

# 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 Ing. Mecánica – Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A) – Univ. de Zaragoza, Mariano Esquillor s/n, 50018, Zaragoza

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

correo electrónico: l.perez@unizar.es

## EMULSIÓN DE UN MATERIAL DE CAMBIO DE FASE (PHASE CHANGE MATERIAL)

Un material de cambio de fase (PCM) absorbe o libera energía en forma de calor durante su cambio de fase, lo que lo hace ideal para el almacenamiento de energía térmica. Al suspender PCM microencapsulado en un fluido como el agua, se crea una emulsión que sirve tanto para almacenar calor como para transferirlo.

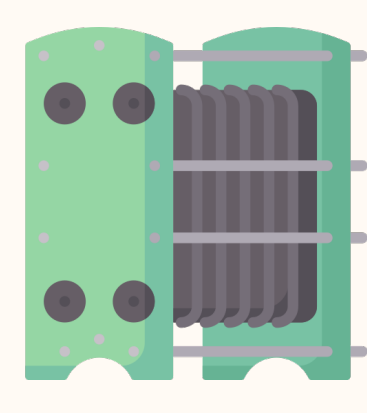
Las correlaciones de transferencia de calor convencionales son para fluidos monofásicos y no están validadas para diseñar intercambiadores de calor con estas emulsiones, por lo que se necesitan ensayos experimentales para verificarlas.

### Circuitos:

Uno de agua fría, otro de agua caliente, y otro con emulsión de PCM

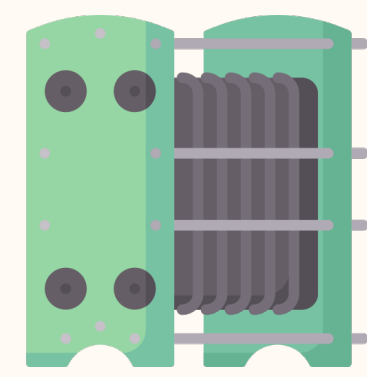
### Intercambiador nº 1:

Aquí es donde se produce el intercambio de calor objeto de estudio



### Intercambiador nº 2:

Aquí se restablecen las condiciones iniciales de temperatura para poder repetir el ciclo



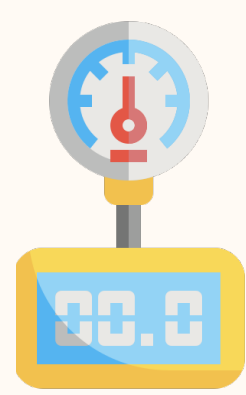
### Sondas:

A las entradas y salidas del intercambiador hay sondas que miden la temperatura y presión

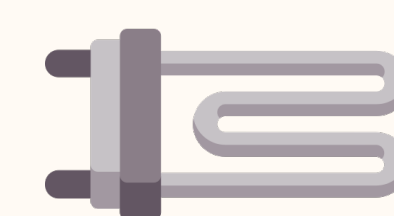


### Caudalímetro:

El caudal se mide con un caudalímetro coriolis y con varias válvulas de equilibrado



### Resistencias:



Calientan el agua o la emulsión de PCM

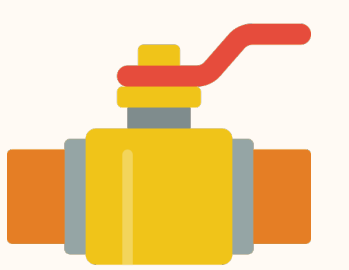
### PDI:

Las zonas calefactadas están conectadas a un controlador PID



### Válvulas:

Permiten configurar los circuitos para elegir qué corriente de agua, fría o caliente, atraviesa el intercambiador nº1 y dirigir la otra al nº2.



### Intercambiador de serpentín:

El agua del circuito pasa por un tanque donde se enfría con agua fría impulsada por una bomba de calor en modo frío que discurre a través de un serpentín



## ENSAYOS

### Modo fusión:

Se estudia el intercambio de calor entre **agua caliente** (que pasa por las resistencias) y la **emulsión de PCM**. En el intercambiador nº2 la corriente de agua fría devuelve a la emulsión su T inicial.



### Modo solidificación:

Se estudia el intercambio de calor entre **agua fría** que proviene del tanque y la **emulsión de PCM** calentada por las resistencias. En el intercambiador nº 2 el agua caliente devuelve a la emulsión su T inicial.



## VALIDACIÓN DEL ENSAYO EXPERIMENTAL

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

– El U teórico se calcula utilizando una correlación propuesta por Lévêque para estimar U en geometrías de intercambiadores de placas corrugadas:

$$Nu = 0.122 \cdot Pr^{1/3} \cdot (\mu/\mu_w)^{1/6} \cdot [\xi \cdot Re^2 \cdot \sin(2\varphi)]^{0.374} \quad h = Nu \cdot \lambda / D_h$$

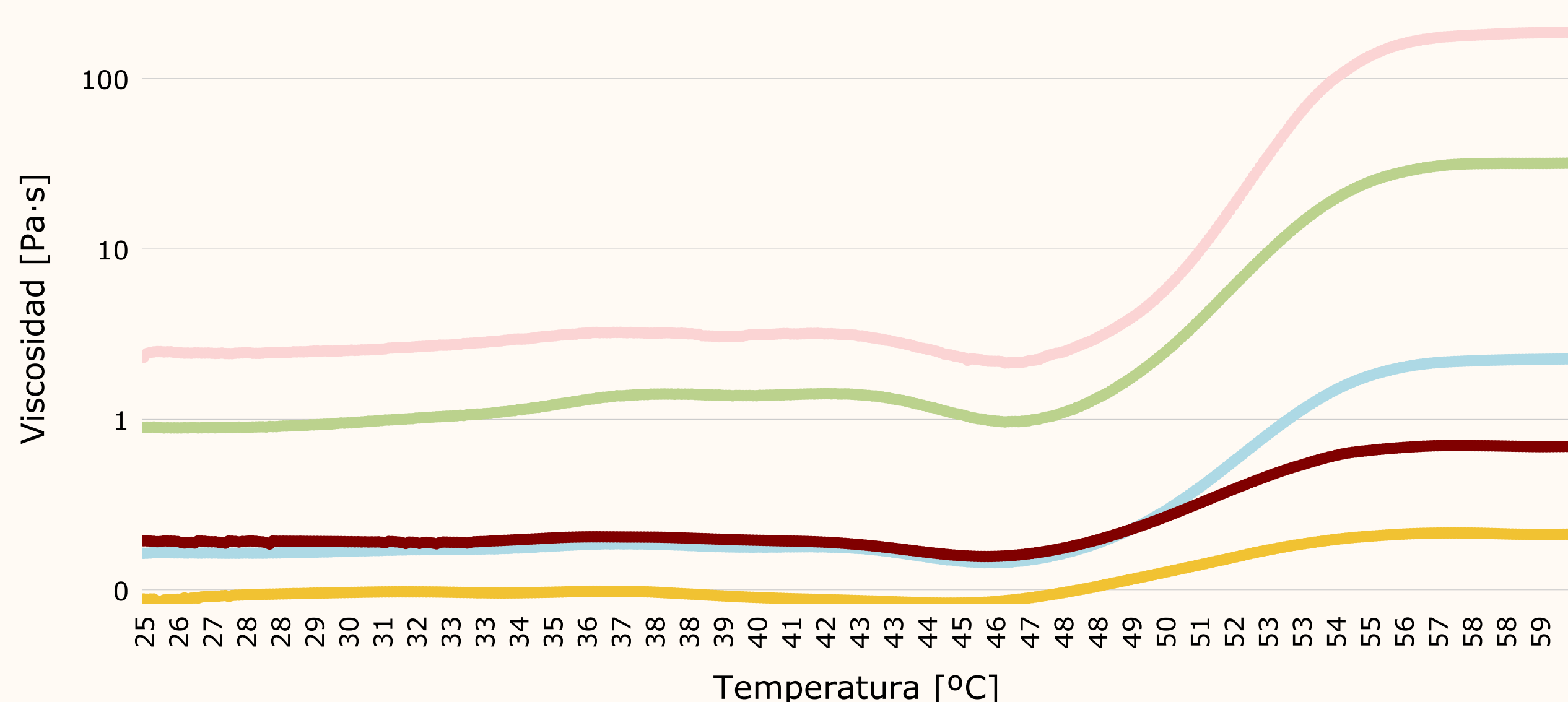
Pr = número Prandtl ; Re = número Reynolds (definido como  $Re \equiv \rho u D_h / \mu$ )

$\rho$  = densidad del fluido ;  $\mu$  = viscosidad del fluido ;  $\xi$  = factor de fricción ;  $\varphi$  = ángulo de corrugación.

– El U experimental se determina utilizando el calor intercambiado, el área de intercambio y la media logarítmica de la diferencia de temperatura entre ambas corrientes obtenidas en los ensayos.

$$\Delta T_{ml} = (\Delta T_1 - \Delta T_2) / \ln(\Delta T_1 / \Delta T_2) \quad U_{exp} = \dot{Q}_{int} / (A_i \cdot \Delta T_{ml})$$

Shear rate 0.1s-1 • Shear rate 1s-1 • Shear rate 10s-1 • Shear rate 100s-1 • Shear rate 500s-1



## PROPIEDADES TERMOFÍSICAS Y REOLÓGICAS DE LA EMULSIÓN DE PCM

La emulsión de PCM se comporta como un fluido pseudoplástico, con viscosidad dependiente de la temperatura y de la velocidad de cizalla. La gráfica 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. Las capacidades caloríficas específicas y las curvas de entalpía en función de la temperatura se han obtenido con una instalación T-history.

- Rango de temperaturas de cambio de fase de 35 - 50°C
- Variación de entalpía en ese rango de 112 kJ/kg.

