

## COMPORTAMIENTO TERMICO DE ELEMENTOS DE ACUMULACION POR CAMBIO DE FASE

Angélica Bouciguez, Gloria Plaza\* y Luis Saravia\*\*  
INENCO\*\*, Universidad Nacional de Salta  
Buenos Aires 177 - 4400 - Salta.

### RESUMEN:

En trabajos anteriores (1) y (2) se muestra la importancia de la utilización de materiales de cambio de fase orgánicos en el acondicionamiento pasivo de viviendas.

Estos materiales pueden ser incorporados a las mezclas de construcción a colocarse sobre las paredes del local, o utilizarse directamente puros, como parte de colectores integrados en las paredes norte del edificio. A efectos de determinar el comportamiento térmico de estos elementos y con el fin de poder diseñar los mismos, se han realizado experiencias de calentamiento y enfriamiento del material.

Con el fin de interpretar dichos resultados se ha desarrollado un modelo computacional del proceso de calentamiento del material y su posterior cambio de fase. En el caso de materiales incorporados a mezclas de construcción la fase líquida no presenta convección y se resuelve la ecuación del calor en ambas fases sujeta a las condiciones de borde y el comportamiento en la interfase. En el caso de usar material puro se producen movimientos convectivos en la fase líquida que uniformizan rápidamente su temperatura, debiéndose introducir coeficientes convectivos en el tratamiento térmico del problema.

### INTRODUCCION:

En el presente trabajo se estudian algunas de las propiedades de los distintos estearatos en relación con sus posibilidades de uso como acumuladores de calor en edificios con captación solar.

Los estearatos tienen cuatro propiedades que los hacen atractivos en relación con el uso mencionado (1):

- a) Su calor latente del orden de 170 KJ/Kg, es aceptable para aplicaciones en acondicionamiento térmico de edificios.
- b) Su cambio de fase es reversible y sin problemas de subenfriamiento, asegurando su funcionamiento a largo plazo.
- c) Se puede ajustar la temperatura del cambio de fase utilizando mezclas de distintos estearatos, entre 18 y 70 °C, lo que permite adaptar el sistema a los distintos tipos de uso.
- d) Son sustancias nacionales con un costo moderado.

En principio, se pueden encarar dos métodos básicos para usar estas sustancias en relación con los edificios.

Una primera alternativa consiste en su mezcla con materiales constructivos, para formar parte de las capas que cubren las superficies de las paredes y, eventualmente, los techos (2).

\* Profesional del CONICET.

\*\* Investigador del CONICET.

• Instituto UNSa. CONICET.

Teniendo en cuenta que una pared común en una casa solar bien diseñada intercambia una cantidad de calor diaria del orden de  $1.5 \text{ MJ/m}^2$  de superficie, se deduce que sería necesario colocar el equivalente a un espesor de  $0.9 \text{ cm}$  de estearato para producir el mismo efecto de acumulación. Dado que los ensayos muestran una capacidad de mezcla en peso del orden del 25%, un espesor de mezcla del orden de  $2.5 \text{ cm}$  sería suficiente para asegurar el comportamiento deseado.

Una segunda alternativa, consiste en el uso de la sustancia pura como pared acumuladora en el muro colector - acumulador en reemplazo de los materiales tradicionales como, por ejemplo, hormigón o piedra. Ello implica, dependiendo mucho del clima, acumular alrededor de  $8 \text{ MJ/m}^2$  y por día, para lo que se necesitan  $40 \text{ Kg}$  de estearato por metro cuadrado de pared, o sea, un espesor de unos  $4 \text{ cm}$ . Dado el descenso sustancial de peso, es posible encarar sistemas giratorios que enfrenten al sol durante el día y se vuelvan hacia el local durante la noche, evitando considerablemente las pérdidas hacia el exterior, lo que aumenta sensiblemente el rendimiento del muro colector, y reduce las áreas de colección necesarias. En la fig.1 se muestra un corte de un diseño posible.

Ambas soluciones, por el bajo peso necesario en comparación con la acumulación en materiales de construcción tradicionales, hace posible pensar en el desarrollo de sistemas solares industrializables.

La puesta a punto de estas alternativas requiere el estudio de las propiedades de intercambio térmico con el ambiente de elementos de acumulación construidos con estearato. Así, por ejemplo, en el caso de una solución constructiva para un muro colector - acumulador como el que se esquematiza en la fig. 1, se hace necesario decidir sobre la temperatura óptima de cambio de fase y el radio más conveniente para los contenedores del material. Una temperatura baja permite captar el calor solar con pocas pérdidas hacia el exterior durante el día, pero disminuye la transmisión de calor hacia el edificio durante la noche. Debe elegirse el valor mínimo necesario para asegurar que durante la noche todo el calor acumulado será entregado al local. Por otro lado, un radio grande simplifica el armado del colector bajando costos, pero al disminuir el área de intercambio por kilo de material, también dificulta la entrega de calor durante la noche.

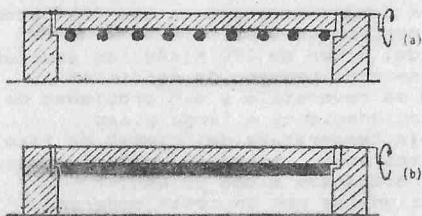


fig. 1 Esquema de un módulo componente de una pared acumuladora.  
(a) geometría cilíndrica; (b) geometría plana.  
● recipientes con el material de cambio de fase.  
■ soporte de los recipientes que contienen el material.

En la próxima sección se discuten algunos resultados experimentales obtenidos con el fin de dilucidar estos problemas de diseño. Luego se plantea una simulación numérica de dichas experiencias.

## RESULTADOS EXPERIMENTALES:

Se han considerado dos geometrías posibles para la ubicación del material en la pared colector: la plana y la cilíndrica.

En el primer caso, se ha considerado que el estearato puede ser incorporado a materiales de construcción tradicionales, o bien que se coloque directamente puro. En el caso de contenedores cilíndricos se ha colocado puro el material de cambio de fase. Ambas disposiciones se muestran en la fig. 1 (a) y (b).

En el modelo plano se han realizado experiencias con una pared mantenida a temperatura constante del orden de los  $5 \text{ }^\circ\text{C}$ , mientras se suministraba calor a la otra pared, un ejemplo de ello puede verse en la fig. 2. También se ha considerado el caso en que una pared tiene una aislación térmica (comportamiento adiabático), mientras que se le suministra calor a la pared opuesta. Esto permite simular las condiciones reales de funcionamiento de los acumuladores que siendo calentados durante el día, son rebatidos y ceden ese calor a la habitación durante la noche, esencialmente en forma de calor latente. Un ejemplo de los resultados experimentales obtenidos se muestra en la fig. 3.

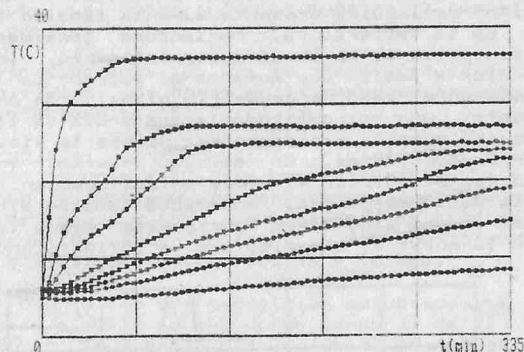


fig. 2 Gráfico de temperatura vs. tiempo en una pared vertical, con una cara mantenida a  $36 \text{ }^\circ\text{C}$  y la otra a  $5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

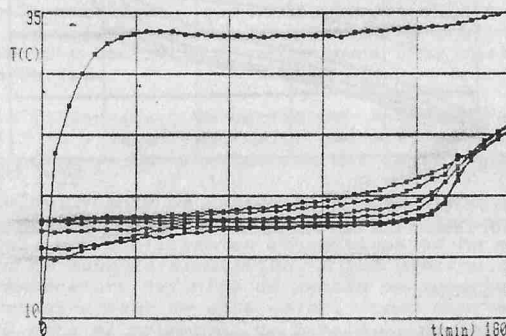


fig. 3 Gráfico de Temperatura vs. tiempo en una pared vertical, con una cara mantenida a  $34 \text{ }^\circ\text{C}$  y la otra aislada.

En estas gráficas puede verse el diferente comportamiento de material de cambio de fase sometido a los dos tratamientos señalados. Las curvas superior e inferior indican las temperaturas de las dos caras opuestas de la muestra, las restantes la distribución de temperaturas en la misma. En el caso de mantener una pared a temperatura baja, aproximadamente 5 °C, mientras que la opuesta se mantiene a unos 35 °C, una pequeña porción del material alcanza la temperatura de cambio de fase, la cual se encuentra en el rango de los 20 °C, el frente de fusión avanza lentamente, pero una vez alcanzado el estado líquido, las temperaturas del líquido tienden a igualarse. En el caso de tener una pared adiabática, mientras la otra se mantiene a aproximadamente 35 °C, el material, que inicialmente se encontraba en estado sólido, se licúa en su totalidad; el frente de fusión avanza hasta lograr derretir completamente el estearato y el líquido uniformiza rápidamente su temperatura.

En el caso de geometría cilíndrica, el calor llega uniformemente desde todo el perímetro exterior, derritiendo progresivamente el estearato que originalmente se encontraba en estado sólido a aproximadamente 4 °C. La evolución temporal se muestra en la fig. 4 (a), y el proceso inverso de enfriamiento del material en la fig. 4 (b).

En dichas curvas puede que el líquido convecta. A medida que aumenta la proporción de líquido presente aumenta también la velocidad de crecimiento de la temperatura, haciéndose considerablemente mayor cuando la sustancia se ha licuado completamente, lo que sugiere una mayor convección a medida que aumenta el espesor de la capa líquida. Al igual que en el caso de geometría plana, con una pared aislada adiabáticamente, una vez que toda la sustancia se licúa, la temperatura del líquido aumenta rápidamente; nótese la similitud entre las gráficas correspondientes. En el caso inverso, en que el líquido sufre un proceso de enfriamiento, la solidificación tiene lugar desde la periferia hacia el centro, notándose también el movimiento del líquido; las temperaturas van "abriéndose" desde la periferia hacia el centro de la muestra, a medida que va solidificándose el material.

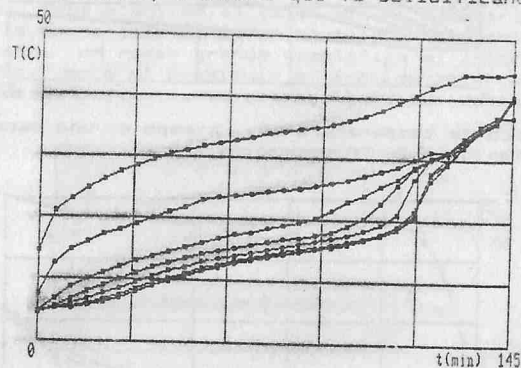


fig. 4 (a) Gráfico de Temperatura vs. tiempo del calentamiento de un tanque cilíndrico. La curva superior muestra la temperatura de la pared.

#### SIMULACION NUMERICA:

Con el fin de complementar este estudio se ha realizado una simulación numérica del comportamiento de estos materiales, mediante un modelo computacional, que utilizando diferencias finitas implícitas,

permitire estimar el comportamiento de las distintas sustancias empleadas o a emplear en el futuro.

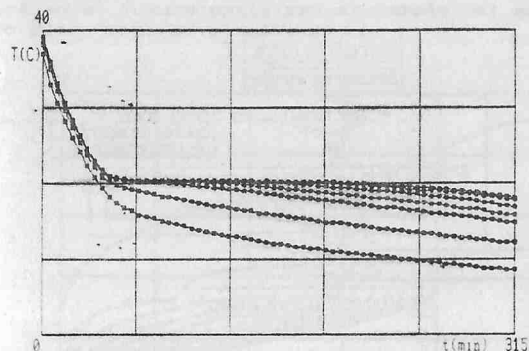


fig. 4 (b) Gráfico de Temperatura vs. tiempo del enfriamiento de un tanque cilíndrico. La curva inferior muestra la temperatura de la pared.

Las ecuaciones involucradas son las de transferencia de calor sujeta a condiciones iniciales, de borde en la pared/es externa/s del recipiente y en la interfase sólido - líquido.

Los datos del problema: la temperatura inicial de la muestra, generalmente alrededor de unos 4 °C, las temperaturas de la o las paredes del recipiente que la contiene, la conductividad, la densidad, tanto en estado sólido como líquido, la capacidad calorífica, el calor latente del material de cambio de fase, y los coeficientes convectivos entre pared y líquido y entre líquido y sólido.

Se han tenido en cuenta las dos geometrías estudiadas. En ambos casos el programa permite simular la evolución temporal de la distribución de temperaturas en la muestra y calcular el avance del frente de fusión. En el caso de la geometría plana se presenta la simulación correspondiente a las paredes mantenidas a temperaturas diferentes (35 °C y 5 °C, respectivamente), inicialmente todo el material se encontraba sólido a la temperatura más baja; luego, por efecto del calentamiento de la otra cara, parte de la sustancia entra en estado líquido, se ha supuesto que éste no convecta; la gráfica presenta un pequeño achatamiento a los 20 °C, temperatura a la cual se ha considerado el cambio de fase.

En la geometría cilíndrica, se partió de material a temperatura constante de 4.5 °C y se entregó calor desde el exterior. Ante la aparición del líquido se han considerado dos coeficientes convectivos, uno entre la pared y el líquido y otro entre el líquido y el sólido. El avance del frente de fusión se ha calculado con los balances térmicos correspondientes al intercambio de calor en la interfase sólido - líquido. Los coeficientes convectivos se ha supuesto constantes a lo largo de toda la simulación. A los efectos del cálculo se ha tomado una temperatura definida de cambio de fase igual a 20 °C, en vez de un rango alrededor de este valor, como ocurre en la realidad, 18 a 22 °C para el estearato de butilo. Se ha considerado, también, para el caso de tener una geometría cilíndrica que, cuando el material cambia de fase para pasar al estado líquido, adquiere la temperatura de éste, independientemente del lugar que ocupe dentro de

la muestra. El diagrama de bloques para la simulación se muestra en la fig. 5.

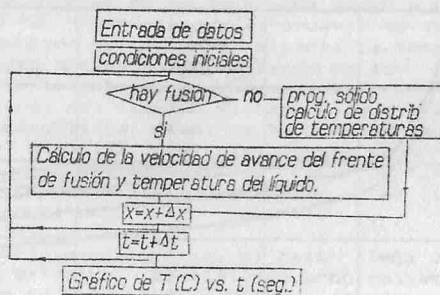


fig. 5 Esquema del diagrama de bloques.

Algunos resultados del cálculo se muestran en las figs. 6 y 7. Ciertamente, manejando los parámetros del sistema, pueden simularse distintas situaciones y analizar la influencia de los mismos en los resultados obtenidos.

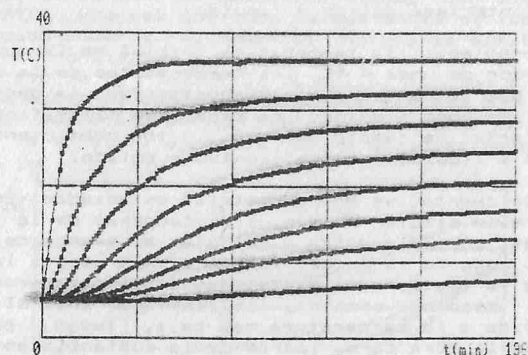


fig. 6 Gráfico de Temperatura vs. tiempo para la simulación de una pared vertical, cuyas paredes se mantienen a 36 °C y 5 °C.

#### DISCUSION Y CONCLUSIONES:

Los resultados obtenidos, tanto en la parte experimental como en la simulación muestran la necesidad de analizar detenidamente la variación de los coeficientes convectivos con la temperatura y la cantidad de líquido presente en la muestra.

En experiencias futuras se encarará este problema, así como también el estudio de muestras de distinto radio, con el fin de optimizar la transferencia de calor en un tiempo dado para determinadas condiciones de temperatura ambiente.

El programa de simulación presentado, permite, a pesar de las suposiciones realizadas, estimar en muy buen grado la propagación del calor

dentro de la muestra, en condiciones de funcionamiento prefijadas. Hace posible también, el estudio de acumulación por calor latente y el análisis de los distintos parámetros involucrados en el sistema lo que permitirá en el futuro optimizar el tamaño del acumulador, tanto en el modelo plano como en el cilíndrico.

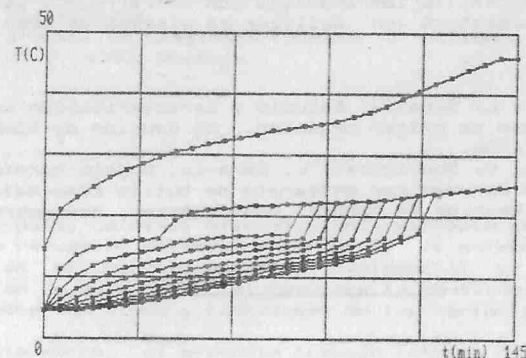


fig. 7 Gráfico de Temperatura vs. tiempo para la simulación del calentamiento en un tanque cilíndrico.

Las discrepancias entre ambos resultados (teórico y experimental) debidas a las hipótesis que simplifican en esta primera etapa, el estudio; sugiere la necesidad de aumentar paulatinamente la complejidad del modelo teórico de modo que permita un ajuste más fino en la evolución de la temperatura del líquido, de la conductividad y de los coeficientes convectivos involucrados en el problema.

Es interesante observar también, el posible deterioro del material, sometido a estas pruebas. Para ello se ha realizado análisis con infrarrojo, antes y después de que el estearato fuera sometido a un ciclaje térmico. Los gráficos correspondientes a estos análisis se muestran en la fig. 8; ellos indican que el estearato no ha sufrido degradación alguna a causa del proceso señalado.

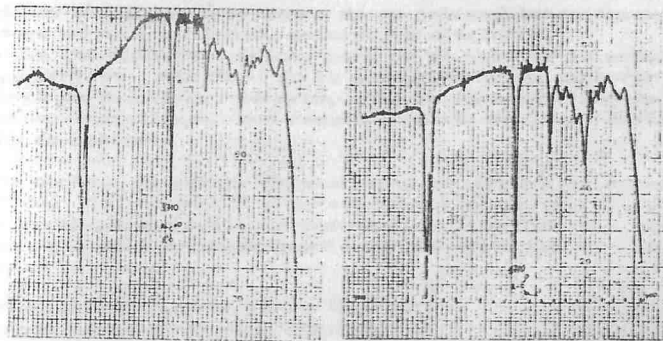


fig. 8 Análisis con infrarrojo, antes y después del ciclaje térmico del material.

#### AGRADECIMIENTOS:

Los autores desean agradecer la colaboración de la Lic. Delicia Acosta quien realizó los análisis con infrarrojo y del Ing. Carlos Cadena quien colaboró en agilizar el sistema de toma de datos

#### REFERENCIAS:

- 1 - G. Plaza y L. Saravia, Estudio y caracterización de materiales de cambio de fase de origen orgánico. XI Reunión de ASADES, San Luis, setiembre de 1986.
- 2 - G. Plaza, A. Boucíguez y L. Saravia, Modelo térmico experimental de una mezcla de yeso con estearato de butilo como material de cambio de fase. XII Reunión de ASADES, Buenos Aires, noviembre de 1987.