

ALMACENAMIENTO DE ENERGIA POR CALOR LATENTE  
EN VISTA DE SU APLICACION A LA VIVIENDA

Gustavo Pasimanik \*

IAS, Instituto de Arquitectura Solar. FIPE, Fundación para la Investigación y el Progreso Energético  
Calle 526 N° 2005, (1900) La Plata.

RESUMEN

Con el fin de mejorar la eficiencia de los sistemas de almacenamiento de energía se estudiaron los procesos que acumulen, reversiblemente, energía por calor latente.

Se comunica el trabajo bibliográfico y experimental que consistió en tareas relacionadas con la producción de mezclas de algunos materiales, verificación de datos y estudios termodinámicos y cinéticos.

Resultaron particularmente adecuadas las transiciones en el estado sólido que presentan algunos compuestos.

Se incluyen conclusiones.

1. INTRODUCCION

La discontinuidad y el desfase entre la captación y el uso de la energía solar han hecho indispensable su almacenamiento para la mayoría de los usos.

Los sistemas de almacenamiento más simples trabajan por calor sensible, lo que implica elevar la temperatura por encima de lo necesario para su uso. Termodinámicamente significa producir energía de alta calidad y luego degradarla, lo que produce un aumento de la entropía en principio innecesario. En la práctica los rendimientos de acumulación son más bajos que los que tendría un sistema operando a temperaturas cercanas a las de uso y que operase a temperatura casi constante. Este es el caso de los sistemas que almacenan energía por calor latente.

2. ESTUDIO BIBLIOGRAFICO

2.1 Transiciones sólido-líquido

Han sido objeto de numerosos trabajos (1), que apuntan a "poner a punto" un material para un uso determinado. En este trabajo se tropieza con una serie de dificultades inherentes a estos procesos:

a) Fusión no congruente: en ciertos casos se produce una separación de fases en la fusión, lo que trae implícita la irreversibi-

lidad del proceso. Esto se traduce en una disminución de la energía recuperada a través de los ciclos de fusión-solidificación.

b) Sobreenfriamientos importantes: al retardarse la solidificación por ausencia de núcleos a partir de los cuales los cristales puedan desarrollarse, la energía es devuelta varios grados por debajo de la temperatura a la cual es almacenada. Esta irreversibilidad hace inutilizables a muchos materiales.

c) Cambios de densidad importantes: las dilataciones y contracciones producidas en el cambio de fase afectan el contacto del material con la pared del intercambiador, lo que dificulta la transferencia de calor.

d) Corrosividad: es típico de las sustancias inorgánicas (particularmente las sales hidratadas). Este problema implica elevar apreciablemente el costo de los recipientes.

e) Las propiedades se degradan a lo largo de los ciclos.

Uno de los problemas más frecuentes es el sobreenfriamiento, que en algunos casos se ha reducido agregando agentes nucleantes.

También se agregan agentes para mejorar la cinética, aglutinantes (para evitar la decantación del nucleante), etc.

Así F. Chabanon (1), quién ha estudiado detalladamente estos procesos, logró encontrar un nucleante adecuado y mejorar la cinética del sulfato de sodio decahidratado, y en el C.S.T.B. se logró poner a punto un material a base de cloruro de calcio hexahidratado (la clearolita).

Con gran esfuerzo se ha logrado poner a punto algunos materiales, existiendo el inconveniente de su inestabilidad (decantación de nucleante, alteración de uno de los agentes agregados, etc.).

2.2 Transiciones sólido-sólido

Algunos sólidos pasan del estado crista

\* Becario del CONICET

lino (ordenado) a uno vidrioso (amorfo) de manera reversible, teniendo este proceso entalpías de transición elevadas (similares a las de los procesos de fusión-solidificación).

Se ha estudiado en detalle el comportamiento de tres derivados del isopentano:

- Pentaerytritol (P.E.)
- Pentaglicerina (P.G.)
- Neopentilglicol (N.P.G.)

Estos materiales son perfectamente miscibles entre sí obteniéndose mezclas de propiedades intermedias. Esta es una de las propiedades más interesantes que presentan, ya que la temperatura de almacenamiento de la energía puede ser elegida (como resultado de una optimización del sistema), preparando una mezcla de composición adecuada.

Son particularmente atractivos para el almacenamiento de energía ya que:

- No presentan problemas de separación de fases.
- El cambio de densidad es más pequeño.
- Los sobreenfriamientos son reducidos, y en algunos casos se ha encontrado la manera de eliminarlos casi por completo.
- No son corrosivos.
- Sus propiedades permanecen inalteradas a lo largo de los ciclos.

Se considera que el aumento de energía potencial al pasar al estado amorfo se debe a la ruptura de uniones hidrógeno entre grupos hoxidrilo vecinos, lo que concuerda con el hecho de que la entalpía de transición de los diversos materiales depende linealmente de las probabilidades de interacción entre grupos hoxidrilo vecinos.

Los primeros estudios fueron presentados por Benson (2), en 1983. Luego se ha trabajado en la Universidad de Niza.

### 3. TRABAJO EXPERIMENTAL

Las tareas realizadas fueron las siguientes:

- Encontrar el modo más adecuado de producción de mezclas de una dada composición.
- Verificar los datos bibliográficos.
- Completar el estudio termodinámico de las diversas mezclas.
- Estudios cinéticos sobre uno de los materiales puros y comparación de su comportamiento a los de las mezclas.

Para realizar las mediciones se contó con un calorímetro diferencial programado (DSC.111 Setarram), que permite variar la temperatura a distintas velocidades (de 1°C/hora a 30°C/minuto) y registrar el flujo de calor que llega a la muestra en estudio en función de la temperatura (Fig.1). Esta información

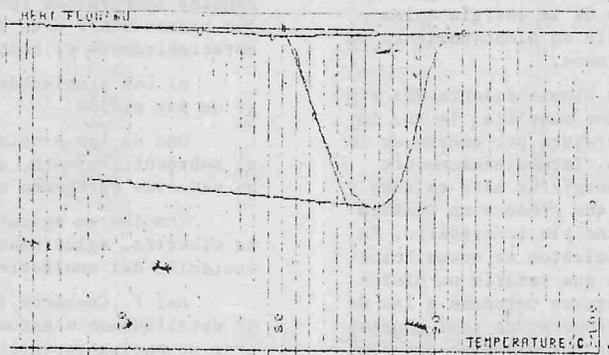


Fig.1: Flujo de calor en función de la temperatura.

es tomada por un programa que calcula la temperatura (con un error de 0,01°), el calor de transición y la capacidad calorífica (con un error de 0,003 J/°C.g) (Fig.2).

a- Preparación de las mezclas.

Los componentes deben fundirse y mezclarse en estado líquido. Debido a la alta volatilidad de los mismos a la temperatura de fusión es difícil conocer la composición exacta de la

mezcla realizada. Se decidió trabajar con recipientes tapados que permitiesen una pequeña fuga. Luego, por la diferencia de peso, se dedujo la composición real a partir de la teórica (obtenida por pesada). Por eso se supuso que la mezcla de ambos componentes constituía lo que en termodinámica se denomina una solución ideal (dado que se trata de sustancias casi idénticas).

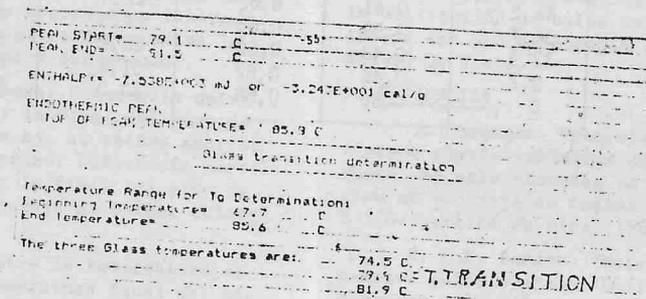


Fig.2: Temperatura y calor de transición de la pentaglicerina.

b- Verificación de datos bibliográficos.

Los ensayos realizados sobre los materiales puros (comparados a los datos bibliográficos) se muestran en el cuadro 1.

c- Estudio termodinámico de las diversas mezclas.

Las características termodinámicas de las mezclas P.G.-N.P.G. se ven en el cuadro 2

CUADRO 1: Características termodinámicas de los materiales puros

|                                           | Valores experimentales |        |       | Valores dados por BENSON |        |       |
|-------------------------------------------|------------------------|--------|-------|--------------------------|--------|-------|
|                                           | P.G.                   | N.P.G. | P.E.  | P.G.                     | N.P.G. | P.E.  |
| Cp (Cal/°C g)<br>Antes de la transición   | 0,56                   | 0,45   | 0,68  |                          |        |       |
| Cp (Cal/°C g)<br>Después de la transición | 0,65                   | 0,61   | 0,69  | 0,66                     | 0,66   | 0,68  |
| Δ H (Cal/g)                               | 33,0                   | 28,0   | 59,0  | 33,3                     | 28,9   | 64,6  |
| Temp. de transición                       | 80,0                   | 36,8   | 184,0 | 81,0                     | 40,0   | 185,0 |

CUADRO 2: Características termodinámicas de las mezclas P.G.-N.P.G.

| Composición inicial<br>% N.P.G. | Composición real<br>% N.P.G. | Cp (Cal/°C g)          |                        | ΔH (Cal/g) | T.transición<br>(°C) |
|---------------------------------|------------------------------|------------------------|------------------------|------------|----------------------|
|                                 |                              | antes de la transición | Luego de la transición |            |                      |
| 100                             | 100                          | 0,45                   | 0,61                   | 28,0       | 36,8                 |
| 91,9                            | 91,1                         | 0,40                   | 0,58                   | 23,5       | 28,2                 |
| 75,1                            | 73,0                         | 0,36                   | 0,58                   | 19,0       | 11,2                 |
| 57,1                            | 55,1                         | 0,43                   | 0,60                   | 20,4       | 28,0                 |
| 48,9                            | 46,2                         | 0,41                   | 0,62                   | 22,4       | 33,0                 |
| 40,4                            | 36,7                         | 0,39                   | 0,60                   | 24,5       | 42,6                 |
| 25,6                            | 22,9                         | 0,43                   | 0,60                   | 28,2       | 52,6                 |
| 12,1                            | 9,2                          | 0,44                   | 0,62                   | 31,2       | 66,0                 |
| 0                               | 0                            | 0,56                   | 0,65                   | 33,0       | 80,0                 |

d- Estudios cinéticos.

Se analizó en detalle el N.P.G. observando la ubicación de diversas temperaturas y sus diferencias, que permiten caracterizar el proceso para varias velocidades de cambio de temperatura. Los resultados se muestran en el cuadro 3.

La cinética de las mezclas de P.G.y N.P.G. se muestra más complicada y menos favorable termodinámicamente (mayor sobreenfriamiento).

Las últimas experiencias, en las que se usó grafito como nucleante, mostraron que los sobreenfriamientos se reducen considerablemente.

CUADRO 3: Estudio cinético del Neopentyl-glicol.

| VELOCIDAD (°C/min .        | 0,1  | 0,25 | 0,5  | 1    | 5    |
|----------------------------|------|------|------|------|------|
| Temp. de pico en ascenso.  | 40,9 | 41,5 | 42,1 | 42,5 | 48,3 |
| Temp. de pico en descenso. | 31,0 | 30,1 | 29,1 | 27,3 | 24,7 |
| ΔTm                        | 9,9  | 11,4 | 13,0 | 15,2 | 23,6 |
| ΔT de pico en ascenso.     | 4,7  | 5,7  | 8,9  | 12,3 | 30,0 |
| ΔT de pico en descenso.    | 0,9  | 2,15 | 3,6  | 5,9  | 24,0 |
| Δ 1                        | 1,27 | 1,97 | 3,6  | 6,6  | 12,1 |
| Δ 2                        | 0,4  | 0,9  | 1,6  | 2,1  | 5,6  |

-Temperatura de pico en ascenso: Temperatura a la cual el flujo de calor se hace máximo en la etapa de absorción de energía.

-Temperatura de pico en descenso: Temperatura a la cual el flujo de calor se hace máximo en la etapa de liberación de energía.

- $\Delta T_m$ : Diferencia entre las dos temperaturas de pico.

Dado que las temperaturas de pico corresponden aproximadamente a las temperaturas medias a las que el calor es absorbido o liberado, la diferencia entre los picos caracteriza la reversibilidad termodinámica del proceso.

- $\Delta T$  de pico en ascenso: Diferencia entre la temperatura inicial y la final del pico de absorción de energía (pasaje al estado amorfo).

- $\Delta T$  de pico en descenso: Diferencia entre la temperatura inicial y la final del pico de liberación de energía (pasaje al estado cristalino).

- $\Delta 1$ : Diferencia entre la temperatura de pico en ascenso y la temperatura final del pico de absorción de energía.

- $\Delta 2$ : Diferencia entre la temperatura de pico en descenso y la temperatura inicial del pico de liberación de energía.

#### 4. CONCLUSIONES

Las transiciones sólidas se presentan, en principio, ideales para resolver el problema de almacenamiento de energía a bajas y medias temperaturas, ya que no presentan problemas importantes, tienen una alta densidad de almacenamiento, las transiciones son completamente reversibles y permiten escoger el nivel térmico de almacenamiento.

Por todo lo anterior se plantea encarar la utilización de estos materiales en el prototipo con uso de energía solar que el IAS posee en La Plata.

#### 5. REFERENCIAS

1. Chabanon, Françoise. "Contribution à l'étude physico-chimique du changement de phase des sels hidratés en vue de l'application au stockage de chaleur". These présentée à l'Université de Nice. (1980).

2. D.K. Benson. "Materials research for passive solar systems. Solide-state phase change materials". Solar Energy Research Institute. June, 1983.