

Problema y sistema

Para abastecer el sector de calderas de una planta industrial con agua ablandada a partir de agua filtrada a 20°C se emplea un intercambiador iónico que opera según las condiciones descritas a continuación:

Condiciones operativas de la planta de tratamiento con marcha normal:

- Caudal de agua de alimentación: 180 m³.hr⁻¹.
- La velocidad del agua en el interior de los equipos ablandadores será 75% menor que la velocidad para el comienzo de la fluidización.

Condiciones operativas para la regeneración de la resina:

- La operación se realizará en lecho fluidizado con una solución de salmuera (NaCl). Densidad salmuera: 1.10 g.cm⁻³; Viscosidad salmuera: 2.1 cp.
- La velocidad de fluidización será 50% menor que la velocidad de arrastre del lecho.

Características de la resina para el lecho:

- Partículas cilíndricas: 1 mm de diámetro y 2 mm de longitud
- Densidad de la resina: 1.5 g.cm⁻³.
- Relación de masa: 75 kg de resina por caudal (m³.hr⁻¹) de agua a procesar.

- Diseñar el intercambiador iónico y calcular la cantidad necesaria de resina para llevar a cabo el proceso.
- Calcular la velocidad intersticial y la velocidad superficial de operación.
- Determinar la caída de presión en cada instancia (ablandamiento y regeneración), y la expansión del lecho en cada caso.
- Indicar el campo de existencia del lecho.

DATOS

$$\begin{aligned} Temp &:= 20 & Temp_k &:= 20 + 273.2 = 293.2 & Q_{va} &:= 180 \frac{m^3}{hr} & v_{sup} &= 0.25 \cdot v_{mf} \\ \delta_{sn} &:= 1.10 \frac{gm}{cm^3} & cp &:= 0.01 \text{ poise} & \mu_{sn} &:= 2.1 \text{ cp} & v_f &= 0.5 \cdot v_t \\ D_p &:= 1 \text{ mm} & Long_p &:= 2 \text{ mm} & \delta_p &:= 1.5 \frac{gm}{cm^3} & RM &:= 75 \frac{kg \cdot hr}{m^3} \end{aligned}$$

La velocidad
pasa mient
La velocidad
momento e

DESARROLLO

INCISO A dimensionamiento del intercambiador

$$V_P := \frac{\pi \cdot D_p^2 \cdot Long_p}{4} \quad S_P := \frac{2 \cdot \pi \cdot D_p^2}{4} + \pi \cdot D_p \cdot Long_p$$

$$D_V := \sqrt[3]{\frac{6 \cdot V_P}{\pi}} \quad D_S := \sqrt[2]{\frac{S_P}{\pi}} \quad D_{SV} := 6 \cdot \frac{V_P}{S_P} \quad \psi := \frac{D_{SV}}{D_V}$$

A partir de Zaki se obtiene la v_f , la porosidad de fluid y la v_t del NaCl

$$Ar(\delta_p, \delta_F, \mu_F) := \frac{\delta_F \cdot D_{SV}^3 \cdot g \cdot (\delta_p - \delta_F)}{\mu_F^2}$$

$$Ar_{sn} := Ar(\delta_p, \delta_{sn}, \mu_{sn}) = 1.691 \cdot 10^3$$

Correlación Richardson - Zaki

Restricciones de prueba

$$n := 10$$

$$0.015 \cdot Ar_{sn}^{0.5} = \frac{4.8 - n}{n - 2.4}$$

Solver

$$n := \mathbf{find}(n) = 3.884$$

$$k := 0.8$$

Valores de prueba

$$\varepsilon_f := 0.1$$

$$v_f = 0.5 \cdot v_t$$

$$v_f = v_t \cdot k \cdot \varepsilon_f^n$$

A la altura
porosidad de

A un dado ca

Una relación

$$0.015 Ar_{sn}^{0.5} = \frac{4.8 - n}{n - 2.4}$$

$$D_p \equiv D$$

Si no se
con Wer

Restricciones

$$0.5 = k \cdot \varepsilon_f^n$$

Solver

$$\varepsilon_f := \mathbf{find}(\varepsilon_f) = 0.886$$

$$Re_p(D_V, \delta_F, v_t, \mu_F) := \frac{\delta_F \cdot v_t \cdot D_V}{\mu_F}$$

$$C_D(D_V, \delta_F, v_t, \mu_F, \psi) := \frac{24}{Re_p(D_V, \delta_F, v_t, \mu_F)} \cdot \left(1 + (8.171 \cdot e^{-4.0655 \cdot \psi}) \cdot (Re_p(D_V, \delta_F, v_t, \mu_F))\right)$$

Valores de prueba

$$v_t := 1 \frac{m}{s}$$

Restricciones

$$v_t = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{D_V \cdot g \cdot (\delta_p - \delta_F)}{\delta_F \cdot C_D(D_p, \delta_F, v_t, \mu_F, \psi)}}$$

Solver

$$v_t(D_V, \delta_F, \mu_F, \psi, \delta_p) := \mathbf{find}(v_t)$$

$$v_t := v_t(D_V, \delta_{sn}, \mu_{sn}, \psi, \delta_p) = 5.31 \frac{cm}{s}$$

$$v_f := 0.5 \cdot v_t = 2.655 \frac{cm}{s}$$

A partir de las correlaciones de Wen Yu o Chitester se obtiene vsup

$$D_{SV} = 1200 \mu m \quad \text{Se usa Chitester}$$

$$Re_{pmf}(D_{SV}, \delta_F, v_{mf}, \mu_F) := \frac{\delta_F \cdot v_{mf} \cdot D_{SV}}{\mu_F} \quad C_1 := 28.7 \quad C_2 := 0.0494$$

Ecuación

$$Re_{p,mf} =$$

Ecuación

Valores de prueba

$$v_{mf} := 1 \frac{m}{s}$$

Restricciones

$$Re_{pmf}(D_{SV}, \delta_{sn}, v_{mf}, \mu_{sn}) = (C_1^2 + C_2 \cdot Ar_{sn})^{0.5} - C_1$$

Solver

$$v_{mf} := \mathbf{find}(v_{mf}) = 0.002 \frac{m}{s}$$

$$Re_{p,mf} =$$

Valores de prueba

$$\epsilon_{mf} := 0.1$$

Restricciones

$$Ar_{sn} = 150 \cdot \frac{(1 - \epsilon_{mf})}{\epsilon_{mf}^3} \cdot \left(\frac{D_{SV} \cdot \delta_{sn} \cdot v_{mf}}{\mu_{sn}} \right) + 175 \cdot \frac{1}{\epsilon_{mf}^3} \cdot \left(\frac{D_{SV} \cdot \delta_{sn} \cdot v_{mf}}{\mu_{sn}} \right)^2$$

Solver

$$\epsilon_{mf} := \mathbf{find}(\epsilon_{mf}) = 0.634$$

$$Ar = 11$$

$$v_{sup} := 0.25 \cdot v_{mf} = 0.056 \frac{cm}{s}$$

Dimensionamiento del intercambiador

$$\delta_w(Temp) := \frac{999.83952 + 16.945176 \cdot (Temp) - 7.9870401 \cdot 10^{-3} \cdot (Temp)^2 - 46.170461 \cdot 10^{-6} \cdot (Temp)^3}{1 + 16.87950 \cdot 10^{-3} \cdot (Temp)}$$

$$A(Temp) := \frac{1301}{998.333 + 8.1855 \cdot (Temp - 20) + 0.00585 \cdot (Temp - 20)^2} - 1.3023$$

$$\mu(Temp) := 1 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{A(Temp)} \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

$$\delta_a := \delta_w(\text{Temp}) = 998.209 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\mu_a := \mu(\text{Temp}) = 0.001 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$$

$$G_o(\delta_F) := v_{sup} \cdot \delta_F \quad Q_{ma} := Q_{va} \cdot \delta_a = 49.91 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$D_B := \sqrt[2]{\frac{4 \cdot Q_{ma}}{\pi \cdot G_o(\delta_a)}} = 10.617 \text{ m} \quad D_{inter} := D_B = 10.617 \text{ m}$$

$$\frac{D_{SV}}{D_B} = 1.13 \cdot 10^{-4}$$

$$\varepsilon_B := 0.4 + 0.05 \cdot \left(\frac{D_{SV}}{D_B}\right) + 0.412 \cdot \left(\frac{D_{SV}}{D_B}\right)^2 = 0.4$$

$$m_{Re} := RM \cdot Q_{va} = (1.35 \cdot 10^4) \text{ kg} \quad A_B := \frac{\pi \cdot D_B^2}{4}$$

$$Long_{inter} := \frac{m_{Re}}{A_B \cdot \delta_p \cdot (1 - \varepsilon_f)} \cdot 1.2 = 1.07 \text{ m}$$

EL 1.2 ES EL FACTOR DE SEGURIDAD

INCISO b vsup y vinst

$$v_{sup} := 0.25 \cdot v_{mf} = 0.565 \frac{\text{mm}}{\text{s}}$$

$$v_{inters} := \frac{v_{sup}}{\varepsilon_B} = 0.141 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

INCISO c caída de P en ablandamiento y regeneración, expansión del l

$$Long_B := \frac{m_{Re}}{A_B \cdot \delta_p \cdot (1 - \varepsilon_B)} = 0.169 \text{ m}$$

$$Long_{inter} := \frac{m_{Re}}{A_B \cdot \delta_p \cdot (1 - \varepsilon_f)} \cdot 1.2 = 1.07 \text{ m}$$

$$Long_{total} := \frac{m_{Re}}{\dots} = 0.892 \text{ m}$$

$$A_B \cdot \delta_p \cdot (1 - \varepsilon_f)$$

$$Long_{mf} := \frac{m_{Re}}{A_B \cdot \delta_p \cdot (1 - \varepsilon_{mf})} = 0.278 \text{ m}$$

GE: GRADO DE EXPANSIÓN

$$GE := \frac{Long_{inter} - Long_B}{Long_{inter}} \cdot 100 = 84.172$$

$$GE := \frac{Long_{inter} - Long_{fluid}}{Long_{inter}} \cdot 100 = 16.667$$

$$GE := \frac{Long_{inter} - Long_{mf}}{Long_{inter}} \cdot 100 = 74.054$$

$$\Delta P_{ablandamiento}(\mu_F, \delta_F) := \left(150 \cdot \frac{\mu_F}{D_{SV}^2} \cdot \frac{(1 - \varepsilon_B)^2}{\varepsilon_B^3} \cdot v_{sup} + 1.75 \cdot \frac{(1 - \varepsilon_B)}{\varepsilon_B^3} \cdot \frac{\delta_F}{D_{SV}} \cdot v_{sup}^2 \right) \cdot Long_B$$

$$\Delta P_{ablandamiento}(\mu_a, \delta_a) = 56.914 \text{ Pa}$$

$$\Delta P_{mf}(\delta_F) := (1 - \varepsilon_{mf}) \cdot Long_{mf} \cdot g \cdot (\delta_p - \delta_F)$$

$$\Delta P_{mf}(\delta_{sn}) = 398.767 \text{ Pa}$$

$$\Delta P_f(\delta_F) := (1 - \varepsilon_f) \cdot Long_{fluid} \cdot g \cdot (\delta_p - \delta_F)$$

$$\Delta P_f(\delta_{sn}) = 398.767 \text{ Pa}$$

INCISO d campo de existencia del lecho

$$\frac{v_t}{v_{mf}} = 23.504$$