

## FORMULAS ÚTILES

Caída libre:

$$V_f^2 - V_i^2 = 2gh$$

Área de un círculo:

$$A = \pi r^2$$

Área de una esfera:

$$A = 4\pi R^2$$

Volumen de una esfera:

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3$$

## CONDUCCIÓN PERMANENTE

$$q = k A \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

$$q = \frac{\Delta T}{R_T}$$

$$R_T = \frac{\Delta X}{k_x A_x}$$

$$q = m C_p \frac{dt}{d\theta}$$

Área cilindro:

$$A = \frac{A_E - A_I}{\ln \left( \frac{A_E}{A_I} \right)}$$

Área esfera:

$$A = \sqrt{A_E A_I}$$

Costo óptimo:

$$C_T = C_F + C_V$$

$$C_F = n A_x [\text{m}^2] \text{CA} \left[ \frac{\text{Bs}}{\text{m}^2} \right] \frac{1}{\text{TV}[\text{año}]}$$

$$C_V = \frac{t_f - t_i}{R_p + n R_x} \left[ \frac{\text{kcal}}{\text{h}} \right] \frac{1[\text{kg}]}{\text{PC}[\text{kcal}]} \dots$$

$$\dots \text{CC} \left[ \frac{\text{Bs}}{\text{kg}} \right] \text{FU} \left[ \frac{\text{h}}{\text{año}} \right]$$

- CA: Costo del aislante.
- TV: Tiempo de vida.
- PC: Poder calorífico.
- CC: Costo de combustible.
- FU: Frecuencia de uso.

## CONDUCCIÓN TRANSITORIA

$$\text{Bi} = \frac{hL}{k}; \quad \text{Fo} = \frac{\alpha \theta}{L^2}; \quad L = \frac{V}{A}; \quad \alpha = \frac{k_x}{\rho C_p}$$

Caso:  $\text{Bi} \leq 0.1$

$$\theta = -\frac{m C_p}{h A} \ln \left( \frac{t_f - t_\infty}{t_i - t_\infty} \right)$$

$$\frac{t - t_\infty}{t_i - t_\infty} = e^{-\text{Bi Fo}}$$

Caso:  $\text{Bi} > 0.1$

Método analítico especial

(para  $A \rightarrow \infty$  o  $h \rightarrow \infty$ ):

$$\frac{t_f - t_\infty}{t_i - t_\infty} = \frac{4}{\pi} \left[ e^{-a_1 X} \sin \left( \frac{\pi x}{2r_m} \right) + \dots \right. \\ \left. \dots + \frac{1}{3} e^{-9a_1 X} \sin \left( \frac{3\pi x}{2r_m} \right) + \dots \right]$$

$$a_1 = \left( \frac{\pi}{2} \right)^2$$

$$X = \frac{\alpha \theta}{r_m^2}$$

Método analítico-gráfico:

Temperatura relativa:

$$y = \frac{t_f - t_\infty}{t_i - t_\infty}$$

Tiempo relativo:

$$x = \frac{\alpha \theta}{r_m^2}$$

Resistencia relativa:

$$m = \frac{k}{h r_m}$$

Posición relativa:

$$n = \frac{r}{r_m}$$

Método gráfico:

$$\frac{\Delta x^2}{\alpha \Delta \theta} = M$$

- $\Delta \theta$ : Incremento de tiempo.
- $M = 2$ : para flujo en una dimensión.
- $M = 4$ : para flujo en dos dimensiones.
- $M = 6$ : para flujo en tres dimensiones.

$$N_{\Delta \theta} = \frac{\theta}{\Delta \theta}$$

- $N_{\Delta \theta}$ : Número de incrementos de  $\theta$ .
- $\theta$ : Tiempo de proceso.

Cuerpo semi-infinito:

Caso:  $h = \infty$

$$\frac{t - t_\infty}{t_i - t_\infty} = \text{fer} \left( \frac{y}{\sqrt{4\alpha\theta}} \right)$$

- $y$ : Profundidad del plano.
- $t_i$ : Temperatura del suelo.
- $t_\infty$ : Temperatura del medio fluido (exterior).
- $t_s$ : Temperatura de la superficie del suelo ( $t_s = t_\infty$ ).
- fer: Función error.

Caso:  $h \ll \infty$

$$\frac{t - t_i}{t_\infty - t_i} = 1 - \text{fer}(\xi) - \left\{ e^{\left( \frac{h y}{k} + \frac{h^2 \alpha \theta}{k^2} \right)} \dots \right.$$

$$\left. \dots \left[ 1 - \text{fer} \left( \xi + \frac{h \sqrt{\alpha \theta}}{k} \right) \right] \right\}$$

$$\xi = \frac{y}{\sqrt{4\alpha\theta}}$$

## CONVECCIÓN NATURAL

$$q_c = h A (t_s - t_\infty)$$

Ecuaciones de *Rice* ( $\text{Gr} > 3$ ):

$$\text{Nu}_f = 0.47 (\text{Gr}_f \text{Pr}_f)^{0.25} \quad \text{Tubos horizontales}$$

$$\text{Nu}_f = 0.59 (\text{Gr}_f \text{Pr}_f)^{0.25} \quad \text{Tubos verticales}$$

$$\text{Pr} = C_p \left( \frac{\mu}{k} \right)$$

$$\text{Gr} = \frac{g D^3 \beta \Delta t}{\gamma^2}$$

- $D$ : Longitud característica.

- Para tubos horizontales:  $D = D_E$  (Diámetro externo).
- Para tubos verticales:  $D = L$  (Altura).

$$\text{Nu} = \frac{h D}{k}$$

- $D$ : Longitud característica.

- Para ambos tubos:  $D = D_E$  (Diámetro externo).

Caso: Aire (flujo laminar)

$$h = 2.1 \Delta t^{0.25} \quad \text{Paredes horizontales hacia arriba}$$

$$h = 1.1 \Delta t^{0.25} \quad \text{Paredes horizontales hacia abajo}$$

$$h = 1.5 \Delta t^{0.25} \quad \text{Paredes verticales } (L > 0.40)$$

$$h = 1.2 \left( \frac{\Delta t}{L} \right)^{0.25} \quad \text{Paredes verticales } (L < 0.40)$$

$$h = 1.1 \left( \frac{\Delta t}{D} \right)^{0.25} \quad \text{Tubos horizontales y verticales}$$

Caso: Otros fluidos, flujo turbulento, otras formas geométricas:

$$\text{Nu} = C \text{Ra}^a$$

Convección transitoria:

$$-q_c = q_s$$

$$-h A (t_s - t) = m C_p \left( \frac{dt}{d\theta} \right)$$

$$\theta = -\frac{m \bar{C}_p}{A \bar{h}} \ln \left( \frac{t_s - f_f}{t_s - t_i} \right)$$

Casos particulares: Múltiples tubos horizontales y/o verticales:

$$A_T = N_t A_t$$

$$A_t = \pi D_E l$$

En placas verticales se debe tomar el volumen por encima de la placa vertical.

Cavidades

$(L/b) > 3$ :

$$\bar{t} = \frac{T_1 + T_2}{2}$$

$$\text{Gr} = \frac{g b^3 \beta (T_1 - T_2)}{\gamma^2}$$

Conducción pura

( $\text{Gr} < 2000$ ):

$$\text{Nu} = 1$$

Convección natural en régimen laminar ( $2 \times 10^4 < \text{Gr} < 2 \times 10^5$ ):

$$\text{Nu} = 0.18 \text{Gr}^{\frac{1}{4}} \left( \frac{L}{b} \right)^{-\frac{1}{9}}$$

Convección natural en régimen turbulento ( $2 \times 10^5 < \text{Gr} < 2 \times 10^7$ ):

$$\text{Nu} = 0.065 \text{Gr}^{\frac{1}{3}} \left( \frac{L}{b} \right)^{-\frac{1}{9}}$$