

ACUMULACION DE CALOR POR CAMBIO DE FASE; ESTADO ACTUAL DE  
LA TECNOLOGIA Y RESULTADOS PRELIMINARES.

Por:

E. ALANIS  
L. ROVETTA  
J. CASTRO  
L. SARAVIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS EXACTAS  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SALTA  
BUENOS AIRES 177  
4400 - SALTA  
Argentina.

RESUMEN

La acumulación de energía solar en la forma de calor latente de transformación de sustancias adecuadas ha sido propuesto hace más de veinticinco años para su uso en calefacción de ambientes. No obstante, la mayoría de los trabajos sobre el tema son de reciente data.

Algunas sales hidratadas aparecen como los materiales más promisorios para su utilización en acumuladores debido principalmente a su elevado calor de fusión y a su conveniente temperatura de cambio de fase.

El marcado sobreenfriamiento que experimentan estas sustancias, hace necesario la incorporación de adecuados agentes nucleantes.

En algunas de estas sales ocurre un cambio de fase incongruente, precipitándose parte de sal anhidra que al cabo de varios ciclos inactiva el proceso.

Con el objeto de estudiar el comportamiento de sustancias con cambio de fase al cabo de muchos ciclos calentamiento-enfriamiento, se ha construido aquí un dispositivo que permite la realización de seis ciclos diarios.

En el presente informe se realiza una revisión general del tema y del estado actual de las investigaciones. Se describe además el dispositivo experimental // construido y se reportan los primeros resultados.

## 1. INTRODUCCION

La acumulación de energía solar como calor latente de cambio de fase de sustancias apropiadas, ha sido propuesto por Telkes (1), hace más de 25 años, para su uso en calefacción habitacional. Sin embargo, la mayor parte de los trabajos publicados sobre el tema son de reciente data (2, 3, 4).

Las sales hidratadas aparecen como las sustancias más promisorias para este fin, debido principalmente a su alto calor latente de fusión, lo que redundaría en una sustancial reducción del volumen del acumulador, y a la adecuada temperatura del cambio de fase que permite el uso de colectores planos de energía solar.

El marcado sobreenfriamiento que experimentan estas sustancias, hace necesario la incorporación de agentes nucleantes para lograr que la cristalización ocurra invariablemente a la temperatura de fusión o muy cerca de ella. En los casos en que dichos agentes no son conocidos, la nucleación es catalizada por algún dispositivo tal como el denominado "dedo frío" que mantiene una pequeña región del material por debajo de su temperatura de fusión. En algunas de estas sales ocurre un cambio de fase incongruente, es decir que al liberar el agua de cristalización, // parte de la sal no es soluble y precipita como anhídrido debido a su mayor densidad. Al cabo de varios ciclos calentamiento-enfriamiento (fusión-cristalización), este fenómeno produce una progresiva degradación del material, disminuyendo su capacidad de acumular calor. La solución a este problema se encuentra en el agregado de sustancias "espesantes" que impiden la precipitación del anhídrido.

Si bien es aparente que los problemas arriba apuntados han sido resueltos en muchos casos, no se ha dado en la bibliografía una descripción detallada debido a que se están tramitando patentes para los mismos. Tal es el caso, por ejemplo, / del dispositivo nucleante utilizado en el tiosulfato de sodio pentahidratado, (3) / y de la sustancia "espesante" utilizada en el caso del sulfato de sodio decahidratado (5).

Con el objeto de estudiar el comportamiento de estas sales a través de / varios ciclos calentamiento-enfriamiento, aquí se ha construido un dispositivo experimental que permite realizar seis ciclos por día, simulando aproximadamente las condiciones que se esperan de un acumulador real. Las sustancias que se experimentan actualmente son las dos sales mencionadas y una parafina cuyo punto de fusión / está en 52 grados centígrados.

En el presente informe se hace una reseña general sobre el tema y se describe el dispositivo experimental construido, reportándose además los resultados / preliminares obtenidos con el mismo.

## 2.- COMPARACION CON OTROS METODOS DE ACUMULACION.

Entre los acumuladores de calor que son más usados actualmente en relación con la calefacción o enfriamiento de edificios, pueden distinguirse dos grandes grupos según sea la forma en que es almacenada la energía, a saber:

a) acumulación como calor sensible (calor específico), en el cual la temperatura del material que constituye el acumulador es elevada por sobre la temperatura ambiente (si se trata de calefacción) durante el período de carga y es disminuida/nuevamente durante el período de extracción de calor. El calor almacenado depende entonces del incremento de temperatura, del calor específico del material y de su masa.:

$$Q = m \bar{c} \Delta t$$

donde:

Q = calor almacenado

m = masa del material

$$\bar{c} = (1/\Delta t) \cdot \int_{t_1}^{t_2} c_p(t) dt ; c_p(t) = \text{calor específico}$$

incremento de temperatura.

b) acumulación como calor latente de cambio de fase, en el cual la sustancia experimenta una transformación de fase, usualmente de sólido a líquido, absorbiendo / calor a temperatura aproximadamente constante durante el período de carga (fusión) // y devolviendo este calor a la misma temperatura durante el período de extracción (cristalización). En este caso:

$$Q = m \lambda$$

donde:

Q = calor almacenado

m = masa de material

$\lambda$  = calor latente de fusión

Ya que el calor de fusión de muchos materiales es mucho más grande que su calor / específico, es necesario una masa proporcionalmente menor que en el caso anterior. Además, aquí también existe calor acumulado como calor sensible de cada fase.

Los materiales más usados en los acumuladores del tipo a), son el agua / y los cantos rodados, debido principalmente a su bajo costo y relativamente alto / calor específico. Los acumuladores de agua poseen la ventaja de poder utilizar ésta como medio para transportar la energía desde el colector hasta el acumulador y desde éste hacia donde deba ser utilizada, ya sea como agua caliente o como calefacción. Sin embargo, si existe el peligro de congelamiento durante las noches //

frías, deberá desagotarse el ramal al colector, o bien disponer allí un circuito / cerrado con una mezcla anticongelante, lo cual implica el uso de un intercambia- / dor térmico en el acumulador, perdiéndose así una de las principales ventajas: // simplicidad y bajo costo de instalación.

Los acumuladores con lecho de piedras, por otra parte, son usados cuando el medio de transporte de energía es aire. A su bajo costo debe agregársele un excelente comportamiento del lecho como intercambiador de calor, lográndose como / consecuencia gran sencillez en la instalación.

En los acumuladores del tipo b), deben utilizarse materiales que son mucho más costosos que los anteriores, pero debido a la mayor capacidad para almacenar calor son necesarias cantidades más reducidas, lo que hace menor el volumen / del acumulador y por ende más fácilmente ubicable en el edificio, lo que puede // llegar a ser una cuestión decisiva.

La constancia de la temperatura es otra definida ventaja sobre los del / tipo a), entre otras razones, porque permite menores temperaturas máximas dentro / del acumulador y en consecuencia menores temperaturas en el colector, lográndose / mayor eficiencia en el mismo y menor área de colección.

Los materiales con cambio de fase no pueden ser usados para transportar la energía ya que al solidificar no pueden ser bombeados. Además, deben ser encapsulados dentro del acumulador en recipientes estancos que a la vez ofrezcan una adecuada superficie de intercambio de calor. Esto constituye un inconveniente que / no se presenta en el caso de un lecho de piedras. En la figura 1 se comparan las / variaciones de temperatura en ambos tipos de acumuladores en función de la ener- / gía almacenada y en la figura 2 se comparan los volúmenes requeridos. La Tabla I / muestra las propiedades de tres materiales: agua, canto rodado y tiosulfato de sodio pentahidratado.

## 3.- MATERIALES UTILIZADOS EN ACUMULACION POR CAMBIO DE FASE.

Como regla general, el cambio de fase utilizado es el correspondiente a la transición sólido-líquido, que va acompañado de poca variación de volumen y relativamente alto calor latente, del orden de 50 Kcal/Kg para los materiales más usados.

La transición líquido-vapor, por otra parte, posee mucho más calor latente, del orden de los cientos de Kcal/Kg, lo que en principio la hace más atractiva pero presenta el inconveniente de la gran variación de volumen que la acompaña o de requerir recipientes de alta presión para almacenar el vapor. Una posible solución radica en el uso de disoluciones del tipo de las utilizadas en los ciclos de absorción. En otro trabajo de esta reunión (6) se discute en detalle esta

posibilidad: el calor solar es utilizado para evaporar uno de los componentes de la disolución (por ejemplo, en una disolución de amoníaco en tiocianato de sodio se podrá evaporar el primero); el vapor se condensa en otro recipiente a temperatura ambiente y se almacena todo el tiempo necesario sin pérdidas térmicas. Cuando se lo / recupera, se evapora extrayendo calor del ambiente externo y redisolviéndose en el / otro componente (P/ej. en tiocianato de sodio) liberando así calor que puede ser a- / provechado. Para el ejemplo citado se pueden obtener 200 Kcal/litro de amoníaco acu- / mulado. Posiblemente el costo de la instalación requerida justifique el uso de este / sistema solo en el caso de estar integrado a un sistema de refrigeración.

Por último, la transición sólido-sólido posee muy bajo calor latente como / para ser considerada seriamente.

Los materiales apropiados para su uso en acumulación para cambio de fase, / si solo se considera la transición sólido-líquido, deben reunir una serie de condi- / ciones que se enumeran a continuación y se discuten más adelante:

- a) adecuada temperatura de fusión.
- b) la transición de fase debe ocurrir congruentemente.
- c) no debe existir sobreenfriamiento.
- d) repetidos ciclos fusión-solidificación no deben producir degradación del mate- / rial.
- e) el material debe ser inerte, no corrosivo y no tóxico.
- f) debe ser de bajo costo y fácilmente adquirible.

El agua es la sustancia con mayor calor de fusión (80 Kcal/Kg) pero su // punto de fusión, 0°C, la hace inadecuada para calefacción. Las sales hidratadas po- / seen un alto contenido de agua y participan de esta propiedad con un punto de fu- / sión más adecuado pero su calor latente es más bajo. Muchas de estas sales poseen a / demás algunas de las propiedades a) a f) lo que las hace promisorias para su uso en / acumulación de calor. La tabla II muestra las propiedades de algunas sales que po- / drían ser de interés. Otra sustancia apropiada es la parafina, cuyas propiedades // son incluidas en la tabla II. Un estudio crítico de estos materiales ha sido he- / cho por Telkes (2). En lo que sigue se discutirán brevemente los puntos listados a- / rriba.

a) En el caso de calefacción de edificios, si se usan colectores planos, la tempera- / tura de fusión debe estar comprendida entre 38 y 60°C. La mínima temperatura viene / dada cuando se tiene en cuenta las pérdidas térmicas en los ductos, que reducen la / temperatura del fluido, y la transferencia de calor en el acumulador para evitar // que éste sea excesivamente largo. El límite superior debe fijarse considerando su / incidencia en la eficiencia del colector. Cuando se trata de acondicionamiento en é / poca de verano, el rango adecuado es entre 5 y 15°C. Otros usos requerirán, eviden- / temente, distintos rangos de P.F.

En la casa experimental "Solar One" construída en la Universidad de Dala- / ware, U.S.A. (2, 7), se usan tres acumuladores con cambio de fase a distintas tempe- / raturas. El de alta temperatura usa tiosulfato de sodio pentahidratado (P.F. = 48 ° / C). El de temperatura intermedia utiliza sulfato de sodio decahidratado (P.F. = /// 32°C) y el de baja temperatura emplea un eutéctico formado formado por una mezcla / de sulfato de sodio decahidratado, cloruro de sodio y cloruro de amonio (P.F. = /// 13°C).

b) Un ejemplo típico de cambio de fase incongruente lo ofrece el sulfato de sodio / decahidratado. Los cristales de esta sal contienen 44 % de sulfato de sodio y un // 56 % de agua, en peso.

A la temperatura de fusión, 32,4°C, se libera el agua de cristalización y / se forma una solución saturada de sulfato de sodio en agua que constituye el 85 % / del total, el 15 % restante de sulfato anhidro no es soluble y debido a su mayor // densidad, precipita al fondo del recipiente formando una capa sólida. En el proceso / posterior de cristalización, comienzan a formarse cristales del decahidrato en la / parte superior de la capa, impidiendo el contacto de la solución con el resto del / anhidro depositado, no recuperándose totalmente el calor almacenado. A través de re- / petidos ciclos fusión-cristalización, la capacidad de acumulación de la sustancia / va disminuyendo. Recientemente Telkes (5) ha encontrado un agente espesante tixotró- / pico que se torna fluido cuando se le agita vigorosamente permitiendo el mezclado / de los componentes y el fácil llenado de los recipientes, y que al dejarlo en repo- / so se convierte en un gel que impide la sedimentación. Según el autor se trata de / una sustancia inorgánica de bajo costo pero no se indica su nombre.

c) El sobreenfriamiento está presente en todas las sales hidratadas y en mayor o me- / nor medida ocurre en todas las sustancias. Consiste en que una sustancia puede en- / friarse por debajo de su punto de solidificación sin solidificar. El grado de sobre- / enfriamiento alcanzado depende de muchos factores. Entre otros de la presencia de / partículas extrañas que sirvan como catalizadores de la nucleación (nucleación hete- / rógena), de la historia térmica de la sustancia, etc. Para lograr que la cristali- / zación ocurra siempre a temperatura de fusión, o cerca de ella, es necesario agre- / gar a la solución determinadas cantidades de otra sustancia que provea de núcleos / de cristalización. La elección del agente nucleante se realiza sobre la base de las / dimensiones cristalográficas, las cuales deben coincidir dentro de un 15 % con las / de la sustancia a cristalizar. Para el sulfato de sodio decahidratado se ha encon- / trado (8) que el tetraborato de sodio decahidratado (Borax) satisface esta condi- / ción y debido a su escasa solubilidad en la solución saturada del sulfato, cataliza / la nucleación sin bajar apreciablemente la temperatura de transición ni disminuir / el calor latente de cambio de fase. Cuando se agrega de 3 al 4 % de Borax, el punto / de fusión baja a 31,9°C pero se elimina el sobreenfriamiento produciéndose la cris-

talización entre 28 y 30°C. La cristalización espontánea de esta sal, es decir, sin agentes nucleantes (nucleación homogénea), puede ocurrir alrededor de los 18°C, o / menos.

Otro caso de interés es el tiosulfato de sodio pentahidratado. No se ha encontrado en la literatura referencias sobre alguna sustancia nucleante adecuada / pero Telkes (3) hace mención de un dispositivo nucleante de su invención, sin dar / mayores detalles de su funcionamiento.

d) No deben producirse cambios en la composición química u otros que disminuyan la / capacidad de acumular calor.

e) El material no debe corroer las paredes del recipiente, pero es posible encontrar adecuada protección de estas superficies o adecuados materiales para construir los recipientes. Ante la posibilidad de pérdidas de la sustancia a través de roturas en los recipientes, que pueden contaminar los ambientes, es conveniente que estas sustancias no sean tóxicas.

f) Indicaciones de costo y disponibilidad local de las sustancias que se ensayan aquí, son dados en la tabla III.

#### 4.- USO DE ACUMULADORES CON CAMBIO DE FASE. -

El uso de acumuladores con cambio de fase es atractivo dondequiera que se necesite mantener constante la temperatura de un recinto. Así por ejemplo, se ha usado parafina para el acondicionamiento de la cámara de T.V. montada sobre el "Lunar Rover", (9), y aparentemente sulfato de sodio (5) para el sistema de gufa de los cohetes Polaris. En lo que respecta al acondicionamiento de edificios, su uso se remonta a 1949 (1) aunque la experiencia más importante se está llevando a cabo en la casa experimental "Solar One" mencionada más arriba, siendo de la única que se disponen datos completos en la bibliografía. A los efectos de orientación, se detallan en la tabla IV los datos constructivos disponibles de dos de los tres acumuladores que operan en la casa.

#### 5.- INVESTIGACIONES LOCALES. -

En una primera etapa de las investigaciones a nivel local se ha decidido / realizar ensayos con dos sales inorgánicas: sulfato de sodio decahidratado / / / / / ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{a}$ ) y tiosulfato de sodio pentahidratado ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{a}$ ) y con parafina de // 52°C, que es una sustancia orgánica relativamente estable e inerte. Las razones para su elección son su bajo costo y fácil disponibilidad local, además de sus propiedades adecuadas como se indica en la tabla III. Se ha construido un dispositivo experimental que permite estudiar el comportamiento de estas sustancias bajo la acción de repetidos ciclos fusión-cristalización observándose cualquier tendencia a /

disminuir la capacidad de almacenar calor. El aparato se esquematiza en la figura 3 y consta de las siguientes partes. En primer término va ubicado el ventilador / que provee el flujo de aire necesario para la transferencia térmica. A éste le sigue la unidad de calentamiento donde el aire es llevado a la temperatura indicada según se esté suministrando o extrayendo calor de las muestras. Esta unidad cuenta con una potencia máxima de 3500 watts. A continuación va unida la etapa de // prueba en cuyo interior están colocadas las muestras dentro de recipientes transparentes. Dos ventanas de vidrio permiten la observación visual de las probetas. Finalmente sigue la etapa de medición de flujo, lo que se realiza por medio de un tubo Pitot. Las temperaturas de las muestras son registradas automáticamente por un registrador multicanal y son tomadas por termocoplas Cu-constant, ubicadas en la parte central de las muestras y en el exterior de cada recipiente.

La temperatura del aire circulante es mantenida por encima de la temperatura de fusión durante el período de calentamiento y por debajo de ésta durante el período de enfriamiento. El control de la temperatura es realizado mediante un controlador on-off que actúa sobre un grupo de resistencias en el calefactor. Un dispositivo de relojería fija la duración de los ciclos en 4 horas, permitiendo / realizar 6 ciclos diarios, lo que significa que en dos meses de funcionamiento // puede estudiarse el comportamiento de la sustancia correspondiente a un año de // trabajo en un acumulador real. Las probetas contienen  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{a}$  más 3 % de borax como agente nucleante y distintas proporciones de ácido silícico, que en ensayos / previos evidenció comportarse bien como sustancia espesante. Hasta el presente solo la muestra conteniendo 20 % de ácido es satisfactoria.

BIBLIOGRAFIA

- (1) Telkes M.; Heat and Vent., 46, 68; Sep.1949; "Review of Solar House Heating".
- (2) Telkes M.; ASHRAE Jour., 38, 44; Sept.1973; "Solar Energy Storage".
- (3) Telkes M.; IECEC'75 Record, 111-5; "Thermal Energy Storage".
- (4) Kruffman F.W. and Pan Y.C.: Rept. NSF/RNN/SE/GI27976/TR72/11, Univ.of Penn./sylvania; Dec.1972; "Thermal Energy Storage in Sodium Sulfate Dehydrate Mixtures".
- (5) Telkes M.; Proc. Workshop on Solar Energy Storage for Heating and Cooling of Buildings, NSF/RN/N/75/041, Charlottesville, Va.; April 1975; "Thermal Storage for Solar Heating and Cooling".
- (6) Crivelli A, Saravia L., Ovejero R.; Actas de la Segunda Reunión de Trabajo de Energía Solar, ASADES, U.N.Salta; Julio 1976; "El Ciclo de Absorción Tioocianato-Amónico Como Refrigerador Solar".
- (7) Boar et al.; Paper submitted for publication in Conference Proceedings of 10/ th. IECEC, University of Delaware, Newark, De.19711; August 1975; "Solar One Two Years Experience".
- (8) Telkes M., Ind. and Ener.Chem., Vol.44, N°6, p.1308-10; June 1952; "Nuclear-tion of Supersaturated Inorganic Salt Solutions".
- (9) Lorsch H.G.; ASHRAE Jour.,p.47-52; Nov.1975; "Thermal Energy Storage for Solar Heating".

TABLA I

|  | Agua                          | Canto Rod.                              | Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 5 H <sub>2</sub> O |              |
|--|-------------------------------|---|--|--------------|
|  |                               |   | fase sólida  | fase líquida |
| $\bar{c}$ : Calor específico ( $\frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$ ) | 1,0                           | 0,2                                     | 0,35   | 0,6          |
| $t_c$ : Temp.de fusión (°C)  | -                             | -                                       |  | 50           |
| $\lambda$ : Calor de fusión ( $\frac{\text{cal}}{\text{g}}$ )                | -                             | -                                       |  | 50           |
| $\bar{\rho}$ : Densidad ( $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ )                   | 1,0                           | 2,3                                     |  | ~ 1,7        |
|  | Peso (ton)                    | 10                                      | 50   | 2            |
| Para alma-   | Peso relativo                 | 5                                       | 25   | 1            |
| cenar  | Volumen (+ 25 %               |   |  |              |
| 10 <sup>5</sup> Kcal   | conductos) (m <sup>3</sup> )  | 12                                      | 25,5   | 1,5          |
|  | Vol.Relativo                  | 8                                       | 17   | 1            |
| Localización   | subsuelo, tanque de 12.000 L. | subsuelo, fosa de (6x5x1)m <sup>3</sup> | recinto cúbico (~ 1,25 m. de lado)                                 |              |
| Costo (Tr. de material)  | Mínimo                        | Bajo                                    | ~ 1.100 \$   |              |

TABLA II

| Material   | Temp. de fusión $t_c$ (°C) | Calor de fusión $\lambda$ (cal/g) | Densidad $\bar{\delta}$ (g/cm <sup>3</sup> ) | Calor especif. $c$ (cal/g°C) | Congruencia en fusión | Calor volum. fus. $\lambda\delta$ (cal/cm <sup>3</sup> ) |
|--|----------------------------|-----------------------------------|--|------------------------------|-----------------------|--|
| Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> .12H <sub>2</sub> O              | 65,5                       | 46                                | 1,4  | -                            | -                     | 64   |
| NaOH.H <sub>2</sub> O  | 64,5                       | 65                                | 1,7  | -                            | -                     | 110  |
| Na <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub> .3H <sub>2</sub> O | 58                         | 63                                | 1,3  | -                            | -                     | 82   |
| Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .5H <sub>2</sub> O | 50                         | 50                                | 1,7  | 0,5                          | Parcial               | 85   |
| Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O             | 47                         | 37                                | 1,9  | -                            | Parcial               | 70   |
| Parafina   | 43                         | 47                                | 0,8  | 0,5                          | Total                 | 37,6   |
| FeCl <sub>3</sub> .6H <sub>2</sub> O                             | 36                         | 53                                | 1,6  | -                            | -                     | 85   |
| Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> .12H <sub>2</sub> O              | 36                         | 63                                | 1,5  | -                            | -                     | 95   |
| Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> .10H <sub>2</sub> O              | 34                         | 60                                | 1,45   | -                            | -                     | 87   |
| Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .10H <sub>2</sub> O              | 32,5                       | 60                                | 1,5  | 0,5                          | Ninguna               | 90   |
| Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> .12H <sub>2</sub> O             | 36                         | 64                                | 1,5  | -                            | Parcial               | 96   |
| CaCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O                             | 30                         | 40                                | 1,7  | -                            | Parcial               | 68   |
| Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O             | 47                         | 38                                | -  | -                            | Total                 | -  |
| Ni(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O             | 53                         | 38                                | 2,1  | -                            | -                     | 80   |
| Fe(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O             | 60                         | 30                                | -  | -                            | Total                 | -  |

TABLA III

| Material  | Costo en el mercado nac. { \$ / kg } |
|---|--------------------------------------|
| Parafina  | 70,00                                |
| Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .10 H <sub>2</sub> O              | 100,00                               |
| Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .5 H <sub>2</sub> O | 110,00                               |

TABLA IV

Recipiente: Dimensiones (1,8 x 1,8 x 1,8) m<sup>3</sup> = 6 m<sup>3</sup>

|                        |                                | Material de alambros                                     |  |
|------------------------|--------------------------------|--|--|
|                        |                                | Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .10H <sub>2</sub> O/NaCl | Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .5H <sub>2</sub> O/NH <sub>4</sub> Cl (Butético) |
| Temp. de Fusión        |                                | 13°C   | 50°C   |
| Envasados<br>plásticos | Unidad con sus dimensiones     | Tubos diám.: 3,2 cm.<br>long.: 180 cm.                   | Panes (2,5 x 53 x 53) cm <sup>3</sup>  |
|                        | Epesor pared                   | 0,08 mm  | 1,3 mm   |
|                        | Area Externa                   | 1.820 cm <sup>2</sup>                                    | 6.120 cm <sup>2</sup>  |
|                        | Peso (vacío)                   | 0,16 kgf   | 1,02 kgf   |
| Total de envasados     | Contenido en peso              | 1,82 kgf   | 10,8 kgf   |
|                        | N° de Envasados                | 620 (estruct. cúbica)                                    | 294 (6 panes x 49)   |
|                        | Peso (vacíos)                  | 99,2 kgf   | 300 kgf  |
|                        | Contenido en peso              | 1128,4 kgf   | 3178,2 kgf   |
| Sección Transversal    | Peso Bruto total               | 1127,6 kgf   | 3478,2 kgf   |
|                        | % peso total en envasados      | 8,1 %  | 8,8 %  |
|                        | Area Externa                   | 112,8 m <sup>2</sup>                                     | 179,2 m <sup>2</sup>   |
|                        | Volúmen Neto                   | 0,78 m <sup>3</sup>                                      | 1,09 m <sup>3</sup>  |
| Datos Térmicos         | Volúmen Bruto                  | 0,89 m <sup>3</sup>                                      | 2,35 m <sup>3</sup>  |
|                        | Area Recipiente                | 1,12 m <sup>2</sup>                                      | 2,24 m <sup>2</sup>  |
|                        | Area Envasados                 | 0,49 m <sup>2</sup>                                      | 1,51 m <sup>2</sup>  |
|                        | Pasaje de Aire % para pas.aire | 0,63 m <sup>2</sup><br>56 %                              | 0,71 m <sup>2</sup><br>32 %  |
| Datos Térmicos         | Calor esp.sólido               | 0,35 cal/g°C   | 0,35 cal/g°C   |
|                        | Calor esp.líquido              | 0,65 cal/g°C   | 0,60 cal/g°C   |
|                        | Calor de fusión                | 43 cal/g   | 80 cal/g   |
|                        | Contenido calórico total en:   |  |  |
| calor sensible sól.    | 123 Kcal/°C                    | 144 Kcal/°C  |  |
| calor sensible líq.    | 228 Kcal/°C                    | 389 Kcal/°C  |  |
| calor de fusión        | 49.000 Kcal                    | 189.000 Kcal   |  |

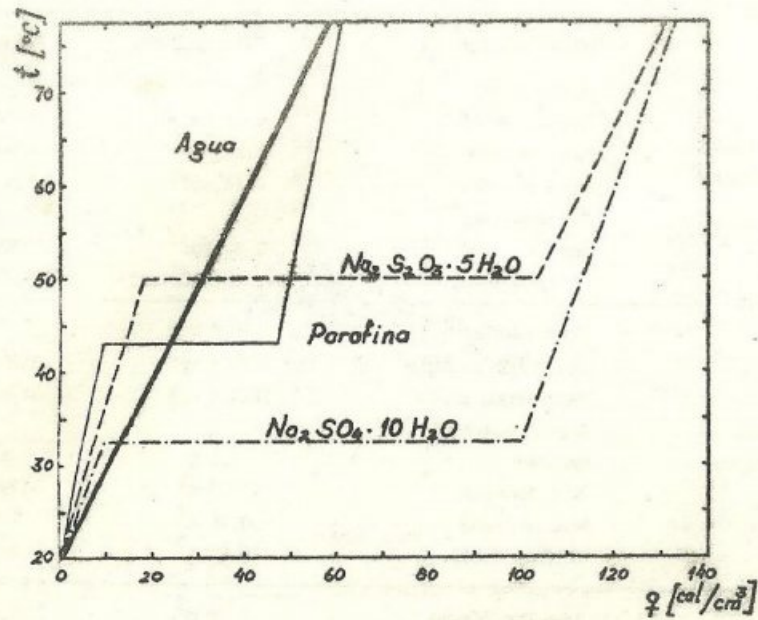


Figura 1:

Muestra la variación de la temperatura en función de la energía almacenada como calor por unidad de volumen, para:  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , parafina de  $43^\circ\text{C}$  y  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ . Se comparan con el agua. Se toma  $q = 0 \text{ cal/cm}^3$  para  $t = 20^\circ\text{C}$ .

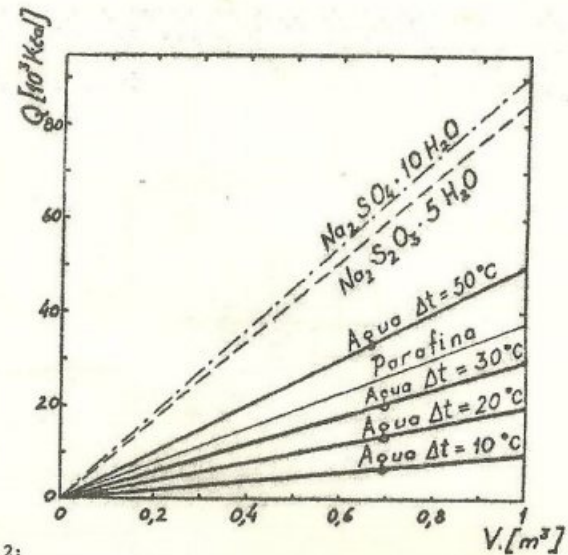


Figura 2:

Calor almacenado en función del volumen de material. Para el agua se parametriza según distintos saltos de temperatura.



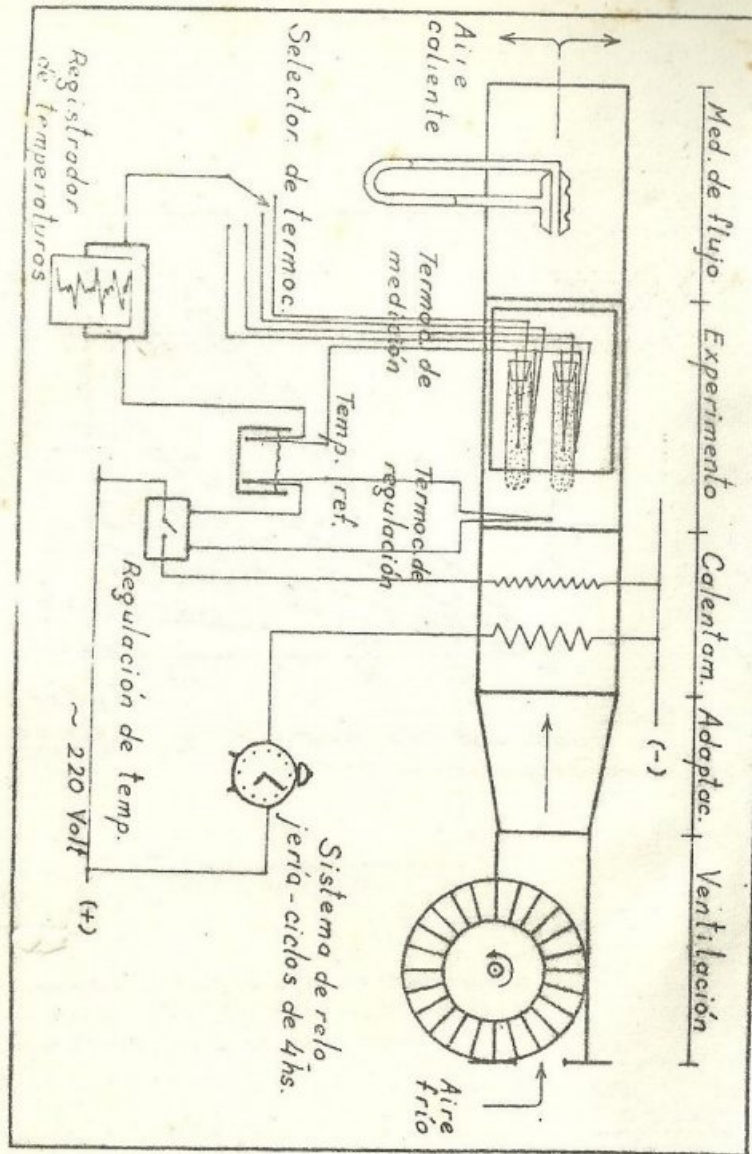


Figura 3:  
Esquema del equipo experimental que se utiliza en el presente trabajo.

[30] 1

Fig  
Ma  
cal  
10