EJERCICIOS DE CONVECCION FORZADA – FLUJO INTERNO

1. Aire a 1 atm y 285 K entra a un ducto rectangular de 2 m de longitud con sección transversal de 75 mm x 150 mm. El ducto se mantiene a una temperatura superficial constante de 400 K y el flujo de masa del aire es 0.10 Kg/s. Determine la transferencia de calor del ducto al aire y la temperatura de salida del aire.

Solución:

Como primer paso debemos obtener las propiedades necesarias para el cálculo de los parámetros adimensionales, utilizando las tablas de aire seco a P= 1 atm y Tm. Para calcular Tm necesitamos conocer la temperatura de salida del fluido, la cual en este caso es una incógnita. Entonces suponemos cualquier valor de Tms, por ejemplo 315 K.

$$T_m = \frac{T_{me} + T_{ms}}{2} = \frac{285 + 315}{2} = 300K$$

ρ	$\boldsymbol{C_p}$	$\boldsymbol{v}$ $\text{x}10^{-6}$	$\boldsymbol{K_f}$ $\text{x}10^{-3}$	**Pr**
1.1614	1007	15.89	26.3	0.707

Calculamos el diámetro hidráulico Dh.

$$D_h = \frac{4 \times A_c}{P} = \frac{4(75 \times 150)}{2(75 + 150)} = 100mm$$

$$V_m = \frac{\dot{m}}{\rho \times A_c} = \frac{0.10}{1.1614 \times (0.075 * 0.150)} = 7.654m/s$$

$$\text{Re}_{Dh} = \frac{V_m \times D_h}{\upsilon} = 48166.13$$

Como el número de Reynolds es mayor a 10000, el flujo es turbulento. Utilizamos la correlación 15 para calcular el número de Nusselt.

$$N_u = 0.023 \text{Re}_{Dh}^{4/5} \text{Pr}^n = 111.606$$
$$n = 0.4$$

Calculamos el coeficiente de convección promedio

$$\bar{h} = \frac{N_u \times K_f}{D_h} = 29.35$$

Se calcula el calor utilizando la Ley de Enfriamiento de Newton.

$$Q = h \times A_s \times (T_s - T_m) = 29.35 \times 0.9 \times (400 - 300) = 2641.5W$$
$$A_s = 2 \times (0.075m + 0.150m) \times 2m = 0.9m^2$$

Recalculamos la Tms, mediante la ecuación para calcular el calor por primera ley.

$$Q = \dot{m} C_p (T_{ms}{}^* - T_{me})$$

$$T_{ms}{}^* = 311.23K$$

Finalmente se calcula el error relativo porcentual y si es necesario se realiza otra iteración hasta alcanzar el porcentaje de error deseado.

2. Considere un anillo de tubos concéntricos para el que los diámetros interior y exterior son 25 mm y 50 mm. Entra agua a la región anular a 0.04 Kg/s y 25 °C. Si la pared del tubo interior se calienta eléctricamente a una razón de q´=4000 W/m, mientras la pared del tubo exterior está aislada. ¿Qué longitud deben tener los tubos para que el agua alcance una temperatura de salida de 85 °C? ¿Cuál es la temperatura superficial del tubo interno a la salida, donde se pueden suponer condiciones completamente desarrolladas?

Solución:

Parte 1. Se conoce el flujo de calor por unidad de longitud suministrado al tubo interior, por lo tanto utilizando la ecuación de primera ley podemos decir que:

$$q'L = \dot{m} C_p (T_{ms} - T_{me}) \rightarrow L = \frac{0.04 \times 4179 \times (85 - 25)}{4000} = 2.5m$$

$$T_m = \frac{T_{me} + T_{ms}}{2} = \frac{25 + 85}{2} = 55^{\circ} C$$

Propiedades del agua a 55 ºC (Ver tabla)

ρ	C_p	ν x10^{-6}	K_f x10^{-3}	**Pr**
985.7	4179	0.5115	649.3	3.245

Parte 2. Nos piden calcular la temperatura superficial interna del tubo. Como sabemos en la pared del tubo existe una condición de flujo de calor constante (no temperatura superficial constante). En flujos completamente desarrollados, debido a que los perfiles de velocidad y temperatura no cambian, el coeficiente de convección h y ΔT (Ts – Tm) son independientes de x, es decir permanecen constantes.

Se calcula el diámetro hidráulico del espacio anular:

$$D_h = D_e - D_i = 50mm - 25mm = 25mm$$

Calculamos el número de Reynolds y se determina que correlación de Nusselt utilizar

$$V_m = \frac{\dot{m}}{\rho A_c} = \frac{0.04}{985.7 \times \frac{\pi}{4}(0.025^2)}$$

$$\mathrm{Re}_{Dh} = \frac{V_m \times D_h}{\upsilon} = 1346.85$$

Como Reynolds es menor a 2300, el flujo es laminar y se utiliza la tabla 9.

$$\frac{D_i}{D_o} = \frac{25}{50} = 0.5$$

$$Nu_i = 5.74$$

El coeficiente de convección es igual a 149.08 W/m^2.K

Ahora calculamos ΔT, utilizando la Ley de Enfriamiento de Newton.

$$Q = h \times A \times \Delta T \rightarrow \Delta T = \frac{Q}{h \times A_i} = \frac{q'}{h \times \pi \times D_i} = 341.8$$

Finalmente se obtiene la temperatura superficial del tubo interior a la salida.

$$\Delta T = T_{si} - T_{ms} \rightarrow T_{si} = 341.8 - 85 = 256.81^{o}C$$