

Intercambiador de calor

ANTARA GUAJARDO*

Universidad de Santiago de Chile

antara.guajardo@usach.cl

DAYANA LUCERO**

Universidad de Santiago de Chile

dayana.lucero@usach.cl

MARCELO OYANEDER***

Universidad de Santiago de Chile

marcelo.oyaneder@usach.cl

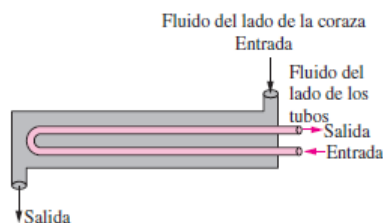
Resumen

Un intercambiador de calor es un aparato que facilita el intercambio de calor entre dos fluidos que se encuentran a temperaturas diferentes y evitan al mismo tiempo que se mezclen entre sí. El intercambiador de calor a analizar en esta experiencia recibe el nombre de tubos y coraza y se caracteriza por contener en él un gran número de tubos, empacados en un casco con sus ejes paralelos al de éste. La transferencia de calor tiene lugar a medida que uno de los fluidos se mueve por dentro de los tubos, en tanto que el otro se mueve por fuera de éstos, pasando por la coraza. [Çengel and Ghajar, 2014]

I. INTRODUCCIÓN

Se realizará el análisis de un intercambiador de calor del tipo 1:2, como el mostrado a continuación.

Figura 1: Intercambiador de tubos y carcasa 1:2, extraído de [Çengel and Ghajar, 2014]



En este al igual que en el presente en el laboratorio de operaciones unitarias (LOPU), se encontrarán

*Profesora laboratorio

**Ayudante laboratorio

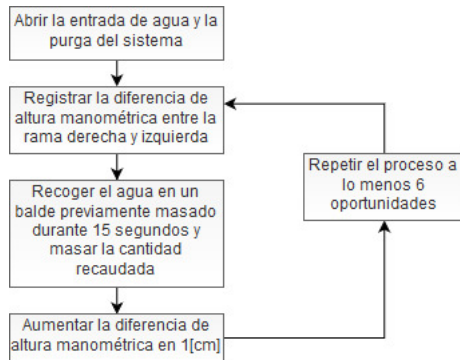
***Ayudante laboratorio

dos entradas y salidas. En las entradas se encuentra una para el líquido frío, el cual circulará dentro de los tubos y otra para el fluido caliente, en este caso vapor saturado proveniente desde la caldera, el cual circulará por el interior de la carcasa. Respecto a las salidas se encuentra una para el líquido frío el cual absorbe calor desde el fluido caliente y la restante es para el fluido caliente, pero en este caso sale a una temperatura menor a la de entrada.

II. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

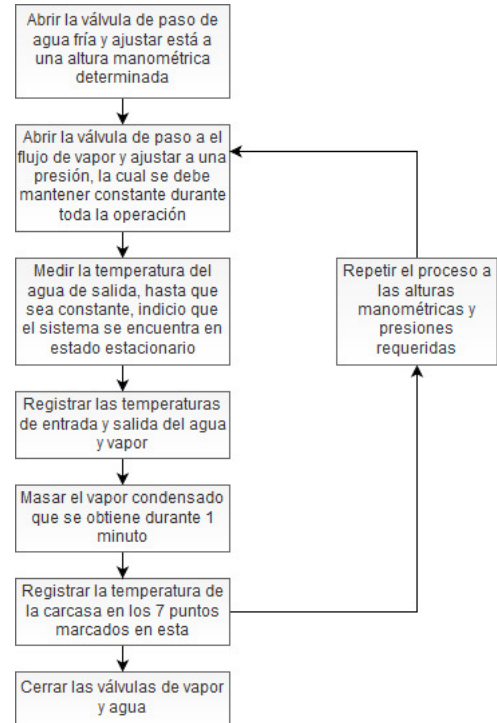
I. Calibración placa orificio

Figura 2: Diagrama de flujo correspondiente a la calibración de la placa orificio



II. Operación del intercambiador de calor

Figura 3: Diagrama de flujo correspondiente a la operación del intercambiador de calor



III. OBJETIVOS

- Objetivo general:
 - Analizar el proceso de transferencia de calor en un intercambiador de tubo y coraza con vapor de agua como fluido calefactor, para la condición de caudal o presión constante
- Objetivos específicos:
 - Determinar los flujos de energía involucrados en el sistema
 - Calcular la eficiencia del intercambiador de calor
 - Determinar la resistencia a la incrustación del sistema

IV. DATOS DE DISEÑO

- Datos del intercambiador utilizado en la experiencia.

Cuadro 1: *Datos del intercambiador utilizado en la experiencia.*

Intercambiador de tubos y carcasa 1:2		
Número de pasos	de	2
Número de filas	de	4

- Dimensiones del intercambiador utilizado en la experiencia.

Cuadro 2: *Dimensiones del intercambiador utilizado en la experiencia.*

Dimensión	Valor [m]
$D_{i,t}$	0,01
$D_{o,t}$	0,013
$D_{i,c}$	0,107
$D_{o,c}$	0,115
L_c	0,8
L_t	0,825
N_t	14

V. CORRELACIONES

- Churchill & Chu: Se utiliza para obtener el coeficiente de transferencia de calor convectivo para el aire [Churchill and Chu, 1975].

$$Nu^{1/2} = 0,60 + 0,387 \cdot \left(\frac{Gr \cdot Pr}{[1 + (0,559/Pr)^{9/16}]^{16/9}} \right)^{1/6}$$

- Chen: Se utiliza para obtener el coeficiente de transferencia de calor para el vapor [Chen, 1966].

$$\overline{h_{steam}} = 0,725 \cdot \left(\frac{g \cdot \rho_l \cdot (\rho_l - \rho_v) \cdot \Delta h \cdot k_l^3}{\mu_l \cdot (T_{sat} - T_{wall}) \cdot D \cdot N} \right)^{1/4}$$

- Dittus & Boelter: Se utiliza para obtener el coeficiente de transferencia de calor convectivo para el flujo agua [Heiss and Coull, 1951].

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4}$$

VI. CÁLCULOS

- Procedimiento:

- A través de la presión manométrica es posible obtener la temperatura de saturación. La cual permite obtener las siguientes propiedades físicas Δh y $\overline{C_{p,steam}}$. Con estos valores es posible obtener el calor cedido (Q_{ced})
- A través de la temperatura media del líquido $\overline{T_{water}}$ es posible obtener $\overline{C_{p,water}}$, lo que posteriormente permitirá obtener el calor absorbido (Q_{abs})
- A través de $\overline{T_{shell}}$ y T_{∞} , es posible obtener una temperatura de film (T_{film}). Con este valor calcular los parámetros necesarios para la utilización de la correlación de Churchill & Chu que permitirá obtener el calor de aire (Q_{air}), es importante considerar que el área de transferencia de calor en este caso corresponde a la carcasa.
- Todos los pasos anteriores nos permiten obtener una diferencia entre el calor perdido a través de un balance de energía y por correlación.

- Para la obtención del calor de vapor (Q_{steam}) y calor de agua (Q_{water}) se deberá hacer una iteración a la temperatura de pared (T_{wall}), ya que en ambos casos está se ve involucrada para el calculo de la temperatura de film del vapor ($T_{film,steam}$) como la del agua ($T_{film,water}$). Con cada una de estas se calculará las propiedades físicas necesarias para la utilización de la correlación de *Chen y Dittus & Boelter*. Lo que permitirá obtener la temperatura de pared y con esto la entalpia de vapor ($\overline{h_{steam}}$) y la entalpia del líquido ($\overline{h_{water}}$).
- Con los valores anteriores es posible obtener el coeficiente de transferencia de calor limpio (U_C), el cual es posible calcular mediante la siguiente ecuación.

$$\frac{1}{U_C} = \frac{1}{h_{water}} + \frac{1}{h_{steam}}$$

- Para calcular el factor de incrustación (R_D) presente en el sistema, primero es necesario calcular el coeficiente de transferencia de calor sucio (U_D), que se puede calcular mediante la siguiente ecuación.

$$\frac{1}{U_D} = \frac{N_t \cdot A_{i,tube} \cdot \Delta T_{mL} \cdot F}{Q_{water}}$$

Calculado este ultimo, la obtención de R_D se hace mediante su definición.

$$R_D = \frac{1}{U_D} + \frac{1}{U_C}$$

- Cuestionario, **las preguntas presentes acá no las debe responder en su informe, pero son vitales para obtener los resultados de este:**

- ¿Las temperaturas de film $T_{film,steam}$ y $T_{film,water}$ se pueden considerar como una sola?
- ¿Es posible considerar iguales el área externa como interna de la tubería?
- ¿Para el balance de energía total, es posible despreciar las perdidas de calor por el aire (Q_{air})?
- Respecto al Q_{ced} , ¿se debe considerar la propiedad $\overline{C_{p,steam}}$ para el calculo de este?, y si no, ¿en qué ocasiones se debe considerar?
- Respecto a el número de Reynolds (Re) presente en la correlación de *Dittus & Boelter*. ¿Este se calcula para una sola tubería o todas las presentes en el sistema?, ¿donde usted realiza el balance de energía?
- ¿Es posible obtener la temperatura de pared de la siguiente ecuación?, ¿de donde proviene está? y si no ¿qué errores presenta está ecuación?

$$T_{wall} = \frac{A_{tubo,ext} \cdot \overline{h_{steam}} \cdot T_{steam} + A_{tubo,int} \cdot \overline{h_{water}} \cdot T_{water}}{A_{tubo,int} \cdot \overline{h_{water}} + A_{tubo,ext} \cdot \overline{h_{steam}}}$$

- Se recomienda la utilización de los siguientes libros:
 - Procesos de transferencia de calor, kern [Kern, 1950]
 - Transferencia de calor y masa. Fundamentos y aplicaciones, Yunus Çengel [Çengel and Ghajar, 2014]

REFERENCIAS

- [Çengel and Ghajar, 2014] Çengel, Y. A. and Ghajar, A. J. (2014). *Transferencia de calor y masa. Fundamentos y aplicaciones*. McGraw-Hill Higher Education.
- [Chen, 1966] Chen, J. C. (1966). Correlation for boiling heat transfer to saturated fluids in convective flow. *Industrial & engineering chemistry process design and development*, 5(3):322–329.
- [Churchill and Chu, 1975] Churchill, S. W. and Chu, H. H. (1975). Correlating equations for laminar and turbulent free convection from a horizontal cylinder. *International journal of heat and mass transfer*, 18(9):1049–1053.
- [Heiss and Coull, 1951] Heiss, J. F. and Coull, J. (1951). Nomograph of dittus-boelter equation for heating and cooling liquids. *Industrial & Engineering Chemistry*, 43(5):1226–1229.
- [Kern, 1950] Kern, D. Q. (1950). *Process heat transfer*. Tata McGraw-Hill Education.