo que se puede afirmar que menos del 1% de las personas del aula estarían insatisfechas por diferencia de temperaturas en vertical del aire. Como la capacidad del aula analizada es de 50 personas, esto significaría que de media menos de 1 persona tendría insatisfacción térmica por este motivo (Corgnati et al. 2009).

## 4 Conclusiones

Las conclusiones del presente trabajo, son:

- El análisis de los datos de los sensores instalados en el pavimento, indica que el diseño de la monitorización es el adecuado, ya que aporta información de las temperaturas en la totalidad del mismo. También los intervalos establecidos para la medida de los sensores y el registro de los datos, en los datalogger, son adecuados para el análisis del comportamiento térmico del solado en el periodo estudiado.
- Del análisis del balance de los flujos de calor en el aula, durante todo el periodo en estudio, se pone manifiesto que durante las horas de falta de radiación y los días nublados, el pavimento actúa como emisor con valores constantes. Se comprueba, que el pavimento no puede funcionar correctamente como sistema de calefacción solar pasiva para periodos de más de un día nublado.
- Se constata que el pavimento cerámico analizado, es un buen acumulador de energía calorífica, donde la fuente de origen de calor es la radiación solar, para climas continentales, caracterizados por tener entre los meses de noviembre y febrero días fríos y muy soleados.
- Se comprueba que el pavimento cerámico estudiado tiene un buen comportamiento como masa térmica para sistemas de calefacción solar pasiva, al poseer una elevada capacidad de almacenamiento térmico y una lenta difusividad térmica.
- La utilización del pavimento cerámico objeto del estudio como sistema calefactor pasivo contribuye a que en el interior de la edificación se alcancen temperaturas de confort en la mayoría de las horas del día. Además, es el causante de que no se produzca incomodidad por diferencias de temperaturas en vertical del aire.
- En términos de gasto energético, durante el mes analizado harían falta, en promedio, una hora y media al día de un aporte extra de calefacción, lo que supone un importante ahorro energético y económico.

## Referencias

- López-Moreno, Helena, et al. Thermal Behavior of a Ventilated Façade Using Perforated Ceramic Bricks. World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering, (2015), vol. 9, no 7, p. 875-880.
- Soares, N., et al. Review of passive PCM latent heat thermal energy storage systems towards buildings' energy efficiency. Energy and buildings, (2013), vol. 59, p. 82-103.
- Analysis of the thermal storage in construction. J. Luis Esteban Sáiz, Dr. Ing. Industrial. ICET/CSIC/ESPAÑA 190-10, pp.81-96, (1991).
- Woloszyn, Monika, et al. The effect of combining a relative-humidity-sensitive ventilation system with the moisture-buffering capacity of materials on indoor climate and energy efficiency of buildings. Building and Environment, (2009), vol. 44, no 3, p. 515-524.
- Manzano-Agugliaro, Francisco, et al. Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort. Renewable and Sustainable Energy Reviews, (2015), vol. 49, p. 736-755.
- Barrios, Guillermo, et al. Selección de los materiales de muros y techos para mejorar el confort térmico en edificaciones no climatizadas. Marincic I. Estudios sobre Arquitectura y Urbanismo del Desierto, (2010), vol. 3, no 3, p. 70-84.
- Ayuntamiento Pozuelo de Alarcón. CREAS Construcción Sostenible. Aula de Educación Ambiental. Madrid.(2014). Ed: Evergráficas, S.L. ISBN: 978-84-441-0303-7.p.39
- Experimental design, monitoring and analysis of the thermal behavior of the external thermal insulation system (ETICS) in the retrofitting of a residential building. Varela Luján, Sheila; Viñas Arrebola, Carmen y Rodríguez Sánchez, Antonio. 2015. Madrid : Escuela Técnica Superior de Edificación, 2015. 978-84-933567-6-7.
- Blasco Laffon, Begoña, et al. Cálculo de índices de confort térmico en recintos cerrados con transferencia de calor. (2007).
- RITE Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios. «BOE» núm. 207, de 29 de agosto de 2007, páginas 35931 a 35984 (54 págs.)
- Corgnati, Stefano Paolo; ANSALDI, Roberta; FILIPPI, Marco. Thermal comfort in Italian classrooms under free running conditions during mid seasons: assessment through objective and subjective approaches. Building and Environment, (2009), vol. 44, no 4, p. 785-792.