

ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO GRASAS ORGANICAS

María Vilte y Angélica Boucíguez
Facultad de Ciencias Exactas. Universidad Nacional de Salta. Av. Bolivia 5150 - 4400 Salta-
Tel. 0387 – 4255424, e-mail: viltem@unsa.edu.ar; bouciga@unsa.edu.ar

RESUMEN: En este trabajo se presenta el estudio experimental de grasas orgánicas, con el fin de utilizarlas en el acondicionamiento pasivo de locales para distintos usos. Tales sustancias presentan cambio de fase a presión atmosférica y temperaturas en el rango de los 20 a los 50 °C, por lo que su empleo constituye una herramienta adicional al ser utilizadas como colectores – acumuladores en mantenimiento de condiciones apropiadas de confort en habitáculos que utilizan energía solar, como fuente de calor. Las experiencias realizadas ponen de manifiesto que son capaces de soportar sucesivos ciclos de calentamiento – enfriamiento sin sufrir deterioros apreciables. Los resultados permiten inferir que tales sustancias pueden retrasar la onda térmica proveniente del sol y disponer de una de energía adicional a ser entregada cuando el sistema lo requiera.

Palabras Claves: acondicionamiento térmico, grasas orgánicas, colectores - acumuladores, cambio de fase.

INTRODUCCIÓN

El uso de sustancias de cambio de fase como acumuladores en el acondicionamiento térmico de locales para distintos usos ha sido propuesto por diversos autores. (Lock, 1996; Stritih, 2003; Farid et al, 2004) En particular, cuando se utiliza energía solar, es importante su acumulación para tener energía disponible también en horas de la noche; la utilización de materiales de cambio de fase permite esta alternativa al poder ubicarse dentro del recinto y aprovechar la transferencia de calor tanto en forma sensible como latente. (Grodzka, 1980; Hamdan y Elwerr, 1996)

La acumulación de energía térmica en materiales de cambio de fase tiene la ventaja de almacenar una gran cantidad de energía en volúmenes y masas pequeñas, respecto de los materiales tradicionales de construcción. (Boucíguez et al, 2003) En general, las grasas orgánicas y sus ésteres son más adecuadas en razón de sus propiedades térmicas, además de no corrosivas, no presentar problemas de sub - enfriamiento y tener puntos de fusión definidos. (Hasan y Sayigh, 1994)

Con tal propósito se realizaron experiencias con este tipo de sustancias, utilizándose grasa vacuna, comercialmente conocida como primer jugo bovino, producto separado por fusión a temperatura no mayor de 80°C de los tejidos y partes adiposas, limpias e inalteradas de animales bovinos. Este producto ofrece una alta disponibilidad y bajo costo en el país y es utilizada como materia prima en la industria de los alimentos y en la vida cotidiana.

La grasa vacuna es una sustancia de origen orgánico comestible, constituida fundamentalmente por triglicéridos en una cantidad mayor al 95%, cuyo contenido es una molécula de glicerol que tiene tres ácidos grasos esterificados: los ácidos oleico, esteárico y palmítico. Por otra parte, pueden encontrarse otras moléculas como fosfolípidos, carotenoides, colesterol, vitamina A, D, E o K., hidrocarburos como el escualeno, etc. Es una sustancia insoluble en agua, soluble en alcohol y en éter, de color es blanco amarillento que funde entre los 40 y los 60 °C de acuerdo a su pureza y con punto de ebullición por encima de los 200 °C, sus propiedades físicas más importantes se presentan en la Tabla 1.

Densidad ρ (kg/m ³)		Conductividad Térmica k (W/°Cm)		Calor específico c (J/kg °C)	Calor latente de fusión L (J/kg)
líquido	sólido	líquido	sólido		
800	820	0.24	0.20	1600	120000

Tabla 1: Propiedades de la grasa vacuna.

Cabe aclarar que las propiedades consignadas en la Tabla 1, son tomadas de bibliografía para grasas animales. (Swern, 1964; West, 1983) Asimismo se consigna el valor del calor específico sin aclarar si se trata de sólido o líquido, hecho que no es significativo pues es el parámetro que menos influencia presenta en el avance de la frontera. (Boucíguez, et al, 2003)

En igual forma, dado que existen en el mercado a precios accesibles, grasas vegetales, del tipo a las empleadas en reemplazo del aceite, con punto de fusión en el orden de los 38 °C; se han realizado también experiencias con ellas a fin de visualizar su comportamiento y analizar su posible utilización como moderadoras de temperatura en recintos tales como invernaderos, secaderos, etc. en los que sea necesario almacenar energía durante el día para mantener condiciones adecuadas de temperatura en horas de la noche.

Habitualmente se hace referencia con el término de grasa, a los aceites que son sólidos a temperatura ambiente (alrededor de 20°C), mientras que los aceites hacen referencia a aquellos grasas que son líquidos a temperatura ambiente, aunque en realidad se estaría haciendo referencia con los dos términos, a los mismos compuestos. La diferencia básica que determina que un aceite sea sólido o líquido a temperatura en torno a los 20°C, radica en la estructura de los ácidos grasos. Un ácido graso tiene un punto de fusión tanto más bajo cuanto menor es su longitud de cadena. En las grasas sólidas a temperatura ambiente el porcentaje de ácido esteárico, palmítico, etc. es importante.

El primer jugo bovino y la grasa vegetal son grasas refinadas de gran plasticidad, pero se las debe almacenar entre 10 y 20 °C protegidas de la luz solar y del oxígeno del aire, ya que este ataca a los dobles enlaces y, en un proceso progresivo, termina por romper la cadena de carbonos de los ácidos grasos produciendo compuestos de mal olor. Es importante destacar que ambas grasas es que al no ser higroscópicas no absorben la humedad del aire y por lo tanto no alteran sus parámetros físicos hacia los del agua ni agregan humedad extra al ambiente.

EXPERIENCIAS DE VISUALIZACIÓN

En todos los casos las sustancias fueron envasadas en recipientes de vidrio, construidos especialmente o característicos de uso químico, fueron calentadas eléctricamente por contacto con una resistencia conectada a una fuente de tensión o por inmersión en un baño térmico a temperatura controlada. Asimismo fueron enfriadas por inmersión en agua fría o por simple contacto con el ambiente del laboratorio.

Se construyeron recipientes de base rectangular de 12 x 18 cm², en vidrio float de 3mm de espesor. En el caso de aquellos propios de laboratorios de química se utilizaron de base circular, tales como cápsulas de Petrie de diferentes tamaños, vasos de precipitado, pesa filtros, cristalizadores, los que por su geometría y mejor calidad del vidrio facilitaron la visualización del comportamiento de las sustancias de cambio de fase.

Los recipientes fueron llenados con grasa bovina cuyo punto de fusión se encuentra en los 45°C o con grasa vegetal, que presenta fusión a los 38°C. Todos ellos fueron cargados total o parcialmente con sustancia líquida, la que se contrajo al solidificar, por efecto del cambio de densidad. No obstante, como esta diferencia es pequeña no se aprecia visualmente un cambio significativo en el volumen de la muestra. Debido también a la pequeña diferencia de densidades entre ambas fases no se presentaron dilataciones de los recipientes utilizados, hecho que se corroboró por medición directa de las dimensiones de los mismos antes y después de haber sido sometidos procesos de calentamiento y enfriamiento.

Para observar el proceso de fusión de la sustancia y paralelamente la evolución de la interfase sólido - líquido se colocó el material de cambio de fase inicialmente sólido a temperatura ambiente ($\cong 15$ °C) en una cápsula de Petrie de 15 cm de diámetro. Se tomaron fotografías con una cámara digital en distintas etapas del proceso a fin de observar el avance del frente de fusión y poder apreciar el comportamiento de la sustancia.

Para el calentamiento se utilizó un calefactor eléctrico con una resistencia de 20 Ω colocándose sobre él una plancha de hierro de 1 cm de espesor e igual diámetro de la cápsula a fin de uniformizar la temperatura en la base del recipiente que contiene la muestra. Una fuente de tensión constante de 60 V conectada al calefactor, suministró una potencia prácticamente constante de 180 W. Nivelados todos los elementos, se colocó la cápsula conteniendo la sustancia a ensayar sobre dicha chapa. La muestra fue calentada desde abajo, con la superficie libre en contacto con el ambiente a menor temperatura. Una foto del desarrollo de la experiencia se muestra en la Figura 1, donde se señalan los distintos elementos así como también las fases líquida y sólida de la muestra.

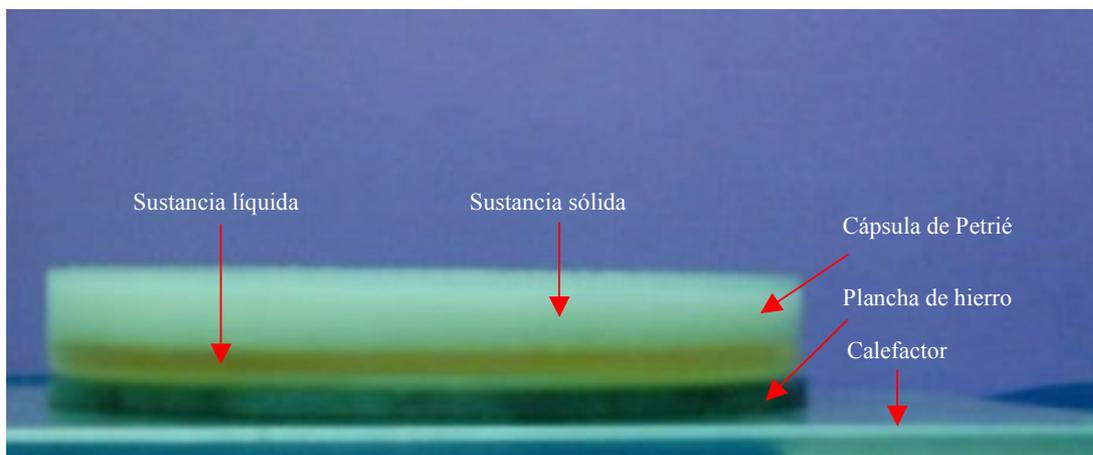


Figura 1. Dispositivo experimental para el calentamiento de la muestra contenida en una cápsula de Petrie.

En la Figura 2, se presenta también un proceso de calentamiento eléctrico estando la sustancia contenida en recipientes de geometría rectangular, uno de ellos abierto y el otro sellado. En ella se señala el calefactor y la sustancia en ambos estados.

La forma del avance de la frontera es la misma, ya sea que el recipiente tenga la superficie libre o se encuentre completamente sellada.

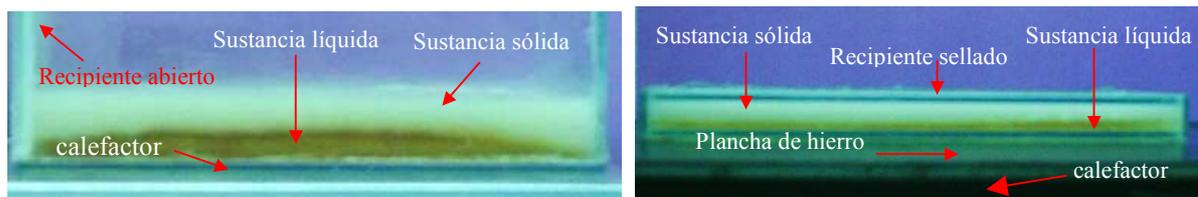


Figura 2. Calentamiento de la muestra de geometría rectangular en un envase con superficie libre y sellada.

En el caso en que la sustancia es una grasa vacuna, la fusión comienza aproximadamente después de 30 minutos de iniciado el calentamiento y el sistema requiere otros 30 minutos para que la sustancia esté completamente fundida. Cuando la muestra presenta los dos estados sólido y líquido, la temperatura registrada alrededor de la interfase es de aproximadamente 38°C. y la temperatura en la grasa derretida en contacto con el fondo del recipiente es alrededor de 53 °C. Al final del proceso cuando la muestra se encuentra completamente líquida su temperatura en el centro es de 41°C, en el fondo del recipiente de 57°C, estando las paredes laterales de 54°C.

En la Figura 1 se observa que la sustancia comienza a fundirse desde el fondo del recipiente hacia la superficie en forma prácticamente homogénea, el sólido se encuentra sobre el líquido y la frontera avanza hacia arriba en la dirección vertical lo que podría llevar a pensar que tales sustancias presentan dilatación anómala.

Este mismo efecto ocurre en los recipientes de base rectangular, tal como se aprecia en el Figura 2, observándose que este hecho es independiente de que el mismo presente una superficie libre o se encuentre completamente sellado.

Sin embargo cuando la sustancia se encuentra totalmente líquida y comienza a solidificarse por contacto con el ambiente o por inmersión en un baño a baja temperatura se aprecia que solidifica desde la parte inferior, es decir el sólido se encuentra por debajo del líquido.

Esta situación puede explicarse considerando que la sustancia al ser calentada por debajo y al tener una viscosidad alta, el movimiento del fluido se dificulta quedando claramente separadas ambas fases por la superficie de separación: interfase.

En el caso de calentamiento eléctrico los recipientes podían estar llenos en su totalidad, hecho que se concretó en aquellos cuya base es mayor que su altura, tales como una caja de Petrie, pero no en el caso del recipiente abierto a fin de poder manejarlo sin derramar sustancia de cambio de fase, cuando ésta estuviese líquida. Cuando fueron calentadas por inmersión en un baño térmico los recipientes tenían mayor altura y no estaban completamente llenos, a fin de evitar la entrada accidental de agua a la muestra, con la consiguiente salida de grasa al agua de circulación y en consecuencia el posible deterioro del equipo.

En ambas experiencias se observa también que la sustancia se funde progresivamente, estando claramente identificadas las dos fases: líquida y sólida y la interfase que se encuentra a la temperatura de fusión.

MEDIDAS TERMICAS

Se utilizaron dos recipientes de vidrio de distinta geometría. Uno de ellos, (modelo 1) fue construido en vidrio float de 3mm de espesor, de base rectangular de 16 x 9 cm² y 15 cm de alto. El otro (modelo2) fue un cristizador de uso químico de 14.5 cm de diámetro y 7 cm de altura. Este último fue utilizado debido a que se observó la influencia de efecto esquina en las experiencias realizadas con el modelo 1, hecho que no aparece en el modelo 2.

Para el calentamiento se emplearon dos baños térmicos, uno tipo caja para el modelo 1 y otro de boca circular para el modelo 2. Ambos recipientes no fueron llenados completamente sino sólo hasta un máximo de 2 cm de su altura para evitar, al colocarlos en el baño, el ingreso accidental de agua a la muestra.

Para las medidas térmicas se utilizaron termocuplas de cobre-constantan recubiertas con teflón, tipo T, norma NBS, las que se conectaron a dos módulos NUDAM anexados a una computadora que mediante un programa ejecutable permite guardar los datos en un archivo de texto para su procesamiento posterior. Los registros se realizaron cada 30 segundos.

Se registraron las temperaturas en la pared de la muestra, a la mitad de su altura. (Tpared) y el interior del recipiente con el material de cambio de fase en el centro de la muestra a tres posiciones diferentes: sobre la base del recipiente (Tbase), a la mitad de la altura de la muestra (Tcentro) y en la superficie (Tsup), así como también la temperatura a la mitad del ancho a 1cm de su superficie (Tgrasa) tal como se indica en la Figura 3 para el caso del modelo 1. En el modelo 2, las temperaturas se colocaron siguiendo el mismo criterio, esto es se registraron las temperaturas en la pared, en el centro y en la mitad del radio.

El baño térmico se preparó con agua a Tbaño>Tfusión. En algunas experiencias se sumergió la muestra cuando el agua en el baño se encontraba a 50°C, manteniéndose constante durante todo el proceso. En otras, se colocó la muestra cuando la

temperatura del agua era de 40°C, incrementándola en forma escalonada a partir de este valor, primero a 45°C y luego a 50°C.

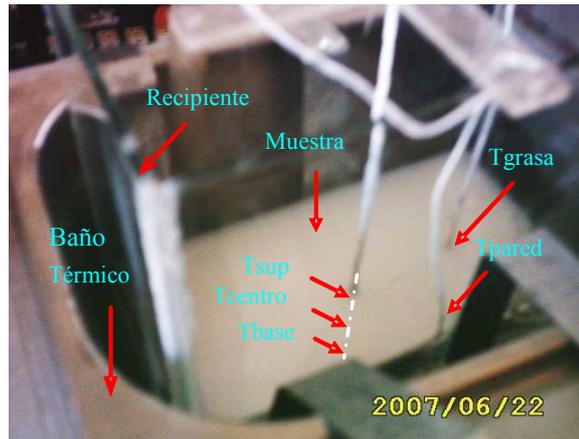


Figura 3: Dispositivo experimental para las medidas térmicas, donde se muestran la disposición de las termocuplas.

En la Figura 4 se muestra el perfil de temperaturas en el interior de la sustancia de cambio de fase, en la pared del recipiente que la contiene y la del agua en el baño, para las dos formas de calentamiento antes mencionadas. La parte (a) corresponde al incremento escalonado de la temperatura del agua, mientras que la (b) al caso en que ésta se mantenía constante. Las horas consignadas en ambas figuras, corresponden a la hora reloj en que se realizaron dichas experiencias.

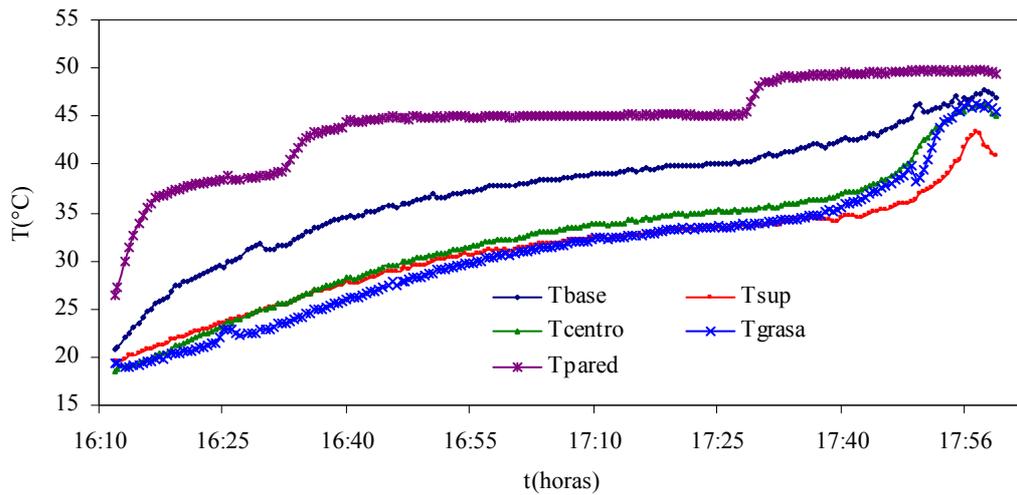


Figura 4 a: Perfil de temperaturas del modelo 1, calentamiento escalonado.

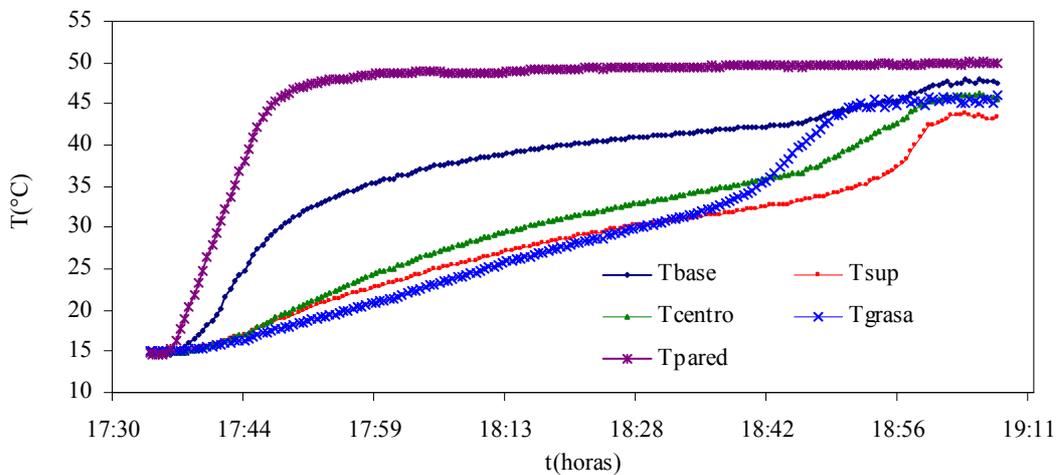


Figura 4 b: Perfil de temperaturas del modelo 1, calentamiento a temperatura constante.

En el caso de calentamiento escalonado (Figura 4 a) se observa que este hecho se refleja en el perfil de la temperatura en la pared del recipiente; luego suavemente se modifican las demás temperaturas dentro de la muestra, a la hora 17 se aprecia el incremento de la temperatura en el centro del material (T_{centro} y T_{grasa}) lo que corresponde al momento en el líquido ocupa la mitad inferior del recipiente, cuando se ha fundido completamente la temperatura en la superficie libre (T_{sup}) registra dicho incremento. Del perfil de temperatura se desprende que luego de aproximadamente 1 hora y 45 minutos el material de cambio de fase se encuentra totalmente líquido.

En el caso en que el baño se encontraba a temperatura constante igual 50°C (Figura 4 b) se observa del perfil de temperaturas que a los 25 minutos la pared del recipiente alcanza la temperatura del baño y luego de 1 hora 30 minutos toda la muestra está completamente líquida. La temperatura en la muestra sobre la base del recipiente también crece rápidamente, luego le siguen las temperaturas del centro, la de la superficie. Se observa también el incremento en las temperaturas cuando la porción de materia en la que se encuentran se ha licuado. Al final de la experiencia se observa que todas las temperaturas se encuentran por encima de la de fusión.

En ambos casos el agua del baño cubre el espesor del material de cambio de fase y el avance de la frontera se produce desde las paredes del recipiente hacia el centro de la muestra en forma homogénea, como así también desde abajo. Durante el desarrollo de la experiencia se observó que la sustancia comienza a fundirse desde la parte inferior hacia la superior; la acción del calor en las esquinas hace que el frente de fusión tome una forma oval. Con el propósito de eliminar este efecto, se utilizó, como ya se dijo, el recipiente de geometría cilíndrica, (modelo 2) observándose y registrándose su comportamiento térmico frente a condiciones externas similares a las del recipiente de base rectangular; para esta situación se utilizó un cristalizador.

En ambas figuras (4 a y b) el cambio de fase se manifiesta por el incremento brusco de la temperatura. En efecto, primero las denominadas T_{centro} y T_{grasa} , elevan fuertemente su temperatura y luego lo hace T_{sup} , evidenciando que la sustancia se funde desde abajo hacia arriba.

El perfil de temperaturas registrado en el modelo 2 se presenta en la Figura 5. Se observa que la pared del recipiente en este caso tarda alrededor de 40 minutos en alcanzar la temperatura del baño. Al igual que en el caso anterior, se observa el aumento de temperatura desde la parte inferior del material, observándose un fuerte incremento cuando la porción de sustancia correspondiente se torna líquida. Al cabo de 2 horas ésta se encuentra completamente fundida.

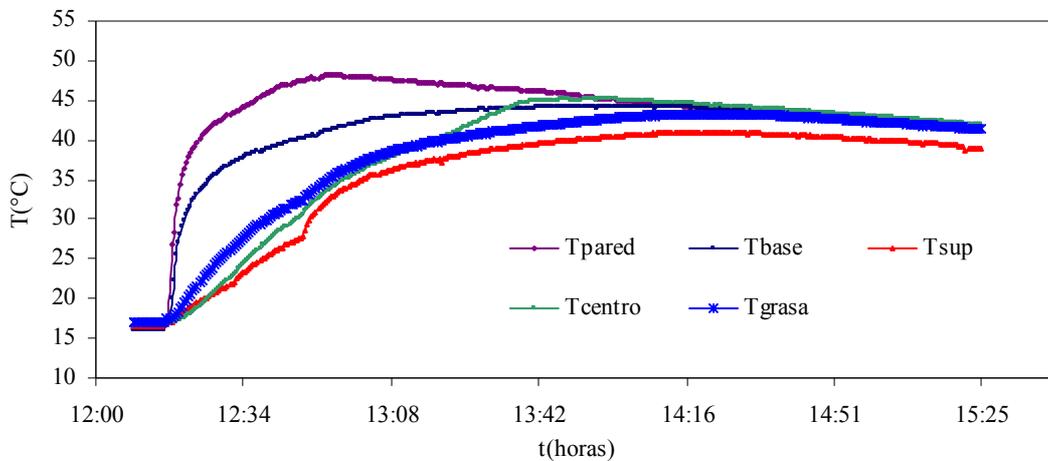


Figura 5. Perfil de temperaturas en el ciclo de calentamiento para el modelo 2.

En esta figura se observa que la primera termocupla en registrar el cambio de estado es la denominada T_{centro} , sucediéndole T_{grasa} y T_{sup} , en total acuerdo con el avance de la interfase.

En la Figura 6 se presenta el perfil de temperaturas en un ciclo de enfriamiento para el mismo modelo, el que se realizó colocando la muestra fundida en un baño de agua fría. Se observa el rápido descenso de la temperatura del recipiente hasta alcanzar las condiciones externas, mientras que en el interior de la muestra el proceso es más lento. En este caso se ve que la fase sólida se localiza en la parte inferior del recipiente; esto es, solidifica desde abajo hacia arriba.

Al encontrarse la muestra completamente sumergida en agua fría desciende rápidamente la temperatura de la pared, al cabo de media hora la sustancia se encuentra prácticamente solidificada, evidenciándose el cambio de la pendiente en las curvas que registran las temperaturas, signo determinante de que la sustancia ha comenzado a solidificarse.

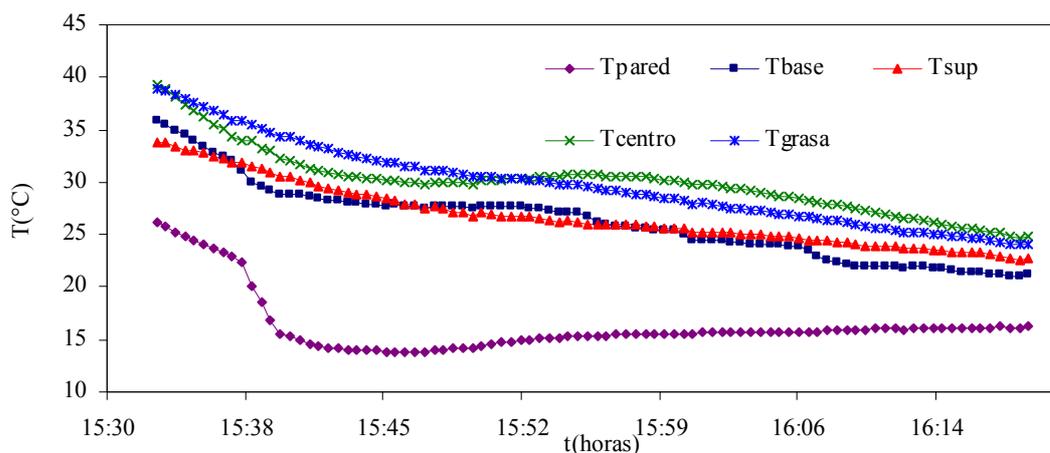


Figura 6. Perfil de temperaturas en el ciclo de enfriamiento del modelo 2.

Las muestras han sido ensayadas en sucesivos ciclos de calentamiento – enfriamiento, no observándose modificaciones sustanciales en los resultados cuando entre una experiencia y otra (realizadas en distintos días) fueron cubiertas con un film. No obstante cuando permanecieron destapadas y por ende en contacto con el ambiente se observó que las mismas se ensuciaban por absorción de las partículas de polvo presentes en el aire, lo cual no es de extrañar dado que se trata de sustancias grasas. Sin embargo la grasa puede limpiarse, fundiéndola y filtrándola con un colador y papel de filtro.

CONCLUSIONES

Las grasas animales y vegetales son sustancias de gran disponibilidad con precios accesibles en plaza. Por sus características físicas, en particular su punto de fusión, pueden ser utilizadas como moderadoras de temperatura en recintos acondicionados con energía solar, sustituyendo a la energía auxiliar necesaria para mantener las condiciones adecuadas de temperatura durante la noche, o bien sustituir a colectores construidos con materiales tradicionales que ocupan mayor volumen y no permiten la posibilidad de moverlos dentro del recinto.

Entre los compuestos orgánicos la temperatura de fusión y su calor latente de fusión de las grasas ensayadas, hacen que éstas resulten interesantes desde el punto de vista del estudio experimental de los materiales de cambio de fase para el almacenamiento de energía. Por otra parte se ha observado que tales sustancias no presentan cambios significativos en sus propiedades luego de sucesivos ciclos térmicos.

REFERENCIAS

- Bouciguez, A Villa, L y Lara, M. (2003) *Thermal Conditioning Using Phase Change Materials*. Revista Engenharia Térmica (RETERM). ABCM. N° 3, 2003, pág. 71 - 74.
- Bouciguez, A. Cardón, L y Lara, M. (2003) *Comparación del Comportamiento de Muros Construidos con Elementos Tradicionales Frente a Otros que Contienen un Material de Cambio de Fase*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Revista de la Asociación Argentina de Energía Solar. Vol. 7, pág. 08.43 - 08.48.
- Farid, M, Khudhair, A, Razack, S y Al-Hallaj, S., (2004) *A Review on Phase Change Energy Storage: Materials y Applications* Energy Conversion y Management N° 45, pp. 1597-1615.
- Grodzka, F. *Phase Change Storage Systems*. Cap. 25. Solar Energy Technology Handbook. Part A. Engineering Fundamentals. Edited by W. Dickinson and P. Chermisnoff, 1980.
- Hamdan, M and Elwerr, F. (1996) *Thermal Energy Storage Using A Phase Change Material*. Solar Energy, Vol. 56, N° 2, pp. 183 – 189.
- Hasan, A and Sayigh, A. (1994) *Some Fatty Acids as Phase Change Thermal Energy Storage Materials*. Renewable Energy, Vol. 4, N° 1, pp. 69 – 76.
- Lock, G. (1996) *Latent Heat Transfer. An Introduction to Fundamentals*. Oxford Engineering Science Series.
- Medina, M. Bouciguez, A. Lara, M. (2004) *Diseño de un Embalaje para Productos Biológicos con Absorción del Calor de Respiración a través de un Material con Cambio de Fase*. Energías Renovables y Medio Ambiente, Revista de la Asociación Argentina de Energía Solar. Revista de la Asociación Argentina de Energía Solar. Vol. 14, pág. 39 - 44.
- Stritih, U. (2003) *Heat Transfer Enhancement in Latent Heat Thermal Storage System for Building*. Energy and Building, 35, pp 1097 – 1104.
- Swern, D. (1964) *Physical Properties of Fats and Fatty Acids*. Cap. 3 Bailey's Industrial Oil and Fat Products.
- West, C. (1983) *International Critical Tables of Numerical Data. Physics, Chemistry and Technology*. Editorial McGraw-Hill Book Company

AGRADECIMIENTOS

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

EXPERIMENTAL STUDY OF THERMAL PERFORMANCE OF ORGANICS WAXES

ABSTRACT: The experimental study of organic waxes to be used in the passive thermal conditioning of rooms for different purposes is presented here. These substances have the melting point at atmospherically pressure and at temperatures between 20 and 50 °C, so their use constitutes an important help to be use as storage – collector to assure the appropriate thermal conditioning of dwelling room that uses solar energy as a source of heat. The experiments show their capability to support successive thermal cycles of fusion – solidification without suffer an appreciable damage. The obtained results show that they can retard the sun thermal wave and then this assures an additional energy when it is required.

Key words: thermal conditioning, organics wax, storage – collector walls, phase change materials.