

ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE UN DEPÓSITO DE ALMACENAMIENTO LATENTE DE ENERGÍA TÉRMICA A 55°C

PAYÁ HERRERO, Jorge⁽¹⁾; LÓPEZ NAVARRO, Alejandro⁽¹⁾

SCHIANO, Paola⁽¹⁾; CORBERÁN SALVADOR, José Miguel⁽¹⁾

jorpaher@ie.upv.es

⁽¹⁾Instituto de Ingeniería Energética IIE, Universitat Politècnica de València

Camino de Vera s/n, Edificio 8E cubo F 5ª planta, 46022 Valencia, Spain

RESUMEN

El presente trabajo consiste en el análisis experimental de un depósito de almacenamiento latente de energía térmica. El depósito contiene 235l de material de cambio de fase, la parafina RT55 de RUBITHERM. En primer lugar, se aportan los datos más relevantes del depósito y de la campaña experimental, y a continuación se analizan los resultados obtenidos, tanto desde el punto de vista de las temperaturas como de la potencia y energía intercambiada con el fluido caloportador. A efectos prácticos, la potencia térmica intercambiada con el fluido caloportador, así como la duración de los procesos de carga y descarga son dos variables de gran importancia. En el presente trabajo, se han correlacionado con precisión en función de la temperatura de impulsión y el caudal, teniendo este menos impacto ya que el factor limitante es la transmisión de calor dentro del material de cambio de fase.

Palabras clave: almacenamiento energía térmica; parafina; experimental

1. Introducción

El almacenamiento de energía térmica es un tema con un interés creciente en los últimos años. Por ejemplo, resulta clave para una mejor integración de las energías renovables aportando una mayor flexibilidad al desacoplar la generación de la demanda.

Entre las distintas tecnologías disponibles, el almacenamiento sensible con agua líquida es la solución más extendida en la industria, entre otros motivos por su bajo coste, la utilización de un material sin efectos nocivos sobre el ambiente, y su facilidad de integración con el resto de sistemas. Sin embargo, existen también otras opciones como el almacenamiento latente y el termoquímico. Ambas presentan la ventaja de ser más compactas que el almacenamiento sensible. En concreto, en el almacenamiento latente, existe una gran variedad de materiales disponibles comercialmente y que permiten abarcar prácticamente cualquier nivel de temperaturas requerido en aplicaciones industriales. Así pues, su uso no sólo está limitado al rango de temperaturas 0-100°C tal y como ocurre con el agua líquida a presión atmosférica.

En este estudio se analizan las prestaciones experimentales de un depósito de almacenamiento latente de energía térmica con un material de cambio de fase a 55°C. En trabajos anteriores [1], el mismo depósito ha sido caracterizado para almacenamiento de frío a 8°C. El presente estudio presenta la novedad de utilizar una parafina con distintas propiedades, en este caso con el objetivo de almacenar calor a baja temperatura.

Se han realizado recientemente estudios experimentales similares para almacenamiento de calor a baja temperatura, por ejemplo por Banaszek et al. [2]. Otras aplicaciones más extendidas son el almacenamiento de frío [1, 3-4] o el almacenamiento de calor a media temperatura [5]. Los estudios experimentales realizados muestran la complejidad de ciertos procesos, por ejemplo la caracterización de propiedades termo-físicas clave como las curvas entalpía-temperatura y su dependencia de la velocidad de transmisión de calor. Otra dificultad adicional consiste en la histéresis, o el comportamiento asimétrico de los materiales de cambio de fase según si se trata de un proceso de solidificación o de fusión.

2. Metodología

El objetivo del presente estudio consiste en caracterizar experimentalmente el comportamiento de carga y descarga de un depósito que contiene el material de cambio de fase RT55 de RUBITHERM. Desde el punto de vista del material, una carga consiste en realizar el paso de sólido a líquido, con lo que se almacena el calor, y la descarga consiste en solidificar el material recuperando dicho calor.

El material RT55 ha sido caracterizado mediante calorimetría de triple capa por RUBITHERM y su calor específico frente a la temperatura viene ilustrado en la Figura 1. Conviene destacar que el pico de calor específico ocurre en ambos procesos de solidificación y fusión a 55°C por haberse caracterizado a velocidades bajas (~0.1 K/min). En ensayos DSC realizados por ACCIONA S.A. con la misma parafina pero a mayores velocidades, y más cercanas a las del presente estudio, el calor específico máximo ocurre a 49.2°C para el proceso de solidificación y a 57.2°C para el proceso de fusión. Otro aspecto importante es que el cambio de fase no ocurre en una temperatura única sino en un intervalo de temperaturas que se ha tomado como 51-62°C. Pese a que el proceso de fusión parece acabar a 58°C según la Figura 1, la experiencia práctica muestra que a menudo es necesario calentar más el material para que esté completamente líquido, por lo que se ha considerado más interesante considerar como intervalo latente el rango anterior hasta 62°C.

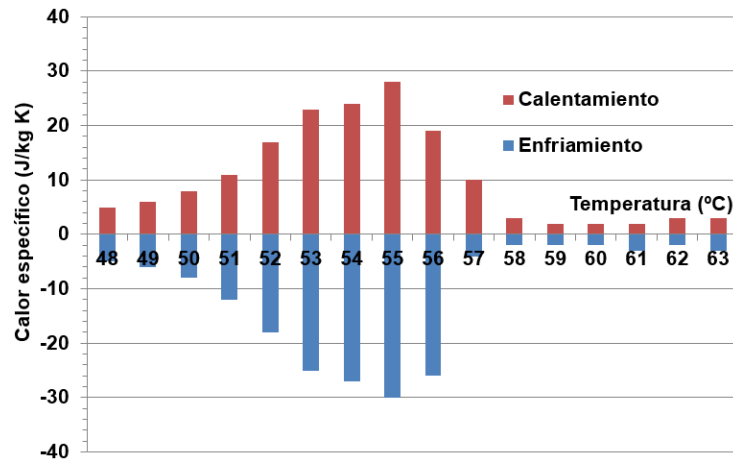


Figura 1: Calor específico medido por RUBITHERM

Según datos de RUBITHERM, la densidad del material de cambio de fase es de 0.77 kg/l (líquido, 80°C) y de 0.88 kg/l (sólido, 15°C). El volumen de expansión es de 14% durante el cambio de sólido a líquido. La conductividad térmica es baja, del orden de 0.2 W/(m K).

En la Figura 2 se muestra una fotografía del depósito sin la tapa superior. Los planos y aspectos más detallados en cuanto a la instrumentación se hallan explicados en [1]. Básicamente, el depósito consta de una tubería de entrada (impulsión) y otra de salida (retorno), y la configuración interior consiste en 8 espirales dispuestas horizontalmente, en planos que alternan recorridos centrífugos y centrípetos. El material de cambio de fase se ha rellenado alrededor de las espirales, de manera que estas queden totalmente sumergidas en la parafina.

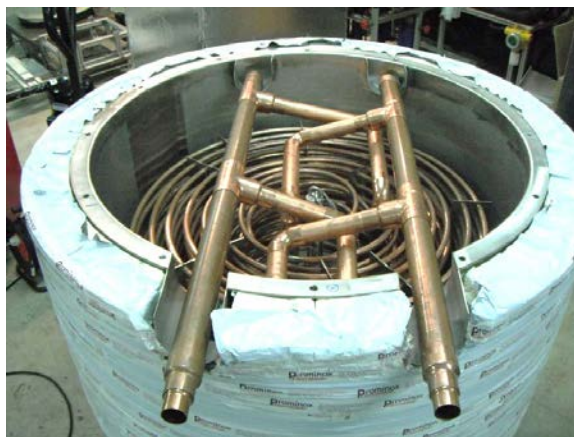


Figura 2: Fotografía del depósito

La Tabla 1 muestra la matriz de ensayos experimentales realizados con el depósito. En concreto, las dos variables experimentales son el caudal y la temperatura de impulsión. Los caudales corresponden todos a un régimen laminar dentro del intercambiador de calor. Las temperaturas de impulsión se han variado en intervalos de 2°C tanto en las cargas (fusión) como en las descargas (solidificación).

Tabla 12: Matriz de ensayos experimentales con la parafina RT55

Caudal (kg/h)	Temperatura de impulsión T_{imp} (°C)					
	CARGAS			DESCARGAS		
1500	63	65	67	45	47	49
2500	63	65	67	45	47	49
3500	63	65	67	45	47	49

3. Resultados

Los ensayos de solidificación y fusión presentan diferencias en cuanto a la potencia y temperatura. Por ello, se analizan a continuación de manera separada.

En la Figura 3 se muestran los resultados obtenidos durante las cargas, es decir durante el paso a líquido. Dado que el caudal tiene poco efecto en los ensayos (régimen laminar), se muestra únicamente el impacto de la temperatura de impulsión. Del análisis de la Figura 3 se deduce que a mayor diferencia de temperatura entre la impulsión y el cambio de fase, mayor potencia intercambiada.

Además, se puede apreciar cómo al final de la parte latente existe un pico de potencia. Se ha podido comprobar visualmente, mediante cargas sin tapa, que el pico de potencia se corresponde con el momento en el cual la parafina sólida se desprende del serpentín, pues ha quedado rodeado de parafina líquida, y los bloques sólidos caen hacia abajo del depósito. Durante este proceso, la parafina sólida (fría) impacta con los serpentines, mejorando así el contacto con material más frío y provocando un aumento local de la potencia intercambiada. En los perfiles de temperatura, el desprendimiento de parafina sólida se observa mediante descensos locales de temperatura cuando ésta impacta en el termopar T_{PCM23} , el cual está ubicado a mitad distancia vertical y radial dentro del depósito, y a mitad distancia entre tubos contiguos.

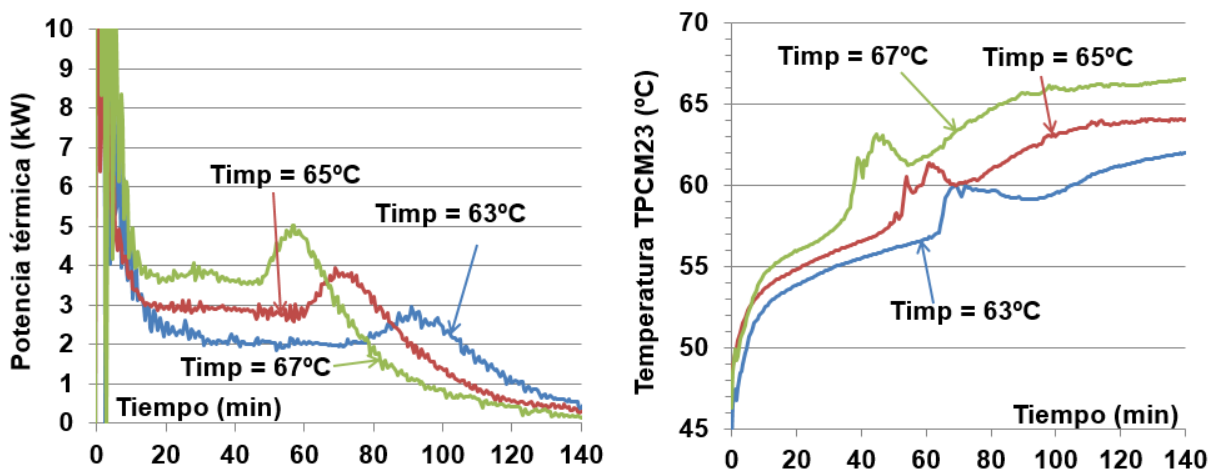


Figura 3: Potencia y temperaturas durante las cargas a 2500 kg/h

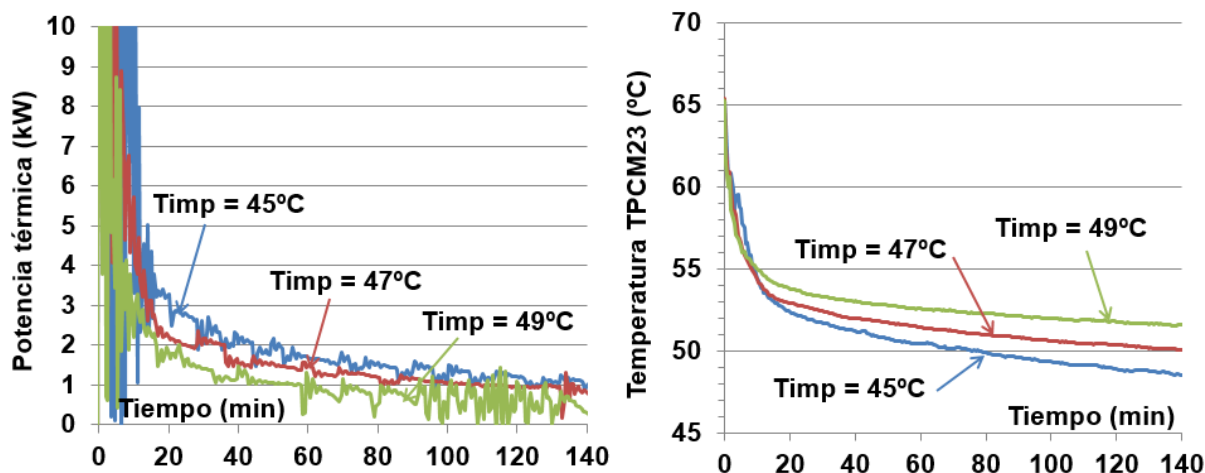


Figura 4: Potencia y temperatura durante las descargas a 2500 kg/h

En la Figura 4 se muestran los resultados obtenidos durante las descargas, es decir durante la solidificación del material de cambio de fase. Dado que ésta ocurre de manera concéntrica a los tubos, desde el punto de vista térmico corresponde al crecimiento progresivo de una capa sólida, de baja conductividad térmica. Por este motivo, sólo se observa un pico inicial en la potencia intercambiada, y ésta disminuye progresivamente a medida que crece la capa sólida alrededor de las espirales. A mayor diferencia de temperatura entre la impulsión y el cambio de fase, mayor potencia intercambiada.

Desde un punto de vista técnico, es interesante disponer de una correlación que prediga las prestaciones de carga/descarga del depósito al variar las condiciones de operación (temperatura de impulsión y caudal másico). En concreto, dos indicadores fundamentales son la duración de los ensayos y la potencia térmica intercambiada con el fluido caloportador. Las correlaciones siguientes han sido obtenidas durante la parte latente de los ensayos, que como se ha explicado anteriormente, se considera como el intervalo de tiempo en el cual el termopar T_{PCM23} se encuentra en rango 51-62°C.

En la Figura 5 se ha correlacionado la potencia térmica media con la temperatura de impulsión y el caudal. En la ecuación mostrada en dicha figura, interviene la temperatura del cambio de fase, que se ha tomado como 57.2°C y 49.2°C para los procesos de solidificación y fusión respectivamente, en base a los ensayos DSCs realizados por ACCIONA S.A. El efecto del caudal es muy pequeño tal y como refleja el exponente α , que es prácticamente un orden de magnitud más pequeño que γ , el exponente que refleja el impacto de la temperatura de impulsión. Las correlaciones desarrolladas tienen una desviación media en relación con las medidas experimentales del 7.2% y 3.9% en las cargas y descargas respectivamente.

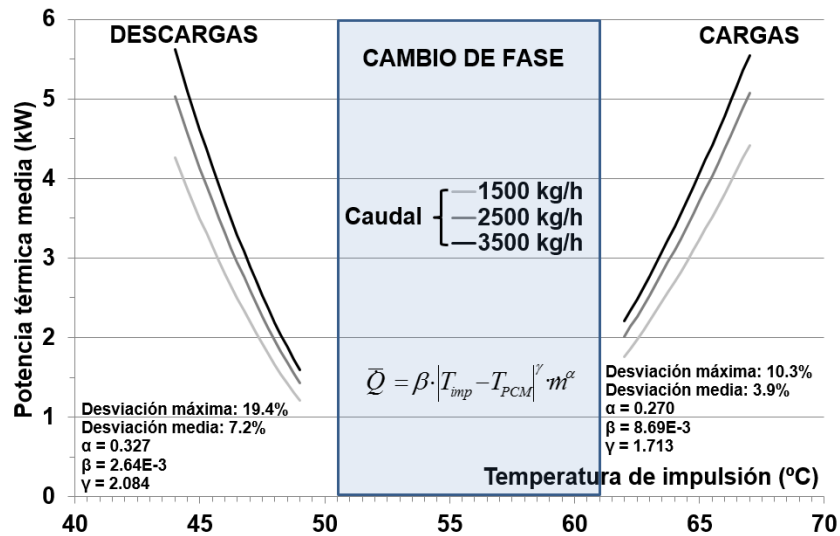


Figura 5: Correlación entre la potencia térmica media y las variables experimentales

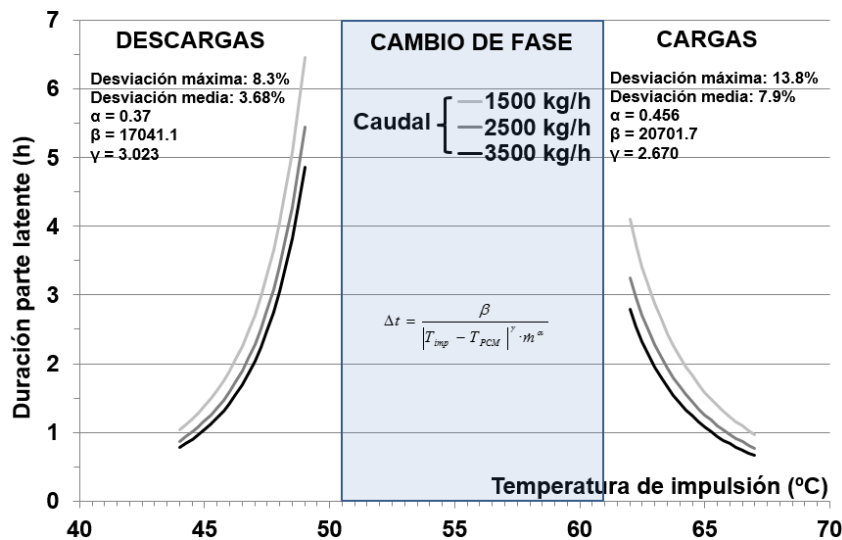


Figura 6: Correlación entre la duración de la parte latente y las variables experimentales

En la Figura 6 se ha correlacionado mediante la misma metodología la duración de la parte latente de los ensayos con el caudal y la temperatura de impulsión. De nuevo, el impacto del caudal es muy bajo comparado con el de la temperatura de impulsión. La desviación media es del 3.7% y 7.9% en las descargas y cargas respectivamente.

4. Conclusiones y consideraciones finales

En este trabajo se ha realizado el estudio experimental de un depósito que contiene una parafina para el almacenamiento de calor a 55°C. El cambio de fase ocurre esencialmente en el rango 51-62°C. En concreto, para recuperar toda la capacidad latente, en el proceso de fusión es necesario alcanzar temperaturas en la parafina del orden de 62°C para que se funda completamente todo el material. La potencia y la duración de los ensayos se ha correlacionado con precisión con el caudal y la temperatura de impulsión, siendo esta última la variable experimental con un mayor impacto.

5. Agradecimientos

Se agradece a ACCIONA S.A. por la financiación parcial del presente trabajo.

6. Referencias

- [1] LÓPEZ-NAVARRO, A., BIOSCA-TARONGER, J., CORBERÁN SALVADOR, J.M., PEÑALOSA, C., LÁZARO, A., DOLADO, P., PAYÁ, J. Performance characterization of a PCM storagetank. *Applied Energy* 2014, núm. 119 p.151-162.
- [2] BANASZEK, J., DOMAŃSKI, R., REBOW, M., EL-SAGIER, F. Experimental study of solid-liquid phase change in a spiral thermal energy storage unit. *Applied Thermal Engineering* 1999, núm.19 p.1253-1277.
- [3] LÓPEZ-NAVARRO, A., BIOSCA-TARONGER, J., TORREGROSA-JAIME, B., MARTÍNEZ-GALVÁN, I., CORBERÁN, J.M., ESTEBAN-MATÍAS, J.C., PAYÁ, J. Experimental investigation of the temperatures and performance of a commercial ice-storagetank. *International Journal of Refrigeration* 2013, núm. 36 p.1310-1318.
- [4] TAY, N.H.S., BRUNO, F., BELUSKO, M. Experimental investigation of dynamic melting in a tube-in-tank PCM system. *Applied Energy* 2013 núm. 104 p.137-148.
- [5] GIL, A., ORÓ, E., CASTELL, A., CABEZA, L.F. Experimental analysis of the effectiveness of a high temperature thermal storage tank for solar cooling applications. *Applied Thermal Engineering* 2013 núm. 54 p.521-527.