

# Diseño de un banco de ensayos de intercambiadores de calor entre una emulsión de materiales de cambio de fase (PCM) y agua

Laura Pérez Usón<sup>1</sup>, Mónica Delgado Gracia<sup>1,2</sup>, Ana Lázaro Fernández<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Ingeniería Térmica y Sistemas Energéticos (GITSE) – Dept. de Ingeniería Mecánica  
Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A)

Universidad de Zaragoza, Mariano Esquillor s/n, 50018, Zaragoza, Spain.

Tel. +34-976762707, e-mail: [L.perez@unizar.es](mailto:L.perez@unizar.es)

<sup>2</sup> Centro Universitario de La Defensa, Academia General Militar, Ctra Huesca S/N, 50090, Zaragoza, Spain

## Resumen

Con el fin de estudiar una emulsión de un material de cambio de fase (PCM) en agua para su uso como fluido caloportador en un intercambiador de calor, se ha diseñado un banco de ensayos ubicado en la nave 2 del edificio Betancourt de la EINA.

La instalación consta de tres circuitos: uno para la emulsión, otro para agua fría, y otro para agua caliente. Se empleará un intercambiador de placas para estudiar la transferencia de calor entre la emulsión PCM y agua, realizando un ensayo de calentamiento con agua caliente y otro de enfriamiento con agua fría.

Se ha optimizado la disposición de los circuitos para minimizar su recorrido y reducir la pérdida de carga.

Inicialmente, se validarán los resultados experimentales con un intercambio de calor entre agua-agua, y posteriormente se probará experimentalmente el intercambio emulsión PCM-agua.

## Cuerpo

El cuerpo principal del banco de ensayos (ver Figura 1) es una estructura metálica sobre la que van anclados diferentes tramos de tubería que forman tres circuitos cerrados por los que circulan la emulsión de PCM y el agua:

- El circuito por el que va a discurrir la emulsión de PCM incluye una zona calefactada con resistencias conectadas a un controlador PID, necesarias para el ensayo en modo enfriamiento.
- El circuito de agua fría pasa por un tanque de agua sanitaria donde se enfría debido a un intercambio de calor con el agua que circula a través de un serpentín, alimentado por una bomba de calor en modo refrigeración.
- El circuito de agua caliente, similar al de la emulsión, incluye una zona calefactada con resistencias conectadas por un PID.

El circuito de la emulsión siempre pasa por dos intercambiadores de placas: uno es el objeto del estudio y el otro restablece las condiciones iniciales de temperatura de los ensayos. Las diferentes válvulas permiten dirigir el flujo de agua caliente o fría a un intercambiador u otro según el modo de ensayo: en el modo enfriamiento el agua fría pasa por el primer intercambiador y el agua caliente por el segundo, mientras que en el modo calentamiento ocurre lo contrario.

Para la medida del caudal en el circuito de la emulsión se utiliza un caudalímetro de Coriolis, y para los del agua se obtiene con la medida de pérdida de carga en las válvulas de equilibrado.

Las temperaturas a la entrada y salida del intercambiador se miden con sensores Pt 100 de clase B con conexión de 4 hilos, y la presión se mide con cuatro transductores. Con estas mediciones, se podrá calcular posteriormente el calor intercambiado.

## Validación del ensayo agua-agua

Para validar el banco de ensayos se comparará el coeficiente global de transmisión de calor ( $U$ ) teórico con el experimental obtenido durante el ensayo agua-agua.

El  $U$  teórico se calculará según el trabajo de Martin [1] considerando que el intercambiador de placas utilizado es tipo Chevron con un ángulo de  $65^\circ$ .

Se evaluarán las pérdidas de carga y se calculará la transferencia de calor usando el método NTU- $\epsilon$  y el coeficiente de convección, considerando los valores del número de Prandtl, la conductividad térmica y la viscosidad del fluido.

El coeficiente global de transmisión de calor experimental se determinará utilizando el calor intercambiado, el área de intercambio y la media logarítmica de la diferencia de temperatura entre ambas corrientes obtenidas en los ensayos.

## Propiedades termofísicas y reológicas de la emulsión

Para el ensayo emulsión-agua se necesitan conocer las propiedades de la emulsión de PCM. Se trata de una emulsión de parafina en agua, cuyo rango de temperaturas de cambio de fase es de 35-50°C, con una variación de entalpía para ese rango de 112 kJ/kg, valores obtenidos con una instalación del método T-history. La emulsión de PCM se comporta como un fluido pseudoplástico, con viscosidad dependiente de la temperatura y de la velocidad de cizalla. La Figura 2 muestra la viscosidad medida con un reómetro de esfuerzo controlado; se puede apreciar que su valor varía significativamente con la velocidad de cizalla y a partir de los 45°C con la temperatura. En diversos ensayos experimentales [2] [3] también se observa que su valor presenta histéresis, es decir, cambia dependiendo de si la emulsión se está calentando o enfriando.

## Conclusiones

Se ha diseñado un banco de ensayos optimizando el recorrido y las pérdidas de carga de los circuitos.

Tras las pruebas hidráulicas, se realizarán ensayos preliminares agua-agua para validar el banco mediante la comparación del coeficiente global de transmisión de calor teórico y experimental. Esto permitirá investigar el comportamiento de una emulsión como fluido caloportador, calculando experimentalmente el intercambio de calor de la emulsión, cuyas propiedades termofísicas se han determinado previamente.

## REFERENCIAS

- [1]. MARTIN, H. A theoretical approach to predict the performance of chevron-type plate heat exchangers. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*. 1996, 35, 301-310.
- [2]. DELGADO, M., DOLADO, P., LÁZARO, A., MAZO, J., PEÑALOSA, C., ZALBA, B. Experimental analysis of a low cost phase change material emulsion for its use as thermal storage system. *Energy Conversion and Management*. 2015, 106, 201-212.
- [3]. DELGADO, M., LÁZARO, A., MARÍN, J. M., MAZO, J., PEÑALOSA, C., ZALBA, B. Experimental analysis of a coiled stirred tank containing a low cost PCM emulsion as a thermal energy storage system. *Energy*. 2017, 138, 590-601.



Figura 1: Banco de ensayos

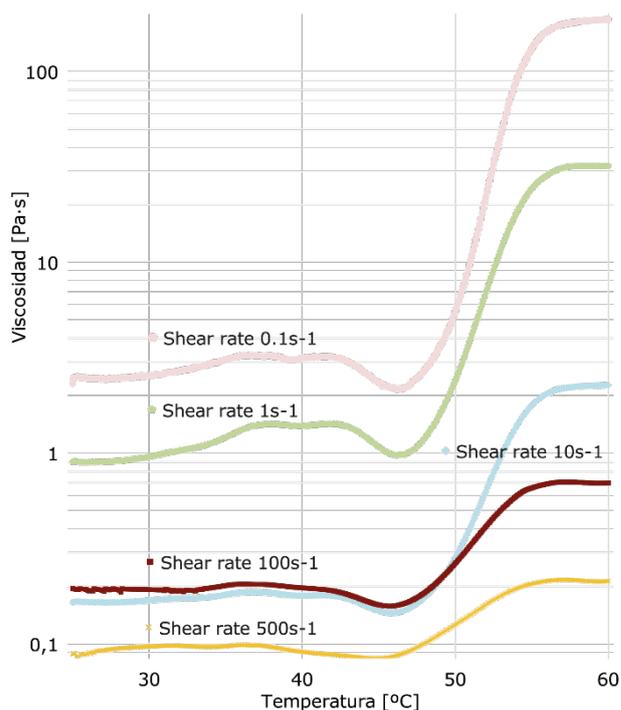


Figura 2: Gráfica con los valores de la viscosidad de la emulsión frente a la temperatura y velocidad de cizalla