



## 12. THERMAL AND MASS CONVECTION

- 12.1. Se desea estimar el sobrecalentamiento, en régimen estacionario, de un gasto de 0,01 kg/s de R-12 que sale de un evaporador a 100 kPa y circula por un tubo de cobre de 0,5 mm de espesor, 10 mm de diámetro exterior y 50 cm de longitud, con una envoltura aislante de 5 mm de espesor de manta de fibra de vidrio, en presencia de una atmósfera a 30 °C. Datos:  $h_{R-12}=250 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  y  $h_{\text{aire}}=10 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ . Se pide:
- Temperatura, densidad y velocidad del R-12 a la entrada del conducto.
  - Balance energético y calor transmitido.
  - Temperatura de salida.
  - Comprobar, con las correlaciones empíricas generales, que las estimaciones dadas de  $h_{R-12}$  y  $h_{\text{aire}}$  son adecuadas.
- 12.2. Por un tubo de 2 m de largo y 10 mm de diámetro, cuyas paredes se mantienen a 80 °C, fluye 1,67 kg/s de un aceite cuya conductividad térmica varía de 0,144 W/(m·K) a 20 °C a 0,141 W/(m·K) a 80 °C, su viscosidad es de  $890\cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  a 20 °C y de  $39\cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  a 80 °C, su densidad es de 894 kg/m<sup>3</sup> a 20 °C y de 851 kg/m<sup>3</sup> a 80 °C, y su capacidad térmica de 1900 J/(kg·K) a 20 °C y 2100 J/(kg·K) a 80 °C, el cual entra a 20 °C. Se pide:
- Régimen del movimiento.
  - Número de Nusselt medio.
  - Calor que recibe el aceite.
  - Temperatura de salida.
- 12.3. Se desea saber la pérdida de calor al ambiente de una tubería de 5 cm de diámetro y 1 cm de espesor de aislante de  $k=0,1 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ , por la que circula 0,01 kg/s de vapor que entra a 150 kPa y 150 °C. Se pide:
- Números de Reynolds y Nusselt para el vapor.
  - Números de Grashof y Nusselt para el aire.
  - Flujo transversal de calor.
  - Variación axial de la temperatura del vapor.
- 12.4. Se desea estudiar el enfriamiento de una esfera maciza de hierro de 10 cm de diámetro, recién sacada de un horno a 150 °C, en una atmósfera a 20 °C. Se pide:
- Flujo de calor por radiación, suponiendo  $\varepsilon=0,2$ .
  - Flujo de calor por conducción suponiendo aire inmóvil, y cálculo del  $Nu$  equivalente.
  - Flujo de calor por convección natural, indicando los valores de  $Gr$  y  $Nu$  correspondientes.
- 12.5. Se trata del diseño de un calentador eléctrico de 3 kW para calentar agua sanitaria desde 10 °C a 60 °C. Se pide:
- Gasto másico de agua que se podría calentar.
  - Tamaño que deberían tener los tubos para que el régimen sea turbulento.
  - Números de Reynolds, Prandtl y Nusselt, y longitud de tubo mínima necesaria.
  - Pérdida de presión.

- 12.6. Para condensar el vapor de salida de una turbina a  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  se usa una corriente de agua de  $100\text{ kg/s}$  a  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El área de intercambio es de  $150\text{ m}^2$  y el coeficiente global de transmisión de  $2000\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ . Se pide:
- El número de unidades de transferencia (Nut).
  - El rendimiento  $\eta$ .
  - La temperatura de salida del agua.
  - El calor evacuado.
  - El gasto másico de vapor circulante.
- 12.7. Una delgada placa metálica, plana, de  $1,5\cdot 0,3\text{ m}^2$ , se encuentra en presencia de una corriente de aire a  $11\text{ m/s}$  paralela a uno de sus lados. La placa lleva unas resistencias eléctricas embebidas que disipan  $1\text{ kW}$  en total. Se pide, para las dos posiciones posibles de la placa (a lo largo y a lo ancho):
- Determinar el tipo de flujo que tendrá lugar, hacer un esquema de la capa límite, y determinar el espesor máximo.
  - Calcular la temperatura que alcanza la placa, suponiéndola isoterma y con el coeficiente convectivo calculado con la correlación de Colburn-Chilton.
  - Indicar la influencia que tendría el hecho de que la conductividad térmica de la placa no fuese muy grande.
- 12.8. Se quiere condensar  $1\text{ kg/s}$  de vapor de agua a  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  con agua ambiente a  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , en un cambiador de calor de carcasa y tubos, haciéndose circular el agua por tubos de  $14\text{ mm}$  de diámetro y  $1,5\text{ m}$  de longitud total (se piensa usar un condensador de dos pasos por tubos y uno por carcasa). Suponiendo que la velocidad de circulación del agua se limita a  $2\text{ m/s}$  para no aumentar mucho las necesidades de bombeo, se pide:
- Caudal mínimo de agua necesario.
  - Número de tubos necesarios, suponiendo un valor típico del coeficiente global de transmisión de calor.
  - Cálculo del coeficiente convectivo del lado del agua.
  - Determinación más precisa del número de tubos y la temperatura de salida del agua.
- 12.9. Determinar la velocidad de evaporación de una gota de  $1\text{ mm}$  de diámetro moviéndose a  $10\text{ m/s}$  en aire a  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $50\%\text{RH}$  y  $100\text{ kPa}$ .
- 12.10. Se quiere enfriar un flujo de  $0,8\text{ kg/s}$  de queroseno desde  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , en un cambiador de calor a contracorriente con agua a  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Suponiendo un coeficiente global de transmisión de calor de  $300\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ , se pide:
- Caudal mínimo necesario de agua.
  - Caudal necesario de agua suponiendo que la eficiencia del cambiador va a ser del  $50\%$ .
  - Área de intercambio necesaria.
  - Número de unidades de transferencia.
- 12.11. En un cambiador tubular se enfría un flujo de  $0,2\text{ kg/s}$  de agua a  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a contracorriente con un flujo de  $0,5\text{ kg/s}$  de agua ambiente a  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El cambiador, de  $2\text{ m}$  de longitud, tiene el tubo interior de acero inoxidable, con  $20\text{ mm}$  de diámetro interior y  $1\text{ mm}$  de espesor; el tubo exterior tiene  $30\text{ mm}$  de diámetro interior. Se pide:
- Los coeficientes convectivos.
  - El coeficiente global de transferencia.

- c) La carga térmica.
- d) La temperatura de salida.

- 12.12. Por un tubo de 8 mm de diámetro circula agua a 0,2 m/s y 15 °C, entrando en un tramo de 5 m de tubo calentado eléctricamente, en el cual recibe un flujo de calor de 10 kW/m<sup>2</sup>, que se supondrá constante. Se pide:
- a) Esquematizar el perfil de temperatura esperado a lo largo y ancho del tubo.
  - b) Temperatura del agua a la salida del calentador.
  - c) Temperaturas extremas en la sección de salida del calentador.
- 12.13. Un aceite de viscosidad  $40 \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s circula por un tubo de 1 cm de diámetro, recibiendo 100 W/m de potencia térmica por unidad de longitud. Sabiendo que el flujo másico es de 0,02 kg/s, se pide:
- a) Esquematizar el perfil de temperatura esperado a lo largo y ancho del tubo.
  - b) Determinar el perfil transversal de temperatura y la media másica, cuando la temperatura en la pared alcanza 370 K.
  - c) Coeficiente convectivo, gradiente térmico en la pared y número de Nusselt, en el caso anterior.
- 12.14. Se trata de enfriar con agua a 15 °C un aceite a 150 °C en un cambiador de calor tubular. El flujo de aceite, de 0,3 kg/s, tiene un paso por la carcasa, con una sección media de paso de 10 cm<sup>2</sup>, mientras que el de agua, de 0,2 kg/s, circula por el interior de un tubo de 14 mm de diámetro interior y 40 m de longitud total que tiene ocho tramos rectos. Se pide:
- a) Indicar un valor típico para el coeficiente global de transmisión, y estimar la carga térmica y el rendimiento del cambiador.
  - b) Temperaturas de salida y media logarítmica, en el caso anterior.
  - c) Determinar los coeficientes convectivos, el coeficiente global, y la carga térmica real.
- 12.15. Un proceso necesita 0,2 kg/s de agua a 95 °C para calentar una carga a 75 °C. El agua se toma del ambiente a 15 °C y se calienta en una caldera de gas natural, con rendimiento energético del 80%, y no se puede recircular porque queda contaminada en el proceso, y se elimina. Para aprovechar ese calor residual, se ha pensado instalar un cambiador de calor que precaliente el agua de entrada a la caldera. Suponiendo un rendimiento típico del cambiador del 60%, y un precio del gas de 10 €/GJ, se pide:
- a) Esquema de la instalación propuesta, y temperatura de precalentamiento obtenida.
  - b) Ahorro diario (considérese funcionamiento continuo).
- 12.16. Por un tubo de 40 mm de diámetro cuyas paredes están a 100 °C, se calienta un caudal de 3 L/s de agua desde 50 °C hasta 90 °C. Se pide:
- a) Calcular la longitud de entrada térmica.
  - b) Calcular el número de Nusselt en el flujo desarrollado.
  - c) Determinar la longitud del tubo.
- 12.17. Fluye aire a 14 °C y con una velocidad de 4 m/s por un conducto de climatización de sección rectangular de 10 cm de altura y 20 cm de anchura, hecho con chapa de acero de 1 mm de espesor. El aire exterior está a 30 °C y su humedad relativa es la que correspondería a una temperatura de rocío de 24 °C. El coeficiente convectivo exterior es  $h=7$  W/(m<sup>2</sup>·K). Se pide:
- a) Coeficiente de convección interior.
  - b) Temperaturas interior y exterior de la chapa del conducto.

c) Espesor de lana de vidrio necesario para evitar condensaciones en el exterior del conducto.

12.18. Se trata de calentar una corriente de 5 L/min de agua desde 15 °C hasta 45 °C, para lo que se piensa poner una resistencia eléctrica alrededor de la tubería, y envolver todo con una funda aislante. Se pide:

- a) Potencia eléctrica necesaria.
- b) Tamaño máximo que debería tener el tubo para que el régimen fuese turbulento.
- c) Números de Reynolds, Prandtl y Nusselt, y longitud de tubo mínima necesaria.
- d) Espesor de aislante de poliuretano para que las pérdidas sean menores del 1%.

12.19. Se ha de condensar 1 kg/s de vapor (considérese saturado), que procede de la salida de una turbina, a 25 kPa. Se piensa usar un condensador de carcasa y tubos, de un solo paso y coeficiente global de transferencia de 1000 W/(m<sup>2</sup>·K), entrando a los tubos agua a 15 °C y saliendo a 45 °C. Se prevé que haya 100 tubos de 30 mm de diámetro exterior. Se pide:

- a) Caudal de agua necesario.
- b) Superficie de transferencia requerida.
- c) Supuesto un coeficiente convectivo en el lado del vapor condensante de 3000 W/(m<sup>2</sup>·K), y tubos de pared fina, obtener el coeficiente convectivo en el lado del agua.
- d) Calcular la velocidad media del agua y obtener el coeficiente convectivo en el lado del agua a partir de la correlación de Dittus-Boelter.
- e) Longitud del cambiador.

12.20. Se trata de dimensionar un cambiador de calor de placas para recuperación de calor en un proceso que debe calentar 0,5 kg/s de agua ambiente (15 °C), y que al final del proceso resulta contaminada y ha de desecharse, pero está a 85 °C y se quiere aprovechar esta energía para precalentar el agua de alimentación. Se pide:

- a) Calor recuperable con un cambiador de rendimiento 0,75.
- b) Diferencia de temperatura media logarítmica.
- c) Área total de intercambio necesaria, considerando un valor típico del coeficiente global de transferencia.
- d) Número de unidades de transferencia.
- e) Número de placas de 15•30 cm<sup>2</sup> que habría que disponer.

12.21. Por un tubo de 3 cm de diámetro y 1.5 m de longitud, circula 10 kg/min de agua que entra a 15 °C y sale a 25 °C de media. Se pide:

- a) Esquematizar el perfil de temperatura longitudinal y transversal a lo largo del tubo.
- b) Calcular la longitud de entrada térmica y el número de Nusselt global.
- c) Calcular el flujo de calor por unidad de área de paso, y el coeficiente convectivo.
- c) Determinar la temperatura en la pared a la salida.

12.22. En un cierto cambiador de calor de placas, se utiliza un caudal de 0,1 L/s de agua de desecho, a 40 °C, para calentar agua limpia desde 15 °C hasta 30 °C. Suponiendo un rendimiento de 0,8 para el cambiador, se pide:

- a) Calor intercambiado.
- b) Caudal de agua limpia calentada.
- c) Área total de intercambio necesaria, considerando un valor típico del coeficiente global de transferencia.
- d) Número de unidades de transferencia.

