

Factores importantes en el comportamiento térmico de cerramientos. Ventajas de la incorporación de los materiales de cambio de fase.

Manuel Domínguez. Carmen García. José M^a Arias. Instituto del Frío. CSIC.
Antonio Novais 10. 28007 Madrid. Domínguez@if.csic.es

www.grupodominguezinstitutodelfrio.es

Resumen

Se analizan los principales factores que afectan a los cerramientos o muros de las construcciones, en el comportamiento real, o sea en régimen variable, que son las resistencias y las capacidades térmicas de los diversos materiales que los constituyen y las frecuencias de las ondas térmicas. Se resalta la importancia que presenta el número adimensional, producto de la resistencia **R**, por la capacidad **C**, por la frecuencia ω (ωRC), en el comportamiento térmico de los cerramientos.

La impedancia térmica de los materiales homogéneos, depende del producto indicado siendo mejor, es decir más aislante, cuando es más alto.

Se destacan las ventajas que se ven al poder emplear los materiales de cambio de fase o PCM en la construcción, en particular micro encapsulado, por presentar en su cambio de fase un calor muy grande o una capacidad térmica equivalente muy alta.



INTRODUCCIÓN

Es bien conocido que las ondas entran o traspasan los medios, mejor o peor, en función de su frecuencia. A las térmicas les pasa lo mismo, las muy cortas se las detiene con facilidad con construcciones sencillas, las muy largas, como pueden ser las anuales, entran con gran facilidad y apenas se retrasan. El retraso de medio año sería maravilloso en climas muy extremos y esto se consigue en las bodegas enterradas y en las antiguas catedrales o castillos, en donde la capacidad y la resistencia térmica son muy grandes.

Las capacidades térmicas dependen del producto: del calor específico, del volumen y de la densidad, es decir, son directamente proporcionales al espesor de los muros, factor también que influye proporcionalmente en la resistencia térmica. Desgraciadamente en la construcción y en particular las de las zonas más pobladas, el espacio es muy importante y se tiende a disminuir los espesores de los muros y sobre todo su peso.

Los materiales aislantes reúnen uno de los condicionantes, que tienen una buena resistencia, debido a su bajo coeficiente de conductividad (que es inversamente proporcional en la resistencia), pero por su baja densidad no presentan gran capacidad. Los materiales de cambio de fase (PCM), presentan lo contrario, gran capacidad, debido no a su valor específico, sino al latente, que en la temperatura de cambio de fase le confieren una capacidad térmica equivalente muy grande. Parece lógico que el conjunto de ambos sea bueno.

Es posible fabricar paneles con vacío y con micro encapsulado, su empleo en la construcción tiene grandes ventajas técnicas, su desarrollo dependerá de su precio y de su adecuada comercialización. Los paneles “súper aislantes” o de medio vacío están en el mercado y precisamente emplean polvo o micro esferas de tamaño de los micro encapsulados que se fabrican habitualmente [1], su fabricación no requiere grandes y costosos desarrollos.

El objeto pretendido, es llamar la atención de la importancia del producto de la frecuencia, por la resistencia y por la capacidad en los cerramientos, y que empleando los PCM micro encapsulados en los aislantes de medio vacío, puede aumentarse la eficiencia energética muy grandemente en la construcción.

PLANTAMIENTO TEÓRICO

En el trabajo que hicimos hace años [2], llegamos a demostrar que la impedancia térmica de un medio homogéneo Z y su desfase δ , en función de la capacidad térmica C

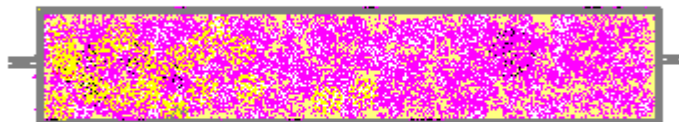
y resistencia térmica R , sometido en una de sus caras por una onda térmica de frecuencia ω , se pueden calcular, respectivamente por las ecuaciones siguientes:

$$|Z| = R \sqrt{\left[1 - \frac{2}{3} \left(\frac{\omega RC}{9}\right)^2\right]^2 + \left[\frac{1}{12} \left(19 \left(\frac{\omega RC}{9}\right) - \left(\frac{\omega RC}{9}\right)^3\right)\right]^2}$$
$$\delta = \text{Arc tg} \left(\frac{\frac{1}{3} \left(19 \left(\frac{\omega RC}{9}\right) - \left(\frac{\omega RC}{9}\right)^3\right)}{4 - \frac{8}{3} \left(\frac{\omega RC}{9}\right)^2} \right)$$

Que como puede verse, la impedancia es directamente proporcional a la resistencia y al valor de una función adimensional, que depende del producto ωRC , también adimensional, lo mismo que le ocurre al desfase.

En el caso de un material “*súper aislante*” tal como el indicado en la figura 1

Panel aislante con PCM micro encapsulado
Instituto del frío CSIC . Julio 2009



Aluminio, barrera de vapor
Micro encapsulado PCM, capacidad térmica
Medio vacío, aislante térmico

Figura 1

El panel aislante estaría formado por un material poroso y un vacío medio, que tuviese un PCM, de características, las recogidas en la tabla 1. En función del espesor, tendría los valores de resistencia y capacidad por m^2 indicados en la tabla 1.

Tabla 1

Coefficiente de conductividad	w/m.K	0,005			
Calor específico aparente	J/Kg.K	145600			
Densidad	Kg/m ³	1000			
Area	m ²	1			
ESPESOR	cm	1	2	5	10
RESISTENCIA	m ² .K/w	2	4	10	20
CAPACIDAD	J/m ² .K	1456000	2912000	7280000	14560000

Aplicando las ecuaciones indicadas, para las diversas frecuencias de la onda, se han obtenido los valores de impedancia y desfase, para los cinco tipos de paneles antes indicados, los recogidos en las tablas respectivas 2 y 3.

Tabla 2

Periodo (días)	Espesor (cm)			
	1	2	5	10
0,1	0,01	0,02	0,02	0,02
0,5	0,12	0,01	0,10	0,12
1,0	0,14	0,12	0,17	0,23
2,0	0,15	0,49	0,18	0,42
3,0	0,15	0,54	0,07	0,56
5,0	0,15	0,57	0,37	0,73
10,0	0,15	0,59	2,14	0,55
20,0	0,15	0,60	3,40	1,50
50,0	0,15	0,60	3,69	12,27
365,0	0,15	0,60	3,75	14,95

Tabla 3

Periodo (días)	Espesor (cm)			
	1	2	5	10
0,1	48,30	4626,90	2762607,0	353419942
0,5	3,49	57,00	22411,0	2829840
1,0	2,40	15,39	2922,9	354699
2,0	2,10	6,99	426,0	44821
3,0	2,05	5,39	156,0	13519
5,0	2,02	4,52	55,2	3086
10,0	2,00	4,13	21,4	483
20,0	2,00	4,03	13,1	111
50,0	2,00	4,01	10,5	35
365,0	2,00	4,00	10,0	20

En las figuras 2 y 3 se han representado los valores indicados en las tablas anteriores.

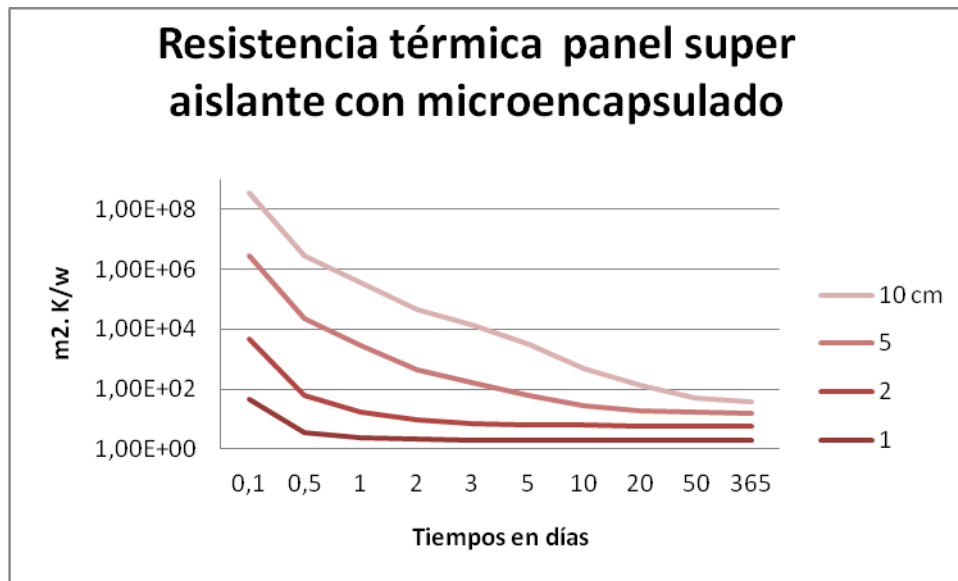


Figura 2

Se puede ver que aumenta mucho la resistencia cuando baja el periodo de la onda en los paneles aislantes con micro encapsulado (**msame**). El desfase también puede verse que aumenta grandemente con el espesor y para periodos altos se pueden conseguir desfases de días y hasta de meses en la onda anual.

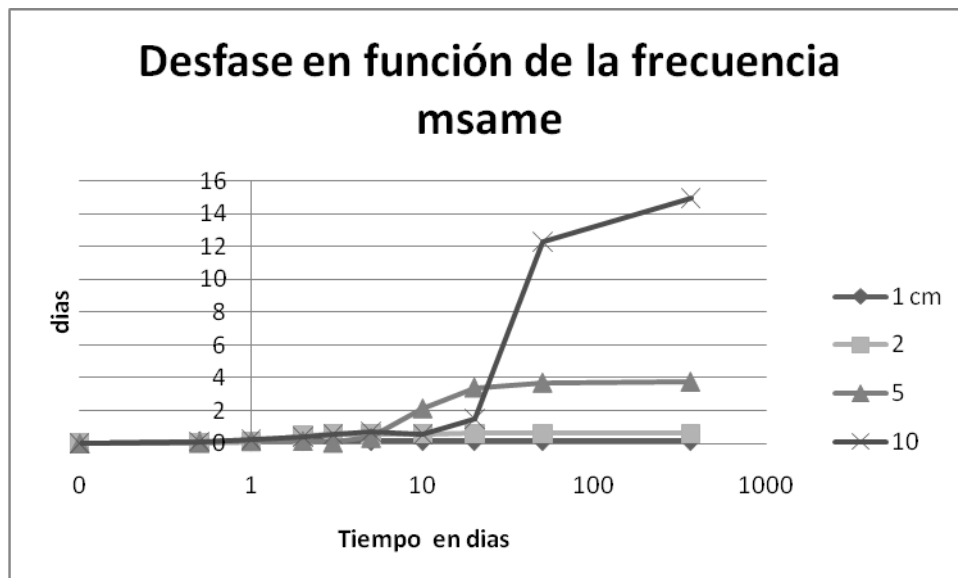


Figura 3

También se podrían emplear otras técnicas de cálculo, como la analogía eléctrica resuelta con ordenador que ha sido descrita y discutida en [3] al [5] o elementos finitos [6] al [8], introduciendo el calor latente como sensible aparente, tal como se ha representado en la figura 4, siendo la base del triángulo, el intervalo de cambio de fase DT del PCM y la altura H , el valor que haga que el área del triángulo S , corresponda a la energía del cambio de fase o calor latente L .

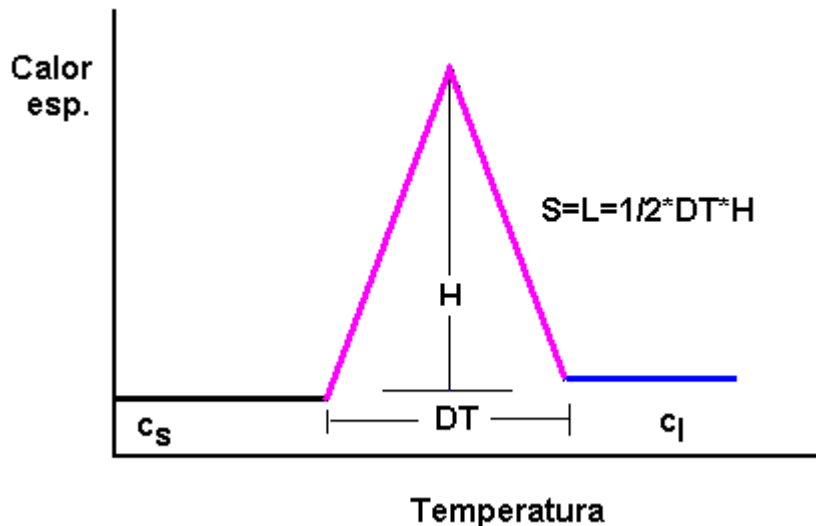


Figura 4

DICUSIÓN

Se piensa que es más sencillo conseguir cerramientos con buenas propiedades térmicas, para frecuencias de las diadas más exigentes, entendiendo por ellas los días sucesivos de temperaturas extremas, suelen oscilar entre 5 a 10 días de duración en nuestras latitudes y no diseñarlos para retrasar la onda anual, medio año, pues serían soluciones costosas. Con retrasos de tres meses, se podrían conseguir unos importantes ahorros y hasta en algunos climas prescindir de los sistemas de producción de frío.

También se considera que es más sencillo y práctico, el pensar en muros de, al menos, dos componentes o elementos yuxtapuestos, con funciones: una resistente y otra capacitiva, la primera podría estar hacia el exterior y la segunda hacia el interior y ser precisamente la temperatura de cambio de fase del PCM, la deseada de confort, por ejemplo de 23 °C. Al ser independientes los espesores de los dos elementos, se facilita mucho el conseguir la optimización de los cerramientos. Se podrían llegar a nuevas soluciones constructivas o a mejorar las existentes, con pequeñas modificaciones, por ejemplo, introduciendo el PCM como un árido en los morteros

Se considera que se requerirían estudios nuevos de transmisión de calor, incluido el cambio de fase, para reducir la etapa de ensayo o de desarrollo. Se podrían emplear los programas de elementos finitos, introduciendo el calor latente como un equivalente sensible, como se puede ver en la figura 4.

El introducir en los muros nuevos materiales, como son los PCM, a parte de los riesgos que pueden suponer ante el fuego, introduce una dificultad de posibles roturas de los contenedores de los mismos y su derrame cuando se encuentran en la fase líquida, para paliarlos se considera que el empleo de la tecnología de micro encapsulación es una solución.

Entre los inconvenientes encontramos: el sobre costo, el riesgo del fuego, que se reduce con el micro encapsulado, el requerir un cierto desarrollo y adaptación a soluciones constructivas, y entre las ventajas: los ahorros energéticos y las posibles mejoras acústicas. Se consideran que pueden ser interesantes, en viviendas industrializadas o prefabricadas y en rehabilitación de edificios.

Es muy posible, que empleándolos conjuntamente con sistemas de enfriamiento que permita solidificar a los acumuladores (cargarlos), como puede ser con agua fría circulando por tubos capilares, pudiera ser muy interesante, tanto instalándolos en muros exteriores o propios cerramientos, como en el resto, forjados y muros interiores. En particular, en soluciones como: techos fríos y suelos radiantes. En museos y algunos tipos de grandes construcciones singulares, la climatización de tipo radiante puede ser muy interesante y atractiva con estos materiales.

CONCLUSIONES

- **Las entradas de calor en las construcciones, se pueden reducir grandemente concibiendo a los cerramientos con otro criterio al actualmente considerado, que es partir del régimen estacionario. Es decir, que en lugar de buscar que la resistencia térmica R sea grande, se debe buscar que lo sea el producto de ésta por la capacidad.**
- **Tanto la impedancia, como el desfase, de los cerramientos dependen del producto ωRC , cuanto más alto sea, es mayor la impedancia o resistencia térmica real. El desfase interesante será de 12 h para la onda diaria y de tres a seis meses en la anual, éste valor puede conseguirse con los PCM.**
- **El introducir los PCM en la construcción, entraña problemas y requiere un desarrollo, siendo en forma de micro encapsulado la más interesante, bien directamente incorporada a los aislantes o a los morteros.**
- **El panel “súper aislante” (aislamiento con vacío) en el que el micro grano es el propio micro encapsulado con el PCM, puede ser una solución muy interesante, sobre todo en la industrialización y rehabilitación de la vivienda.**

REFERENCIAS

- 1] <http://www.microthermgroup.com/EXEN/site/index.aspx>
- 2] Domínguez M.; García D. La impedancia térmica de los cerramientos. Nuevo concepto que puede facilitar de forma considerable el ahorro energético. NA Nueva arquitectura con arcilla cocida n° 10. oct. 1999.69, 84.
- 3] Barragán V.M, Fuentes R, Domínguez M. and. Arias J.M. Testing the computer assisted solution of the electrical analogy in the temperature distribution on a square sheet with no homogeneous boundary conditions. *Anales de Física*. **95** (2000). 139,145.
- 4] Barragán V.M.; Arias J.M^a; Dominguez M; Garcia C. Testing the computer assisted Solution of the electrical analogy in heat transfer processes with a phase change which has Analytical solution. International journal of refrigeration IIF. VOL 25 N° 5 Ag 2002.552-537
http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V4R-466H8BW-4&_user=4225285&_coverDate=08%2F31%2F2002&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&_acct=C000048559&_version=1&_urlVersion=0&_userid=4225285&md5=a52304e301920cc2b699b516c9ac5a6b
- 5] Otis DR. Solving the melting problem using the electrical analogy to heat conduction. PhD thesis. Heat Transfer and Fluid Mechanics Institute. Stanford University. 1956.
- 6] <http://www.iberisa.com/cosmosm/geostar.htm>
- 7] Neto H.M. Deterministic model for an internal melt ice-on-coil thermal storage tank. ASHRAE Transactions 1997; 103 (1).
- 8] Ismail K.A.R.; Jesus A.B.D. Modeling and solution of the solidification problem of PCM around a cold cylinder Numerical Heat transfer Part A. Applicators. Volume 36. Number 1, 1 July 1999 pp 95-114(20)