

**Tarea N° 1: Intercambiadores de calor y evaporadores****(Fecha de Entrega:** Jueves 3 de Septiembre de 2009. Hasta las 18:00 hrs. en Secretaría Docente).**PROBLEMA N° 1**

Se desea dimensionar el intercambiador de calor de una planta geotérmica, el cual permite la producción de vapor de butano a 138 °C, a partir de una corriente líquida de 60.72 kg/s de este hidrocarburo a 8.4 °C (presión = 25.402 bar). Para esto se utiliza como fluido de intercambio agua geotérmica a 170 °C y 5 bar en la entrada y 137.3 °C a la salida, con un flujo de 220.5 kg/s.

Los intercambiadores disponibles son:

- Intercambiador de tubos concéntricos.
- Intercambiador carcasa-tubo 2 - 2 y 2 - 4, con 120 tubos por pasada. El agua circula por el interior de los tubos y el hidrocarburo por la carcasa.

Según los datos obtenidos de algunos fabricantes se sabe que los intercambiadores son manufacturados con tubos de acero inoxidable de  $\frac{3}{4}$ ". Luego, se tiene que:

$$k = 219 \left[ \frac{BTU}{hr - ft - ^\circ F} \right]$$

$$D_o = 0.540''$$

$$D_i = 0.364''$$

Por el exterior de los tubos se tiene butano, el cual presenta un cambio de fase (evaporación). Para este tipo de situación se tienen las correlaciones:

$$h_o \cdot \left[ \frac{\lambda_c \cdot \mu_v \cdot \Delta T}{k_v^3 \cdot \rho_v \cdot (\rho_L - \rho_v) \cdot \lambda' \cdot g} \right]^{1/4} = 0.59 + 0.069 \cdot \frac{\lambda_c}{D_o}$$

en esta expresión se tiene:

$h_o$	:	Coficiente de transmisión de calor.
$\mu_v$	:	Viscosidad del vapor.
$\Delta T$	:	$T_w - T_c$ , caída de temperatura a través de la película de vapor, donde $T_c$ es la temperatura de saturación del líquido que evapora y $T_w$ de la pared.
$k_v$	:	Conductividad térmica del vapor.
$\rho_L, \rho_v$	:	Densidades del líquido y el vapor.
$D_o$	:	Diámetro exterior de los tubos.

Además  $\lambda'$  es el calor de vaporización medio:

$$\lambda' = \lambda \cdot \left( 1 + \frac{0.34 \cdot C_p \cdot \Delta T}{\lambda} \right)$$

donde  $\lambda$  es el calor de vaporización y  $C_p$  es el calor específico, ambos evaluados a la temperatura del fluido.

Finalmente se define  $\lambda_c$  como una longitud de onda característica y se calcula como:

$$\lambda_c = 2\pi \left[ \frac{\sigma g_c}{g \cdot (\rho_L - \rho_V)} \right]^{1/2}$$

en donde  $g_c/g$  es aproximadamente 1 lb/lb<sub>f</sub> y  $\sigma$  es la tensión interfacial entre el líquido y el fluido.

El cálculo de la tensión superficial entre líquido y fluido se puede realizar utilizando la correlación:

$$\sigma^{1/4} = [P] \cdot (\rho_L - \rho_G)$$

donde:

$\sigma$	:	tensión superficial [dina/cm]
$\rho_L, \rho_G$	:	densidades del líquido y el vapor [mol/cm <sup>3</sup> ]

[P] es un piracoro que depende de las estructuras que conforman el hidrocarburo. En este caso vale 191.

#### Preguntas Problema N° 1:

Determine el área externa ( $A_o$ ) necesaria en cada caso, y establezca qué tipo de intercambiador es el más apropiado para ser instalado en esta planta.

#### Referencias:

- Apunte de correlaciones.
- *Tablas de vapor butano*: Robert H. Perry, "Manual del Ingeniero Químico", 6° Edición, 1992, ed. McGraw Hill, Pág. 3-221, 3-222, 3-282 a 3-285, 3-287, 3-288, 3-292, 3-293, 3-298, 3-299, 3-336.

#### PROBLEMA N° 2

Un evaporador de triple efecto con alimentación hacia delante (orden I, II, III) se utiliza para evaporar una solución de azúcar, conteniendo 10% en peso de sólidos, con el fin de obtener una solución concentrada al (20+NL<sup>1</sup>)%. El aumento del punto de ebullición de la solución (independiente de la presión) puede estimarse como:

$$APE (^{\circ}C) = 1.78 \cdot x + 6.22 \cdot x^2$$

donde x es la fracción en peso de la solución.

- Se utiliza para calentamiento vapor a 205.5 kPa (con 121.1 °C de temperatura de saturación). La presión en el espacio de vapor del tercer efecto es 13.7 kPa.
- El flujo de alimentación es 22680 kg/h a 26.7 °C.
- El calor específico de la solución líquida es:  $C_p$  (kJ/Kg-°K) = 4.19 – 2.35·x
- El calor de solución se considera despreciable.

---

<sup>1</sup> NL corresponde a su número de lista en u-cursos (sección **Integrantes**)

- Los coeficientes de transferencia de calor se han estimado como:  $U_1 = 3123 \text{ W/m}^2\text{-K}$ ,  
 $U_2 = 1987 \text{ W/m}^2\text{-K}$ ,  $U_3 = 1136 \text{ W/m}^2\text{-K}$

Si cada efecto tiene la misma superficie de intercambio:

**Preguntas Problema N° 2:** Calcule esta área y el flujo de vapor utilizado.