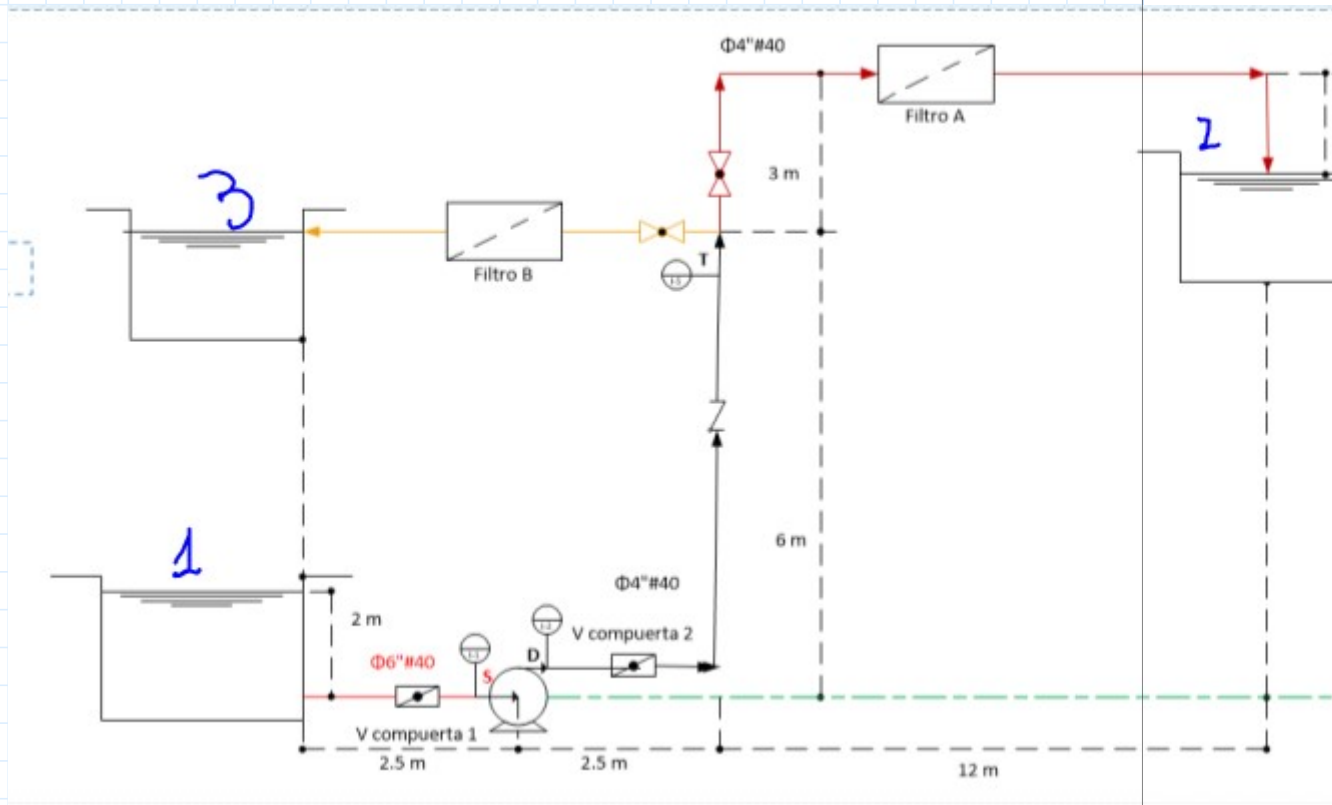


Problema y sistema

Se requiere bombear una salmuera diluida (con escasas partículas en suspensión) a través de los filtros A y B desde un tanque depósito hasta dos tanques de filtrado. El caudal total a filtrar es de 7 L/s a 15°C y la configuración de Planta es la de la figura. La planta está ubicada a 3900 msnm . La filtración ha informado que sus equipos presentan una caída de presión de 1.7 kPa a un caudal de 7 L/s . Determinar la potencia necesaria de la bomba b) la presión manométrica en el punto T. c) determinar la configuración de las tuberías en ambas ramas para la operación de bombeo de menor costo. Asumir que las propiedades de la salmuera son iguales a las del agua.



DATOS

$$Q_v := 50 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$$

$$Temp := 15$$

$$msnm := 3900 \text{ m}$$

$$\Delta P_f := 1.7 \text{ kPa}$$

$$Q_{inf} := 7 \frac{\text{L}}{\text{s}} = 0.007 \text{ m}^3/\text{s}$$

Propiedades de la salmuera.

idénticas a las del agua

$$z_1 := 2 \text{ m} \quad z_2 := 9 \text{ m} - 1 \text{ m} = 8 \text{ m} \quad v_1 := 0 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad v_2 := 0 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad \varepsilon := 4.5 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

$$D_{1nom} := 6 \text{ in} = 0.152 \text{ m} \quad D_{2nom} := 4 \text{ in} = 0.102 \text{ m} \quad Long_6 := 2.5 \text{ m}$$

$$D_6 := 6.065 \text{ in} = 0.154 \text{ m} \quad D_4 := 4.026 \text{ in} = 0.102 \text{ m} \quad Long_4 := 2.5 \text{ m} + 6 \text{ m} + 3 \text{ m} + 12 \text{ m}$$

$$Long_{4-3} := 2.5 \text{ m} + 6 \text{ m} + 5 \text{ m} = 13 \text{ m}$$

$$z_3 := 6 \text{ m} \quad v_3 := 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Incógnitas

Pot_{bomba}

P_{Tman}

relación de caudales para
que haya un costo mínimo

DESARROLLO

INCISO A

$$P_{amb}(msnm) := 103125 \text{ Pa} \cdot e^{\left(-1.1458 \cdot \frac{10^{-4}}{\text{m}} \cdot msnm\right)}$$

$$P_{amb}(msnm) = (6.596 \cdot 10^4) \text{ Pa}$$

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

$$\delta(Temp) = 999.104 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Para calcular las irrevs necesitamos el fd y por tanto el Rey y la rugosidad

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

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

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

$$v(Q_v, D) := \frac{4 \cdot Q_v}{\pi \cdot D^2}$$

$$Rey(Temp, D, Q_v) := \frac{D \cdot v(Q_v, D) \cdot \delta(Temp)}{\mu(Temp)}$$

Irreversibilidades

$$f_D(\varepsilon, D, Q_v, Temp) := \frac{1}{\left(-2 \cdot \log \left(\frac{\varepsilon}{D} - \frac{5.0452}{Rey(Temp, D, Q_v)} \cdot \log \left(\frac{1}{2.8257} \cdot \left(\frac{\varepsilon}{D} \right)^{1.1098} \right) \right) + \frac{5.850}{Rey(Temp, D)} \right)^2}$$

Irrever de entrada (contracción)

$$K_{Lcon} := 0.5$$

$$e_{Lcon}(D, Q_v) := K_{Lcon} \cdot \frac{\left(\frac{4 \cdot Q_v}{\pi \cdot D^2} \right)^2}{2}$$

Irrever de salida (expansión)

$$K_{Lex} := 1$$

$$e_{Lex}(D, Q_v) := K_{Lex} \cdot \frac{\left(\frac{4 \cdot Q_v}{\pi \cdot D^2} \right)^2}{2}$$

Irrever por la válvula compuerta 1 y 2

$$K_{Lvalcomp}(\varepsilon, D, Q_v, Temp) := 8 \cdot f_D(\varepsilon, D, Q_v, Temp)$$

$$e_{Lvalcomp}(\varepsilon, D, Q_v, Temp) := K_{Lvalcomp}(\varepsilon, D, Q_v, Temp) \cdot \frac{\left(\frac{4 \cdot Q_v}{\pi \cdot D^2}\right)^2}{2}$$

Irrever por trayectoria de 6 y 4

$$e_{Lp}(\varepsilon, D, Q_v, Temp, Long) := f_D(\varepsilon, D, Q_v, Temp) \cdot \frac{Long}{D} \cdot \frac{\left(\frac{4 \cdot Q_v}{\pi \cdot D^2}\right)^2}{2}$$

Irrever por la válvula de retención

$$K_{Lvalrete}(\varepsilon, D, Q_v, Temp) := 50 \cdot f_D(\varepsilon, D, Q_v, Temp)$$

$$e_{Lvalrete}(\varepsilon, D, Q_v, Temp) := K_{Lvalrete}(\varepsilon, D, Q_v, Temp) \cdot \frac{\left(\frac{4 \cdot Q_v}{\pi \cdot D^2}\right)^2}{2}$$

Irrever por accesorios, son 3 codos

$$K_{Lacc}(\varepsilon, D, Q_v, Temp) := 30 \cdot f_D(\varepsilon, D, Q_v, Temp)$$

$$e_{Lacc}(\varepsilon, D, Q_v, Temp) := K_{Lacc}(\varepsilon, D, Q_v, Temp) \cdot \frac{\left(\frac{4 \cdot Q_v}{\pi \cdot D^2}\right)^2}{2}$$

Irrever por la válvula globo son 2

$$K_{Lvalgl}(\varepsilon, D, Q_v, Temp) := 340 \cdot f_D(\varepsilon, D, Q_v, Temp)$$

$$e_{Lvalgl}(\varepsilon, D, Q_v, Temp) := K_{Lvalgl}(\varepsilon, D, Q_v, Temp) \cdot \frac{\left(\frac{4 \cdot Q_v}{\pi \cdot D^2}\right)^2}{2}$$

Irrever por la ramificación

$$K_{LTEE}(\varepsilon, D, Q_v, Temp) := 20 \cdot f_D(\varepsilon, D, Q_v, Temp)$$

$$e_{LTEE}(\varepsilon, D, Q_v, Temp) := K_{LTEE}(\varepsilon, D, Q_v, Temp) \cdot \frac{\left(\frac{4 \cdot Q_v}{\pi \cdot D^2}\right)^2}{2}$$

Irrever por el filtro

$$\Delta P_f := 1.7 \text{ kPa}$$

$$e_{Lfiltro}(\Delta P_f, Temp, Q_v, Q_{inf}) := \frac{\Delta P_f}{\delta(Temp)} \cdot \left(\frac{Q_v}{Q_{inf}}\right)^2$$

TRAMO 1-S

$$e1 := \begin{bmatrix} e_{Lcon}(D_6, Q_v) \\ e_{Lvalcomp}(\varepsilon, D_6, Q_v, Temp) \\ e_{Lp}(\varepsilon, D_6, Q_v, Temp, Long_6) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.139 \\ 0.043 \\ 0.088 \end{bmatrix} \frac{m^2}{s^2}$$

$$e_{L1} := \sum_{j=0}^2 e1_j = 0.27 \frac{m^2}{s^2}$$

TRAMO D-T

$$e2 := \begin{bmatrix} e_{Lvalcomp}(\varepsilon, D_4, Q_v, Temp) \\ e_{Lp}(\varepsilon, D_4, Q_v, Temp, 8.5 \text{ m}) \\ e_{Lacc}(\varepsilon, D_4, Q_v, Temp) \\ e_{Lvalrete}(\varepsilon, D_4, Q_v, Temp) \\ e_{LTEE}(\varepsilon, D_4, Q_v, Temp) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.219 \\ 2.272 \\ 0.82 \\ 1.367 \\ 0.547 \end{bmatrix} \frac{m^2}{s^2}$$

$$e_{LDT} := \sum_{j=0}^4 e2_j = 5.224 \frac{m^2}{s^2}$$

TRAMO T-2

$$Q_{v2} := 0.3 \cdot Q_v = 0.004 \frac{m^3}{s}$$

$$e3 := \begin{bmatrix} e_{Lvalgl}(\varepsilon, D_4, Q_{v2}, Temp) \\ e_{Lp}(\varepsilon, D_4, Q_{v2}, Temp, 16 \text{ m}) \\ 2 \cdot e_{Lacc}(\varepsilon, D_4, Q_{v2}, Temp) \\ e_{Lfiltro}(\Delta P_f, Temp, Q_{v2}, Q_{inf}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.998 \\ 0.459 \\ 0.176 \\ 0.603 \end{bmatrix} \frac{m^2}{s^2}$$

$$e_{LT2} := \sum_{j=0}^{\infty} e3_j = 2.237 \frac{m^2}{s^2}$$

TRAMO T-3

$$Q_{v3} := 0.7 \cdot Q_v = 0.01 \frac{m^3}{s}$$

$$e4 := \begin{bmatrix} e_{Lvalgl}(\varepsilon, D_4, Q_{v3}, Temp) \\ e_{Lp}(\varepsilon, D_4, Q_{v3}, Temp, 5 \text{ m}) \\ e_{Lfiltro}(\Delta P_f, Temp, Q_{v3}, Q_{inf}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4.759 \\ 0.684 \\ 3.282 \end{bmatrix} \frac{m^2}{s^2}$$

$$e_{LT3} := \sum_{j=0}^2 e4_j = 8.726 \frac{m^2}{s^2}$$

Irreve total

no se puede calcular una irrev total porque no se conserva la energía específica, si la potencia. Esto ocurre porque tenemos diferentes caudales

Para los caudales máxicos consideramos:

$$m_1 := Q_v \cdot \delta(Temp) = 13.876 \frac{kg}{s}$$

$$m_2 := 0.3 \cdot m_1 = 4.163 \frac{kg}{s}$$

$$m_3 := 0.7 \cdot m_1 = 9.714 \frac{kg}{s}$$

Valores de prueba

$$w_s := 1 \frac{m^2}{s^2}$$

Restricciones

$$\left(\frac{P_{amb}(msnm)}{\delta(Temp)} + g \cdot z_1 + \alpha_1 \cdot \frac{v_1^2}{2} \right) \cdot m_1 + w_s \cdot m_1 = \left(\frac{P_{amb}(msnm)}{\delta(Temp)} + g \cdot z_2 + \alpha_2 \cdot \frac{v_2^2}{2} \right) \cdot m_2 + \left(\frac{P_{amb}(msnm)}{\delta(Temp)} + g \cdot z_3 + \alpha_3 \cdot \frac{v_3^2}{2} \right) \cdot m_3$$

Solver

$$w_s := \text{find}(w_s) = 57.384 \frac{m^2}{s^2}$$

$$Pot_{bomba} := w_s \cdot m_1 = 0.796 \text{ kW}$$

$$H_s := \frac{w_s}{g} = 5.852 \text{ m}$$

carga de la bomba

INCISO b

$$z_T := 6 \text{ m} \quad \alpha_T := 1$$

Valores de prueba

$$P_T := 1 \text{ bar}$$

Restricciones

$$\frac{P_{amb}(msnm)}{\delta(Temp)} + g \cdot z_1 + \alpha_1 \cdot \frac{v_1^2}{2} + w_s = \frac{P_T}{\delta(Temp)} + g \cdot z_T + \alpha_T \cdot \frac{v(Q_v, D_4)^2}{2} + e_{LDT} + e_{L1}$$

Solver

$$P_T := \text{find}(P_T) = (7.719 \cdot 10^4) \text{ Pa}$$

$$P_{Tman} := P_T - P_{amb}(msnm) = 0.112 \text{ bar}$$

INCISO c

TRAMO 1-S

$$e1 := \begin{bmatrix} e_{Lcon}(D_6, Q_v) \\ e_{Lvalcomp}(\varepsilon, D_6, Q_v, Temp) \\ e_{Lp}(\varepsilon, D_6, Q_v, Temp, Long_6) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.139 \\ 0.043 \\ 0.088 \end{bmatrix} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$e_{L1} := \sum_{j=0}^2 e1_j = 0.27 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

TRAMO D-T

$$e2 := \begin{bmatrix} e_{Lvalcomp}(\varepsilon, D_4, Q_v, Temp) \\ e_{Lp}(\varepsilon, D_4, Q_v, Temp, 8.5 \text{ m}) \\ e_{Lacc}(\varepsilon, D_4, Q_v, Temp) \\ e_{Lvalrete}(\varepsilon, D_4, Q_v, Temp) \\ e_{LTEE}(\varepsilon, D_4, Q_v, Temp) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.219 \\ 2.272 \\ 0.82 \\ 1.367 \\ 0.547 \end{bmatrix} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$e_{LDT} := \sum_{j=0}^4 e2_j = 5.224 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

TRAMO T-2

$$Q_{v2} := 0.01 \cdot Q_v = (1.389 \cdot 10^{-4}) \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$e3 := \begin{bmatrix} e_{Lvalgl}(\varepsilon, D_4, Q_{v2}, Temp) \\ e_{Lp}(\varepsilon, D_4, Q_{v2}, Temp, 16 \text{ m}) \\ 2 \cdot e_{Lacc}(\varepsilon, D_4, Q_{v2}, Temp) \\ e_{Lfiltro}(\Delta P_f, Temp, Q_{v2}, Q_{inf}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.003 \\ 0.001 \\ 4.633 \cdot 10^{-4} \\ 6.698 \cdot 10^{-4} \end{bmatrix} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$e_{LT2} := \sum_{j=0}^3 e3_j = 0.005 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

TRAMO T-3

$$Q_{v3} := 0.99 \cdot Q_v = 0.014 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$e4 := \begin{bmatrix} e_{Lvalgl}(\varepsilon, D_4, Q_{v3}, Temp) \\ e_{Lp}(\varepsilon, D_4, Q_{v3}, Temp, 5 \text{ m}) \\ e_{Lfiltro}(\Delta P_f, Temp, Q_{v3}, Q_{inf}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 9.119 \\ 1.311 \\ 6.565 \end{bmatrix} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$e_{LT3} := \sum_{j=0}^2 e4_j = 16.996 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

Irreve total

no se puede calcular una irrev total porque no se conserva la energía específica, si la potencia. Esto ocurre porque tenemos diferentes caudales

Para los caudales máxicos consideramos:

$$m_1 := Q_v \cdot \delta(Temp) = 13.876 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$m_2 := Q_{v2} \cdot \delta(Temp) = 0.139 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$m_3 := Q_{v3} \cdot \delta(Temp) = 13.738 \frac{kg}{s}$$

Valores de prueba

$$w_s := 1 \frac{m^2}{s^2}$$

Restricciones

$$\left(\frac{P_{amb}(msnm)}{\delta(Temp)} + g \cdot z_1 + \alpha_1 \cdot \frac{v_1^2}{2} \right) \cdot m_1 + w_s \cdot m_1 = \left(\frac{P_{amb}(msnm)}{\delta(Temp)} + g \cdot z_2 + \alpha_2 \cdot \frac{v_2^2}{2} \right) \cdot m_2 + \left(\frac{P_{amb}(msnm)}{\delta(Temp)} + g \cdot z_3 + \alpha_3 \cdot \frac{v_3^2}{2} \right) \cdot m_3$$

Solver

$$w_s := \mathbf{find}(w_s) = 61.743 \frac{m^2}{s^2}$$

$$Pot_{bomba} := w_s \cdot m_1 = 0.857 \text{ kW}$$

$$H_s := \frac{w_s}{g} = 6.296 \text{ m}$$

carga de la bomba