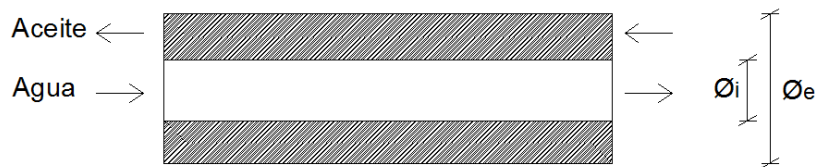


PRÁCTICO N° 9

Intercambiadores de calor y sistemas térmicos

EJERCICIO 1

Para enfriar el aceite lubricante del motor de una turbina de gas industrial grande, se utiliza un intercambiador de calor de tubos concéntricos funcionando en contraflujo. A través del tubo interno ($\varnothing_i = 25 \text{ mm}$) fluye agua con un gasto de $0,2 \text{ kg/s}$, mientras que a través del anillo externo ($\varnothing_e = 45 \text{ mm}$) el flujo de aceite es de $0,1 \text{ kg/s}$, y tiene un coeficiente de convección $h_{\text{aceite}} = 85 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. El aceite y el agua entran a 100°C y 30°C respectivamente.



Si la temperatura de salida del aceite es 60°C :

A) Para calcular ΔT_{\log} realizar los siguientes pasos:

- i) Hacer el diagrama de Temperatura a través de la longitud (x)
- ii) Calcular \overline{T}_{ac} , \overline{T}_{ag} y $\Delta \overline{T} = \text{delta } T \text{ media}$.
- iii) Calcular $\Delta T_1 = \Delta T_{Izq}$, $\Delta T_2 = \Delta T_{der}$ y ΔT_{\log}

B) Calcular la longitud del tubo basado en:

- i) $\Delta \overline{T}$
- ii) ΔT_{\log}

Nota: En estas primeras partes, para el cálculo del coeficiente de convección del agua se admitirá despreciable la corrección $(Pr/Pr_w)^{0,25}$ en el Nu .

C) Recalcular la longitud del tubo ahora sin despreciar la corrección $(Pr/Pr_w)^{0,25}$ en el Nu .

D) Si ahora se tiene en cuenta el espesor del tubo interior, que es de hierro ($k = 60 \text{ W/mK}$) de 3 mm (hacia adentro), calcular la nueva longitud del intercambiador teniendo presente que del lado del agua varía el área de transferencia y el área de pasaje. Analizar el resultado.

E) Verificar el valor del h_{aceite} .

EJERCICIO 2

Los humos producto de una combustión son evacuados al exterior a través de una chimenea, la cual se muestra en la primera figura. La chimenea está formada por una chapa de acero de pequeño calibre y sus dimensiones son: diámetro 25 cm, largo 10 m.

Los humos ingresan a la chimenea a una temperatura de 300°C y el gasto másico es 0,4 kg/s.

Para los cálculos se supondrá una temperatura del aire exterior de 15°C y un coeficiente de convección exterior $h_{ext}=10\text{ W/m}^2\text{ K}$.

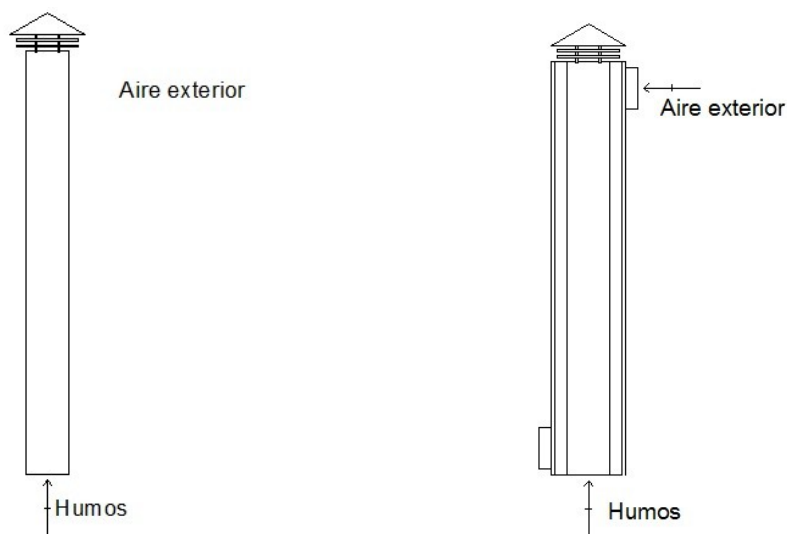
A) ¿Cuál es la temperatura de salida de los humos? Resolver utilizando ΔT_{\log}

Para aprovechar la energía de los humos se decide construir un precalentador de aire (segunda figura). Para esto se coloca alrededor de la chimenea una camisa de chapa aislada exteriormente, de diámetro 40 cm. El caudal másico de aire es 0,35 kg/s.

B) ¿Cuál será la nueva temperatura de salida de los humos? Resolver utilizando ΔT_{\log} .

C) Idealmente, ¿cuál es la cantidad máxima de energía de humos que se podría recuperar y de qué manera se lograría? Para el diseño de **B)**, ¿qué porcentaje de la energía que se perdía se recupera?

Reflexione sobre el significado de “energía perdida”.



D) Resolver nuevamente la parte **B)** a partir de coeficientes de convección calculados con propiedades a las temperaturas de entrada. Compare los resultados y analice si sería razonable realizar esta aproximación.

EJERCICIO 3

Gases calientes ingresan a un intercambiador, en donde se desea calentar agua presurizada que circula por dentro de tubos. El flujo es cruzado, con ambos fluidos no mezclados.

Datos:

$$G_{agua} = 1 \frac{kg}{s} \quad C_{Pgases} = 1.100 J/kgK$$

$$T_{aguaE} = 35^\circ C \quad T_{gasesE} = 300^\circ C$$

$$T_{aguaS} = 125^\circ C \quad T_{gasesS} = 100^\circ C$$

A) Si el coeficiente global de transferencia referido al área interna es

$$U_{medio} = 100 \frac{W}{m^2 K}, \text{ calcular el área utilizando los métodos de } \Delta \bar{T} \text{ y } \Delta T_{log}.$$

Comparar los resultados

B) Si el gasto de humos se incrementa en un 50% y se mantienen las temperaturas de entrada, calcular las nuevas temperaturas de salida. Se asumirá que $h_{agua} \gg h_{humos}$ y que los coeficientes de intercambio no se ven afectados por las variaciones de temperatura.

Reflexione acerca de la validez de las suposiciones anteriores.

EJERCICIO 4

Un fluido sucio proveniente de un proceso industrial ingresa a un tratamiento para ser purificado. Para ello, se eleva su temperatura hasta un cierto valor, entra en la purificadora y sale finalmente limpio, algo más frío y con un caudal másico algo menor.

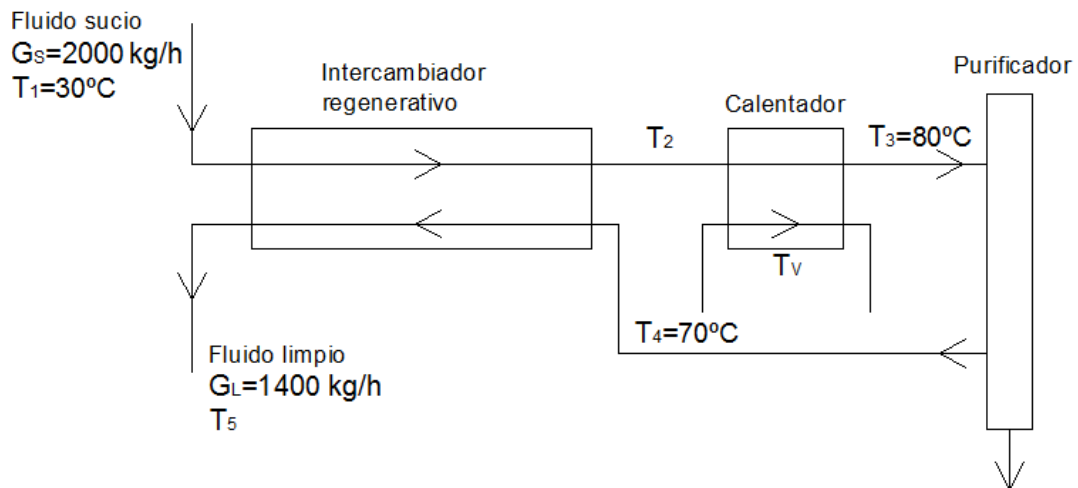
El proceso térmico consta de un circuito con etapas que se detallan a continuación:

En una etapa, el fluido sucio se calienta a contracorriente con el retorno del fluido limpio que vuelve de la máquina purificadora (calentamiento regenerativo). Luego, se le agrega calor adicional mediante un calentador en el que se utiliza vapor de agua saturado.

Los intercambiadores son del tipo tubo en tubo, hechos con un caño de hierro de 1 ½" Sch 40 colocado dentro de otro caño de hierro de 2 ½" Sch 40.

El fluido sucio va por dentro del tubo central. En el conducto anular, en el intercambio regenerativo va el fluido limpio a contracorriente, mientras que en el calentador va el vapor de agua saturado.

El esquema y los datos se muestran en la figura:



Para el fluido sucio se asume un $h_{fouling}=5.000 \frac{kcal}{hm^2°C}$ en ambos intercambiadores.

El intercambiador en zona regenerativa tiene una eficiencia de 90%.

El intercambiador del calentador con vapor tiene un tamaño (área de intercambio) de 10% respecto al regenerativo.

Nota: todos los fluidos se asumen con propiedades asimilables al agua y asumir que en todos los casos: $C_p=1 \frac{kcal}{kg°C}$.

A) Hallar las temperaturas T_2 y T_5 .

B) Hallar los coeficientes de convección $h_{interior}$ y $h_{exterior}$ en el intercambiador regenerativo y calcular el coeficiente global de intercambio referido al área interior.

Nota: Asumir, solo para la corrección de los coeficientes de convección, una temperatura de pared calculada como el promedio de la de los fluidos.

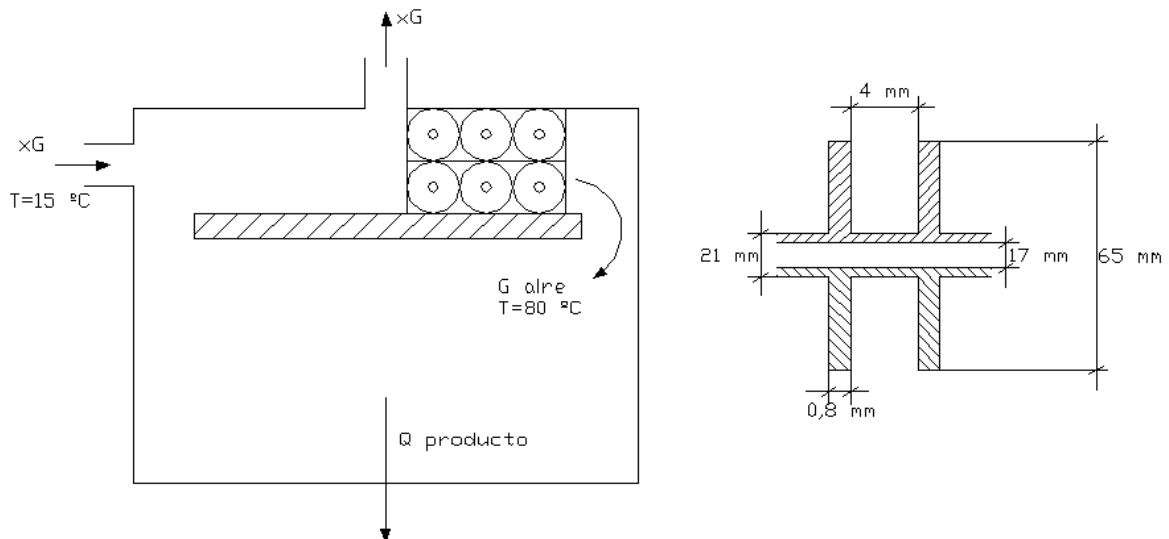
C) Hallar el largo necesario para los tubos del intercambiador regenerativo.

D) Hallar la temperatura de vapor necesaria para el calentador.

EJERCICIO 5

Por una estufa de secado circula aire que se calienta mediante un calefactor de tubos aletados alimentados con vapor saturado.

Una fracción, x , del aire circulado, G , es renovado con aire exterior.



El calefactor consiste en 6 tubos aletados, que tienen las siguientes características:

- Largo: 0,6 m
- Diámetro exterior: $\Phi_{\text{ext}} = 21 \text{ mm}$
- Espesor de pared de tubos: 2 mm
- Diámetro de aletas: $\Phi_{\text{aletas}} = 65 \text{ mm}$
- Espesor de aletas: 0,8 mm
- Espacio entre aletas: 4 mm
- Material del tubo y aletas: acero inoxidable, $k = 34 \text{ kcal/hm}^{\circ}\text{C}$

Los 6 tubos aletados están dentro de un ducto de 0,13 x 0,6 m.

A la salida del calefactor y en la sección del ducto mencionado la velocidad del aire es de 12 m/s y su temperatura es de 80°C.

El producto y las pérdidas al exterior absorben $Q = 1.000 \text{ kcal/h}$.

El aire de renovación exterior tiene una temperatura $T = 15^{\circ}\text{C}$.

El vapor que alimenta el calefactor es saturado a 120°C.

A) Hallar:

- i) Calor entregado por el vapor al aire
- ii) Temperatura del aire antes de entrar al calefactor
- iii) Cantidad de aire renovado

Despreciar resistencia térmica de la pared del tubo y de la condensación del vapor ($h_{interior} = \infty$).

B) Teniendo en cuenta la resistencia térmica de la pared, hallar el valor mínimo que debe tener el coeficiente de convección en la condensación del vapor de agua para que el coeficiente global de transferencia, corregido por ambos conceptos, no difiera en más de 15% del anterior (el de **A**)).

C) Calcular la pérdida de carga del aire en el calentador, expresándolo en milímetros de columna de agua.

Nota:

Para el cálculo del coeficiente de convección en banco de tubos aletados utilizar la correlación: $Nu = 0,092 \times Re^{0,72} \times Pr^{0,43}$

donde la longitud característica es: $L_c = \frac{2(A_f + A_b)}{\pi P}$

con A_b el área de la base de la aleta, A_f el área de la aleta y P el perímetro mojado que ve el flujo.