

Convección

1.1. Problemas de convección

Problema 1

Una placa cuadrada de 0,1 m de lado se sumerge en un flujo uniforme de aire a presión de 1 bar y $20^{\circ}C$ con una velocidad de 1,5 m/s. La superficie de la placa tiene una temperatura uniforme de $100^{\circ}C$. Determinar:

- El coeficiente medio de convección.
- El coeficiente medio de fricción superficial.
- Flujo de calor.

Respuesta: a) $h_c = 15,2W/(m^2.K)$; b) $C_f = 0,0148$; c) 24,34 W

Problema 2

Una placa cuadrada de 2 m de lado se encuentra sumergida en un flujo de aire a presión de 1 bar y $30^{\circ}C$, con una velocidad de 20 m/s. La placa se mantiene a la temperatura de $90^{\circ}C$. Determinar:

- El coeficiente medio de convección.
- La longitud crítica.

Respuesta: a) $h_c = 41,5W/(m^2.K)$; b) $x_{tr} = 0,466m$

Problema 3

Sobre una placa plana fluye aire a una velocidad constante de 10 m/s, en condiciones ambientales de $20^{\circ}C$ y 1 bar. La placa se calienta a una temperatura constante de $74^{\circ}C$, comenzando a una distancia de 7,5 cm del borde. Calcular el flujo de calor a partir del borde hasta una distancia de 30 cm del mismo. (Reynolds de transición: 2105)

Respuesta: $q = 710W/m^2$

Problema 4

Aceite para transformadores fluye por el interior de un tubo de diámetro $d = 8$ mm y longitud $L = 1$ m a una velocidad de 0.8 m/s. Si la temperatura media del aceite a lo largo del tubo es de 80°C , la temperatura de la pared del tubo es de 20°C , y suponiendo flujo desarrollado, calcular:

- El coeficiente medio de convección.
- Temperatura de entrada y salida del aceite.
- Caída de presión.

Respuesta: a) $h_c = 168\text{W}/(\text{m}^2.\text{K})$; b) $T_i = 351,2\text{K}$; $T_s = 354,8\text{K}$; c) $\Delta p = 1232\text{Pa}$

Problema 5

Agua entra a un tubo de $1,25$ cm de diámetro interno y 4 m de largo (con extremo abierto, borde a 90°C), a una temperatura de 45°C . Se mantiene la temperatura de pared a 65°C , y la velocidad del flujo es de $3,5$ m/s. Calcular el flujo de calor hacia el agua.

Respuesta: $Q = 34,2\text{kW}$

Problema 6

Una corriente de Litio líquido fluye a 5 m/s dentro de un tubo de 1 cm de diámetro interno. Evaluando las propiedades del Litio a 800 K, calcular el coeficiente de transferencia de calor si:

- La temperatura de pared es uniforme.
- La densidad de flujo de calor por la pared es uniforme.

Respuesta: a) $h_c = 61150\text{W}/(\text{m}^2.\text{K})$; b) $h_c = 73480\text{W}/(\text{m}^2.\text{K})$

Problema 7

Amoníaco líquido fluye en un conducto que tiene una sección transversal de un triángulo equilátero de 1 cm de lado. La temperatura de masa promedio es de 20°C , y la temperatura de la pared del conducto es de 50°C . Se observa un flujo laminar bien desarrollado con un número de Reynolds de 1000 . Calcular el flujo de calor para un metro de longitud del conducto, despreciando efectos de convección mixta.

Respuesta: $Q = 206\text{W}$

Problema 8

Agua a razón de 100 kg/min y $90^{\circ}C$ es forzada a circular por un tubo de Cobre de 5 cm de diámetro interno y 1 mm de espesor. Calcular la pérdida de calor del agua si la longitud de la tubería es de 100 m en los siguientes casos (suponer flujo desarrollado):

- Aire a $20^{\circ}C$ y presión 1 bar con una velocidad de 10 m/s atravesando exteriormente al tubo con una dirección normal al mismo.
- Idem anterior, pero con el flujo externo formando un ángulo de $45^{\circ}C$ con el eje del tubo.
- Aire quieto, en las mismas condiciones atmosféricas.

Respuesta: a) $Q = 62,71kW$; b) $Q = 46,72kW$; c) $Q = 7kW$

Problema 9

Un cilindro vertical de 1,8 m de altura y 25 cm de diámetro se mantiene a una temperatura de $100^{\circ}C$ en un ambiente atmosférico a $34^{\circ}C$. Calcular el flujo de calor.

Respuesta: $Q = 440 W$

Problema 10

Un colector solar de placa plana tiene 1 m por lado y está inclinado a un ángulo de $20^{\circ}C$ con la horizontal. La superficie caliente a $160^{\circ}C$ se coloca en un recinto que está evacuado a una presión de 0,1 bar. Sobre la superficie caliente y paralela a ella hay una ventana transparente que permite el paso de la radiación solar. La superficie caliente y la ventana están separadas por una distancia de 8 cm. Si la temperatura de la ventana se mantiene a $40^{\circ}C$, calcular el flujo de calor entre ambas superficies.

Respuesta: $Q = 132 W$

Problema 11

Una corona circular horizontal con diámetros interno y externo de 8 y 10 cm respectivamente, contiene aire a presión de 1 bar. Las superficies interna y externa se mantienen a 50 y $20^{\circ}C$ respectivamente. Calcular el flujo de calor por metro de longitud.

Respuesta: $Q = 24,7 W/m$

Problema 12

Por fuera de un conducto horizontal de 8 cm de diámetro exterior y 1 m de longitud circula aire a 1 bar y $200^{\circ}C$ de temperatura, con una velocidad media de 0.5 m/s, en dirección vertical y sentido descendente. La temperatura de la pared es de $54^{\circ}C$. Calcular el calor cedido por el aire.

Respuesta: $Q = 318 \text{ W}$

Problema 13

Un banco de tubos de 6,35 mm de diámetro formado por 6 filas de tubos con 25 tubos de altura cada una, tiene un paso transversal igual al longitudinal, de 2 cm. La temperatura de la superficie de los tubos se mantiene constante e igual a $90^{\circ}C$, y se hace pasar aire atmosférico a $20^{\circ}C$ a través de ellos, a una velocidad de entrada de 4,5 m/s antes que el flujo penetre en el banco de tubos. Calcular el flujo de calor por unidad de longitud del banco de tubos y la caída de presión si el arreglo de los tubos es en tresbolillo:

Respuesta: $Q = 25,3 \text{ Kw/m}$; $\delta p = 42 \text{ Pa}$

Problema 14

Se emplea un lecho de bolas para precalentar 5 kg/s de aire para un horno de fundición. El lecho tiene 2 m de diámetro, 0,5 m de longitud y un paquete térmico de bolas que puede considerarse como esferas de 2,2 cm de diámetro y con una fracción de vacío de 0,43. Para el punto en el cual las bolas se encuentran a 1400 K y el aire está a 600 K, calcular:

- El coeficiente de transferencia de calor.
- El gradiente de presión.

Respuesta: a) $h_c = 158 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; b) $dp/dx = 4317 \text{ Pa/m}$

Problema 15

En cierto experimento de tratamiento de materiales a bordo de una estación espacial, se hace girar una esfera de aleación de 1 cm de diámetro a 3000 r.p.m. en un recinto lleno de nitrógeno a 800 K y 1 bar. La esfera se mantiene a 1200 K enfocando sobre ella un haz de radiación infrarroja. Si la emitancia de la esfera es de 0,15 calcular el valor de la energía radiante que debe aportársele en estado estacionario.

Respuesta: $Q = 9,6 \text{ W}$

Problema 16

Una corriente de agua fluye a 3 m/s dentro de un tubo de intercambiador de calor cubierto con incrustaciones con un diámetro interior de 5 cm. Los depósitos que cubren la superficie del tubo no presentan un patrón sencillo, pero las protuberancias tienen una altura media de 2,5 mm. Las mediciones de caída de presión indican que la rugosidad de grano equivalente es de 3,2 mm. Calcular el gradiente de presión y el coeficiente de transferencia de calor en el punto en el que la pared del tubo se encuentra a 360 K y la temperatura media del agua es de 400 K.

Respuesta: $hc = 54780W/(m^2/K)$; $dp/dx = 6910Pa/m$

1.2. Enfriado de gas de combustión

Los gases de combustión de una instalación industrial, de temperatura $T_i = 600^\circ C$ entran continuamente a una chimenea (diámetro interior $D_i = 40cm$, diámetro exterior $D_e = 50cm$ a razón de $q_m = 0,5kg/s$.

Para poder predecir su dispersión en la atmósfera y eventuales condensaciones en el conducto, se propone calcular la temperatura media de los gases a la salida ($x = H = 25cm$) de la chimenea y la temperatura de la pared T_{ps} para esa altura. Los cálculos se justificarán sobre las siguientes hipótesis:

- la conductividad térmica de los ladrillos de la chimenea es uniforme:

$$k_L = 1,2Wm^{-1}K^{-1}$$

- el aire exterior, de temperatura $T_e = 4^\circ C$, sopla transversalmente a la chimenea a una velocidad $U_e = 4m/s$.
- la transferencia por radiación es despreciable.

a) Establecer la relación

$$\frac{T_s - T_e}{T_i - T_e} = \exp\left(\frac{-H}{L}\right)$$

donde L es una longitud característica que se expresa en función de los parámetros q_m , D_i , h_i , h_e , k_L y C_g calor específico del gas de combustión.

- b) Calcular los coeficientes de intercambio h_i y h_e y la longitud L .
- c) Deducir el valor de T_s y T_{ps} así como también el del gradiente radial de temperaturas sobre la pared $\left(\frac{\partial T}{\partial r}\right)_{R,H}$ en la salida de la chimenea.

Datos numéricos:

- Propiedades físicas del gas de combustión a una temperatura media $T_m = \frac{T_i + T_e}{2}$:

$$\begin{aligned}\rho_g &= 0,4643 \text{ kg/m}^3 & \mu_g &= 3,55 \cdot 10^{-5} \text{ kg/(ms)} \\ C_g &= 1087 \text{ J/(kgK)} & k_g &= 5,49 \cdot 10^{-2} \text{ W/(mK)}\end{aligned}$$

- Propiedades físicas del aire a 4°C

$$\begin{aligned}\rho_a &= 1,278 \text{ kg/m}^3 & \mu_a &= 1,72 \cdot 10^{-5} \text{ kg/(ms)} \\ C_a &= 1007 \text{ J/(kgK)} & k_a &= 2,43 \cdot 10^{-2} \text{ W/(mK)}\end{aligned}$$

- Leyes semi empíricas de la convección forzada.

- convección externa alrededor de un cilindro de diámetro D :

$$Nu_D = C Re_D^m Pr^{1/3}$$

con

| Re_D | C | m |
|----------------|-------|-------|
| 0,4 ... 4 | 0,989 | 0,330 |
| 4 ... 40 | 0,911 | 0,385 |
| 40 ... 4000 | 0,683 | 0,466 |
| 4000 ... 40000 | 0,193 | 0,618 |
| > 40000 | 0,027 | 0,805 |

- convección interna en un cilindro de diámetro D :

- Flujo laminar $Re_D \leq 2500$: $Nu_D = 3,66$
- Flujo turbulento $Re_D > 2500$: $Nu_D = 0,023 Re_D^{4/5} Pr^{1/3}$