

UTILIZACION DE SUSTANCIAS ORGANICAS EN EL ACONDICIONAMIENTO TERMICO DE RECINTOS

Angélica Boucíguez¹ y Miguel Angel Lara²

¹ Facultad de Ciencias Exactas. Universidad Nacional de Salta.

Av. Bolivia 5150. Salta. Tel. 0387 – 4255424 – E-mail:bouciga@unsa.edu.ar

² Instituto de Física Rosario (CONICET) - Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Rosario.

Av. Pellegrini 250. Rosario. Tel. 0341– 495467 (int. 33) – E-mail:malara@fceia.unr.edu.ar

RESUMEN: En este trabajo se presenta el análisis del comportamiento de sustancias orgánicas, con el propósito de acondicionar térmicamente recintos destinados a diversos usos. Tales sustancias presentan cambio de fase sólido – líquido a temperaturas próximas a la que deseen mantenerse los locales, el mismo se coloca como parte integrante de las paredes del recinto cumpliendo la función de absorber el calor del ambiente por un lateral y atenuar los cambios en la temperatura ambiente exterior por el opuesto.

Palabras claves: cambio de fase, acondicionamiento térmico, sustancias orgánicas, temperatura de fusión.

INTRODUCCION

La utilización de sustancias de cambio de fase de origen orgánico en el acondicionamiento térmico de locales destinados a distintos usos ha sido estudiada con anterioridad, considerando que la misma se encuentra inicialmente a la temperatura de fusión. (Hasan y Sayigh, 1994; Hamdan y Elwerr, 1996; Farid et al, 2004) Estas sustancias no presentan, problemas de subenfriamiento ni deterioro tras sucesivos ciclos de fusión – solidificación, a la vez que ser químicamente más estables que las inorgánicas. (Swet, 1981) Asimismo, por tener una alta viscosidad, no se producen movimientos convectivos apreciables por lo que el tratamiento matemático y numérico resulta solo conductivo.

En trabajos anteriores se ha planteado la posibilidad de utilizarlas como moderadoras de temperaturas en el acondicionamiento térmico de recintos, tanto de locales fijos como móviles. (Boucíguez et al, 2006; Boucíguez y Lara, 2007) Podrían utilizarse también como energía auxiliar ante cortes de suministro eléctrico o bien en forma alternada con intervalos de acondicionamiento con energía convencional, lo que permite un ahorro significativo en el consumo de energía.

En este trabajo se propone la utilización de sustancias orgánicas que presentan cambio de fase en el rango de temperatura al que desea mantenerse un local, como moderadoras de temperatura del mismo. Las sustancias, convenientemente envasadas en recipientes construidos a tal fin, se colocan como parte integrante de las paredes del recinto o de divisiones internas, pudiendo adosarse a construcciones ya existentes, asimismo contribuyen a controlar las temperaturas provenientes del ambiente exterior.

Dado que recibirán calor del propio ambiente a acondicionar (por acción de las personas o de lo colocado en él) tales sustancias deberán encontrarse inicialmente sólidas a la temperatura igual o menor a la de fusión, de modo que absorban este calor. Asimismo, a los efectos de no aumentar el tamaño del recinto ni el peso de la construcción el espesor de dicha pared no deberá ser significativo, por lo que se ha considerado que no supere los 15 cm. Los estudios realizados demuestran que este espesor y aún menores, son suficientes para mantener acondicionado el local, contribuyendo así al ahorro de energía convencional. Un esquema del recinto con las paredes de cambio de fase se presenta en la Figura 1, donde se muestra también ampliada la pared de cambio de fase sujeta a condiciones de ingreso de calor, desde el interior del recinto y del ambiente exterior.

La pared de cambio de fase, absorbe por uno de sus laterales (el que está en contacto con el local) el calor generado en él, mientras que el lateral opuesto (el que está en contacto con el exterior) actúa como aislante térmico moderando la influencia de la temperaturas externa. Las dimensiones de la pared son: $h=1.2\text{m}$ de alto por $e=0.125\text{m}$ de ancho, la misma puede ser adosada a otra ya existente o bien ser construida especialmente para esta finalidad.

Dado que, deberá absorber el calor generado en el recinto por uno de sus laterales la condición de contorno en él será este flujo de calor, el que se ha considerado que aumenta ligeramente en el tiempo. La pared opuesta, que está en contacto con el exterior, tiene condición de temperatura externa, la que se ha considerado que oscila de modo que represente las temperaturas a los largo del día, lo que lleva a la aparición de varias interfases líquido – sólido, hecho que ya se ha estudiado en el caso unidimensional. (Boucíguez et al, 2004) Este caso resulta particularmente interesante dada precisamente la presencia de dichas interfases. La pared inferior se encuentra aislada adiabáticamente suponiendo que se trata del suelo o del aislamiento de un transporte y la superior sometida a una temperatura que se ha considerado constante.

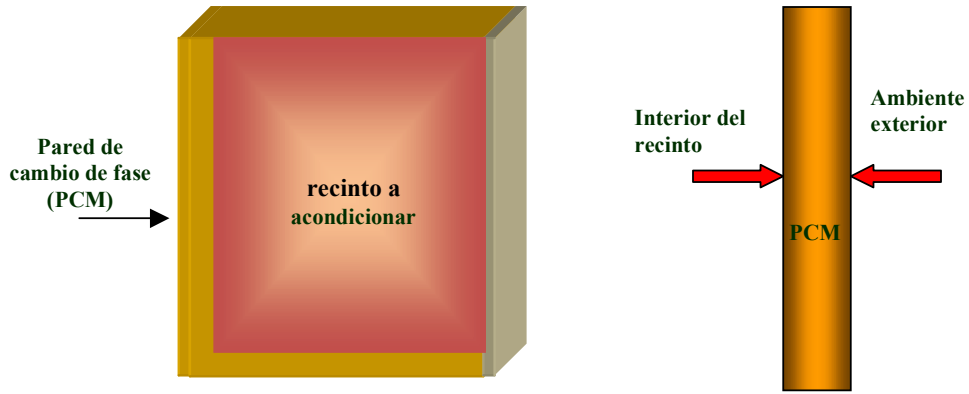


Figura 1: Esquema de la pared de cambio de fase utilizada para controlar la temperatura

FORMULACION Y PLANTEO DEL PROBLEMA

Al analizar la situación planteada se observa que dada las dimensiones involucradas se trata de un problema bidimensional, hecho a tener en cuenta en la formulación y el planteo del mismo. También es necesario tener presente que, por existir una temperatura oscilante podrán presentarse varias interfases, siendo la posición de éstas incógnitas adicionales del problema. La situación inicial es sustancia sólida a temperatura menor a la de fusión.

La forma más adecuada para tratar estos casos es el método de la entalpía, el que permite evaluar en cada instante y para cada elemento de volumen, la entalpía y con ella la temperatura y la fracción de líquido presente, siendo precisamente este parámetro el que se utiliza para calcular, a posteriori, la posición de las interfases.

Llamando $h(x,y,t)$ a la entalpía, $u(x,y,t)$ a la diferencia entre la temperatura alcanzada por la sustancia y la de cambio de fase y $f(x,y,t)$ a la fracción de líquido presente como funciones de las variables espaciales x e y y del tiempo t , el problema matemático queda completamente descrito por las ecuaciones (1) y (2), sujetas a las condiciones iniciales y de borde de cada problema particular. En este caso se ha considerado que la sustancia se encuentra inicialmente sólida a temperatura menor a la de fusión, hecho que se expresa en las ecuaciones (3) a (5) mientras que las respectivas condiciones de borde se señalan en las ecuaciones (6) a (9). En ellas t_h es el tiempo en horas, i y j son contadores de los pasos espaciales Δx y Δy en x e y respectivamente.

$$u(x,y,t) = \begin{cases} \frac{h(x,y,t)}{\rho c} & h(x,y,t) \leq 0 \quad \text{sólido} \\ 0 & 0 < h(x,y,t) < \rho L \quad \text{interface} \\ \frac{h(x,y,t) - \rho L}{\rho c} & h(x,y,t) \geq \rho L \quad \text{líquido} \end{cases} \quad (1)$$

$$f(x,y,t) = \begin{cases} 0 & u(x,y,t) \leq 0 \quad \text{sólido} \\ \frac{h(x,y,t)}{\rho L} & 0 < h(x,y,t) < \rho L \quad \text{interfase} \\ 1 & h(x,y,t) \geq \rho L \quad \text{líquido} \end{cases} \quad (2)$$

$$u(x,y,0) = 0 \quad (3)$$

$$h(x,y,0) = 0 \quad (4)$$

$$f(x,y,0) = 0 \quad (5)$$

Condición de contorno en el borde inferior ($y=0$)

$$u_x(x,0,t) = 0 \quad e > x > 0 \quad t > 0 \quad (6)$$

Condición de contorno en el borde superior ($y=h$)

$$u(x, h, t) = 2 \cdot u_b \quad e > x > 0 \quad t > 0 \quad (7)$$

Condición de contorno en el borde izquierdo ($x=0$)

$$u(0, y, t) = u_b \cdot \left(1 + \frac{1}{2} \frac{j \Delta y}{h} \right) \cdot \text{sen} \left(\pi \frac{t_h}{12} \right) \quad y \geq 0 \quad t > 0 \quad (8)$$

Condición de contorno en el borde derecho ($x=e$)

$$q(e, y, t) = q(t) = q_0 \cdot (1 + 0.02t_h) > 0 \quad y > 0 \quad t > 0 \quad (9)$$

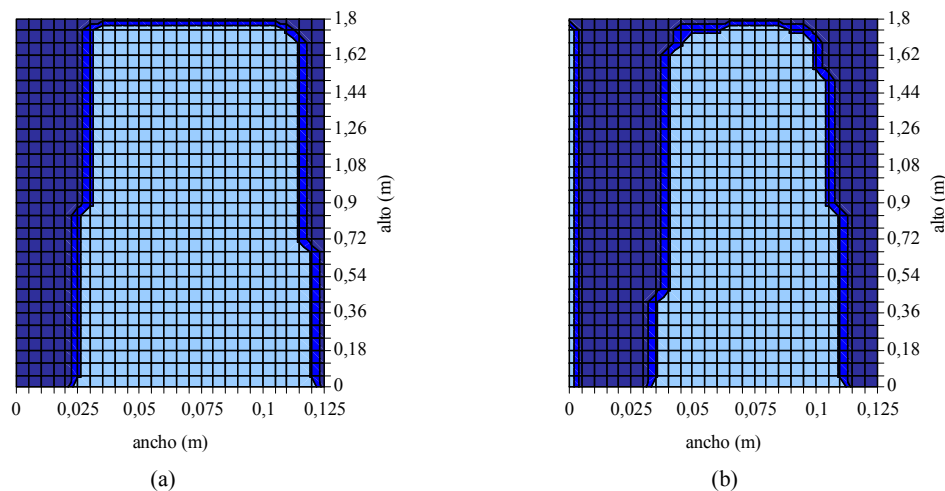
Con las condiciones externas propuestas, se observa que por la cara derecha (la que se encuentra en contacto con el recinto) siempre ingresa un flujo de calor, por tanto la sustancia de cambio de fase se tornará líquida aumentando su temperatura con el transcurso del tiempo. Contrariamente, en la cara izquierda la temperatura varía en forma senoidal, representando las variaciones día – noche, siendo $u_b=10^\circ\text{C}$, así en algún momento estará por encima y en otros por debajo de la temperatura de fusión, dando lugar a la aparición de fases líquidas y sólidas intercaladas, lo que implica la presencia de varias interfases sólido – líquido. La cara inferior se mantiene aislada, mientras que en la cara superior la temperatura se ha considerado constante e igual a $2 u_b$. Es de hacer notar que dada la definición de $u(x, y, t)$, todas las temperaturas que aparecen en el trabajo están referidas a la de fusión, por tanto 10°C , significa esta cantidad de grados por encima de aquella.

Para realizar la simulación numérica del comportamiento de la sustancia de cambio de fase se ha desarrollado un modelo de cálculo en diferencias finitas explícitas que evalúa simultáneamente la temperatura y la fracción de líquido presente en cada pequeño volumen en que se ha dividido el interior del material, obteniéndose con este último valor la posición de la interfase.

RESULTADOS OBTENIDOS Y ANALISIS DE LOS MISMOS.

En la Figura 2 [(a) – (f)] se muestra la posición de las distintas interfases al cabo de 6, 12, 18, 24, 30 y 36 horas. En estos intervalos de tiempo es donde se producen los cambios más significativos en las posiciones de las mismas, notándose la aparición de las diferentes interfases sólido – líquido a lo largo del proceso. En ellas, el color celeste representa al sólido, el azul oscuro al líquido y el azul claro la zona de coexistencia de ambas fases.

En ella se observa la presencia de varias interfases, desde el lateral izquierdo, a partir del momento en que la temperatura externa desciende por debajo de la de fusión, tal como puede verse en la parte (b) donde comienza a aparecer una nueva fase sólida, la que va extendiéndose hasta confundirse con el sólido originalmente presente, tal como se aprecia en la partes (c) y (d); en esta última se aprecia también la aparición de una nueva fase líquida la que, producto del aumento de temperatura externa, se extiende en el tiempo tal como se ve en la parte (e). A partir de las 36 hs, como se ve en la parte (f), comienza nuevamente el proceso de solidificación desde el lateral en contacto con el exterior. Desde el lateral derecho, se observa que la sustancia va tornándose siempre líquida, debido al ingreso continuo de calor, proveniente del recinto, desde ese lateral; no llegando al cabo de 36 horas a lograr fundir el por completo a la sustancia, ya que su interior permanece sólido tal como se aprecia en la parte (f) de la figura.



En las Figuras (3) a (5) se ha graficado el perfil de temperaturas en el interior de la sustancia de cambio de fase, en todo el ancho del material, (desde 0 a 0.125 m) para distintas alturas, al cabo de 12, 24 y 36 horas. En la leyenda de las figuras se especifica la altura a las que se grafica la temperatura. En todas ellas se ha seguido el mismo código de colores y de símbolos.

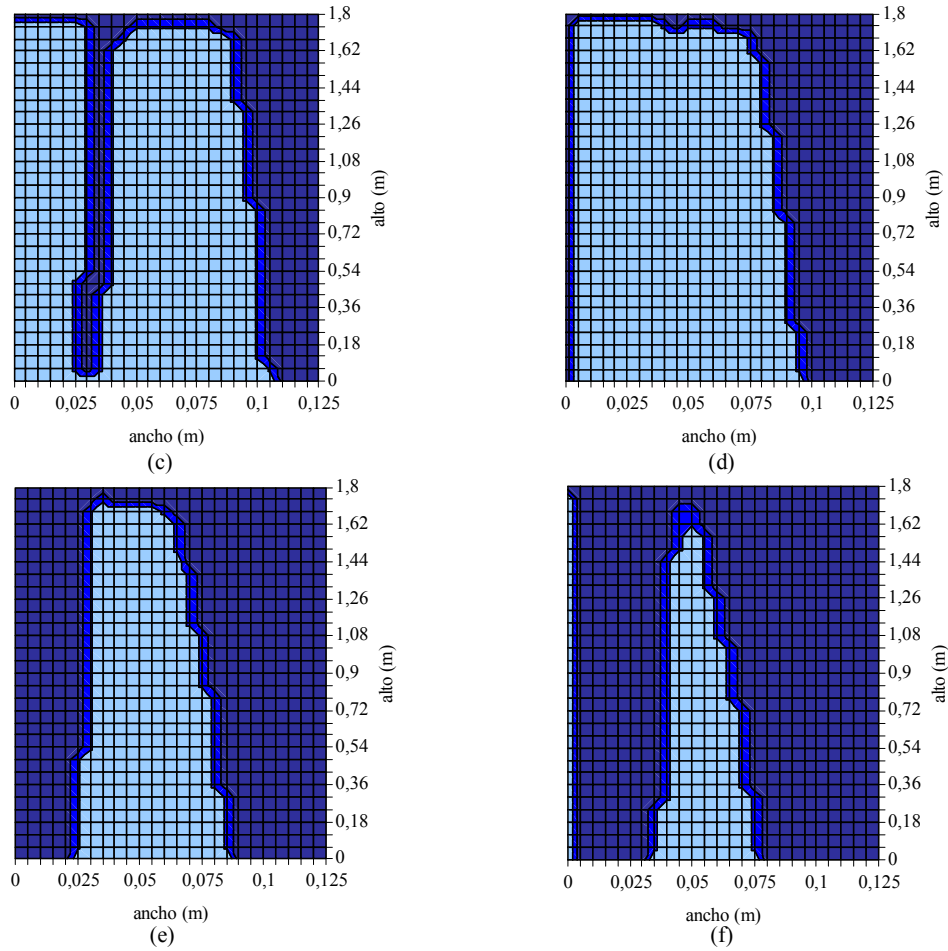


Figura 2: Distribución de sólido, líquido e interfases al cabo de 6, 12, 18, 24, 30 y 36 horas

En ellas se observa, al igual que en la Figura 2, que el interior del material permanece sólido a temperatura ligeramente menor a la de fusión, pero que su espesor varía en el tiempo, como resultado de las condiciones externas a la que está sometido. Se aprecia también, el avance significativo del líquido desde el lateral derecho a medida que transcurre el tiempo, producto del ingreso continuo de calor; esta interfase se desplaza a una velocidad promedio de 0.17 cm/h.

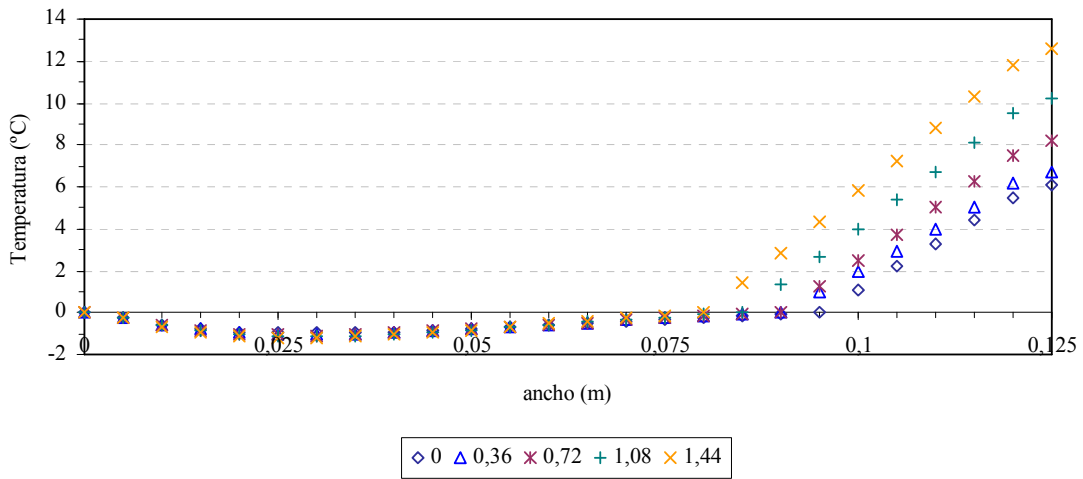


Figura 6: Distribución de temperaturas para distintas alturas al cabo de 12 horas.

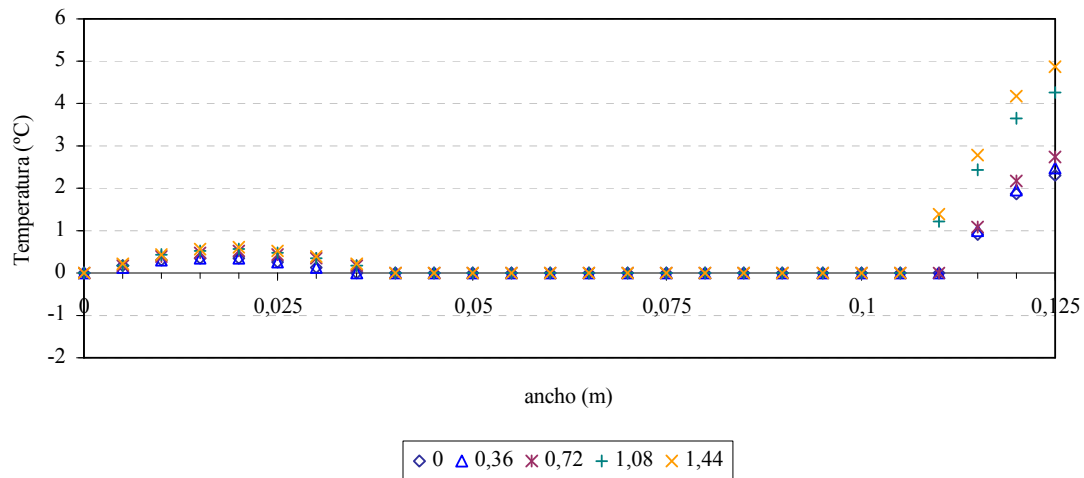


Figura 7: Distribución de temperaturas para distintas alturas al cabo de 24 horas.

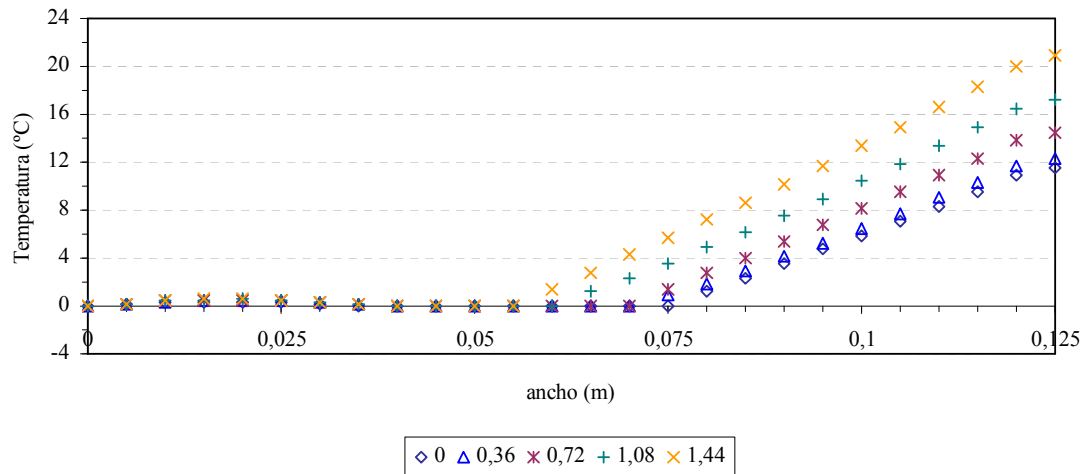


Figura 8: Distribución de temperaturas para distintas alturas al cabo de 36 horas.

Es estas figuras se observa la variación de la temperatura a medida que transcurre el tiempo, tanto en el sólido como en el líquido. Así, el espesor promedio del sólido en el interior es de unos 6 cm a las 12 horas, de 3.5 a las 24 horas y de casi 2 cm a las 36 horas. Esta disminución se debe principalmente al aumento de líquido desde el lateral derecho, que es el que siempre recibe calor, el que incrementa desde 1.5 a 5.5 cm entre las 12 y las 36 horas. Se observa también que las temperaturas aumentan considerablemente en el lateral derecho, producto del ingreso continuo de calor, lo que implica que para un adecuado acondicionamiento por más de 12 horas deberían agregarse paneles internos de cambio de fase que contribuyan a absorber el calor adicional o bien utilizar energía auxiliar para facilitar su evacuación. Sin embargo, conviene señalar que el flujo empleado en el cálculo es relativamente alto, lo que se hizo con la finalidad de evaluar el comportamiento de la sustancia de cambio de fase en condiciones adversas. Una correcta ventilación natural de los recintos favorecería, también, a la circulación de aire y la remoción del calor.

Es de hacer notar que el valor cero de temperatura corresponde a la de fusión de la sustancia de cambio de fase, lo que implica que los valores de temperatura obtenidos corresponden a cuanto se ha elevado su valor por encima de ella. Esta elección de referenciar dichos valores a la temperatura de fusión permite generalizar el cálculo a cualquier situación, independizándose del que se desee mantener el ambiente y del rango de temperatura en que se le permita oscilar alrededor de ella.

CONCLUSIONES

El modelo de cálculo utilizado es relativamente sencillo de implementar y lo suficientemente versátil para adaptarse a cualquier condición inicial y de contorno, de modo que permite realizar una evaluación del comportamiento de la sustancia

de cambio de fase y de las temperaturas que alcanzará, siendo de especial interés la de la pared que colinda con el ambiente a acondicionar. El programa permite introducir las condiciones externas y las iniciales, las dimensiones de la pared de cambio de fase, así como cambiar el flujo de calor y la forma en que éste varía en el tiempo.

Los resultados obtenidos, para las condiciones planteadas, que como se dijo no constituyen las más favorables, muestran el creciente aumento del líquido desde el lateral derecho, ($x=e$) lo que pone de manifiesto que la sustancia de cambio de fase absorbe el calor proveniente del ambiente. Se observa también que para el flujo de calor analizado podría mantenerse el local confortable, si se tratara de una vivienda, por unas doce horas, período este que podría pensarse que corresponde a las horas del día; debiendo recurrirse a energía auxiliar, si se necesita hacerlo durante una mayor cantidad de tiempo. Respecto de las condiciones externas, cuyas influencia se evidencia en el lateral izquierdo, la sustancia es capaz de absorber estos cambios.

Asimismo se observa que los espesores necesarios para tal acondicionamiento, no influyen significativamente en las dimensiones del recinto a acondicionar, pudiendo agregarse los paneles de cambio de fase a los habitáculos ya construidos. La razón de poco volumen (y por ende, de peso) es importante en las construcciones, pero sobre todo es vital cuando se piensa en su instalación en vehículos para el traslado de personas o el transporte de productos: químicos, alimenticios, medicinales, etc. ya que de ser importante el incremento de volumen, implica el agregado de un peso adicional y la disminución del espacio útil en el interior del vehículo. La densidad de las sustancias de cambio de fase, hace que tanto el volumen como el peso de los paneles, no sean relevantes en el momento de considerar su adición.

La elección del material de cambio de fase dependerá de las temperaturas a las que deba mantenerse el recinto y de la cantidad de calor que en él se genere, con ello se determinarán las condiciones de uso y el tiempo en que deba utilizarse este acondicionamiento; así como la necesidad o no, de utilizar energía auxiliar; pero sin duda constituyen una alternativa importante en el acondicionamiento térmico con el consiguiente ahorro de energía convencional.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha desarrollado en el marco del Proyecto de Investigación N° 1554 del Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Salta, a quien se agradece su financiamiento.

REFERENCIAS

- Boucíguez, A. Cardón L y Lara, M. (2004) Posiciones de la Frontera Libre y Distribución de Temperatura en una Sustancia de Cambio de Fase Sometida a una Variación Senoidal de la Temperatura Externa. *Energías Renovables y Medio Ambiente. Revista de la Asociación Argentina de Energía Solar. Buenos Aires, Argentina. Vol. 14, pág. 9 - 12.*
- Boucíguez, A; González, J y Lara, M. (2006) Comportamiento de una Pared de Cambio de Fase Sujeta a Condiciones Externas por Ambos Laterales. *Revista Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol.18, pp. 51 – 57.*
- Boucíguez A y Lara, M. (2007) Thermal Conditioning for Agricultural Products: An Energy Saving Proposal. VII Latin American Congress (GLAGTEE), Valparaíso, Chile, 2007. A5-007
- Farid, M; Khudhair, A; Razack, S; Al-Hallaj, S. (2004) A Review on Phase Change Energy Storage: Materials and Applications. *Energy Conversion and Management 45, 1597 – 1615.*
- Hamdan, M y Elwerr, F. (1996) Thermal Energy Storage Using A Phase Change Material. *Solar Energy, Vol. 56, N° 2, pp. 183 – 189.*
- Hasan, A y Sayigh, A. (1994) Some Fatty Acids as Phase Change Thermal Energy Storage Materials. *Renewable Energy, Vol. 4, N° 1, pp. 69 – 76.*
- Swet, Ch. (1981) Energy Storage for Solar Applications. Cap. 6. *Solar Energy Handbook. J. Kreider and F. Kreith. Mc Graw Hill Book Company.*

USING ORGANICS SUBSTANCES IN THE THERMAL CONDITIONING OF ROOMS

ABSTRACT: The analysis of the performance of organics substances used for the thermal conditioning in rooms for different uses is presented here. These substances have the melting point at next temperature to which want to stay the local and they are placed as an integral part of the storage wall, with the purpose of absorb the generated heat in the ambient and control the oscillations of the external temperature.

Keywords: phase change, thermal conditioning, organics substances, melting point.