



I Congreso Internacional sobre investigación en  
Construcción y Tecnología Arquitectónicas  
*1<sup>st</sup> International Congress on research in Construction and  
Architectural Technologies*

Universidad Politécnica de Madrid. ETSAM. Madrid, 11-13  
Junio de 2014

## ESTUDIO DE LA CONTRIBUCIÓN DE LA INERCIA TÉRMICA AL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE EDIFICIOS.

**Autores: A. Cabeza Prieto (1), C. Sánchez-Guevara (2) y M.S. Camino Olea (3)**

(1) Arquitecto, máster en Medio Ambiente y Arquitectura Bioclimática. alexcp007@gmail.com. Autor de contacto.

(2) Grupo de investigación ABIO. Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas. UPM. carmen.sanchez.guevara@gmail.com

(3) Profesora titular de construcciones arquitectónicas. Departamento de Construcciones Arquitectónicas e Ingeniería del Terreno. UVA. mcamino@arq.uva.es

### RESUMEN

Dada la actual situación de crisis económica, la rehabilitación del parque edificado existente resulta fundamental por la reducción de los costes energéticos asociados al uso de la edificación, la disminución de las necesidades energéticas de los hogares y la reconversión del sector de la construcción. Es por ello que resulta imprescindible avanzar en el desarrollo de intervenciones que mejoren el comportamiento de la arquitectura existente.

El objetivo de este trabajo es el estudio de las aportaciones de la inercia térmica al comportamiento térmico de los edificios. Esta investigación parte de la idea de que cualquier disposición de materiales en la conformación constructiva conlleva una posible acumulación de calor y regulación en el tiempo de las fluctuaciones de temperatura y que por tanto estas variables no pueden quedarse fuera de campo de estudio. La metodología de la investigación que aquí se presenta, se puede dividir en dos partes fundamentales:

Una primera en la que se analiza en condiciones de laboratorio la influencia que ejerce la aportación de inercia térmica a un espacio de volumen conocido, en función exclusivamente de la capacidad de acumulación de energía. Para este primer análisis, se construye una probeta en el laboratorio, a través de la cual se realizan una serie de ensayos, en el que en primer lugar se caracterizan los equipos y la probeta, y a continuación se llevan a cabo variaciones de la masa térmica útil de la misma. Se monitorizan las variables y se analizan los resultados obtenidos mediante gráficas comparativas en función de diferentes parámetros que se establecen al comienzo de cada uno de los ensayos.

En un segundo paso en la investigación, se evalúa la influencia de la inercia situada en los elementos que componen la envolvente de un módulo experimental evaluado mediante simulación energética. Para ello, se comparan los flujos energéticos que atraviesan cerramientos definidos con diferentes valores de masa térmica, pero con valores constantes de transmitancia térmica estacionaria, y bajo idénticas condiciones de contorno.

Los resultados obtenidos, muestran la influencia de la masa térmica útil en la fluctuación térmica y la capacidad de acumulación de energía en los paramentos. Además de esto se determina la influencia de la disposición de la masa térmica en la composición constructiva de los cerramientos. Por último a partir de las conclusiones obtenidas en esta investigación se realiza una revisión crítica de los métodos de cálculo de las actuales normativas europeas.

**Palabras clave:** Inercia térmica; rehabilitación energética; simulación energética; transmitancia térmica.

## 1 INTRODUCCIÓN

El objetivo de la presente investigación es mostrar la influencia que la inercia térmica tiene sobre el comportamiento de la edificación y cómo la posición donde se ubica resulta

determinante. De este modo, si esta se encuentra en un espacio interior acondicionado acumulará y cederá energía, pero si la misma se encuentra en la envolvente, además tendrá una influencia en los intercambios de calor de este espacio con el exterior. Esta investigación, se divide en estos dos grandes bloques.

## 2 INSTRUMENTOS Y MÉTODOS

### 2.1 Bloque 01: masa en el interior. La probeta y su funcionamiento

El primer bloque se centra en el estudio de cómo la presencia de masa en el interior de un espacio acondicionado absorbe, acumula y cede calor, lo que se traduce en una amortiguación y retardo de la temperatura máxima y mínima de un espacio interior con respecto al exterior.

Para ello, se construyó una probeta cerrada en el laboratorio de construcción de la E.T.S.A. de Valladolid, de dimensiones interiores de 0,5m x 0,5m x 0,5m (0,125m<sup>3</sup>). Su envolvente se configura por paneles de madera de densidad media (DM) (e=5mm), y paneles de poliestireno extruido (e= 30mm /  $\lambda= 0,036\text{W/mK}$ ). Se le provisionó de un sistema de aporte de energía mediante un serpentín (tubo de polietileno), por donde se hacía circular agua a una temperatura de 95,0°C (figura 1).

Se utilizaron dos sondas para realizar mediciones de la temperatura, para ello se colocó una de ambiente interior de la probeta y otra en el interior de una de las piezas cerámicas.

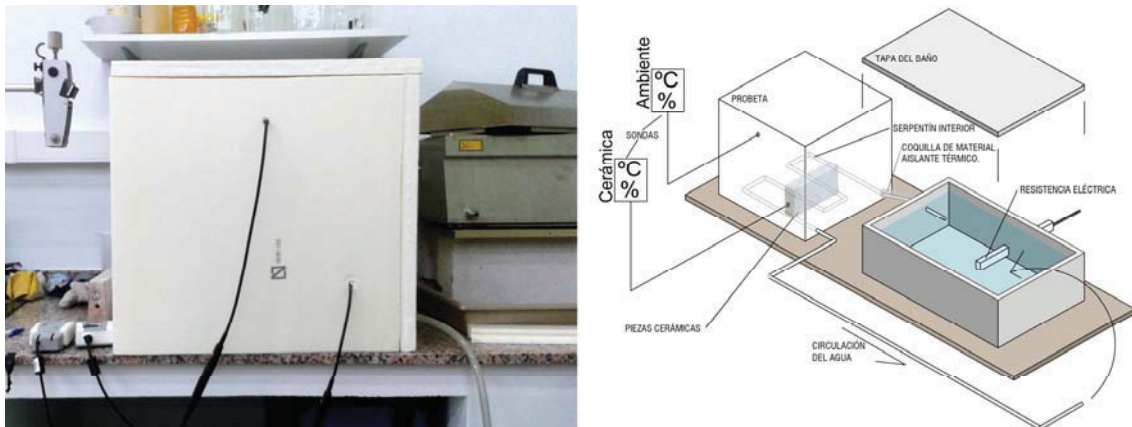


Figura 1. Probeta durante uno de los ensayos y esquema de funcionamiento.

Los ensayos realizados, consistieron en la colocación de un número diferente de piezas cerámicas en el interior de la probeta, y a continuación se incrementó la temperatura del aire interior hasta los 45,0°C, consiguiendo un salto térmico de 25°C con respecto a la temperatura del aire del laboratorio, (entre los 19,5°C y 21,5°C). Finalmente se realizaron comparativas de ciclos de calentamiento y enfriamiento en función de diferentes valores de inercia térmica aportada por las piezas cerámicas (figura 2).

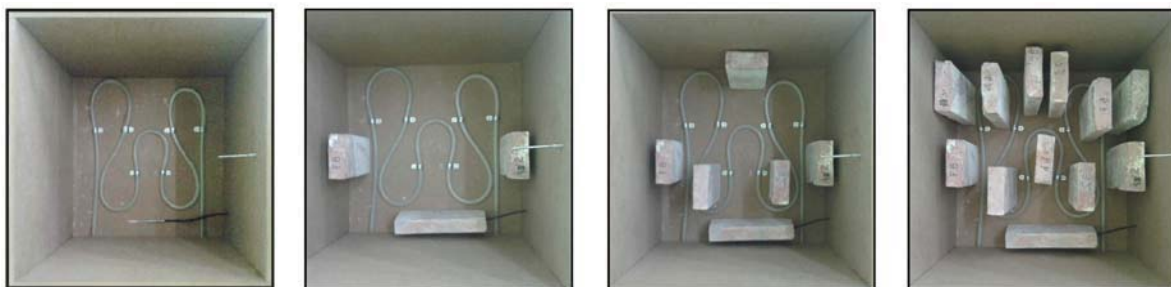


Figura 2. Número de piezas cerámicas para cada uno de los cuatro ensayos.

## **2.2 Bloque 02: masa en la envolvente. Modelización en Energy+**

En una segunda fase de la investigación, se estudió la influencia que ejerce la presencia de masa térmica situada en la envolvente de un espacio acondicionado, es decir, en elementos constructivos a través de los cuales se producen intercambios energéticos. O lo que es lo mismo, se estudia como varía el flujo de calor a través de dos cerramientos de igual transmitancia térmica estacionaria, pero diferente masa superficial.

Para estos cálculos, se utiliza una herramienta de modelización energética dinámica (Energy+). Se estudia un espacio acondicionado, paralelepípedo de dimensiones 10m x 10m en planta y 6m de altura (3m por planta), con un porcentaje de huecos en todas las orientaciones del 13%, sin obstáculos remotos de sombra.

Dicho módulo se ubica en dos ciudades con diferente severidad climática (según la clasificación climática del Código Técnico de la Edificación [6] para verano e invierno dentro de la geografía de España: Valladolid (D2) y Sevilla (B4).

A continuación, se definen dos cerramientos de diferente masa. La masa se ubicó en la capa en contacto con el ambiente exterior, con la finalidad de que la masa térmica útil aportada al espacio interior sea la menor posible, y que su incidencia con respecto a la temperatura sol-aire sea alta. Su composición por capas de interior a exterior es la siguiente: trasdosado autoportante de PYL, aislamiento de lana de roca, y en su cara exterior, para el caso ligero un tabicón de ladrillo hueco doble con revoco de mortero, y, en el caso pesado 0,80m de hormigón armado. En los dos casos se mantiene la transmitancia térmica calculada en régimen estacionario, variando el espesor del material aislante. El valor se fija en 0,655W/m<sup>2</sup>K. Finalmente, y con la intención de estudiar la incidencia de la radiación solar, se estudian los cerramientos norte y sur.

Por lo tanto, se generan las siguientes situaciones: dos ubicaciones (Valladolid y Sevilla), dos estaciones (invierno y verano), dos orientaciones (norte y sur) y dos cerramientos con diferente masa. La combinación de ellos hace un total de 16 casos para estudio.

## **3 RESULTADOS**

### **3.1 Resultados bloque 01. Masa en el interior**

Los resultados del primer bloque de ensayos (Figura 3) muestran una relación directa entre la cantidad de piezas, (masa térmica), y el tiempo necesario para alcanzar los 45°C (temperatura de referencia para el ensayo). Además de esto, la temperatura máxima que alcanza la cerámica es mayor cuanto mayor número de piezas haya en la probeta. Esto es, la temperatura del aire y la de las piezas se asemejan.

Durante el período de enfriamiento, con mayor presencia de inercia, mayor es el tiempo que tarda en enfriarse el interior, llegando incluso, en ensayo con 12 piezas, a tener un incremento de dos grados pasadas 23 horas con respecto a la temperatura inicial. De igual forma, la curva de temperatura ambiente, tiende a pegarse a la curva de temperatura de la cerámica.

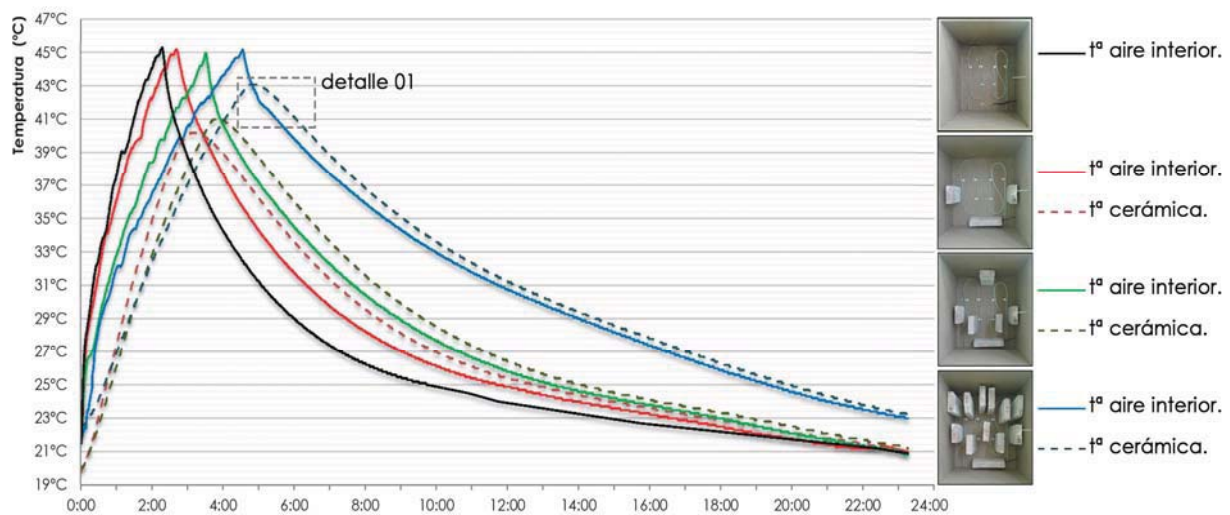


Figura3. Gráfica de temperatura ambiente interior y cerámica / tiempo.

En el *detalle 01* correspondiente al ensayo con 12 piezas cerámicas, se puede apreciar una pendiente de caída en la temperatura del aire hasta descender 1°C por debajo de la temperatura de la masa cerámica, donde cambia su pendiente para adoptar una curva prácticamente paralela a la de la cerámica, pero ligeramente inferior.

### 3.2 Resultados bloque 02: masa en la envolvente.

Se muestra, a modo de ejemplo (figura 4), una de las gráficas comparativas del estudio que se realizaron para cada uno de los 16 casos. Este caso es un cerramiento orientado a sur en una semana tipo de invierno en Valladolid. En el gráfico se representa en forma de líneas: la temperatura del aire exterior, la temperatura superficial del cerramiento interior y exterior; y en forma de barras, el flujo de energía a través del mismo. A la derecha del gráfico se representa el flujo de energía acumulado en seis días para los dos casos.

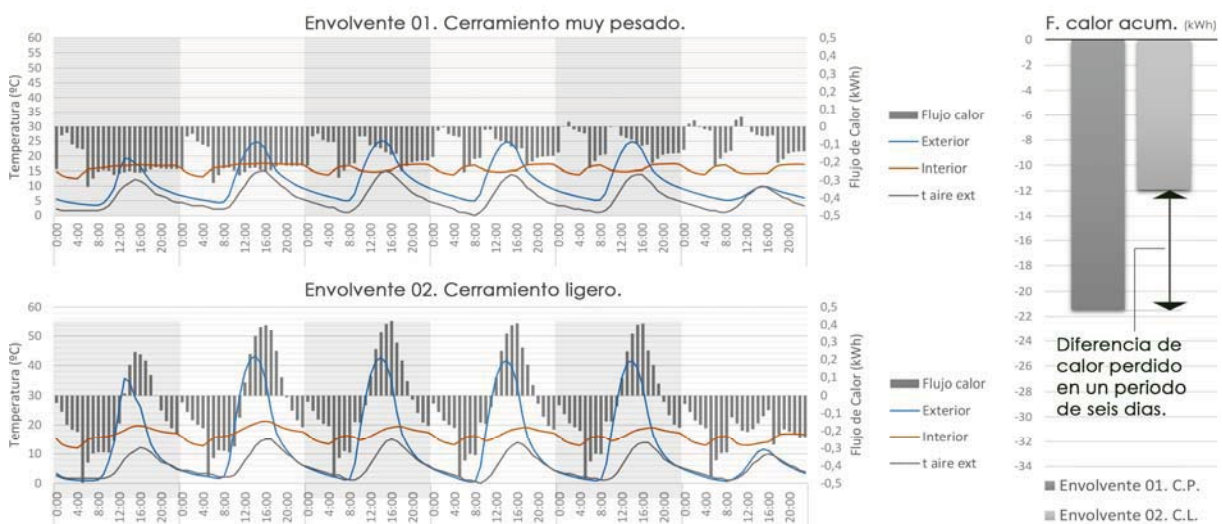


Figura4. Estudio del caso de un cerramiento sur en Valladolid durante el invierno.

Se observó que la transferencia de energía por m<sup>2</sup> de cerramiento es muy diferente en ambos casos. En el caso ligero, los flujos negativos en periodos nocturnos tienen valores más elevados en términos absolutos, pero existen flujos positivos en periodos de radiación solar. Por el contrario, en el caso pesado, los flujos son constantemente negativos.

Este mismo análisis se realizó para los 16 casos expuestos. Se estudian los flujos de calor a través de los dos tipos de cerramiento en los mismos 6 días tipo para el caso de verano y de invierno, y se calcula la diferencia de energía que se ha cedido o ganado a través de los dos cerramientos con igual transmitancia térmica estacionaria. Esta diferencia es la que se muestra en la siguiente gráfica (figura 5). De esta forma se obtienen 8 datos de diferencia de flujo, los cuales se expresan en kWh/m<sup>2</sup>, y %:

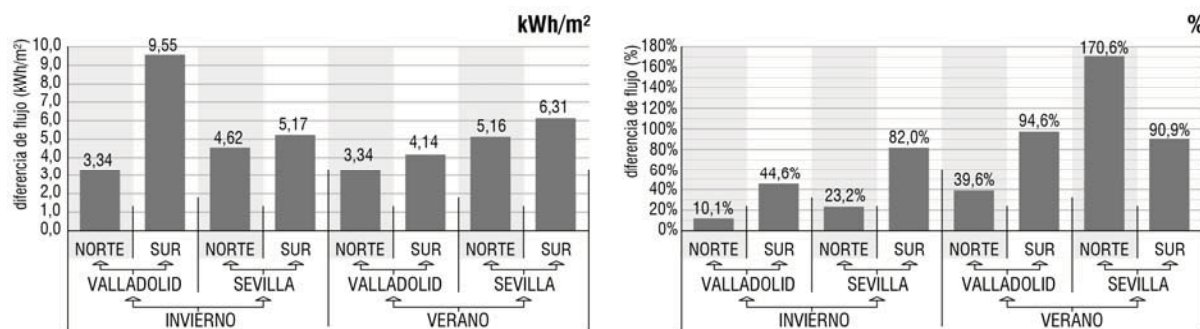


Figura 5. Diferencias de flujo entre el caso ligero y el pesado (en kWh/m<sup>2</sup> y %).

Si bien los sistemas constructivos estudiados son casos extremos y no comunes en las soluciones más extendidas, se observa que en todos los casos existe una diferencia importante en la cantidad de energía ganada o cedida a través de los cerramientos. Por lo tanto, se concluye que el parámetro "transmitancia térmica estacionaria" es inexacto para cuantificar los intercambios energéticos que se producen en un cerramiento en un régimen dinámico.

#### 4 CONCLUSIONES

Al finalizar esta serie de ensayos, se aprecia de forma clara que la presencia de inercia térmica tiene una influencia en dos vertientes: en primer lugar actuando como acumulación de calor en un espacio interior (grupo de ensayos 01), donde si la masa se encuentra en el interior, su masa térmica útil será del 100%, pero si se encuentra en la envolvente su masa térmica útil será menor (en función de la posición con respecto al material aislante, etc.), pero el efecto de acumulación energética es similar. Por el contrario, cuando esta se encuentra en la envolvente térmica, además de esta acumulación, se aprecia otro efecto muy importante que es la alteración en los intercambios de calor del espacio interior con el exterior, es decir, cuando un flujo de energía atraviesa un elemento constructivo, la masa de dicho elemento tiene una influencia importante en dicho flujo. El cálculo de la transmitancia térmica estacionaria no tiene en cuenta la masa de los materiales que forman los sistemas constructivos, por lo tanto, se concluye que se trata de un parámetro inexacto, el cual aumenta su inexactitud a medida que aumenta la masa de los cerramientos, es decir, cuanto más masa tenga un cerramiento más se aleja su comportamiento dinámico de un cálculo en régimen estacionario.

#### 5 DISCUSIÓN

Existen diferentes estudios en los que se han definido diferentes parámetros para cuantificar el efecto de la masa térmica en los cerramientos cuando estos se someten a ondas térmicas periódicas, como la impedancia térmica [3], o la resistencia térmica aparente [5], pero ninguna de ellas se ha introducido finalmente en cálculos según normativa.

Por otro lado, se ha realizado una revisión de algunas normativas energéticas de países europeos para comprobar si se contempla la inercia térmica en cálculos en régimen estacionario. La normativa italiana (D.P.R. 59/2009) [7] define un parámetro que tiene en cuenta la masa de los cerramientos que componen la envolvente. Este es la "transmitancia

térmica periódica" que se define, basándose en la norma UNI EN ISO 13786:2008, como el producto entre la transmitancia térmica estacionaria y el factor de amortiguación ( $0 > F_d < 1$ ). La exigencia se contempla para localidades con un valor medio mensual de radiación solar sobre plano horizontal superior a  $290 \text{ W/m}^2$ . Para estos casos, la normativa exige cumplir con un determinado peso de los cerramientos y unos valores de transmitancia térmica periódica mínimos en fachadas y cubierta.

Queda, por lo tanto, de manifiesto, que el parámetro "transmitancia térmica estacionaria" tiene limitaciones a la hora de definir las características de un cerramiento. Si se tiene en cuenta que en el nuevo CTE\_DB\_HE (2013), la transmitancia térmica estacionaria no es una exigencia, y que la mayoría de los cálculos que se realizan son en régimen dinámico, (tienen en cuenta la masa), se hace necesario incorporar en el documento valores de referencia que tengan en cuenta estas variables, como ayuda destinada a los proyectistas, y no solo las transmitancias térmicas estacionarias.

## 6 AGRADECIMIENTOS

A J.M. Olivar, técnico de laboratorio de la ETSA de Valladolid por su ayuda incondicional en la construcción de la probeta. A la ETSA de Valladolid, por facilitar los medios necesarios.

## 7 REFERENCIAS

- [1] Agrupació AuS: Arquitectura i Sostenibilitat. (2013). Inèrcia tèrmica a les cases passives. Consultada el 15/11/2013 en <http://www.coac.net/aus/bloc/?p=2105>
- [2] Carrasco, J.A.; Dominguez, M.; Diaz, J.M. (1986). La impedancia térmica en los cerramientos. Montajes e Instalaciones, n.181, p. 23-30.
- [3] Dermirbilek F.N., Yener C., (1996). A proposal for correction values for winter outdoor design temperatures. Solar Energy vol 57, No 2, pp 111-116.
- [4] Domínguez, M. García, D. (1999). La impedancia térmica de los cerramientos. Nuevo concepto que puede facilitar de forma considerable el ahorro energético. Nueva arquitectura, n.10, p. 69-84
- [5] Domínguez, M.(CSIC); Santamaría, S. (CIDEMO) (2001). Importancia de la inercia térmica de los cerramientos. ConArquitectura, nº03, p. 49-56.
- [6] España. CTE (Código Técnico de la Edificación) Documento básico. Ahorro de energía HE. Septiembre 2013.
- [7] Italia. Decreto del Presidente de la República abril 2, 2009, n.59. Reglamento para la aplicación del «Artículo 4, apartado 1, letras a) y b) del Decreto Legislativo 19 agosto 2005, no.192, relativo a la aplicación de la Directiva 2002/91/CE relativa a la eficiencia energética de los edificios.
- [8] Neila González, F.J.; Bedoya Frutos, C. (2003). El comportamiento térmico y la inercia térmica de las fábricas de bloques con termoarcilla. Nueva arquitectura, n. p63-73.
- [9] Oliver Ramírez, Alicia, (2009). Integración de materiales de cambio de fase en placas de yeso reforzadas con fibras de polipropileno. Tesis doctoral.
- [10] Pinot, Jean-Michel; Velez, Pedro; Tintore, Joaquin; Lopez Jurado, Jose Luis (1997). The thermal-lag effect in sbe-25 ctds: importance of correcting data collected in the mediterranean summer thermocline. Scientia Marina (61) p.221-225.
- [11] Turégano, J.A.; Hernández, M.A.; García F. (Grupo Energía y Edificación) (2003). La inercia térmica de los edificios y su incidencia en las condiciones de confort como refuerzo de los aportes solares de carácter pasivo. Conarquitectura, nº8, pag. 65, 80.