

FORMULAS PARA EL CALCULO DE COEFICIENTES DE CONVECCIÓN NATURAL TRANSFERENCIA DE CALOR

Nusselt	$Nu = h * L / K$
Reynolds	$Re = V * L / \nu$
Prandtl	$Pr = \nu / \alpha$
Grashof	$Gr = g * \beta * L^3 * \Delta T / \nu^2$
Rayleigh	$Ra = Gr * Pr$

1 ESPACIO ILIMITADO

En las ecuaciones que aparece el término $(Pr/Pr_w)^{0,25}$ las propiedades se deben evaluar a la temperatura del fluido, lejos de la superficie considerada.

En las ecuaciones en que NO aparece el término $(Pr/Pr_w)^{0,25}$ las propiedades se deben evaluar a la temperatura de film: $T_f = 0,5(T_\infty + T_w)$.

1.1 Tubos horizontales

Longitud característica $L = D$ diámetro del cilindro.

$$10^3 < Ra < 10^8$$

$$Nu = 0.5 Ra^{0.25} \left(\frac{Pr}{Pr_w} \right)^{0.25}$$

Ver Referencia I, Capítulo 3

Otra expresión que es válida en un campo más amplio es:

$$Ra < 10^{12}$$

$$Nu = \left(0.60 + \frac{0.387 Ra^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0.559}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right)^2$$

Ver Referencia II, Capítulo 9

1.2 Tubos verticales

Longitud característica $L = H$ altura del cilindro.

$$10^3 < Ra < 10^9$$

$$Nu = 0.76 Ra^{0.25} \left(\frac{Pr}{Pr_w} \right)^{0.25}$$

$$Ra > 10^9$$

$$Nu = 0.15 Ra^{0.33} \left(\frac{Pr}{Pr_w} \right)^{0.25}$$

Ver Referencia I, Capítulo 3

1.3 Placas verticales

Longitud característica $L = H$ altura de la placa plana.

Se recomiendan dos expresiones:

1- Las mismas que para tubos verticales.

Ver Referencia I, Capítulo 3

2- Ra puede variar en todo el rango positivo

$$Nu = \left(0.825 + \frac{0.387 Ra^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right)^2$$

Ver Referencia II, Capítulo 9

1.4 Placas horizontales

Longitud característica $L = \text{Área de la placa} / \text{Perímetro de la placa}$.

1- Placa caliente hacia arriba o fría hacia abajo.

$$10^4 < Ra < 10^7$$

$$Nu = 0.54Ra^{0.25}$$

$$10^7 < Ra < 10^{11}$$

$$Nu = 0.15Ra^{0.33}$$

2- Placa fría hacia arriba o caliente hacia abajo.

$$10^5 < Ra < 10^{10}$$

$$Nu = 0.27Ra^{0.25}$$

Ver Referencia II, Capítulo 9

1.5 Esferas

Longitud característica $L = D$ diámetro del cilindro.

$$\begin{aligned} Pr &\geq 0.7 \\ Ra &< 10^{11} \end{aligned}$$

$$Nu = 2 + \frac{0.589Ra^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0.469}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{4}{9}}}$$

Ver Referencia II, Capítulo 9

2 Espacio limitado

Las propiedades se deben evaluar a la temperatura media entre las superficies consideradas: $T_m = 0,5(T_{w1} + T_{w2})$.

2.1 Cavidades rectangulares horizontales

Longitud característica L = distancia entre las placas.

H es la distancia entre las paredes laterales de la cavidad, las que se asumen aisladas.

- 1- La temperatura de la placa inferior es mayor que la temperatura de la placa superior.

$$Ra < 1708$$

$$L/H \leq 10$$

$$Nu = 1$$

$$3 \cdot 10^5 < Ra < 7 \cdot 10^9$$

$$Nu = 0.069 Ra^{0.33} Pr^{0.074}$$

- 2- La temperatura de la placa inferior es menor que la temperatura de la placa superior.

$$Nu = 1$$

Ver Referencia II, Capítulo 9

2.2 Cavidades rectangulares verticales

Longitud característica L = distancia entre las placas.

H es la distancia entre las paredes laterales de la cavidad, las que se asumen aisladas.

$$Ra < 10^3$$

$$Nu = 1$$

$$Ra > 10^3$$

$$1 \leq H/l \leq 2$$

$$10^{-3} \leq Pr \leq 10^5$$

$$10^3 < Ra \cdot Pr / (0.2 + Pr)$$

$$Nu = 0.18 \left(\frac{Pr}{0.2 + Pr} Ra \right)^{0.29}$$

$$Ra > 10^3$$

$$2 < H/l < 10$$

$$Pr < 10^5$$

$$10^3 < Ra < 10^{10}$$

$$Nu = 0.22 \left(\frac{Pr}{0.2 + Pr} Ra \right)^{0.28} \left(\frac{H}{l} \right)^{-0.25}$$

$$\begin{aligned} Ra &> 10^3 \\ 10 &\leq H/l \leq 40 \\ 1 &\leq Pr \leq 2 \cdot 10^4 \\ 10^4 &\leq Ra \leq 10^7 \end{aligned}$$

$$Nu = 0.42 Ra^{\frac{1}{4}} Pr^{0.012} \left(\frac{H}{l} \right)^{-0.3}$$

Otra expresión más general es:

$$\begin{aligned} 10^6 &\leq Ra \leq 10^9 \\ 1 &\leq H/l \leq 40 \\ 1 &\leq Pr \leq 20 \end{aligned}$$

$$Nu = 0.046 Ra^{0.33}$$

Ver Referencia II, Capítulo 9

2.3 Cilindros concéntricos

Los diámetros de los cilindros son D_i y D_e (cilindro interior y exterior respectivamente). Las temperaturas de los cilindros son T_i y T_e (del cilindro interior y exterior respectivamente).

Longitud característica $L = D_e - D_i$

La potencia calorífica transferida por unidad de longitud del cilindro es:

$$\dot{q} = \frac{2\pi K_{ef}}{Ln\left(\frac{D_e}{D_i}\right)} (T_i - T_e)$$

K_{ef} es la conductividad térmica que tendría un fluido que estando en reposo transferiría la misma cantidad de calor.

$$\frac{K_{ef}}{K} = 0.386 \left(\frac{Pr}{0.861 + Pr} \right)^{0.25} (Ra^*)^{0.25}$$

Donde

$$Ra^* = \frac{\left[Ln\left(\frac{D_e}{D_i}\right) \right]^4}{(D_e - D_i)^3 \left(Di^{\frac{-3}{5}} + De^{\frac{-3}{5}} \right)^5} Ra \quad \text{Si } 10^2 \leq Ra^* \leq 10^7$$

Si $Ra^* < 100$

Ver Referencia II, $K_{ef} = K$

Capítulo 9

2.4 Esferas concéntricas

Los diámetros de las esferas son D_i y D_e (esfera interior y exterior respectivamente). Las temperaturas de las esferas son T_i y T_e (de la esfera interior y exterior respectivamente).

Longitud característica $L = D_e - D_i$

La potencia calorífica total transferida es:

$$q = \pi K_{ef} \left(\frac{D_i D_e}{D_e - D_i} \right) (T_i - T_e)$$

K_{ef} es la conductividad térmica que tendría un fluido que estando en reposo transferiría la misma cantidad de calor.

$$\frac{K_{ef}}{K} = 0.74 \left(\frac{\text{Pr}}{0.861 + \text{Pr}} \right)^{0.25} (Ra^*)^{0.25}$$

Donde

$$Ra^* = \frac{(D_e - D_i)}{(D_i D_e)^4 \left(D_i^{-\frac{7}{5}} + D_e^{-\frac{7}{5}} \right)^5} Ra \quad \text{Si } 10^2 \leq Ra^* \leq 10^4$$

Ver Referencia II, Capítulo 9

REFERENCIAS

I – M. A. MIJEEV, I.M. MIJEEVA, *Fundamentos de termotransferencia*, Mir, 1979.

II- FRANK D. INCROPERA, DAVID P. DE WITT, *Fundamentos de transferencia de calor*, 4ª Edición, Prentice Hall, México 1999.