Noviembre del 2024

Modelo de cálculo - Fenómenos de biotransporte
Bioingeniería

---

1. Calcule el coeficiente convectivo de transferencia de calor (h) a partir de los datos experimentales registrados en el laboratorio, bajo condiciones de convección libre y forzada.

Convección	T_s [ºC]	T_f [ºC]	V_f $[\frac{m}{s}]$
Libre	72	26,6	0
Forzada	62,4	24,77	1,9

Donde:
T_s: Temperatura de la placa.
T_f: Temperatura promedio del aire.
V_f: Velocidad del aire

En ambos casos la potencia (Q) fue de $22,6W$ y las dimensiones de la placa de $0,11m \times 0,10m$

También son necesarias las siguientes propiedades del aire
$k = 0,02551 \frac{W}{m*K}$: Conductividad térmica.
$\hat{C}_p = 1007 \frac{J}{kg*k}$: Calor específico.
$\beta = 3,4 \times 10^{-3} K^{-1}$: Coeficiente de expansión térmica.
$\rho = 1,18 \frac{kg}{m^3}$: Densidad.
$\mu = 18,49 \times 10^{-6} Pa*s$: Viscosidad dinámica.
$\nu = \frac{\mu}{\rho} = 15,67 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$: Viscosidad cinemática.

Así como las siguientes constantes.
$g = 9,81 \frac{m}{s^2}$: Gravedad de la tierra.
$A = 0,10m \times 0,11m = 0{,}011 m^2$: Área de la placa
$L = 0,10m$: Longitud característica de la placa (Altura).

Res: Para comenzar, se hacen las siguientes consideraciones:

- El fluido posee una velocidad constante.
- El coeficiente h es medido a una temperatura promedio, de manera que se considera constante.
- Se alcanzó el estado estable al momento de las mediciones.

- Toda la potencia suministrada por el reostato a la placa es suministrada de la placa al aire.

Con esto, se pueden relacionar las variables experimentales a partir de la ley de enfriamiento de newton, tal y como se registra en la Ecuación (1):

$$q = h(T_s - T_f) \rightarrow \frac{Q}{A} = h(T_s - T_f) \therefore h = \frac{Q}{A(T_s - T_f)} \tag{1}$$

De esta ecuación se tiene que los coeficientes para convección libre (h_L) y forzada (h_F) son:

$$h_L = 45,2543 \frac{W}{m^2 * K}$$
$$h_F = 54,5986 \frac{W}{m^2 * K}$$

Ahora, para encontrar una correlación empírica se puede usar el número de Nusselt (Nu), que relaciona el intercambio de calor por convección con el generado por conducción, relacionando la ecuación de enfriamiento de Newton con la de conducción de Fourier de la siguiente manera:

$$Nu = \frac{\textit{Transporte de calor por convección}}{\textit{Transporte de calor por conducción}} = \frac{h\Delta T}{K\frac{\Delta T}{L}} \therefore Nu = \frac{hL}{k} \therefore h = \frac{Nu \times k}{L} \tag{2}$$

Existen diferentes modelos para calcular el número de Nusselt Nu dependiendo de las condiciones experimentales. Para la convección libre, se tiene que el Nussel libre (Nu_L) depende de los números de Prandtl (Pr) y Rayleigh (Ra). Este último, a su vez, depende del número de Grashoff (Gr) y Pr. Se tiene entonces:

$$Gr = \frac{g\beta(T_s - T_f)L^3}{\nu^2} = 7,0982 \times 10^6$$
$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\hat{C}_p \mu}{k} = 0,7299$$
$$Ra = Gr \times Pr = 5,1810 \times 10^6$$

Debido a que $Ra < 10^9$, y que el flujo fue puramente vertical, se propone usar la correlación de Churchill y Chu:

$$\bar{Nu}_L = 0,68 + \frac{0,67 Ra^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + (\frac{0,492}{Pr})^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}} = 25,2901 \tag{3}$$

Reemplazando este valor en la Ecuación (2) para encontrar el coeficiente de convección en convección libre:

$$h_L = \frac{Nu_L \times k}{L} = 6,1560 \frac{W}{m^2 * K}$$

Para la convección forzada, se tiene que el Nussel forzado (Nu_F) promedio depende también del número de Prandtl y el de Reynolds (Re):

$$Re = \frac{\rho V_f L}{\mu} = 12707,4959$$

Para $Pr > 0,6$ se tiene que:

$$\bar{N}u_F = 0,68 \times Re^{\frac{1}{2}} \times Pr^{\frac{1}{3}} = 69,0176$$

Al reemplazar este valor en la ecuación (2) para encontrar el coeficiente de convección libre:

$$h_F = \frac{Nu_F \times k}{L} = 16,4047$$