

ABSORBEDOR-ACUMULADOR DE CALOR POR CAMBIO DE FASE PARA SER UTILIZADO EN UN SISTEMA CONCENTRADOR-COCINA SOLAR COMUNAL¹

M. CONDORI, J. BUSANO, L. SARAVIA²

INENCO, Instituto de Investigación en Energía No Convencional. (UNSa-CONICET)
Universidad Nacional de Salta,
Avda. Bolivia 5150, A4408FVY, Salta, Argentina.
Te: 54-387-4255424, Fax: 54-387-4255489,
E-mail: condori@unsa.edu.ar

RESUMEN: En este trabajo se presentan los resultados que se obtienen al estudiar el comportamiento térmico y los aspectos constructivos de barras acumuladoras de calor, construidas con caño estructural de hierro y llenas con hidróxido de sodio de alta pureza. Estas barras se utilizan como absorbedor-acumulador de la radiación solar que incide sobre un concentrador que eleva su temperatura por encima de la de fusión del hidróxido, aproximadamente 300 °C. El concentrador permite el calentamiento de las barras en forma longitudinal, siendo esta la forma mas adecuada debido a la baja conductividad térmica de las barras. El comportamiento térmico de las barras combina el calor sensible de la estructura de hierro y el calor latente que se acumula durante el cambio de fase del hidróxido. Se determina en laboratorio el calor específico promedio y el coeficiente promedio de conducción de calor de las barras. También se presentan curvas del calentamiento de las barras en condiciones de campo utilizando el concentrador. Finalmente, se discuten los problemas constructivos y de funcionamiento del sistema propuesto.

Palabras Claves: Acumulación de calor, cambio de fase, absorbedor, hidróxido de sodio.

INTRODUCCIÓN

El INENCO viene trabajando desde hace algunos años en el desarrollo de cocinas comunales utilizando concentradores de la radiación solar, (Saravia et al., 1999, 2001, 2002; Cadena et al, 2000). Inicialmente, se utilizaron concentradores de 2 m² de área y como absorbedor y acumulador de calor, barras de aluminio colocadas en el foco en un vaso de vidrio pirex. En estas condiciones, se calientan por encima de los 300 °C. Luego las barras de aluminio se transportan a una caja aislada, denominada "caja caliente", donde se coloca la olla o donde se puede hornear pan, u otras masas. Se utilizan 10 barras de 660 gr cada una, transportando 1Mj cada 40 minutos desde el concentrador a la caja. Usualmente, dependiendo del tipo de alimento, se requieren tres recambios de barras calientes para completar su cocción. El aluminio tiene las siguientes propiedades: punto de fusión 659 °C, densidad 2700 Kg/m³, calor de fusión 401 KJ/Kg, conductividad térmica 237 Wm⁻¹ K⁻¹ (a 300 K), calor específico 0,88 KJKg⁻¹K⁻¹ (a 300 K). Debido a que en la confección de las barras se utiliza aluminio de baja pureza el valor del coeficiente de conducción es mas bajo, 150 Wm⁻¹ K⁻¹ y lo mismo es de esperar para la capacidad calorífica.

Una posibilidad interesante es acumular calor latente en un material con cambio de fase de sólido a líquido a temperaturas próximas a los 300 °C. El candidato, por su bajo costo, es el hidróxido de sodio (OHNa) o soda cáustica que tiene su punto de fusión entre 298 y 318 °C, dependiendo de la pureza. La densidad del OHNa es 2130 Kg/m³ y su calor de fusión 167 KJ/Kg. Si bien es altamente corrosivo e hidrófilo, se lo puede manipular en contenedores de hierro. El resultado es una barra que combinará en forma proporcional a la masa de cada componente la acumulación de calor sensible del hierro y la de calor latente del hidróxido.

En este trabajo se presentan los resultados de los ensayos realizados con barras de hierro llenas de hidróxido de sodio. Estos ensayos, procuraron determinar el coeficiente de conducción térmica, el calor específico y la densidad de las mismas. También se presentan los resultados obtenidos con ensayos de campo.

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

En la figura 1 se muestra una foto de las barras confeccionadas. El container se construye con caño de hierro estructural de 30 mm por 40 mm de lado y 1,6 mm de espesor. Originalmente se construyeron barras de 30 cm de largo, para coincidir con las barras de aluminio utilizadas habitualmente. Pero luego de las experiencias que se describen en las secciones siguientes, se optó por una longitud de 22 cm coincidentes con la profundidad del vaso en donde se colocan para ser calentadas por el concentrador. Una vez cortado esta longitud del caño, se suelda a ambos extremos, a modos de tapas, secciones de chapa negra con las dimensiones correspondientes.

¹ Parcialmente financiado por CIUNSa y CONICET

² Investigador Principal del CONICET

Primero se suelda una de las tapas y se llena el recipiente con hidróxido de sodio del 97 % de pureza. Debido a que éste se provee granulado, existe un volumen no cubierto que se debe eliminar. Para ello, se colocan los containeres en una mufla y se eleva gradualmente la temperatura hasta obtener la fusión, se completa la carga de hidróxido en la fase líquida hasta obtener un llenado completo. Se deja enfriar y entonces se suelda la tapa superior. Este proceso asegura que el container no sufrirá tensiones excesivas debido al aumento de presión por dilatación. Un punto crítico de la construcción es la soldadura de las tapas, la que debe ser realizada con mucho cuidado para evitar posibles filtraciones del hidróxido en la fase líquida. Finalmente, las barras se pintan de negro con pintura de alta temperatura para mejorar la absorción de la radiación. En uno de sus extremos se suelda un tornillo para permitir su manipulación mediante una pinza.



Figura 1: Foto de las barras llenas de hidróxido de sodio.

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Primeramente se llevaron a cabo experiencias de laboratorio a fin de determinar el calor específico y el coeficiente de conducción de calor de las barras. El calor específico es un promedio del calentamiento sensible que se produce en el container de hierro y en la fase sólida del OHNa y del calor latente que se produce en este último cuando se llega a su temperatura de fusión.

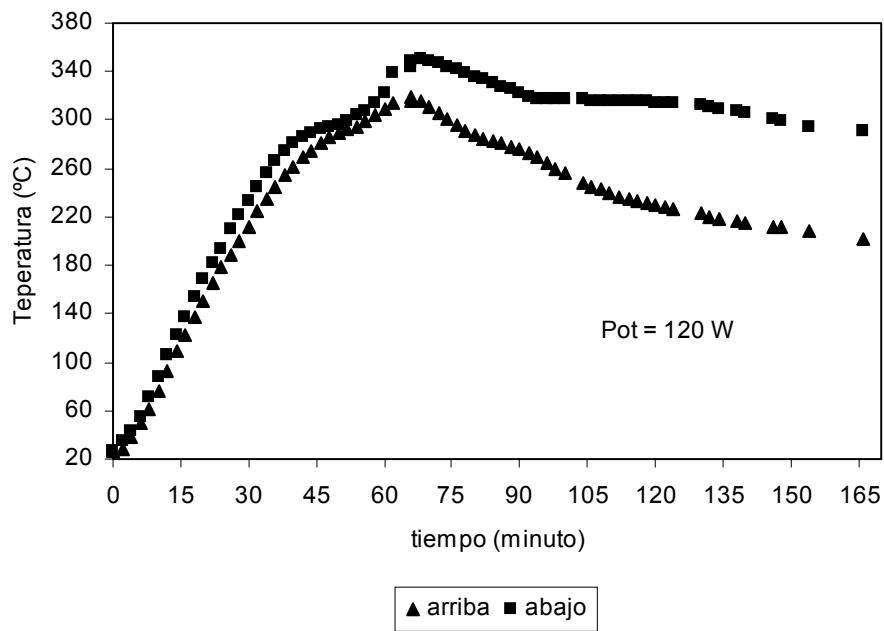


Figura 2: Variación temporal de la temperatura durante la experiencia de acumulación de calor. La distancia entre las termocuplas es de 13,5 cm.

Se utilizó una barra de 681,4 gr de peso total y 22 cm de longitud. Es decir, una densidad de 2581 kg/m^3 . La barra se cargó con 293 gr de OHNa del 97% de pureza. Se calientan tres de las caras longitudinales de la barra mediante tres resistencias eléctricas de mica conectadas en serie, cubriendo completamente dichas áreas. Cabe aclarar que sólo tres caras de una barra son irradiadas cuando es expuestas a la radiación solar en el concentrador, ya que la restante mira al interior del vaso. Luego se aísla térmicamente la barra envolviéndola con lana mineral de 5 cm de espesor y colocándola en el interior de un recipiente térmico de acero inoxidable que se tapa también con lana mineral. Las resistencias eléctricas se alimentan con una potencia estabilizada de 120 Watt, hasta que las barras superan la temperatura de fusión del OHNa.

Se midieron las variaciones de temperatura en dos puntos de la barra, próximos a sus extremos. En la figura 2 se muestran los resultados obtenidos con una experiencia de carga y descarga. Se refiere como “abajo” a la medida mas próxima al fondo del recipiente, que tiene mejor aislamiento térmico, ya que por la parte superior salen los cables de las termocupas y de la alimentación eléctrica. Se observa durante el ciclo de calentamiento que entre los $280 \text{ }^\circ\text{C}$ y los $320 \text{ }^\circ\text{C}$ se está produciendo en una forma no homogénea el cambio de fase del hidróxido, mientras que durante el ciclo de enfriamiento se observa claramente la meseta característica del cambio de fase a los $316 \text{ }^\circ\text{C}$, valor próximo al dado por la bibliografía. Con la suposición de que no hay pérdidas térmicas, es posible determinar el comportamiento promedio del calor específico de la barra. Cuando se considera sólo la parte correspondiente al calentamiento sensible se obtiene un valor de $1689,9 \text{ J/kgK}$, mientras que si también se considera el cambio de fase el valor promedio sube a $2185,2 \text{ J/kgK}$. Estos resultados se muestra en la figura 3, junto con la recta del ajuste para el último caso.

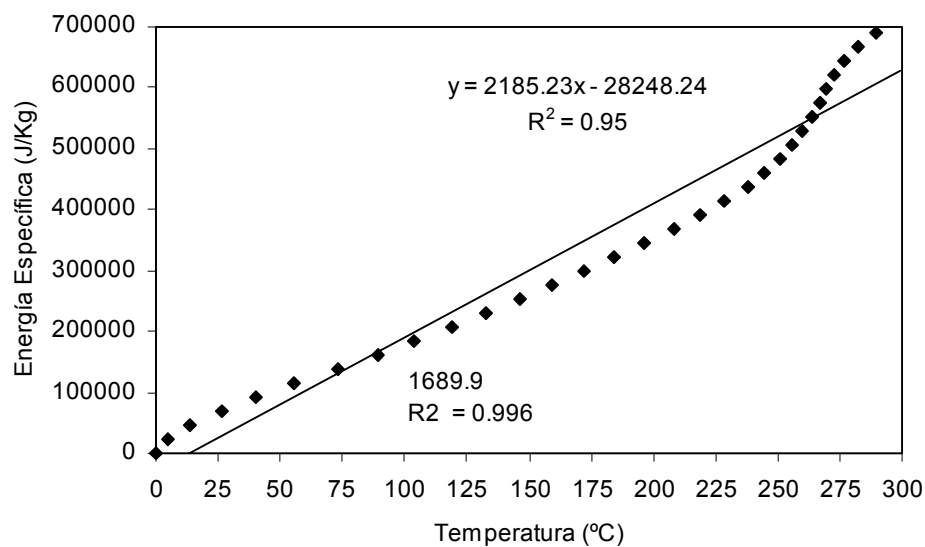


Figura 3: Resultados de la regresión lineal entre los datos medidos de potencia entregada y el aumento de temperatura de la barra. El calor específico es la pendiente de la recta. La barra ensayada tiene 681,4 gr que incluye 293 gr de hidróxido.

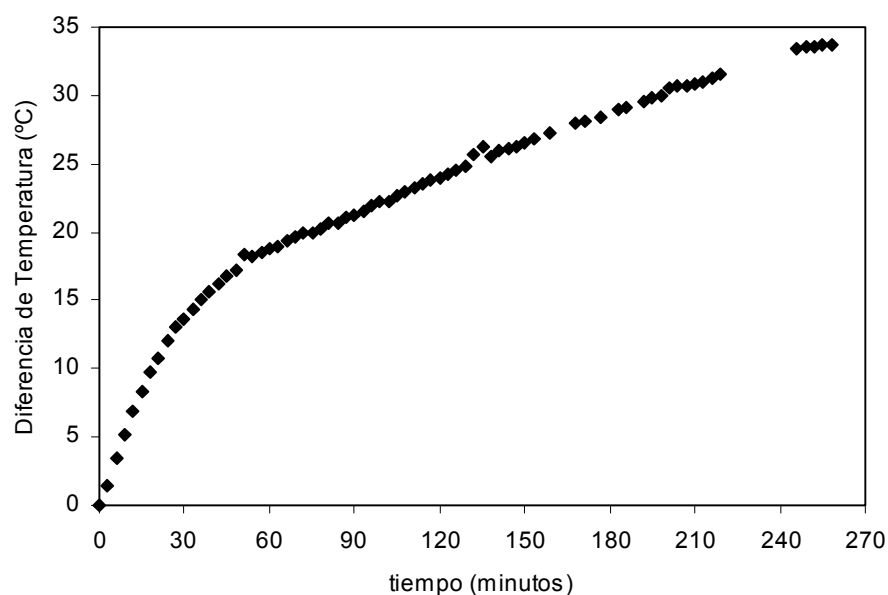


Figura 4: Conducción de calor instantánea de las barras. Área transversal 12 cm^2 . $\Delta x = 13,5 \text{ cm}$. Potencia 8 W . $K = 26,7 \text{ WK}^{-1}\text{m}^{-1}$.

Se realizó otra experiencia de laboratorio para determinar el coeficiente de conducción térmica de la barra. Para ello se utilizó el mismo dispositivo anterior, sólo que ahora se calienta la barra por una de sus caras transversales utilizando una resistencia eléctrica de mica, mientras que el otro extremo se descubre para que la barra pierda calor hacia un foco frío. Los resultados de este calentamiento se muestran en la figura 4, como la diferencia de temperatura entre dos puntos separados por 13,5 cm versus la potencia entregada por la resistencia en cada instante de tiempo. Con la suposición de conducción de calor unidimensional, ya que la barra se encuentra aislada longitudinalmente, el coeficiente de conducción se determina cuando el calentamiento alcanza la condición de estado estacionario. La resistencia eléctrica se alimentó con 8 Watt de potencia y después de 4 horas de calentamiento, se determinó el valor para el coeficiente de conducción de calor de la barra de $26,7 \text{ W / m K}$.

Finalmente, se realizaron ensayos con un juego de barras colocadas en un concentrador solar en condiciones de campo. Se puede encontrar una descripción detallada del concentrador utilizado en la bibliografía (Saravia et. al., 2001). En la figura 5 se muestra una foto del mismo, donde se observa el vaso de vidrio pirex y la incidencia longitudinal que tiene sobre el mismo la radiación solar después de realizar la reflexión en el espejo. Las barras se cargan y descargan por la parte de atrás, que aparece con lana mineral en la foto, en forma sencilla y evitando el encandilamiento del operario. El concentrador necesita realizar el seguimiento de la posición del sol cada 10 minutos aproximadamente.

En la figura 6 se muestra los resultados obtenidos. La radiación promedio en el lapso de tiempo medido se ubicó próxima a los 1000 W/m^2 , mientras que la temperatura ambiente media fue de $24 \text{ }^\circ\text{C}$. En la figura se muestran los registros de dos termocuplas protegidas por capuchones de acero inoxidable. Estos fueron embutidos y soldados en la barra con 13,5 cm de separación. El concentrador realiza un calentamiento en tres caras longitudinales de cada barra. Estas se han cortado de 22 cm para que tengan un tamaño prácticamente igual a la profundidad del vaso. Es decir, se ha buscado optimizar el área expuesta a la radiación y evitando las zonas no expuestas, ya que debido a la baja conducción térmica de las barras, en estas zonas no se produciría el cambio de fase. Se observa en la figura, que el calentamiento es prácticamente uniforme y que se requieren aproximadamente 45 minutos para llegar a la temperatura de cambio de fase. En los ensayos se ha encontrado problemas de sobre presión con el caño utilizado, cuando se superan los $400 \text{ }^\circ\text{C}$. Esto es debido a que esta fue la temperatura de llenado del hidróxido en la mufla. Por lo tanto, es aconsejable retirar las barras una vez producido el cambio de fase de todo el material. En nuestros ensayos utilizamos como referencia una temperatura de $350 \text{ }^\circ\text{C}$.



Figura 5: Foto del concentrador solar utilizado. Este ha sido diseñado para un absorbedor vertical de 20 cm de longitud.

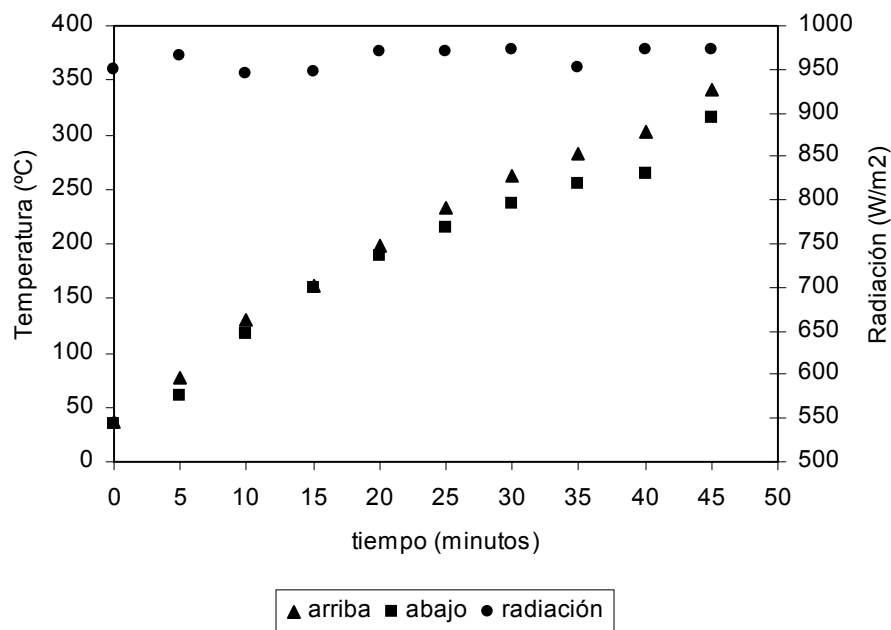


Figura 6: Valores de temperatura para los extremos de una barra en condiciones de campo. El calentamiento es realizado por la incidencia de la radiación solar en forma longitudinal en tres de las cuatro caras.

CONCLUSIONES

Se han realizado ensayos con barras de hierro llenas de hidróxido de sodio tendiente a estudiar la factibilidad de su utilización como absorbedor y acumulador de calor en un concentrador solar, y posteriormente su utilización como fuentes de calor externa para la cocción de alimentos. Trabajando en condiciones de laboratorio con una barra de 2581 kg/m^3 de densidad, se determinó un coeficiente de conducción de calor de $26,7 \text{ W / m K}$ para la fase sólida y un calor específico de $2185,2 \text{ J / kgK}$ que incluye el calor latente de fusión del OHNa. Estos son valores promedios que combinan el comportamiento térmico del contenedor de hierro y del OHNa.

Si se las compara con las barras de aluminio que se vienen utilizando, la conductividad térmica de las nuevas barras es aproximadamente seis veces menor, mientras que el calor específico promedio es aproximadamente tres veces mayor. Debido a que la densidad es prácticamente la misma, unas barras de las mismas dimensiones que las de aluminio, 32 cm de largo, permitirían reducir la necesidad de recambio a una sola, ya que actualmente se necesitan tres. Además, podrían contener mayor cantidad de hidróxido, con lo cual la acumulación del calor latente será mayor elevando el valor de capacidad calorífica aquí presentada.

Ya que la conductividad de calor es baja, el calentamiento de las barras en el concentrador debe ser realizado de forma tal que la radiación incida por lo menos en tres de sus cuatro caras y en toda su longitud, de otra forma no se completa el cambio de fase de la carga completa y se somete el material a esfuerzos por la sobre presión. Dado que se utilizó un concentrador con un vaso de 20 cm de profundidad, esto implicará el rediseño del concentrador para utilizar un vaso de mayor profundidad y mejorar el aislamiento térmico de la base no irradiada.

Sin embargo, para pasar a un uso sistemático de las barras, todavía faltan resolver aspectos constructivos importantes tales como la búsqueda de un contenedor de hierro de confección práctica, que permita un llenado seguro y que pueda ser sellado en forma perdurable. Restan aún ensayar mezclas de hidróxido de sodio con anticorrosivos para atenuar los efectos de corrosión sobre el hierro y las soldaduras. También, serán necesarios mayores ensayos de carga y descarga de calor con las barras para obtener información de su comportamiento térmico después de varios ciclos de uso.

REFERENCIAS

- Saravia L., Cadena C., Suárez H., Fernández C. (1999). *El uso de la "Caja Caliente" en los procesos de cocción solar y las alternativas para su calentamiento*. Avances en Energía Renovables y Medio Ambiente, Vol. 3, N° 2, pp. 09.13-09.16.
- Cadena C., Saravia L., Caso R., Fernández C., Quiroga M., Buccianti G. (2000). *La alimentación y manejo de grupos como una política de medio ambiente: Experiencias de cocción solar de alimentos en el noroeste argentino*. Avances en Energía Renovables y Medio Ambiente, Vol. 4, N° 1, pp. 01.45-01.50.

Cadena C., Saravia L., Caso R., Fernández C., Quiroga M. (2000). *La alimentación y manejo de grupos como una política de medio ambiente: Experiencias para llevar a cabo microemprendimientos productivos con cocción solar en el noroeste argentino*. Avances en Energía Renovables y Medio Ambiente, Vol. 4, N° 1, pp. 01.51-01.56.

Saravia L., Cadena C., Caso R., Fernández C. (2001) El diseño de concentradores reflectores de tipo fresnel destinados a cocinas solares. Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 9, pp 57-65.

Saravia L., Cadena C., Caso R., Fernández C. (2002) Cocinas solares comunales de uso múltiple. Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 10, pp. 51 - 56, 2002

ABSTRACT:

In this work, the results of the research with latent-heat storage in bars are presented. In this study, the thermal behavior and constructive details of the bars are included. Iron structural tubes filled with high quality sodium hydroxide are used in their construction. These bars are used as absorber and heat-stored in a solar concentrator where the hydroxide fusion temperature, approximately 300 °C, is reached. In the concentrator, the heating of the bars is performed in a longitudinal way, being this right since the low thermal conduction of the hydroxide. Both the sensible heating of the iron structure as the latent heat stored during the change of phase of the hydroxide are combined in the thermal behavior of the bars. The heating curves obtained with the bars in field conditions using the concentrator are presented. The bars average specific heat and the thermal conduction coefficient are determined under laboratory conditions. Finally, the constructive and operation problems of the bars are discussed.

Keywords: storage of heat, change of phase, solar absorber, sodium hydroxide.