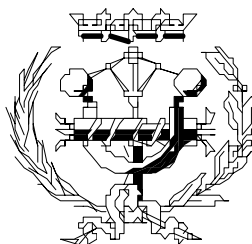


ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

DPTO. QUÍMICA INDUSTRIAL Y POLÍMEROS



ASIGNATURA: INGENIERÍA DE LA REACCIÓN QUÍMICA

**PRÁCTICA 5: INTERCAMBIO DE CALOR EN REACTORES
DISCONTINUOS**

**Fernando Gutiérrez Martín
Evangelina Atanes Sánchez
Alberto Cambra Pereira**

PRÁCTICA 5. INTERCAMBIO DE CALOR EN REACTORES DISCONTÍNUOS

1. OBJETIVO

Obtener experimentalmente un modelo empírico para determinar la velocidad de calefacción y enfriamiento de un reactor encamisado que opera en discontinuo

Comprobar experimentalmente la validez del modelo en ciclos de calefacción y refrigeración.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

El calentamiento y enfriamiento de líquidos en reactores encamisados que operan en régimen discontinuo es una operación muy común en la industria química. En un proceso discontinuo, la reacción se lleva a cabo a una temperatura determinada, a la que hay que calentar el medio de reacción desde la temperatura inicial que tenga éste, por medio de la camisa de calefacción.

En un equipo experimental determinado, el tiempo necesario t para la calefacción o refrigeración isotérmica del reactor puede calcularse como:

$$t = \left(\frac{M \cdot C_p}{U \cdot A} \right) \cdot \text{Ln} \left(\frac{T - T_1}{T - T_2} \right) \quad (1)$$

T = temperatura media de la camisa

T_1, T_2 : temperatura inicial y final del reactor respectivamente

M : masa de la mezcla de reacción (Kg)

C_p : capacidad calorífica de la mezcla de reacción (J/(Kg·K))

U : coeficiente global de transmisión de calor (J/(S·m²·K))

A : Área transmisión de calor (m²)

Para una instalación determinada, generalmente el área de transmisión de calor A , la masa M y la capacidad calorífica del medio de reacción C_p son conocidas. Sin embargo, el coeficiente global de transmisión de calor U resulta difícil de calcular teóricamente, ya que depende de muchos factores. Considerando constantes los parámetros A , M y C_p , así como el coeficiente global de transmisión de calor U puede definirse la siguiente constante K :

$$\kappa \text{ (s}^{-1}\text{)} = \frac{U \cdot A}{C_p \cdot M} \quad (2)$$

Conocido el parámetro K , y a partir de la ecuación (1), puede determinarse el tiempo necesario para calentar un determinado sistema de reacción desde T_1 a T_2 mediante un fluido calefactor de temperatura T mediante la siguiente ecuación:

$$t = \text{Ln} \left(\frac{T - T_1}{T - T_2} \right) \cdot \frac{1}{\kappa} \quad (3)$$

Puede determinarse también la temperatura requerida para el fluido calefactor (o refrigerante) si quiere emplearse un tiempo determinado en calentar (o enfriar) el reactor, a partir de la ecuación (1) como:

$$T = \frac{T_1 - (T_2 \cdot \exp(\kappa \cdot t))}{(1 - \exp(\kappa \cdot t))} \quad (4)$$

La ecuación (3) es solamente válida para ciertos valores de las temperaturas. Si la temperatura del fluido calefactor varía considerablemente a lo largo del proceso de calentamiento

es preciso utilizar una ecuación modificada. En ciertos casos puede utilizarse una temperatura media del fluido calefactor, mediante la siguiente ecuación (Tosun y Aksahin, 1993):

$$t = \left(\frac{M \cdot C_p}{U \cdot A} \right) \cdot \text{Ln} \left(\frac{\left(\frac{T_{in} + T_{out}}{2} \right) - T_1}{\left(\frac{T_{in} + T_{out}}{2} \right) - T_2} \right) \quad (5)$$

T_{in} : temperatura de entrada del fluido calefactor

T_{out} : temperatura de salida del fluido calefactor

Sin embargo, la ecuación (5) puede utilizarse únicamente si se cumple la siguiente condición:

$$\ln \left[\frac{\left[\frac{T_{in} + T_{out}}{2} \right] - T_1}{\left[\frac{T_{in} + T_{out}}{2} \right] - T_2} \right] \leq 0,10 \cdot \left[\frac{T_2 - T_1}{T_{in} - T_{out}} \right] \quad (6)$$

Si no se cumple la ecuación (6) no puede utilizarse la ecuación 5; es preciso utilizar una ecuación más compleja, que tiene en cuenta el caudal, capacidad calorífica y temperaturas de entrada y salida del fluido calefactor, según las ecuaciones (7) y (8):

$$t = \frac{M \cdot C_p}{U \cdot A} \cdot \left(\frac{\alpha}{\alpha - 1} \right) \cdot \text{Ln}(\alpha) \cdot \left[\text{Ln} \left(\frac{T_{in} - T_1}{T_{in} - T_2} \right) \right] \quad (7)$$

$$\alpha = \exp \left[\frac{U \cdot A}{w \cdot c} \right] = \frac{T_{in} - T_2}{T_{out} - T_2} \quad (8)$$

w: caudal másico del fluido calefactor

c: capacidad calorífica del fluido calefactor

3. MATERIALES E INSTALACIÓN EXPERIMENTAL

3.1. Materiales

La instalación experimental cuenta con los siguientes elementos:

- Reactor encamisado de dos litros de capacidad, con boca superior y laterales
- Agitador de vidrio con motor
- Un termómetro o sonda de temperatura situado en el reactor para medir la temperatura de reacción
- Un termómetro o sonda de temperatura auxiliar
- Baño termostático con sistema de impulsión, dotado de sistema de calentamiento y control de la temperatura
- 2 válvulas de tres vías, una situado a la entrada del reactor y otra a la salida del mismo
- Conexiones de silicona
- Toma de agua de suministro y desagüe cercanos
- Cronómetro

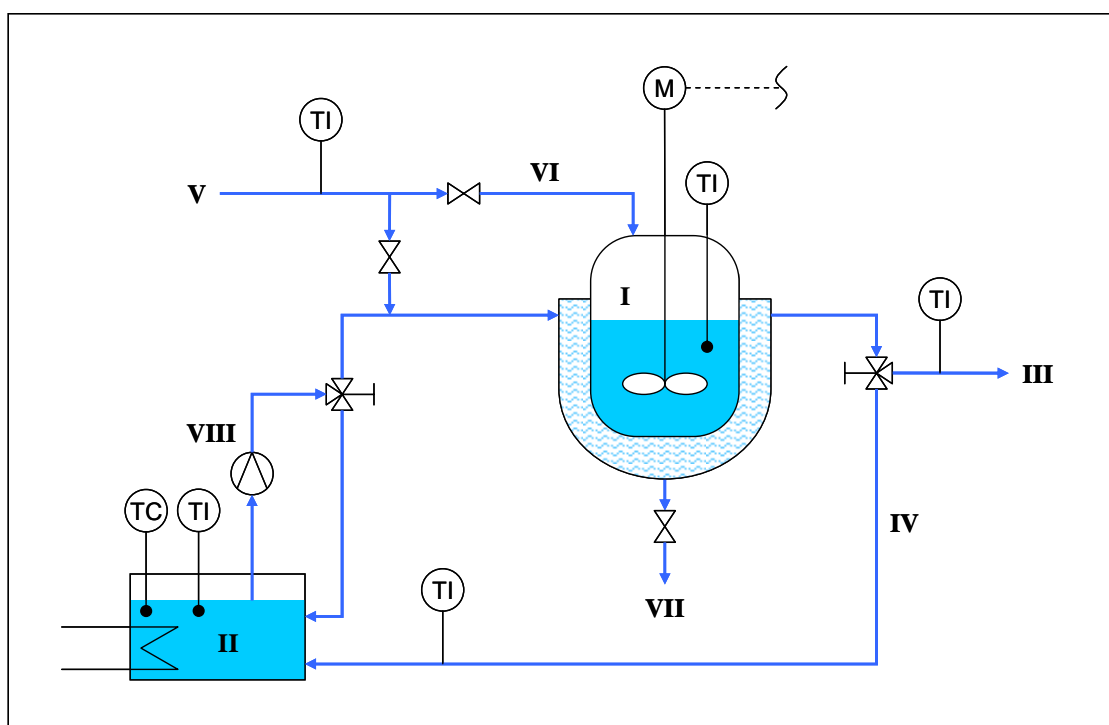
3.2. Reactivos

- Agua de la red de suministro

3.3. Instalación experimental

En la figura se muestra la instalación experimental utilizada. Mediante la válvula de tres vías, la camisa calefactora del reactor puede alimentarse mediante el fluido del baño termostático o alternativamente mediante el agua de la red de suministro.

Mediante una segunda válvula de tres vías, la salida de la camisa calefactora puede recircularse de vuelta al baño termostático o bien conducirse al desagüe.



I reactor encamisado con agitador. II baño termostático. III salida al desagüe. IV recirculación del fluido de la camisa al baño. V agua de la red de suministro. VI llenado del reactor con agua de la red. VII punto de descarga del reactor. VIII Impulsión del fluido del baño termostático hacia la camisa.

4. METODOLOGÍA

La experimentación se lleva a cabo mediante tres experimentos. El primero de ellos se realiza para obtener los datos necesarios para el cálculo del parámetro K. El segundo experimento consiste en realizar un ciclo de calefacción, y el tercero en realizar un ciclo de refrigeración.

PRIMER EXPERIMENTO: CÁLCULO DEL PARÁMETRO K

Se pretende calentar el medio de reacción desde 25°C hasta 40°C, con el objetivo de calcular el parámetro K mediante la ecuación (3). Para ello se realiza lo siguiente:

- Fijar la temperatura del baño termostático, que contiene agua, a 50°C. Este agua caliente se empleará como fluido calefactor.
- Se llena el reactor con 1 litro de agua, y se mide la temperatura de la misma, que debe ser inferior a 25°C.

- Se hace circular el fluido calefactor por la camisa del reactor, recirculando el agua de la salida de la camisa hacia el baño.
- Cuando el medio de reacción ha alcanzado la temperatura de 25°C (T_1) se considera que se ha alcanzado un régimen constante de circulación, y se pone en marcha el cronómetro.
- Se mide la temperatura del agua de calefacción a la salida de la camisa al inicio, a tiempo intermedio y cuando se alcanza el tiempo final del ciclo de calefacción. Se calcula el valor medio de la temperatura de salida del fluido calefactor. Estos valores nos sirven para determinar si es posible utilizar la ecuación (3) para el cálculo del parámetro K.
- Se anota el tiempo necesario para que el medio de reacción llegue a la temperatura de 40°C (T_2).
- Con este valor de tiempo medido, y a partir de la ecuación (3) se calcula el valor del parámetro K, previa comprobación de que se cumple la ecuación (6).
- Apagar la calefacción del baño termostático, para propiciar el enfriamiento del líquido calefactor.
- Enfriar el medio de reacción hasta una temperatura aproximada de 25°C, haciendo circular por la camisa del reactor agua procedente de la red de suministro.

SEGUNDO EXPERIMENTO: CICLO DE CALEFACCION

Se trata de comprobar que el modelo empírico empleado se cumple para la instalación concreta empleada en la práctica. Para ello se realizan los siguientes pasos:

- Utilizando el valor del parámetro K determinado en el experimento 1, calcular mediante la ecuación (4) la temperatura que ha de tener el fluido calefactor (T) para calentar el medio de reacción desde 30°C (T_1) hasta 45°C (T_2) en un tiempo de 15 minutos.
- Fijar la temperatura del baño termostático en el valor calculado de la temperatura T.
- Una vez alcanzada dicha temperatura, iniciar el calentamiento del medio de reacción haciendo recircular el líquido del baño a través de la camisa calefactora (tener la precaución de eliminar previamente el líquido frío que pudiera estar contenido en la camisa, con el fin de no disminuir la temperatura del baño).
- Cuando la temperatura del reactor alcance 30°C (T_1) iniciar el cómputo del tiempo mediante el cronómetro.
- Anotar el tiempo transcurrido hasta que la temperatura del reactor alcance 45°C (T_2).
- Comprobar que el tiempo determinado experimentalmente coincide con el tiempo establecido de 15 minutos.

TERCER EXPERIMENTO: CICLO DE REFRIGERACIÓN

Puede utilizarse la ecuación (3) para determinar el tiempo que tardará en enfriarse el medio de reacción utilizando como fluido refrigerante el agua de la red, por ejemplo desde 40°C (T_1) hasta 30°C (T_2). Para ello se realizan los siguientes pasos:

- Conectar el agua de la red a la camisa del reactor, con el fin de disminuir la temperatura del medio de reacción desde 45°C hasta aproximadamente 40°C. La salida de la camisa se conduce al desagüe.
- Tener la precaución de fijar un caudal de fluido refrigerante similar al caudal de fluido calefactor que suministra el baño termostático.
- Cuando se alcanzan 40°C (T_1) considerar establecido el régimen de circulación e iniciar el cómputo del tiempo mediante el cronómetro.
- Medir la temperatura del agua de la red de suministro (T) a su entrada al reactor al inicio, intermedio y final del ciclo de refrigeración.
- Detener el cómputo del tiempo cuando el medio de reacción alcance 30°C (T_2).

- Comprobar mediante la ecuación (3) que el tiempo de enfriamiento teórico coincide con el determinado experimentalmente.

5. BIBLIOGRAFÍA

- "Predict heating and cooling times accurately". I. Tosun, I. Aksahin. *Chem. Eng.*, **100**, 183-184 (1993).