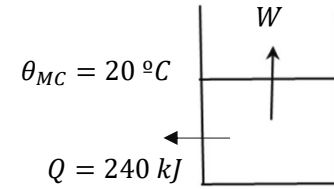


(examen 2026 ordinaria) Ejercicio 1- En un cilindro pistón se expanden 3 kg de aire desde 6 bar y 0,8 m³ hasta 27 °C según un proceso reversible, a través del cual se intercambian 240 kJ de calor hacia el medio circundante, que se encuentra a 20 °C. Calcúlese:

- a- el exponente politrópico del proceso
 - b- la entropía generada en el proceso que ocurre en el cilindro-pistón
 - c- la entropía generada en el universo
 - d- la variación de exergía del universo
 - e- el rendimiento exergético del proceso en el universo
- Tómese como estado de referencia 15°C y 1 bar



$$m = 3 \text{ kg} \quad \theta_0 = 15 \text{ °C}$$

$$P_1 = 6 \text{ bar} \quad P_0 = 1 \text{ bar}$$

$$v_1 = 0,8 \text{ m}^3$$

$$\theta_2 = 27 \text{ °C}$$

$$c_v = \frac{R'_{\text{aire}}}{\gamma - 1} = \frac{0,287}{1,4 - 1} = 0,718 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

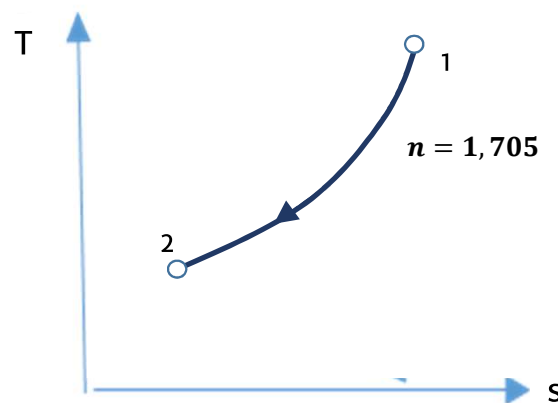
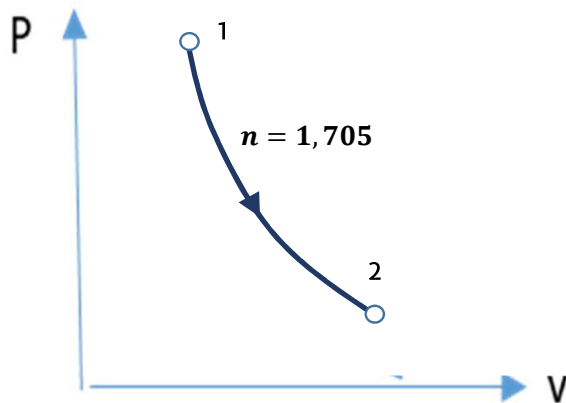
$$c_p = \gamma c_v = 1,4 \cdot 0,718 = 1,0045 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$\text{a) } T_1 = \frac{P_1 V_1}{m \cdot R'_{\text{aire}}} = \frac{6 \cdot 10^2 \cdot 0,8}{3 \cdot 0,287} = 557,5 \text{ K} = 284,5 \text{ °C}$$

$$Q = m \cdot c_n \cdot (T_2 - T_1) \rightarrow c_n = \frac{Q}{m \cdot (T_2 - T_1)} = \frac{-240}{3 \cdot (27 - 284,5)} = 0,3107 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

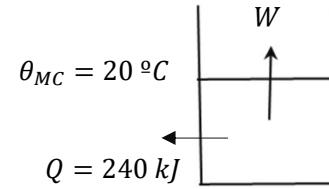
$$n = \frac{c_p - c_n}{c_v - c_n} = 0,657 \cdot \frac{1,0045 - 0,3107}{0,718 - 0,3107} = \mathbf{1,705}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\left(\frac{n-1}{n} \right)} \rightarrow P_2 = P_1 \cdot \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\left(\frac{n}{n-1} \right)} = 600 \cdot \left(\frac{(27 + 273)}{557,5} \right)^{\left(\frac{1,705}{1,705-1} \right)} = 134,144 \text{ kPa}$$



(examen 2026 ordinaria) Ejercicio 1- En un cilindro pistón se expanden 3 kg de aire desde 6 bar y 0,8 m³ hasta 27 °C según un proceso reversible, a través del cual se intercambian 240 kJ de calor hacia el medio circundante, que se encuentra a 20 °C. Calcúlese:

- a- el exponente politrópico del proceso
 - b- la entropía generada en el proceso que ocurre en el cilindro-pistón
 - c- la entropía generada en el universo
 - d- la variación de exergía del universo
 - e- el rendimiento exergético del proceso en el universo
- Tómese como estado de referencia 15°C y 1 bar



$$m = 3 \text{ kg} \quad \theta_0 = 15 \text{ °C}$$

$$P_1 = 6 \text{ bar} \quad P_0 = 1 \text{ bar}$$

$$v_1 = 0,8 \text{ m}^3$$

$$\theta_2 = 27 \text{ °C}$$

$$c_v = \frac{R'_{\text{aire}}}{\gamma - 1} = \frac{0,287}{1,4 - 1} = 0,718 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$c_p = \gamma c_v = 1,4 \cdot 0,718 = 1,0045 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

b) Balance de entropía en el sistema: $S_G = m \cdot [s_2 - s_1] - \int \frac{\delta Q}{T}$ $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\left(\frac{n-1}{n}\right)} \rightarrow P_2 = P_1 \cdot \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\left(\frac{n}{n-1}\right)} = 600 \cdot \left(\frac{(27 + 273)}{557,5}\right)^{\left(\frac{1,705}{1,705-1}\right)} = 134,144 \text{ kPa}$

$$\left. \begin{aligned} m \cdot [s_2 - s_1] &= m \cdot \left[c_p \cdot \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) - R'_{\text{aire}} \cdot \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) \right] = 3 \cdot \left[1,0045 \cdot \ln\left(\frac{(27 + 273)}{557,5}\right) - 0,287 \cdot \ln\left(\frac{134,144}{600}\right) \right] = -0,5776 \frac{\text{kJ}}{\text{K}} \\ \int \frac{\delta Q}{T} &= \int \frac{m \cdot c_n \cdot dT}{T} = m \cdot c_n \cdot \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) = 3 \cdot 0,3107 \cdot \ln\left(\frac{(27 + 273)}{557,5}\right) = -0,5776 \frac{\text{kJ}}{\text{K}} \end{aligned} \right\} S_{G_{\text{sistema}}} = -0,5776 - (-0,5776) = 0$$

c) Balance de entropía en el universo:

$$\left. \begin{aligned} \Delta S_{\text{universo}} &= \Delta S_{\text{sistema}} + \Delta S_{MC} = \int \frac{\delta Q}{T} + S_{G_{\text{universo}}} \\ \Delta S_{MC} &= \int \frac{\delta Q}{T_{MC}} = \frac{Q}{T_{MC}} = \frac{240}{293} = 0,8191 \frac{\text{kJ}}{\text{K}} \end{aligned} \right\} S_{G_{\text{universo}}} = -0,5776 + 0,8191 = 0,2415 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}$$

(examen 2026 ordinaria) Ejercicio 1- En un cilindro pistón se expanden 3 kg de aire desde 6 bar y 0,8 m³ hasta 27 °C según un proceso reversible, a través del cual se intercambian 240 kJ de calor hacia el medio circundante, que se encuentra a 20 °C. Calcúlese:

- a- el exponente politrópico del proceso
 - b- la entropía generada en el proceso que ocurre en el cilindro-pistón
 - c- la entropía generada en el universo
 - d- la variación de exergía del universo
 - e- el rendimiento exergético del proceso en el universo
- Tómese como estado de referencia 15°C y 1 bar

d) Balance de exergía en el universo:

$$Ex_{univ} = \Delta Ex_{sistema} + \Delta Ex_{MC} = \left(1 - \frac{T_o}{T}\right) Q - [W - P_o \cdot (\Delta V)] - Ex_{D_{universo}}$$

$$\Delta Ex_{sistema} = (A_2 - A_1)$$

$$\Delta Ex_{sistema} = m \cdot \Delta a_{12} = m \cdot [(a_2 - a_1)] =$$

$$= m \cdot [(u_2 - u_1) + P_o \cdot (v_2 - v_1) - T_o \cdot (s_2 - s_1)] =$$

$$\begin{aligned} \Delta V_{sistema} = V_2 - V_1 &= \frac{m \cdot R'_{aire} \cdot T_2}{P_2} - 0,8 = \frac{3 \cdot 0,287 \cdot 300}{134,144} - 0,8 = 1,925 - 0,8 = 1,125 \text{ m}^3 \\ v_2 - v_1 &= \frac{V_2 - V_1}{m} = \frac{1,125}{3} = 0,3751 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \\ &= m \cdot \left[c_v \cdot [T_2 - T_1] + P_o \cdot (v_2 - v_1) - T_o \cdot \left(c_v \cdot \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) + R'_{aire} \cdot \ln \left(\frac{v_2}{v_1} \right) \right) \right] = \\ &= 3 \cdot \left[0,718 \cdot (27 - 284,5) + 100 \cdot (0,3751) - 288 \cdot \left(0,718 \cdot \ln \left(\frac{300}{557,5} \right) + 0,287 \cdot \ln \left(\frac{1,925}{0,8} \right) \right) \right] = -275,35 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Balance de energía en el sistema:

$$Q = m \cdot [u_2 - u_1] + W \rightarrow W = Q - m \cdot c_v \cdot [T_2 - T_1] = (-240) - 3 \cdot 0,718 \cdot (300 - 557,5) = 314,25 \text{ kJ}$$

Balance de exergía en el medio circundante: $\Delta V_{MC/KI} = -\Delta V_{sistema} = -1,125 \text{ m}^3$

$$\Delta Ex_{MC/KI} = \left(1 - \frac{T_o}{T_{MC/KI}}\right) Q - [W - P_o \cdot (\Delta V_{MC/KI})] = \left(1 - \frac{288}{293}\right) (240) - [-314,25 - 100 \cdot (-1,125)] = 205,79 \text{ kJ}$$

$$\Delta Ex_{univ} = \Delta Ex_{sistema} + \Delta Ex_{MC} = -275,35 + 205,79 = -69,56 \text{ kJ}$$

La variación de exergía en el universo tiene signo negativo, ya que, tratándose de un sistema aislado, la única variación de exergía del universo tiene que provenir de la destrucción de exergía, que es de signo contrario, es decir, positivo, si el proceso es irreversible. Y efectivamente, el proceso que sucede en el universo en su conjunto es irreversible, ya que se transfiere calor desde el sistema al medio circundante, motivado por la diferencia finita de temperatura entre ambos (el intercambio de trabajo entre ambos es reversible ya que el proceso de expansión es reversible). Luego se destruye exergía y la irreversibilidad hace que el universo disminuya su exergía.

(examen 2026 ordinaria) Ejercicio 1- En un cilindro pistón se expanden 3 kg de aire desde 6 bar y 0,8 m³ hasta 27 °C según un proceso reversible, a través del cual se intercambian 240 kJ de calor hacia el medio circundante, que se encuentra a 20 °C. Calcúlese:

- a- el exponente politrópico del proceso
 - b- la entropía generada en el proceso que ocurre en el cilindro-pistón
 - c- la entropía generada en el universo
 - d- la variación de exergía del universo
 - e- el rendimiento exergético del proceso en el universo
- Tómese como estado de referencia 15°C y 1 bar

d) También se puede resolver a través el balance de exergía en el sistema y en el medio circundante:

$$Ex_{univ} = \Delta Ex_{sistema} + \Delta Ex_{MC} = \left(1 - \frac{T_o}{T}\right) Q - [W - P_o \cdot (\Delta V)] - Ex_{D_{universo}}$$

$$Ex_{univ} = \Delta Ex_{sistema} + \Delta Ex_{MC} = -Ex_{D_{universo}}$$

Balance de exergía en el sistema:

$$Ex_{sistema} = \int \left(1 - \frac{T_o}{T_{sistema.}}\right) \delta Q - [W - P_o \cdot (\Delta V)] = \left(Q - T_o \cdot m \cdot c_n \cdot \ln \frac{T_2}{T_1}\right) - [W - P_o \cdot (\Delta V)] - Ex_{D_{sistema}}$$

$$Ex_{Q-sistema} = \int \left(1 - \frac{T_o}{T_{sistema.}}\right) \delta Q = \left(Q - T_o \cdot m \cdot c_n \cdot \ln \frac{T_2}{T_1}\right) = \left[(-214) - 288 \cdot 3 \cdot 0,3107 \cdot \ln \frac{300}{557,5}\right] = -73,66 \text{ kJ}$$

$$Ex_{W-sistema} = [W - P_o \cdot (\Delta V)] = [W - P_o \cdot (V_2 - V_1)] = 314,25 - 100 \cdot (1,125) = 201,70 \text{ kJ}$$

Balance de exergía en el medio circundante:

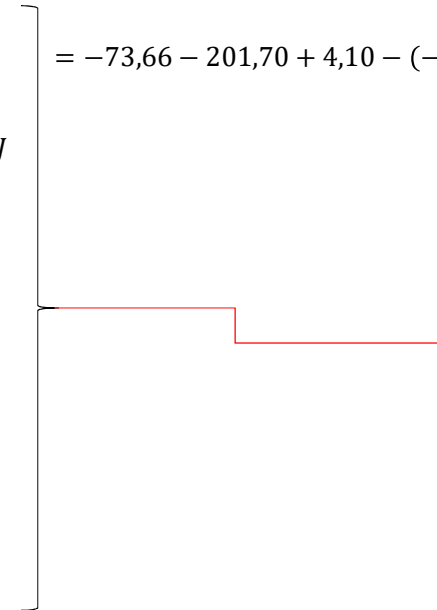
$$\Delta Ex_{MC/KI} = \left(1 - \frac{T_o}{T_{MC/KI}}\right) Q - [W - P_o \cdot (\Delta V_{\frac{MC}{KI}})] - Ex_{D_{MC}}$$

$$Ex_{Q-MC} = \left(1 - \frac{T_o}{T_{MC/KI}}\right) Q = \left(1 - \frac{288}{293}\right) (240) = 4,10 \text{ kJ}$$

$$Ex_{W-MC} = [W - P_o \cdot (\Delta V_{\frac{MC}{KI}})] = [W - P_o \cdot (V_1 - V_2)] = [-314,25 - 100 \cdot (-1,125)] = -201,70 \text{ kJ}$$

$$Ex_{univ} = \Delta Ex_{sistema} + \Delta Ex_{MC} = Ex_{Q-sistem} - Ex_{W-sistema} + Ex_{Q-MC} - Ex_{W-MC}$$

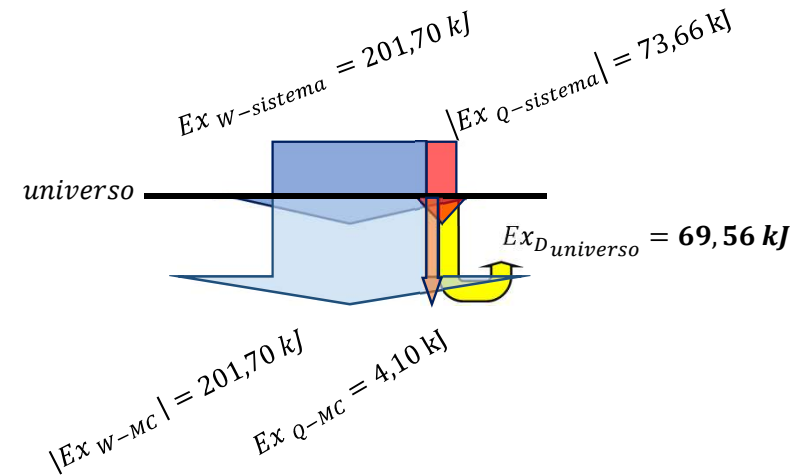
$$= -73,66 - 201,70 + 4,10 - (-201,70) = -69,56 \text{ kJ}$$



(examen 2026 ordinaria) Ejercicio 1- En un cilindro pistón se expanden 3 kg de aire desde 6 bar y 0,8 m³ hasta 27 °C según un proceso reversible, a través del cual se intercambian 240 KJ de calor hacia el medio circundante, que se encuentra a 20 °C. Calcúlese:

- a- el exponente politrópico del proceso
 - b- la entropía generada en el proceso que ocurre en el cilindro-pistón
 - c- la entropía generada en el universo
 - d- la variación de exergía del universo
 - e- el rendimiento exergético del proceso en el universo
- Tómese como estado de referencia 15°C y 1 bar

e)



$$\eta_{ex} = \frac{Ex_{Q-MC} + Ex_{W-MC}}{Ex_{Q-sistema} + Ex_{W-sistema}} = 1 - \frac{Ex_{D universo}}{|\Delta A_{1-2}|} = \frac{\Delta A_{MC}}{|\Delta A_{1-2}|} = \frac{205,79}{275,35} = \% 74,74$$

(examen 2026 ordinaria) **Ejercicio 2** - A un condensador que trabaja con una presión de condensación de 0,5 bar, entran 0,7 kg/s de vapor de agua con un volumen específico de 3 m³/kg. El condensado sale saturado y alimenta una bomba que aumenta la presión hasta 50 bar, consumiendo para ello 6 kW de potencia. El condensador utiliza un circuito de agua más fría para condensar el vapor. Ambas corrientes no se mezclan. El agua de refrigeración del condensador entra a 18 °C y sale a 35 °C.

Calcúlese:

- El gasto de agua de refrigeración necesaria
- La exergía destruida en el condensador
- El rendimiento exergético del condensador
- El rendimiento interno de la bomba
- La exergía destruida en la bomba
- El rendimiento exergético de la bomba

Tómese como estado de referencia 15°C y 1 bar

DATOS:

$$\theta_0 = 15^\circ\text{C}$$

$$P_0 = 1 \text{ bar}$$

$$\dot{m}_1 = 0,7 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$v_1 = 3 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$P_1 = 0,5 \text{ bar}$$

$$\theta_{in} = 18^\circ\text{C}$$

$$\dot{m}_{H_2O}$$

$$\theta_{out} = 35^\circ\text{C}$$

$$x_2 = 0$$

$$P_3 = 50 \text{ bar}$$

$$\dot{W}_B = 6 \text{ kW}$$

a) ¿ $\dot{m}_{H_2O}$?

CONDENSADOR

Balance de energía: $\dot{Q} = \dot{m}_1[h_2 - h_1] + \dot{m}_{H_2O} \cdot [h_{out} - h_{in}] + \dot{W}$

$$\dot{m}_{H_2O} = \frac{\dot{m}_1(h_2 - h_1)}{(h_{in} - h_{out})}$$

$$\begin{aligned} v_1 &= 3 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \\ P_1 &= 0,5 \text{ bar} \end{aligned} \quad \begin{aligned} \textcircled{1} & \left\{ \begin{array}{l} P_1 = 0,5 \text{ bar} \\ v_1 = 3 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} v' = 0,0010299 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \\ v'' = 3,24 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \end{array} \right. \\ \textcircled{2} & \left\{ \begin{array}{l} P_2 = 0,5 \text{ bar} \\ x_2 = 0 \end{array} \right. \rightarrow h_2 = h' = 340,54 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \end{aligned}$$

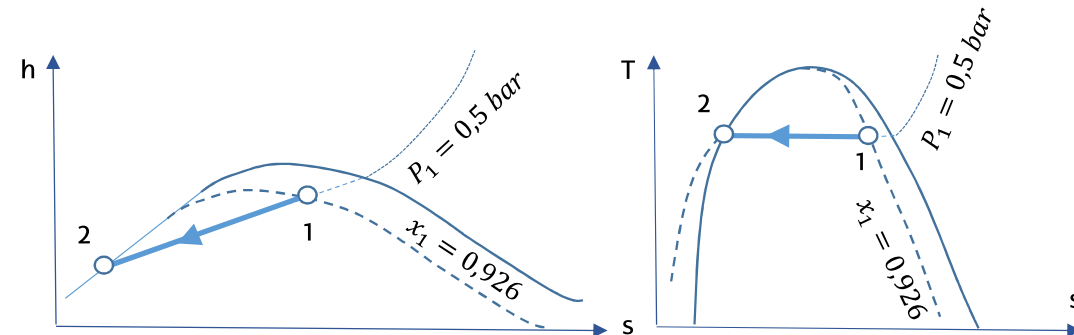
$$\rightarrow x_1 = \frac{v_1 - v'}{v'' - v'} = \frac{3 - 0,0010299}{3,24 - 0,0010299} = 0,926$$

$$P_1 = 0,5 \text{ bar} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} h' = 340,54 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ h'' = 2.645,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \end{array} \right. \rightarrow h_1 = x_1 \cdot h'' + (1 - x_1) \cdot h' =$$

$$= 0,926 \cdot 2.645,2 + (1 - 0,926) \cdot 340,54 = 2.474,43 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

El agua de refrigeración se puede considerar a una presión no mucho mayor a 1 bar, luego se le puede aplicar el modelo de sustancia incompresible y : $(h_{in} - h_{out}) = c_{P_{H_2O}} \cdot (\theta_{in} - \theta_{out})$

$$\dot{m}_{H_2O} = \frac{\dot{m}_1(h_2 - h_1)}{c_{P_{H_2O}} \cdot (\theta_{in} - \theta_{out})} = \frac{0,7 \cdot (340,54 - 2.474,43)}{4,186 \cdot (18 - 35)} = 20,99 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$



(examen 2026 ordinaria) **Ejercicio 2** - A un condensador que trabaja con una presión de condensación de 0,5 bar, entran 0,7 kg/s de vapor de agua con un volumen específico de 3 m³/kg. El condensado sale saturado y alimenta una bomba que aumenta la presión hasta 50 bar, consumiendo para ello 6 kW de potencia. El condensador utiliza un circuito de agua más fría para condensar el vapor. Ambas corrientes no se mezclan. El agua de refrigeración del condensador entra a 18 °C y sale a 35 °C.

Calcúlese:

- El gasto de agua de refrigeración necesaria
- La exergía destruida en el condensador
- El rendimiento exergético del condensador
- El rendimiento interno de la bomba
- La exergía destruida en la bomba
- El rendimiento exergético de la bomba

Tómese como estado de referencia 15°C y 1 bar

CONDENSADOR

Balance de exergía:

$$\dot{E}x_{D_{COND.}} = -\dot{m}_1 [a_{f_2} - a_{f_1}] - \dot{m}_{H_2O} [a_{f_{out}} - a_{f_{in}}] + \int \left(1 - \frac{T_o}{T_{COND.}}\right) \delta \dot{Q} - \dot{W}$$

$$\textcircled{1} \left\{ \begin{array}{l} P_1 = 0,5 \text{ bar} \\ v_1 = 3 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} s' = 1,0912 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \\ s'' = 7,593 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \end{array} \right. \left. \begin{array}{l} s_1 = x_1 \cdot s'' + (1 - x_1) \cdot s' = 0,926 \cdot 7,593 + (1 - 0,926) \cdot 1,0912 = 7,1112 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \end{array} \right.$$

$$\textcircled{2} \left\{ \begin{array}{l} P_2 = 0,5 \text{ bar} \\ x_2 = 0 \end{array} \right. \rightarrow s_2 = s' = 1,0912 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Variación de exergía del vapor:

$$a_{f_1} - a_{f_o} = [(h_1 - T_o \cdot s_1) - a_{f_o}] = (2.474,43 - 288 \cdot 7,1112) - (-1,69) = 428,09 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\Delta \dot{A}_{f_{1-0}} = \dot{m}_1 (a_{f_1} - a_{f_o}) = 0,7 \cdot 428,09 = 299,66 \text{ kW}$$

$$a_{f_2} - a_{f_o} = [(h_2 - T_o \cdot s_2) - a_{f_o}] = (340,54 - 288 \cdot 1,0912) - (-1,69) = 27,97 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\Delta \dot{A}_{f_{2-0}} = \dot{m}_1 (a_{f_2} - a_{f_o}) = 0,7 \cdot 27,97 = 19,58 \text{ kW}$$

DATOS:

$$\theta_0 = 15^\circ \text{C}$$

$$P_0 = 1 \text{ bar}$$

$$\dot{m}_1 = 0,7 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

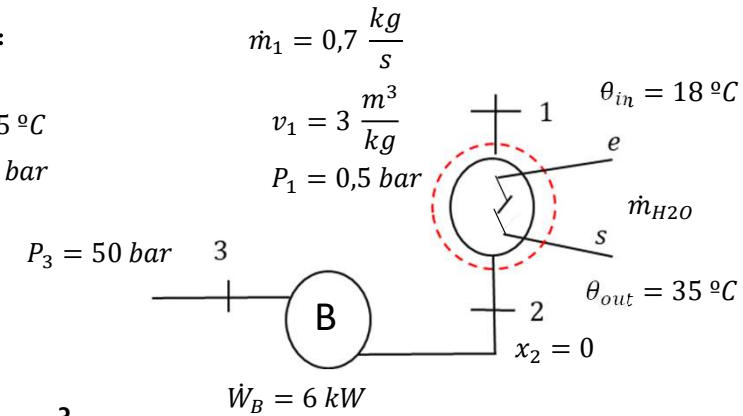
$$v_1 = 3 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$P_1 = 0,5 \text{ bar}$$

$$P_3 = 50 \text{ bar}$$

$$\dot{W}_B = 6 \text{ kW}$$

b) ¿ $\dot{E}x_{D_{COND.}}$?



$$\begin{array}{l} \theta_0 = 15^\circ \text{C} \\ P_0 = 1 \text{ bar} \end{array} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} h_o = c_{P_{H_2O}} \cdot \theta_0 = 4,186 \cdot 15 = 62,79 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ s_o = c_{P_{H_2O}} \cdot \ln\left(\frac{T_o}{273}\right) = 4,186 \cdot \ln\left(\frac{288}{273}\right) = 0,224 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \\ a_{f_o} = h_o - T_o \cdot s_o = 62,79 - 288 \cdot 0,2249 = -1,69 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \end{array} \right.$$

(examen 2026 ordinaria) **Ejercicio 2** - A un condensador que trabaja con una presión de condensación de 0,5 bar, entran 0,7 kg/s de vapor de agua con un volumen específico de 3 m³/kg. El condensado sale saturado y alimenta una bomba que aumenta la presión hasta 50 bar, consumiendo para ello 6 kW de potencia. El condensador utiliza un circuito de agua más fría para condensar el vapor. Ambas corrientes no se mezclan. El agua de refrigeración del condensador entra a 18 °C y sale a 35 °C.

Calcúlese:

- El gasto de agua de refrigeración necesaria
- La exergía destruida en el condensador
- El rendimiento exergético del condensador
- El rendimiento interno de la bomba
- La exergía destruida en la bomba
- El rendimiento exergético de la bomba

Tómese como estado de referencia 15°C y 1 bar

CONDENSADOR

Balance de exergía:

$$\dot{E}x_{D_{COND.}} = -\dot{m}_1 [a_{f_2} - a_{f_1}] - \dot{m}_{H_2O} [a_{f_{out}} - a_{f_{in}}] + \int \left(1 - \frac{T_o}{T_{COND.}}\right) \delta \dot{Q} - \dot{W}$$

Variación de exergía del agua de refrigeración:

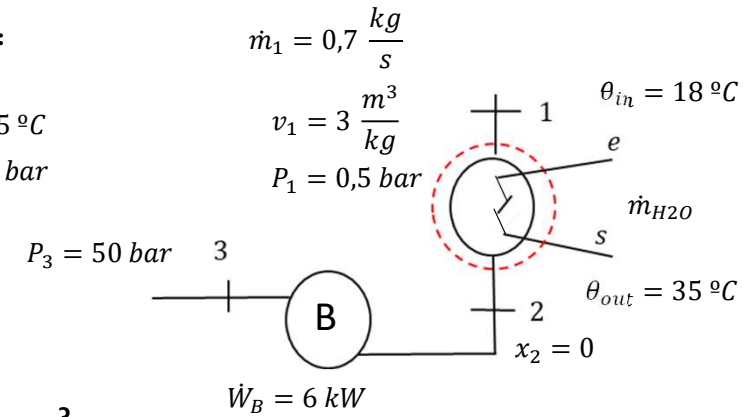
$$\begin{cases} a_{f_{in}} - a_{f_o} = [(h_{in} - T_o \cdot s_{in}) - a_{f_o}] = [c_{P_{H_2O}} \cdot \theta_{in} - T_o \cdot c_{P_{H_2O}} \cdot \ln\left(\frac{T_{in}}{273}\right)] - a_{f_o} = \left[4,186 \cdot 18 - 288 \cdot 4,186 \cdot \ln\left(\frac{(18 + 273)}{273}\right)\right] - (-1,69) = 0,06496 \frac{kJ}{kg} \\ \Delta \dot{A}_{f_{in-o}} = \dot{m}_{H_2O} (a_{f_{in}} - a_{f_o}) = 20,99 \cdot 0,06496 = 1,36 \text{ kW} \\ a_{f_{out}} - a_{f_o} = [(h_{out} - T_o \cdot s_{out}) - a_{f_o}] = [c_{P_{H_2O}} \cdot \theta_{out} - T_o \cdot c_{P_{H_2O}} \cdot \ln\left(\frac{T_{out}}{273}\right)] - a_{f_o} = \left[4,186 \cdot 35 - 288 \cdot 4,186 \cdot \ln\left(\frac{(35 + 273)}{273}\right)\right] - (-1,69) = 2,7790 \frac{kJ}{kg} \\ \Delta \dot{A}_{f_{out-o}} = \dot{m}_{H_2O} (a_{f_{out}} - a_{f_o}) = 20,99 \cdot 2,7790 = 58,33 \text{ kW} \end{cases}$$

$$\dot{E}x_{D_{COND.}} = -\dot{m}_1 [a_{f_2} - a_{f_1}] - \dot{m}_{H_2O} [a_{f_{out}} - a_{f_{in}}] = -[19,58 - 299,66] - [58,33 - 1,36] = -280,08 - 56,97 = \mathbf{223,12 \text{ kW}}$$

DATOS:

$$\theta_0 = 15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$P_0 = 1 \text{ bar}$$



b) ¿ $\dot{E}x_{D_{COND.}}$?

$$\begin{cases} \theta_0 = 15 \text{ } ^\circ\text{C} \\ P_0 = 1 \text{ bar} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} h_o = c_{P_{H_2O}} \cdot \theta_0 = 4,186 \cdot 15 = 62,79 \frac{kJ}{kg} \\ s_o = c_{P_{H_2O}} \cdot \ln\left(\frac{T_o}{273}\right) = 4,186 \cdot \ln\left(\frac{288}{273}\right) = 0,224 \frac{kJ}{kg \cdot K} \\ a_{f_o} = h_o - T_o \cdot s_o = 62,79 - 288 \cdot 0,2249 = -1,69 \frac{kJ}{kg} \end{cases}$$

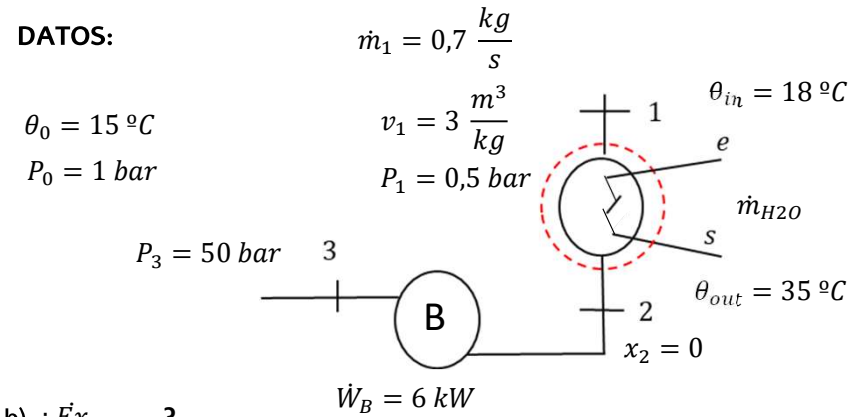
(examen 2026 ordinaria) **Ejercicio 2** - A un condensador que trabaja con una presión de condensación de 0,5 bar, entran 0,7 kg/s de vapor de agua con un volumen específico de 3 m³/kg. El condensado sale saturado y alimenta una bomba que aumenta la presión hasta 50 bar, consumiendo para ello 6 kW de potencia. El condensador utiliza un circuito de agua más fría para condensar el vapor. Ambas corrientes no se mezclan. El agua de refrigeración del condensador entra a 18 °C y sale a 35 °C.

Calcúlese:

- El gasto de agua de refrigeración necesaria
- La exergía destruida en el condensador
- El rendimiento exergético del condensador
- El rendimiento interno de la bomba
- La exergía destruida en la bomba
- El rendimiento exergético de la bomba

Tómese como estado de referencia 15°C y 1 bar

DATOS:



b) ¿ $\dot{Ex}_{COND.}$?

Por Guy-Stodola:

Balance de entropía:

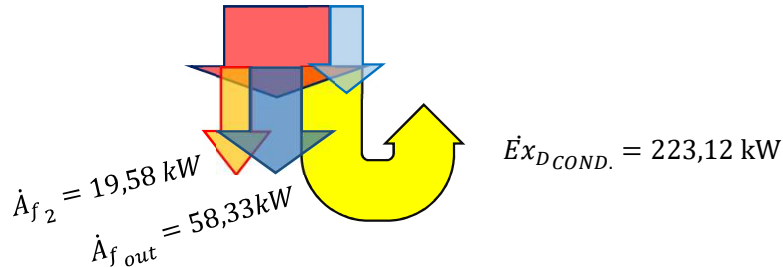
$$\dot{S}_{COND.} = \dot{m}_1[s_2 - s_1] + \dot{m}_{H_2O}[s_{out} - s_{in}] - \int \frac{\delta \dot{Q}}{T_{COND.}}$$

$$\dot{\Delta S}_{1-2} = \dot{m}_1 \cdot [s_2 - s_1] = 0,7 \cdot [1,0912 - 7,1112] = -4,214 \frac{kW}{K}$$

$$\dot{\Delta S}_{in-out} = \dot{m}_{H_2O} \cdot \left[c_{P_{H_2O}} \cdot \ln \left(\frac{T_{out}}{T_{in}} \right) \right] = 20,99 \cdot \left[4,186 \cdot \ln \left(\frac{(35 + 273)}{(18 + 273)} \right) \right] = 4,988 \frac{kW}{K}$$

$$\dot{Ex}_{D_{COND.}} = T_0 \cdot \dot{S}_{COND.} = 288 \cdot [-4,214 + 4,988] = 288 \cdot 0,7747 = 223,12 kW$$

c) ¿ $\eta_{exCOND.}$? $\dot{A}_{f1} = 299,67 kW$ $\dot{A}_{fin} = 1,363 kW$



$$\eta_{exCOND.} = \frac{\Delta \dot{A}_{fin-out}}{|\Delta \dot{A}_{f1-2}|} = \frac{56,97}{280,08} = \% 20,34$$

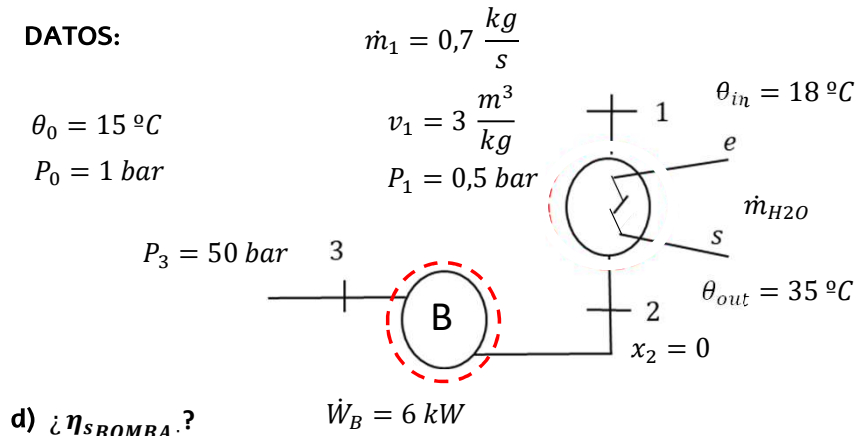
(examen 2026 ordinaria) **Ejercicio 2** - A un condensador que trabaja con una presión de condensación de 0,5 bar, entran 0,7 kg/s de vapor de agua con un volumen específico de 3 m³/kg. El condensado sale saturado y alimenta una bomba que aumenta la presión hasta 50 bar, consumiendo para ello 6 kW de potencia. El condensador utiliza un circuito de agua más fría para condensar el vapor. Ambas corrientes no se mezclan. El agua de refrigeración del condensador entra a 18 °C y sale a 35 °C.

Calcúlese:

- El gasto de agua de refrigeración necesaria
- La exergía destruida en el condensador
- El rendimiento exergético del condensador
- El rendimiento interno de la bomba
- La exergía destruida en la bomba
- El rendimiento exergético de la bomba

Tómese como estado de referencia 15°C y 1 bar

DATOS:



d) ¿ η_{sBOMBA} ?

BOMBA

$$\left(\begin{array}{l} 3' \\ \left\{ \begin{array}{l} P_{3'} = 50 \text{ bar} \\ s_{3'} = s_2 = 1,3028 \frac{kJ}{kgK} \end{array} \right. \end{array} \right) \rightarrow (\text{tablas liquido comprimido}) \quad h_{3'} = 345,82 \frac{kJ}{kg}$$

Balance de energía:

$$w_B = h_2 - h_3 \rightarrow h_3 = h_2 - w_B = h_2 - \frac{\dot{W}_B}{\dot{m}_1} = 340,54 - \left(\frac{-6}{0,7} \right) = 349,11 \frac{kJ}{kg}$$

$$\eta_{SB} = \frac{h_{3'} - h_2}{h_3 - h_2} = \frac{345,82 - 340,54}{349,11 - 340,54} = \mathbf{61,6\%}$$

(examen 2026 ordinaria) **Ejercicio 2** - A un condensador que trabaja con una presión de condensación de 0,5 bar, entran 0,7 kg/s de vapor de agua con un volumen específico de 3 m³/kg. El condensado sale saturado y alimenta una bomba que aumenta la presión hasta 50 bar, consumiendo para ello 6 kW de potencia. El condensador utiliza un circuito de agua más fría para condensar el vapor. Ambas corrientes no se mezclan. El agua de refrigeración del condensador entra a 18 °C y sale a 35 °C.

Calcúlese:

- El gasto de agua de refrigeración necesaria
- La exergía destruida en el condensador
- El rendimiento exergético del condensador
- El rendimiento interno de la bomba
- La exergía destruida en la bomba
- El rendimiento exergético de la bomba

Tómese como estado de referencia 15°C y 1 bar

Balance de exergía:

$$\dot{E}x_{D_{BOMBA.}} = -\dot{m}_1 [a_{f_3} - a_{f_2}] + \int \left(1 - \frac{T_o}{T}\right) \delta \dot{Q} - \dot{W}_B$$

$$\textcircled{3} \begin{cases} P_3 = 50 \text{ bar} \\ h_3 = 349,11 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \end{cases} \rightarrow (\text{tablas liquido comprimido}) \quad s_3 = 1,1003 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$a_{f_3} - a_{f_o} = [(h_3 - T_o \cdot s_3) - a_{f_o}] = (349,11 - 288 \cdot 1,1003) - (-1,69) = 33,93 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\Delta \dot{A}_{f_{3-0}} = \dot{m}_1 (a_{f_3} - a_{f_o}) = 0,7 \cdot 33,93 = 23,75 \text{ kW}$$

$$\dot{E}x_{D_{BOMBA.}} = -[\Delta \dot{A}_{f_{3-0}} - \Delta \dot{A}_{f_{2-0}}] - \dot{W}_B = -(23,75 - 19,58) - (-6) = 1,83 \text{ kW}$$

DATOS:

$$\theta_0 = 15^\circ \text{C}$$

$$P_0 = 1 \text{ bar}$$

$$\dot{m}_1 = 0,7 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$v_1 = 3 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$P_1 = 0,5 \text{ bar}$$

$$\theta_{in} = 18^\circ \text{C}$$

$$\dot{m}_{H_2O}$$

$$\theta_{out} = 35^\circ \text{C}$$

$$x_2 = 0$$

$$P_3 = 50 \text{ bar}$$

$$\dot{W}_B = 6 \text{ kW}$$

e) ¿ $\dot{E}x_{D_{BOMBA.}}$?

$$\begin{aligned} \theta_0 = 15^\circ \text{C} \\ P_0 = 1 \text{ bar} \end{aligned} \rightarrow \begin{cases} h_o = c_{P_{H_2O}} \cdot \theta_0 = 4,186 \cdot 15 = 62,79 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ s_o = c_{P_{H_2O}} \cdot \ln\left(\frac{T_o}{273}\right) = 4,186 \cdot \ln\left(\frac{288}{273}\right) = 0,224 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \\ a_{f_o} = h_o - T_o \cdot s_o = 62,79 - 288 \cdot 0,2249 = -1,69 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \end{cases}$$

f) ¿ $\eta_{EX_{BOMBA.}}$?

$$\dot{A}_{f_2} = 19,58 \text{ kW}$$

$$|\dot{W}_{BOMBA}| = 6 \text{ kW}$$

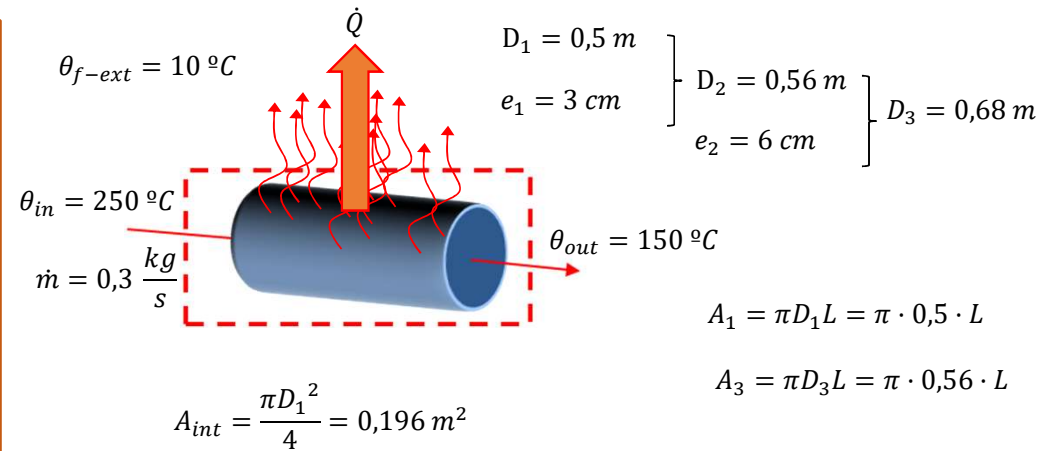
$$\dot{E}x_{D_{BOMBA}} = 1,83 \text{ kW}$$

$$\dot{A}_{f_3} = 23,75 \text{ kW}$$

$$\eta_{ex_{BOMBA.}} = \frac{\dot{A}_{f_3} - \dot{A}_{f_2}}{|\dot{W}_{BOMBA}|} = \frac{23,75 - 19,58}{6} = \% 69,55$$

(examen 2026 ordinaria) Ejercicio 3- Por una tubería de 0,5 m de diámetro interior fluye un gasto de 0,3 kg/s de agua. La tubería consta de dos capas, una de 3 cm de espesor y conductividad de 52 W/mK y otra, la exterior, de 6 cm de espesor y 0,75 W/mK de conductividad. El agua entra a la tubería a 250 °C, mientras que el aire exterior a la tubería se encuentra en reposo y a una temperatura de 10 °C. La superficie exterior de la tubería en contacto con el aire se encuentra a 110,7 °C. Calcúlese:

- Al cabo de cuántos metros de longitud de tubería habrá descendido la temperatura del agua que circula por la tubería hasta los 150 °C.
- Cuál es la resistencia térmica dominante y cuál es el porcentaje que cada una de las resistencias térmicas que forman el circuito termoelectrónico equivalente representa, respecto a la resistencia térmica total.



Churchill & Chu

$$Ra \leq 10^{12}$$

$$Nu = \left\{ 0,6 + \frac{0,387 \cdot Ra^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0,559}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2$$

Alternativa:

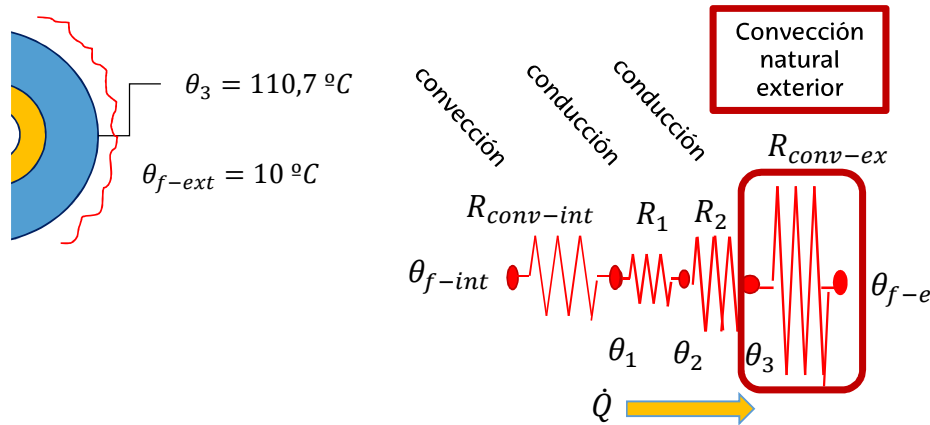
$$Ra < 10^9$$

Flujo laminar

$$Nu = 0,53 \cdot Ra^{\frac{1}{4}}$$

$$\theta_{característica} = \theta_m = \frac{\theta_s + \theta_f}{2}$$

Calculamos Ra:



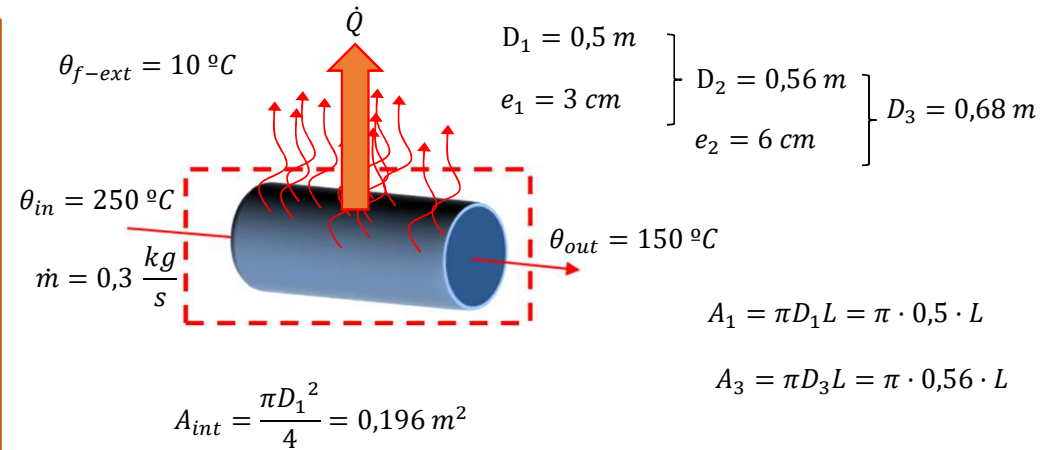
$$\dot{Q} = \frac{\theta_3 - \theta_{f-ext}}{R_{conv-ext}}$$

$$R_{conv-ext} = \frac{1}{h_{ext} \cdot A_3}$$

Convección natural exterior a cilindro. Tenemos dos correlaciones:

(examen 2026 ordinaria) Ejercicio 3- Por una tubería de 0,5 m de diámetro interior fluye un gasto de 0,3 kg/s de agua. La tubería consta de dos capas, una de 3 cm de espesor y conductividad de 52 W/mK y otra, la exterior, de 6 cm de espesor y 0,75 W/mK de conductividad. El agua entra a la tubería a 250 °C, mientras que el aire exterior a la tubería se encuentra en reposo y a una temperatura de 10 °C. La superficie exterior de la tubería en contacto con el aire se encuentra a 110,7 °C. Calcúlese:

- Al cabo de cuántos metros de longitud de tubería habrá descendido la temperatura del agua que circula por la tubería hasta los 150 °C.
- Cuál es la resistencia térmica dominante y cuál es el porcentaje que cada una de las resistencias térmicas que forman el circuito termoeléctrico equivalente representa, respecto a la resistencia térmica total.

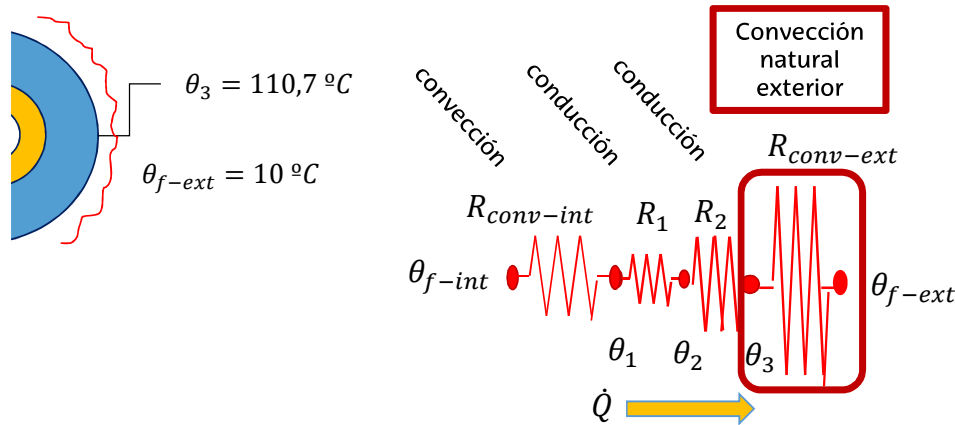


Calculamos Ra:

$$\theta_{característica} = \theta_m = \frac{\theta_s + \theta_f}{2} = \frac{110,7 + 10}{2} = 60,35 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Propiedades del aire a la temperatura característica:

θ_{cc}	60,35 °C
PROPIEDADES AIRE A $\theta_{cc} = \theta_{película}$	
β	0,00299985
Pr	0,7201125
ν	1,89947E-05 m ² /s
ρ	1,057915 kg/m ³
cp	1007 J/Kg K
k	0,02810555 W/mK



$$\dot{Q} = \frac{\theta_3 - \theta_{f-ext}}{R_{conv-ext}}$$

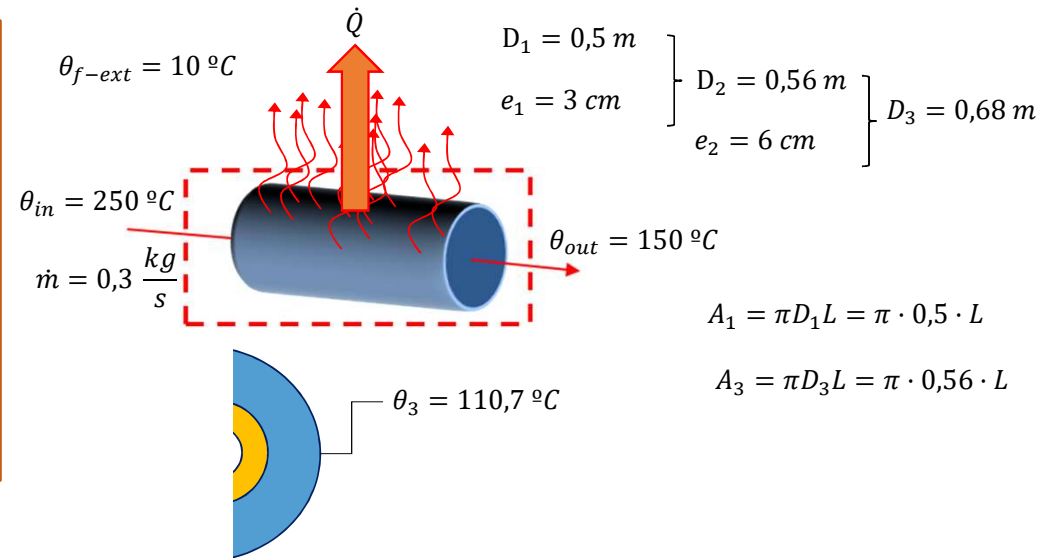
$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot (\theta_s - \theta_f) D_3^3}{\nu^2} = \frac{9,81 \cdot 0,00299985 \cdot (110,7 - 10) \cdot (0,68)^3}{(1,89947 \cdot 10^{-5})^2} = 2,58 \cdot 10^9$$

$$Ra = Gr \cdot Pr = 2,58 \cdot 10^9 \cdot 0,72011 = 1,86 \cdot 10^9 > 10^9$$

Luego no se puede aplicar la correlación alternativa, ya que el flujo no es laminar. La correlación Churchill-Chu no es aconsejable para un examen, así que optamos por otra vía: resolver de dentro hacia afuera, ya que tenemos todos los datos necesarios.

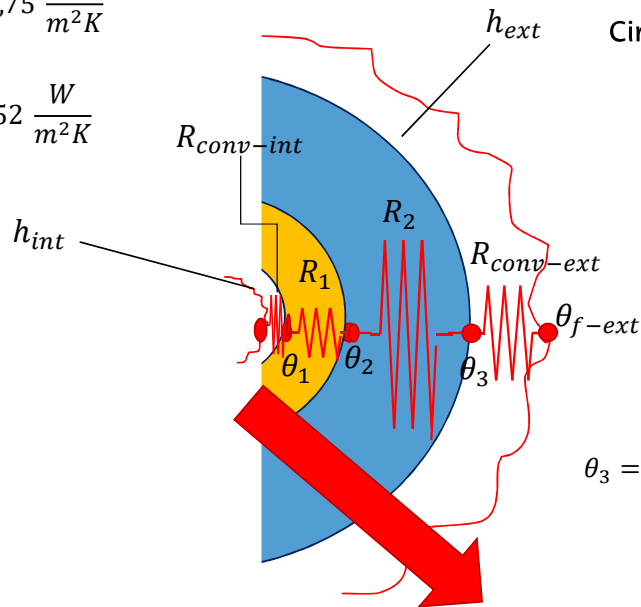
(examen 2026 ordinaria) Ejercicio 3- Por una tubería de 0,5 m de diámetro interior fluye un gasto de 0,3 kg/s de agua. La tubería consta de dos capas, una de 3 cm de espesor y conductividad de 52 W/mK y otra, la exterior, de 6 cm de espesor y 0,75 W/mK de conductividad. El agua entra a la tubería a 250 °C, mientras que el aire exterior a la tubería se encuentra en reposo y a una temperatura de 10 °C. La superficie exterior de la tubería en contacto con el aire se encuentra a 110,7 °C. Calcúlese:

- Al cabo de cuántos metros de longitud de tubería habrá descendido la temperatura del agua que circula por la tubería hasta los 150 °C.
- Cuál es la resistencia térmica dominante y cuál es el porcentaje que cada una de las resistencias térmicas que forman el circuito termoelectrónico equivalente representa, respecto a la resistencia térmica total.

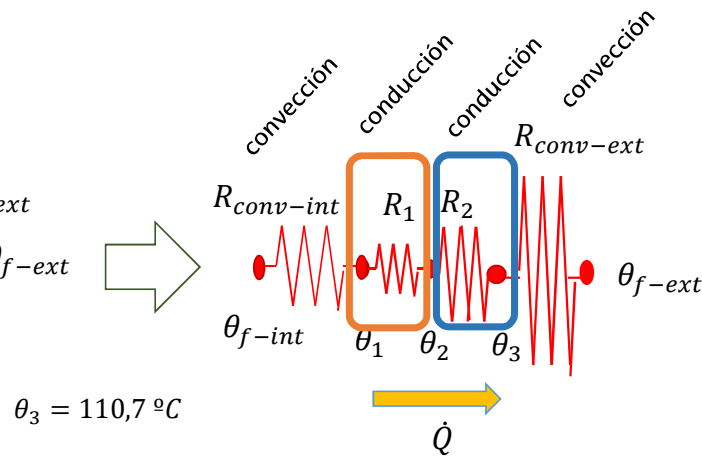


$$k_2 = 0,75\text{ }\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

$$k_1 = 52\text{ }\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$



Circuito eléctrico equivalente:



$$R_{conv-int} = \frac{1}{h_{int} \cdot A_1}$$

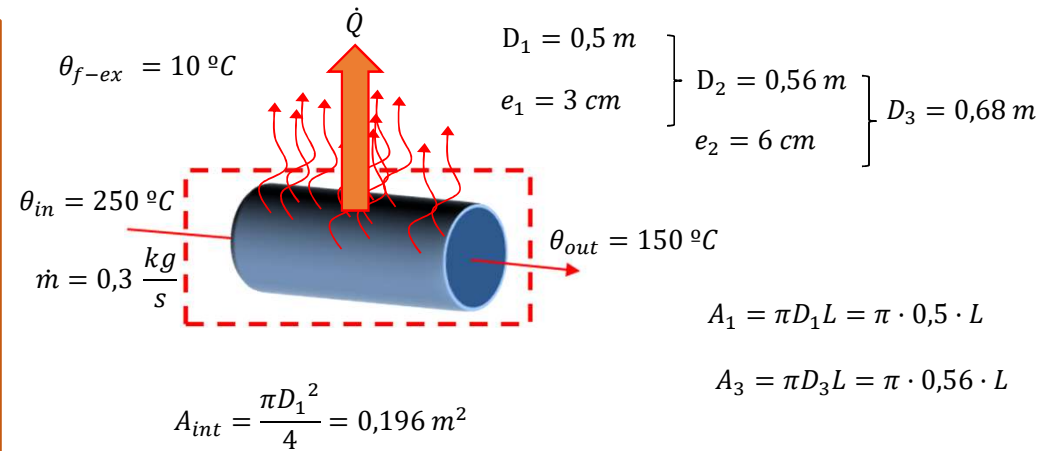
$$R_1 = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi \cdot k_1 \cdot L} = \frac{\ln \frac{0,56}{0,5}}{2\pi \cdot 52 \cdot L} = \frac{0,00034704}{L} \text{ K/W}$$

$$R_2 = \frac{\ln \frac{r_3}{r_2}}{2\pi \cdot k_2 \cdot L} = \frac{\ln \frac{0,68}{0,56}}{2\pi \cdot 0,75 \cdot L} = \frac{0,041222}{L} \text{ K/W}$$

$$R_{conv-ex} = \frac{1}{h_{ext} \cdot A_3}$$

(examen 2026 ordinaria) Ejercicio 3- Por una tubería de 0,5 m de diámetro interior fluye un gasto de 0,3 kg/s de agua. La tubería consta de dos capas, una de 3 cm de espesor y conductividad de 52 W/mK y otra, la exterior, de 6 cm de espesor y 0,75 W/mK de conductividad. El agua entra a la tubería a 250 °C, mientras que el aire exterior a la tubería se encuentra en reposo y a una temperatura de 10 °C. La superficie exterior de la tubería en contacto con el aire se encuentra a 110,7 °C. Calcúlese:

- Al cabo de cuántos metros de longitud de tubería habrá descendido la temperatura del agua que circula por la tubería hasta los 150 °C.
- Cuál es la resistencia térmica dominante y cuál es el porcentaje que cada una de las resistencias térmicas que forman el circuito termoelectrónico equivalente representa, respecto a la resistencia térmica total.



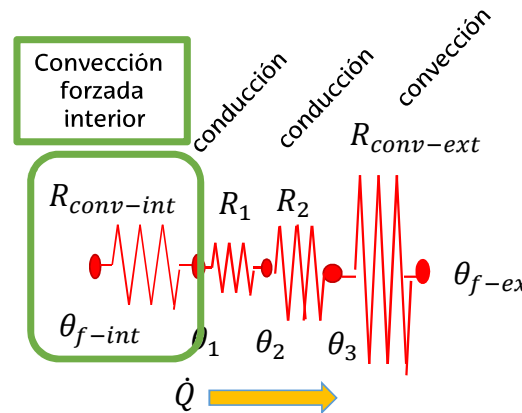
$$R_{conv-int} = \frac{1}{h_{int} \cdot A_1}$$

Si la convección interna es forzada y el flujo es turbulento, utilizaríamos Dittus-Boelter, y su temperatura característica es la temperatura del fluido:

$$\theta_{c.c.} = \frac{\theta_{out} + \theta_{in}}{2} = \frac{150 + 250}{2} = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Propiedades del agua a la temperatura característica de Dittus-Boelter: $\theta_{c.c.} = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$

Tcc	200 °C
PROPIEDADES AGUA A $\theta_{cc} = \theta_{f-int}$	
β	0,00135
Pr	0,91
ν	1,55039E-07 m ² /s
ρ	864,3 kg/m ³
cp	4500 J/Kg K
k	0,663 W/mK



Dittus-Böelter: $Nu_{int} = 0,023 \cdot Re_{int}^{0,8} Pr^{0,3}$

Ecuación de la continuidad: $c_{int} = \frac{\dot{m}}{\rho_{int} \cdot A_{int}} = \frac{0,3}{864,3 \cdot \frac{\pi D_1^2}{4}} = 0,00177\text{ }\frac{\text{m}}{\text{s}}$

$$Re_{int} = \frac{c_{int} \cdot D_1}{\nu_{int}} = \frac{0,00177 \cdot 0,5}{1,55039 \cdot 10^{-7}} = 5.704 > 2100$$

→ **Flujo turbulento** → se puede aplicar Dittus – Böelter:

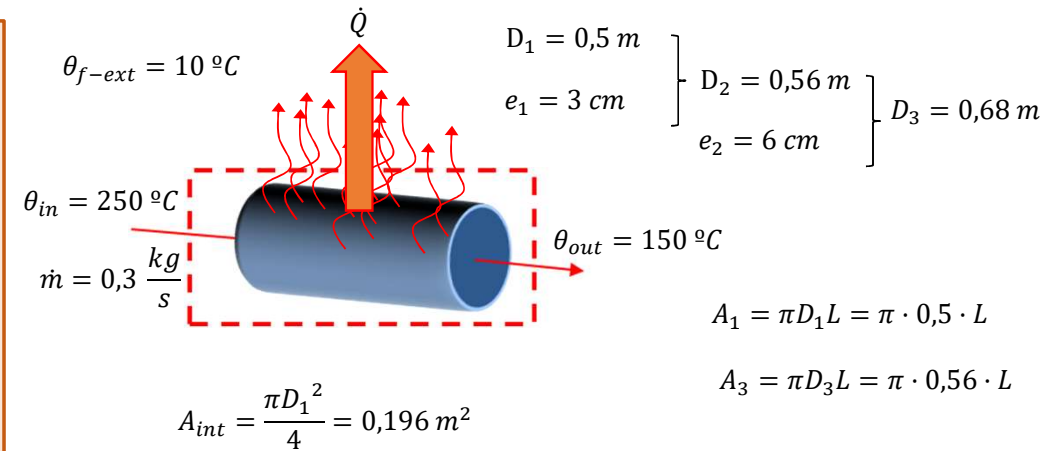
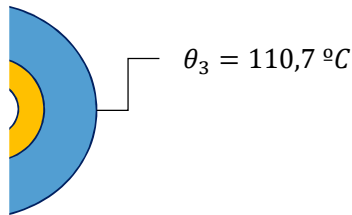
$$Nu_{int} = 0,023 \cdot 5.704^{0,8} \cdot 0,91^{0,3} = 22,61$$

$$h_{int} = \frac{Nu_{int} \cdot k_{int}}{D_1} = \frac{22,61 \cdot 0,663}{0,5} = 29,98\text{ }\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

$$R_{conv-int} = \frac{1}{h_{int} \cdot A_1} = \frac{1}{29,98 \cdot \pi \cdot 0,5 \cdot L} = \frac{0,021241\text{ K}}{L\text{ W}}$$

(examen 2026 ordinaria) Ejercicio 3- Por una tubería de 0,5 m de diámetro interior fluye un gasto de 0,3 kg/s de agua. La tubería consta de dos capas, una de 3 cm de espesor y conductividad de 52 W/mK y otra, la exterior, de 6 cm de espesor y 0,75 W/mK de conductividad. El agua entra a la tubería a 250 °C, mientras que el aire exterior a la tubería se encuentra en reposo y a una temperatura de 10 °C. La superficie exterior de la tubería en contacto con el aire se encuentra a 110,7 °C. Calcúlese:

- Al cabo de cuántos metros de longitud de tubería habrá descendido la temperatura del agua que circula por la tubería hasta los 150 °C.
- Cuál es la resistencia térmica dominante y cuál es el porcentaje que cada una de las resistencias térmicas que forman el circuito termoeléctrico equivalente representa, respecto a la resistencia térmica total.



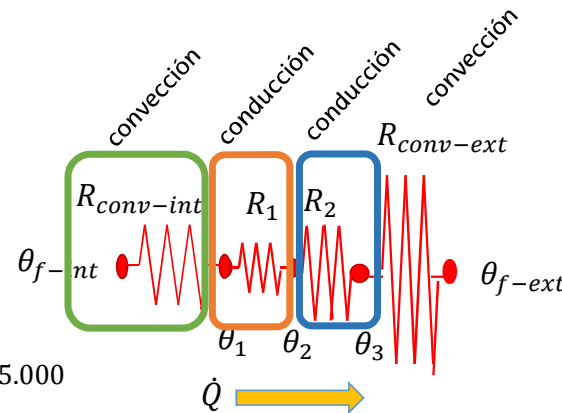
Balance de energía en la tubería:

$$\dot{Q} = \dot{m}(h_{out} - h_{in}) = \dot{m} \cdot c_{p_{H_2O}}(\theta_{out} - \theta_{in})$$

$$\dot{Q} = 0,3 \cdot 4.500 \cdot (250 - 150) = 135.000 \text{ W}$$

$$\dot{Q} = \frac{\theta_{f-int} - \theta_3}{R_{int} + R_1 + R_2} =$$

$$= \frac{200 - 110,7}{0,021241/L + 0,00034704/L + 0,041222/L} = 1.421,74 \cdot L = 135.000$$



$$R_{conv-int} = \frac{0,021241}{L} = \frac{0,021241}{94,95} = 2,2369 \cdot 10^{-4} \frac{K}{W}$$

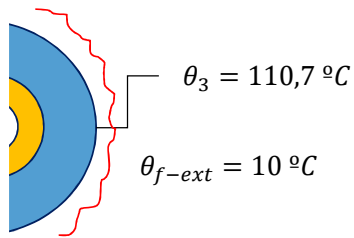
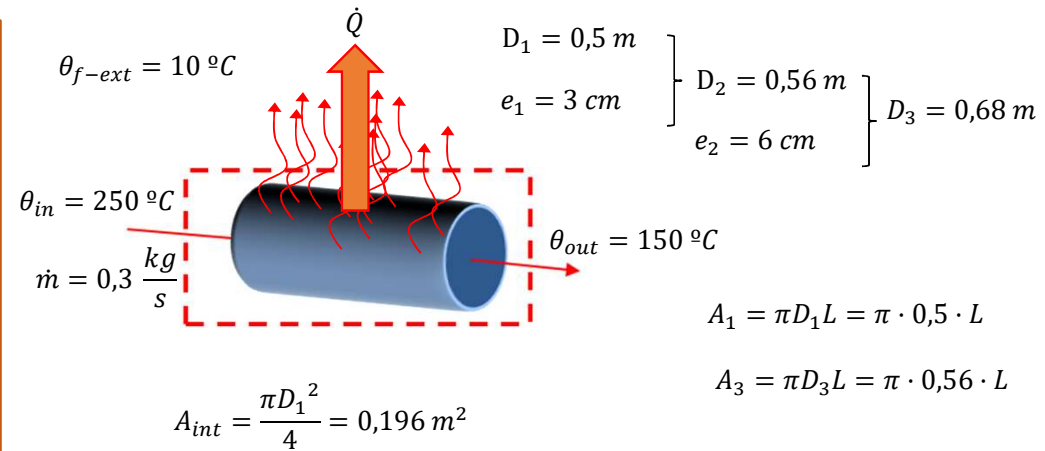
$$R_1 = \frac{0,00034704}{L} = \frac{0,00034704}{94,95} = 3,65481 \cdot 10^{-6} \frac{K}{W}$$

$$R_2 = \frac{0,041222}{L} = \frac{0,041222}{94,95} = 4,34128 \cdot 10^{-4} \frac{K}{W}$$

$$L = \frac{135.000}{1.421,74} = 94,95m$$

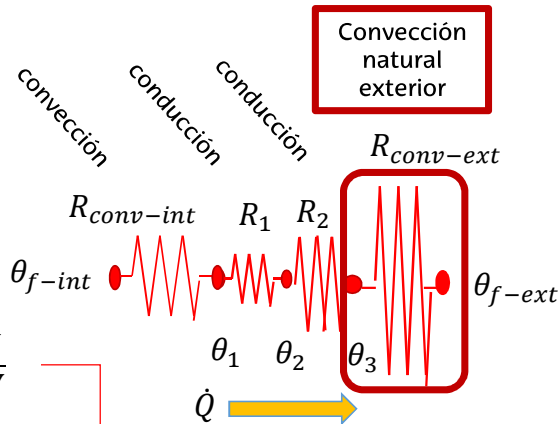
(examen 2026 ordinaria) Ejercicio 3- Por una tubería de 0,5 m de diámetro interior fluye un gasto de 0,3 kg/s de agua. La tubería consta de dos capas, una de 3 cm de espesor y conductividad de 52 W/mK y otra, la exterior, de 6 cm de espesor y 0,75 W/mK de conductividad. El agua entra a la tubería a 250 °C, mientras que el aire exterior a la tubería se encuentra en reposo y a una temperatura de 10 °C. La superficie exterior de la tubería en contacto con el aire se encuentra a 110,7 °C. Calcúlese:

- Al cabo de cuántos metros de longitud de tubería habrá descendido la temperatura del agua que circula por la tubería hasta los 150 °C.
- Cuál es la resistencia térmica dominante y cuál es el porcentaje que cada una de las resistencias térmicas que forman el circuito termoelectrónico equivalente representa, respecto a la resistencia térmica total.



$$\dot{Q} = \frac{\theta_3 - \theta_{f-ext}}{R_{conv-ext}} = 135.000 \text{ W}$$

$$R_{conv-ext} = \frac{\theta_3 - \theta_{f-ext}}{\dot{Q}} = \frac{110,7 - 10}{135.000} = 0,0007459 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$



$$R_{conv-int} = 2,2369 \cdot 10^{-4} \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$\frac{R_{conv-int}}{R_{TOTAL}} = \frac{2,2369 \cdot 10^{-4}}{1,40741 \cdot 10^{-3}} = 15,89 \%$$

$$R_1 = 3,65481 \cdot 10^{-6} \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$\frac{R_1}{R_{TOTAL}} = \frac{3,65481 \cdot 10^{-6}}{1,40741 \cdot 10^{-3}} = 0,26 \%$$

$$R_2 = 4,34128 \cdot 10^{-4} \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$\frac{R_2}{R_{TOTAL}} = \frac{4,34128 \cdot 10^{-4}}{1,40741 \cdot 10^{-3}} = 30,85 \%$$

$$R_{conv-ext} = 0,0007459 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$\frac{R_{conv-ext}}{R_{TOTAL}} = \frac{0,0007459}{1,40741 \cdot 10^{-3}} = 53,00 \%$$

$$R_{TOTAL} = R_{conv-int} + R_1 + R_2 + R_{conv-ext} = 2,2369 \cdot 10^{-4} + 9,63703 \cdot 10^{-6} + 4,34128 \cdot 10^{-4} + 0,0007459 = 1,40741 \cdot 10^{-3} \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

R dominante es la exterior a la convección