

INGENIARITZA TERMIKOA - Urtarrila 2020

1. Ariketa

10 cm-ko diametroa duen zilindro-pistoi gailu batean 2 kg aire dago 1 bar eta 20 °C-tan. Kanpo indar baliokide **guztien** 2000 N-eko balioa aplikatzerakoan, pistoia desplazatzen da, eta desplazamendu horren amaierako egoeran, airearen tenperatura 119 °C da. Kalkula bedi prozesuan suntsitutako exergia. Kontsidera bedi erreferentzia tenperatura 18 °C eta erreferentzia presioa 1 bar, eta zilindroaren pareten tenperatura prozesuan zehar, 67 °C dela.

2. Ariketa

Termikoki gaizki isolaturik dagoen berezgailu batean, 0.5 kg/s ur-lurrun gainberotu gastua sartzen da 250 °C eta 2 bar-etan, eta bi korrante irteten dira, bata 0.1 kg/s gastuko likido ase eta bestea lurrun ase lehorra. Kalkula bedi prozesuan suntsitutako exergia eta etekin exergetikoa. Suposa bedi erreferentzia egoera 1 bar eta 19 °C eta berezgailuaren gainazaleko tenperatura 126 °C.

3. Ariketa

- a) Zoru irradiatzaile bidezko berokuntza sistema duen, eta 21 °C-tan mantendu nahi den gela baten planta 5x5 m² da, zoruaren gainazaleko tenperatura 29 °C delarik. Kalkula bedi bero-fluxua.
- b) Aurreko atalean kalkulaturako bero fluxua hornitzeko, 35 m hodi erabiltzen da. Hodiaren kanpo diametroa 20 mm da eta lodiera 2 mm-koa. Hodiaren materialaren eroankortasuna 0.45 W/(m·K) da. Baldin eta hodiaren kanpo gainazaleko tenperatura 38 °C eta hodian barne daroan uraren tenperatura 40 °C badira, kalkula bedi hodian zeharreko ur gastua.

Denbora: 2.5 ordu

Ariketak bakoitzak azterketa osoak balio duenaren herena balio du.

Hurrengo datuak idatzi behar dira entregatutako orri guztietan, bestela orri horiek ez dira zuzenduko: Izena eta abizenak, NAN zenbakia, espezialitatea eta taldea.

INGENIERÍA TÉRMICA - Enero 2020

Problema 1

En un cilindro pistón de 10 cm de diámetro interior, hay 2 kg de aire a 1 bar y 20 °C. Cuando se aplica una fuerza total exterior que sumada a la presión exterior, es equivalente a 2000 N, el aire se lleva a una temperatura final de 119 °C en el momento en el que el desplazamiento se detiene. Calcúlese la exergía destruida durante el proceso. Tómese como temperatura de referencia 18 °C y presión de referencia 1 bar, así como una temperatura media de las paredes del cilindro de 67 °C.

Problema 2

En un separador térmicamente mal aislado, entran 0.5 kg/s de vapor a 2 bar y 250 °C, y salen dos corrientes, una de 0,1 kg/s de líquido saturado y otra de vapor saturado seco. Calcúlese la exergía destruida en el proceso y el rendimiento exergético del mismo. Tómese como estado de referencia 1 bar y 19 °C, y como temperatura media de la superficie del separador, 126 °C.

Problema 3

- a) Un sistema de suelo radiante debe calefactar un local de planta 5x5 m². La temperatura superficial de todo el suelo es de 29 °C, y la temperatura del local es de 21 °C. Calcúlese el flujo de calor a aportar por el suelo radiante.
- b) El flujo de calor del apartado anterior se suministra mediante un tubo de 35 m de tubo de diámetro exterior 20 mm, espesor 2 mm y conductividad de 0.45 W/(m·K), por el que circula agua a 40 °C. Calcúlese el gasto de agua por el tubo si la temperatura de la superficie exterior del tubo es de 38 °C.

Tiempo: 2.5 horas

Cada ejercicio vale un tercio del valor del examen total.

Las hojas de examen que no estén identificadas con nombre y apellidos, DNI, número de grupo y titulación, no serán corregidas.

DEITURAK / APELLIDOS :

IZENA / NOMBRE :

TITULAZIOA / TITULACIÓN :

N.A.N. / D.N.I.

IKASTURTEA / CURSO :

DATA / FECHA :

IRAKASGAIA / ASIGNATURA :

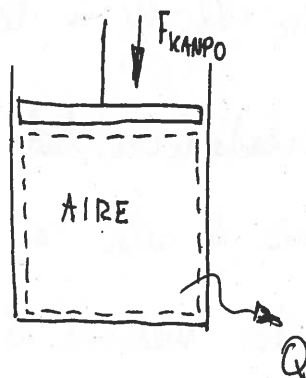
KALIFIKAZIOA CALIFICACIÓN											
------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

ARIKETA 1

Datuak:

$$m = 2 \text{ kg aire}$$

$$\textcircled{1} \left\{ \begin{array}{l} P_1 = 1 \text{ bar} \\ \theta_1 = 20^\circ \text{C} \end{array} \right. \xrightarrow{F_{\text{KANPO}} = 2000 \text{ N}} \textcircled{2} \left\{ \begin{array}{l} \theta_2 = 119^\circ \text{C} \end{array} \right.$$



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

$$\theta_0 = 18^\circ \text{C}$$

$$E_{x_D} = ?$$

- Se trata de un dispositivo cilindro-pistón que contiene aire: sistema cerrado
- Se considera el aire como gas ideal.

$$- \text{Es un proceso de compresión irreversible, } P_2 = \frac{F}{A_p} = \frac{2000}{\pi \left(\frac{0.1}{2}\right)^2} = 2.546 \cdot 10^5 \text{ Pa} > P_1$$

Se comprueba si el proceso es adiabático mediante el primer principio:

$$\Delta U_{12} = Q - W$$

$$\Delta U_{12} = m \cdot c_v (\theta_2 - \theta_1) = 2 \cdot 0.718 \cdot (119 - 20) = 142.164 \text{ kJ}$$

$$W = \int P_{\text{Ext}} dV = m \int P_{\text{Ext}} dv = m P_{\text{Ext}} \cdot (v_2 - v_1)$$

$$v_1 = \frac{R' T_1}{P_1} = \frac{287 \cdot 293}{10^5} = 0.8409 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$v_2 = \frac{R' T_2}{P_2} = \frac{287 \cdot 392}{P_2}$$

$$P_2 = \frac{F_{ext}}{A_p} = \frac{2000 N}{\pi \frac{\phi^2}{4}} = 2'546 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$V_2 = \frac{287 \cdot 392}{2'546 \cdot 10^5} = 0'4418 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$W = m \cdot \frac{F_{ext}}{A_p} \cdot (V_2 - V_1) = 2 \cdot 254'6 \cdot (0'4418 - 0'8409) = -203'26 \text{ kJ}$$

$$\Delta U_{12} = Q - W \rightarrow Q = \Delta U_{12} + W = 142'16 + (-203'26) = -61'1 \text{ kJ}$$

Calculada la cantidad de energía que intercambia el sistema por transferencia de calor con el entorno, la exergía destruida se puede calcular mediante el balance de entropía o directamente aplicando el balance de exergía.

Balance de entropía (sistema cerrado)

$$\Delta S = \int \frac{\delta Q}{T} + S_G$$

$$\Delta S_{12} = \frac{Q_{12}}{T} + S_G$$

$$\Delta S_{12} = m \cdot \left(c_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R' \ln \frac{V_2}{V_1} \right) = 2 \cdot \left(0'718 \ln \frac{(119+273)}{(20+273)} + 0'287 \ln \frac{0'4418}{0'8409} \right)$$

$$= 0'04856 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}$$

$$\frac{Q_{12}}{T} = \frac{-61'1}{(37+273)} = -0'17965 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}$$

$$S_G = \Delta S_{12} - \frac{Q}{T} = 0'04856 - (-0'17965) = 0'22822 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}$$

$$\boxed{Ex_D = T_0 \cdot S_G = (18 + 273) \cdot 0'22822 = 66'41 \text{ kJ}}$$

DEITURAK / APELLIDOS :

IZENA / NOMBRE :

TITULAZIOA / TITULACIÓN :

N.A.N. / D.N.I.

IKASTURTEA / CURSO :

DATA / FECHA :

IRAKASGAIA / ASIGNATURA :

KALIFIKAZIOA CALIFICACIÓN												
------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Balance de exergía (sistema cerrado)

$$\Delta A_{12} = \int \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \delta Q - (W - P_0(V_2 - V_1)) - Ex_D$$

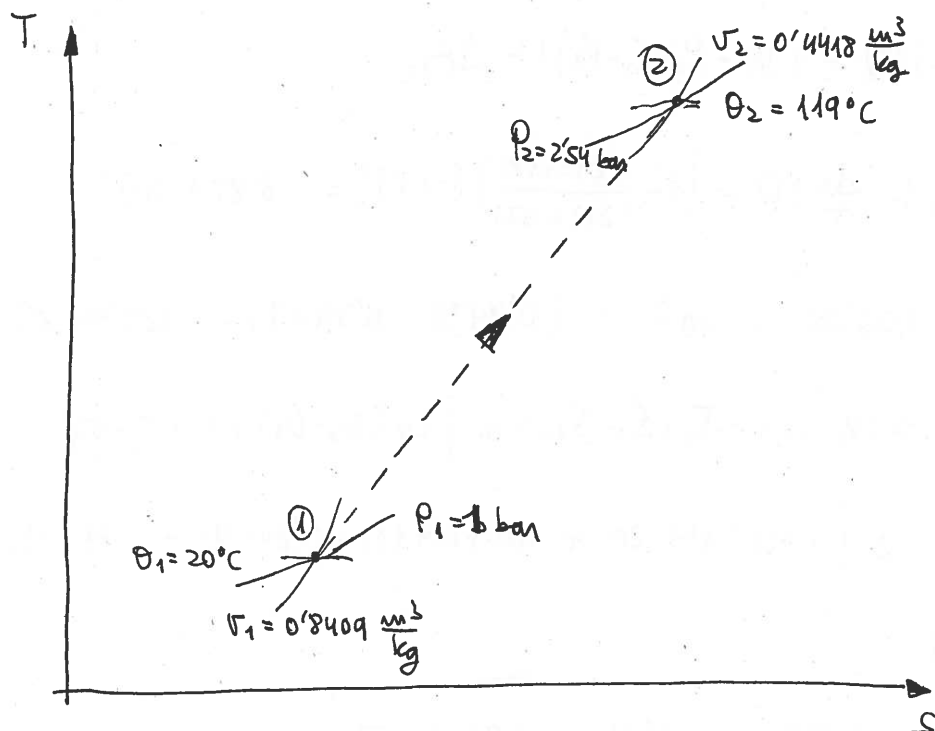
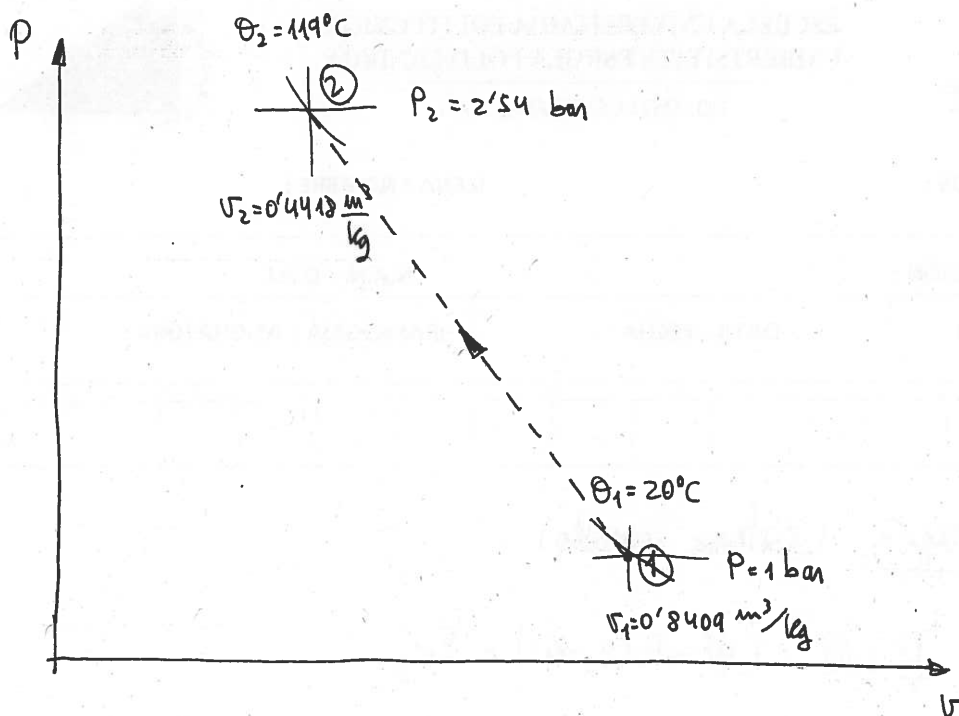
$$Ex_D = \int \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \delta Q - (W - P_0(V_2 - V_1)) - \Delta A_{12}$$

$$\int \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \delta Q = \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) Q = \left(1 - \frac{(273+18)}{(273+67)}\right) (-61'1) = -8'821 \text{ kJ}$$

$$W - P_0(V_2 - V_1) = -203'26 - 10^2 \cdot 2 \cdot (0'4418 - 0'8409) = -123'44 \text{ kJ}$$

$$\begin{aligned} \Delta A_{12} &= (U_2 - U_1) + P_0(V_2 - V_1) - T_0(S_2 - S_1) = m \left[c_v(\theta_2 - \theta_1) + P_0(v_2 - v_1) - \right. \\ &\quad \left. - T_0(s_2 - s_1) \right] = 2 \cdot \left(0'718(119 - 20) + 100 \cdot (0'4418 - 0'8409) - (273 + 18) \cdot 0'0243 \right) = \\ &= 48'21 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$Ex_D = (-8'821) - (-123'44) - 48'21 = 66'41 \text{ kJ}$$



DEITURAK / APELLIDOS :

IZENA / NOMBRE :

TITULAZIOA / TITULACIÓN :

N.A.N. / D.N.I.

IKASTURTEA / CURSO :

DATA / FECHA :

IRAKASGAIA / ASIGNATURA :

KALIFIKAZIOA
CALIFICACIÓN

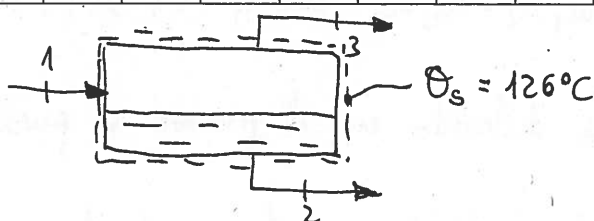
ARIKETA 2

Datos:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{m}_1 = 0.5 \text{ kg/s} \\ P_1 = 2 \text{ bar} \\ \theta_1 = 250^\circ\text{C} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{m}_2 = 0.1 \text{ kg/s} \\ X_2 = 0 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} X_3 = 1 \end{array} \right.$$



$$\left\{ \begin{array}{l} P_0 = 1 \text{ bar} \\ \theta_0 = 19^\circ\text{C} \end{array} \right.$$

$$Ex_D ? \quad h_{Ex} ?$$

- Se desprecian las pérdidas de carga ($P_1 = P_2 = P_3 = 2 \text{ bar}$)
- Se considera régimen permanente.

Se determinan las pérdidas de calor a través de la superficie de control del sistema. Para ello se aplica la ecuación de la energía despreciando la variación de energía cinética y potencial.

$$\dot{Q}_s = \dot{m}_2 \cdot h_2 + \dot{m}_3 \cdot h_3 - \dot{m}_1 \cdot h_1$$

A partir del balance de masa en régimen permanente determinamos el gasto de "3":

$$\frac{dm_s}{dt} = 0 = \dot{m}_1 - \dot{m}_2 - \dot{m}_3 \rightarrow \dot{m}_3 = \dot{m}_1 - \dot{m}_2 = 0.5 - 0.1 = 0.4 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\left. \begin{array}{l} h_1 = 2971.2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ h_2 = 504.7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ h_3 = 2706 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \end{array} \right\} \text{ De tablas}$$

$$\dot{Q}_s = \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_3 h_3 - \dot{m}_1 h_1 = 0.1 \cdot 504.7 + 0.4 \cdot 2706 - 0.5 \cdot 2971.2 = -352.7 \text{ kW}$$

La exergía destruida en el proceso se puede obtener mediante el balance de entropía aplicado a sistemas abiertos o a partir del balance de exergía en sistemas abiertos.

Balance de entropía

$$\dot{S}_G = \dot{m}_2 \cdot s_2 + \dot{m}_3 \cdot s_3 - \dot{m}_1 s_1 - \int \frac{\delta \dot{Q}}{T_s} = \dot{m}_2 \cdot s_2 + \dot{m}_3 \cdot s_3 - \dot{m}_1 s_1 - \frac{\dot{Q}_s}{T_s}$$

$$\left. \begin{array}{l} s_1 = 7.71 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \\ s_2 = 1.5302 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \\ s_3 = 7.127 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \end{array} \right\} \text{ De tablas}$$

$$\dot{S}_G = 0.1 \cdot 1.5302 + 0.4 \cdot 7.127 - 0.5 \cdot 7.71 - \frac{(-352.7)}{(126+273)} = 0.0326 \frac{\text{kW}}{\text{K}}$$

$$\boxed{\dot{E}x_D = T_0 \dot{S}_G = (19 + 273) \cdot 0.0326 = 9.524 \text{ kW}}$$

DEITURAK / APELLIDOS :

IZENA / NOMBRE :

TITULAZIOA / TITULACIÓN :

N.A.N. / D.N.I.

IKASTURTEA / CURSO :

DATA / FECHA :

IRAKASGAIA / ASIGNATURA :

KALIFIKAZIOA CALIFICACIÓN											
------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Balance de exergía

$$\dot{E}_{x_D} = \dot{m}_1 \cdot a_{f1} - \dot{m}_2 \cdot a_{f2} - \dot{m}_3 \cdot a_{f2} + \left(1 - \frac{T_0}{T_s}\right) \dot{Q} - \dot{W}$$

$$a_{f1} - a_{f0} = (h_1 - h_0) - T_0 (s_1 - s_0) = (2971'2 - 75'54) - (19+273)(7'71 - 0'2678) = 722'54$$

$$a_{f2} - a_{f0} = (h_2 - h_0) - T_0 (s_2 - s_0) = (504'7 - 75'54) - (19+273)(1'5302 - 0'2678) = 60'54 \text{ kJ/kg}$$

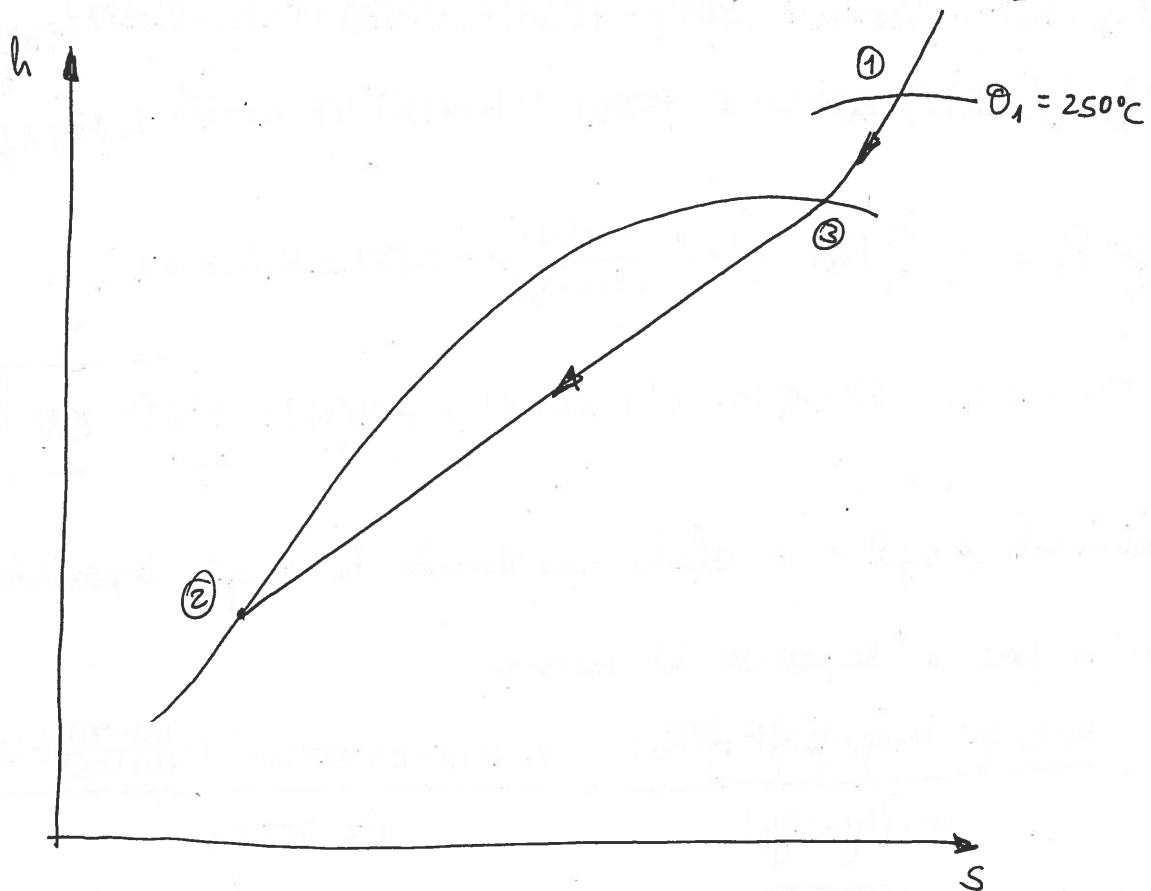
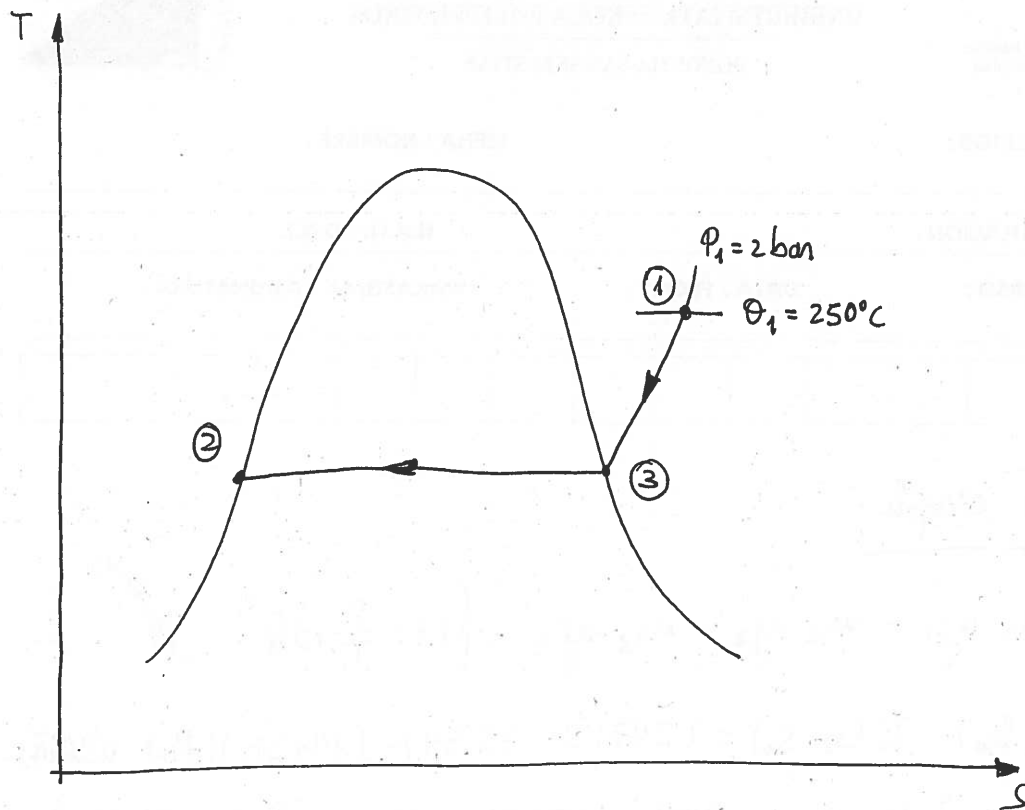
$$a_{f3} - a_{f0} = (h_3 - h_0) - T_0 (s_3 - s_0) = (2706 - 75'54) - (19+273)(7'127 - 0'2678) = 627'81 \text{ kJ/kg}$$

$$\left(1 - \frac{T_0}{T_s}\right) \dot{Q} = \left(1 - \frac{T_0}{T_s}\right) \dot{Q}_s = \left(1 - \frac{(19+273)}{(126+273)}\right) (-352'7) = -94'58 \text{ kW}$$

$$\dot{E}_{x_D} = 0'5 \cdot 722'54 - 0'1 \cdot 60'54 - 0'4 \cdot 627'81 + (-94'58) = 9'524 \text{ kW}$$

El rendimiento exergético se calcula considerando la exergía disponible y la que se pone a disposición del sistema.

$$\eta_{Ex} = \frac{\dot{m}_2(a_{f2} - a_{f0}) + \dot{m}_3(a_{f3} - a_{f0}) + \left(1 - \frac{T_0}{T_s}\right) \dot{Q}_s}{\dot{m}_1(a_{f1} - a_{f0})} = \frac{0'1 \cdot 60'54 + 0'4 \cdot 627'81 + \left(1 - \frac{(19+273)}{(126+273)}\right) (-352'7)}{0'5 \cdot 722'54} = 0'9736 \rightarrow \underline{\underline{\% 97'36}}$$



DEITURAK / APELLIDOS :

IZENA / NOMBRE :

TITULAZIOA / TITULACIÓN :

N.A.N. / D.N.I.

IKASTURTEA / CURSO :

DATA / FECHA :

IRAKASGAIA / ASIGNATURA :

KALIFIKAZIO CALIFICACIÓN												
-----------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

PROBLEMA 3

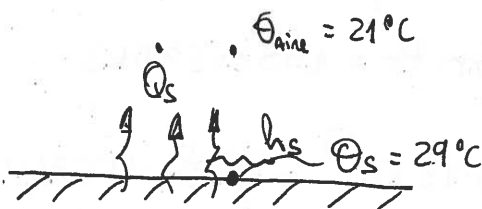
a) Datos:

$$A_s = 25 \text{ m}^2 \text{ (5 m x 5 m)}$$

$$\theta_s = 29^\circ\text{C}$$

$$\theta_{\text{aire}} = 21^\circ\text{C}$$

$$Q_s ?$$



- Se considera régimen permanente y sin generación de calor
- El intercambio de calor entre el suelo radiante y el aire se produce por convección natural.
 no se considera la radiación térmica.

$$Q_s = h_s \cdot A_s (\theta_s - \theta_{\text{aire}})$$

- Convección natural en superficie plana horizontal, flujo ascendente:

$$\Pi = \frac{A_s}{P_s} = \frac{25}{2 \cdot (5+5)} = 1.25 \text{ m}$$

$$\theta_c = \frac{\theta_s + \theta_{\text{aire}}}{2} = \frac{29 + 21}{2} = 25^\circ\text{C}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho = 1'184 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ C_p = 1007 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \\ K = 0'02551 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \\ \mu = 1'849 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \\ Pr = 0'7296 \end{array} \right.$$

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta \theta \cdot \pi^3 \cdot l^2}{\mu^2} = \frac{9'8 \cdot \frac{1}{(25+273)} \cdot (29-21) \cdot 1'25^3 \cdot 1'184^2}{(1'849 \cdot 10^{-5})^2} = 2'135'641'511$$

$$Ra = Gr \cdot Pr = 1'558'164'046$$

$$Nu = 0'15 Ra^{\frac{1}{3}} = 0'15 \cdot 1'558'164'046^{\frac{1}{3}} = 173'90$$

$$h_s = \frac{Nu \cdot K}{\pi} = \frac{173'90 \cdot 0'02551}{1'25} = 3'549 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$\boxed{\dot{Q}_s = h_s \cdot A_s (\theta_s - \theta_{\text{aire}}) = 3'549 \cdot 25 \cdot (29-21) = 709'8 \text{ W}}$$

b) Datos:

$$L = 35 \text{ m}$$

$$\phi_2 = 20 \text{ mm} = 0'02 \text{ m}$$

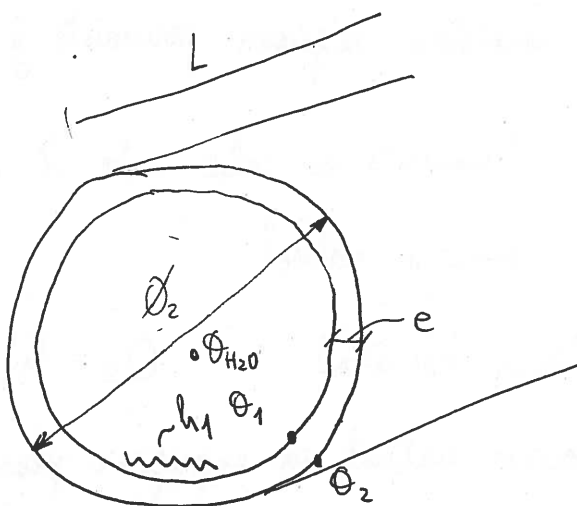
$$e = 2 \text{ mm} = 0'002 \text{ m}$$

$$K = 0'45 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$\theta_{\text{H}_2\text{O}} = 40^\circ \text{C}$$

$$\theta_2 = 38^\circ \text{C}$$

$\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} ?$



- Se considera régimen permanente y sin generación de calor.

- El intercambio de calor entre el agua y el conducto se produce por convección forzada, y a través del tubo por conducción.

DEITURAK / APELLIDOS :

IZENA / NOMBRE :

TITULAZIOA / TITULACIÓN :

N.A.N. / D.N.I.

IKASTURTEA / CURSO :

DATA / FECHA :

IRAKASGAIA / ASIGNATURA :

KALIFIKAZIOA CALIFICACIÓN												
------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

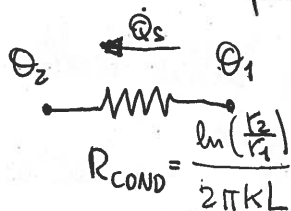
Para obtener el gasto de agua que circula por la tubería se aplica la ecuación de la continuidad:

$$\dot{m}_{H_2O} = \rho_{H_2O} \cdot A_{H_2O} \cdot C_{H_2O}$$

Por lo tanto, es necesario determinar la velocidad del agua a partir del número de Reynolds.

$$\dot{Q}_s = 709'8 \text{ W} = h_1 \cdot A_1 \cdot (\theta_{H_2O} - \theta_1) = h_1 \cdot \pi \cdot \phi_1 \cdot L (\theta_{H_2O} - \theta_1) = h_1 \pi (0'02 - 2 \cdot 0'002) \cdot 35 (40 - \theta_1)$$

La temperatura de la superficie interior del tubo:



$$\dot{Q}_s = \frac{\theta_1 - \theta_2}{R_{COND}} = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\frac{\ln(\frac{r_2}{r_1})}{2\pi kL}} = 709'8 = \frac{\theta_1 - 38}{\frac{\ln(\frac{0'01}{0'008})}{2\pi \cdot 0'45 \cdot 35}} \rightarrow$$

$$\rightarrow \theta_1 = 38 + 709'8 \left(\frac{\ln(\frac{0'01}{0'008})}{2\pi \cdot 0'45 \cdot 35} \right) = 39'60^\circ \text{C}$$

$$\dot{Q}_s = h_1 \cdot A_1 (\Theta_{H_2O} - \Theta_1) \rightarrow h_1 = \frac{\dot{Q}_s}{A_1 (\Theta_{H_2O} - \Theta_1)} = \frac{\dot{Q}_s}{\pi \phi_1 L (\Theta_{H_2O} - \Theta_1)}$$

$$h_1 = \frac{709'8}{\pi (0'02 - 2 \cdot 0'002) 35 (40 - 39'6)} = 1009'83 \frac{W}{m^2 K}$$

$$Nu = \frac{h_1 \cdot \pi}{k}$$

$$\Theta_c = 40^\circ C$$

$$\pi = 0'016 m$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho = 992'1 \frac{kg}{m^3} \\ c_p = 4179 \frac{J}{kg K} \\ k = 0'631 \frac{W}{m K} \\ \mu = 6'53 \cdot 10^{-4} \frac{kg}{m \cdot s} \\ Pr = 4'32 \end{array} \right.$$

$$Nu = \frac{h_1 \cdot \pi}{k} = \frac{1009'83 \cdot 0'016}{0'631} = 25'61$$

Considerando flujo turbulento, aplicamos Dittus-Boelter:

$$\text{Dittus-Boelter: } Nu = 0'023 Re^{0'8} \cdot Pr^{0'3} \rightarrow 25'61 = 0'023 Re^{0'8} \cdot 4'32^{0'3}$$

$$Re = 3715 \quad 2 > 2100 \rightarrow \text{Se confirma flujo turbulento}$$

$$Re = \frac{\rho \cdot c \cdot \pi}{\mu} = \frac{992'1 \cdot c \cdot 0'016}{6'53 \cdot 10^{-4}} = 3715 \rightarrow c = 0'153 \frac{m}{s}$$

$$\boxed{\dot{m}_{H_2O} = \rho \cdot A_{H_2O} \cdot c = \rho \cdot \pi \frac{\phi_1^2}{4} \cdot c = 992'1 \cdot \pi \frac{0'016^2}{4} \cdot 0'153 = 0'03 \frac{kg}{s}}$$