

EXAMEN INGENIERÍA TÉRMICA - 11 de enero de 2022

Ejercicio 1

Dos conductos concéntricos de 10 m de longitud conducen aire y agua. El conducto interior transporta 0,5 kg/s de aire que entran a 90 °C y salen a 70°C. Su diámetro interior es de 6 cm y el exterior de 8 cm, y la conductividad del material es 45 W/mK.

El conducto exterior de sección anular transporta 2 kg/s de agua y tiene un diámetro de 20 cm.

Calcúlese:

- La temperatura superficial interior y exterior del conducto de aire.
- La temperatura promedio del agua en el conducto exterior.

Ejercicio 2

Calcúlese la exergía destruida y el rendimiento exergético del conducto concéntrico descrito en el ejercicio 1, considerando los siguientes datos:

- Estado de referencia 20 °C y 1 bar.
- 1/3 del calor intercambiado desde el aire del conducto interior sale hacia el exterior desde el conducto de agua exterior.
- El aire en el conducto interior circula a 2 bar.
- Despréciase la resistencia térmica de la pared exterior del conducto exterior.

Nota: Si no se ha resuelto el ejercicio 1, tómense los siguientes datos aproximados para poder resolver el ejercicio 2:

- Temperatura promedio del agua = 56 °C.

Ejercicio 3

En un dispositivo cilindro-pistón sin rozamiento se suministra 50 kJ/kg de calor al aire que se encuentra en su interior a 2 bar y 20 °C, mediante un proceso reversible, hasta que la temperatura llega hasta los 60 °C. Calcúlese la presión final, el trabajo intercambiado, la variación de entropía y la variación de exergía. Tómese como estado de referencia 1 bar y 15 °C.

Represéntese el proceso en los diagramas T-s y P-v.

Duración: 150 minutos

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.

INGENIARITZA TERMIKOA AZTERKETA - 2022ko urtarrilaren 11a

Ariketa 1

Bi hodi zentrokidek 10 m luzera dute. Barnealdeko hodiak 0,5 kg/s aire darama, sarrerako 90 °C-tatik irteerako 70 °C-taraino. Bere barne diametroa 6 cm da eta kanpo diametroa 8 cm, eta materialaren eroankortasuna 45 W/mK da.

Kanpoko konduktuak (eraztun sekzioa duenak) 2 kg/s ur darama eta bere diametroa 20 cm da.

Kalkula bedi:

- Airea daraman hodiaren barne eta kanpo gainazaleko tenperaturak.
- Kanpoko konduktuan zehar doan uraren batez besteko tenperatura.

Ariketa 2

Kalkula bedi 1 ariketan deskribatzen den konduktu zentrokidean gertatzen den prozesuaren exergia suntsiketa eta etekin exergetikoa, ondorengo datuak kontutan hartuta:

- Erreferentzia egoera 20 °C eta 1 bar.
- Aireak galtzen duen beroaren 1/3, ura zeharkatu eta kanporantz ateratzen da.
- Hodian zehar daraman airearen presioa 2 bar da.
- Arbuia bedi kanpoko hodiaren kanpo pareta suposatzen duen erresistentzia termikoa.

Oharra: Ez baduzu 1 ariketa osatu, ondorengo datu hauek erabili 2 ariketa hau egiteko:

- Uraren batez besteko tenperatura 56 °C.

Ariketa 3

Marruskadurarik gabeko zilindro-pistoi sistema batean, airea 2 bar eta 20 °C-tan dago hasieran, eta 50 kJ/kg bero jasoz, bere tenperatura 60 °C-taraino igotzen da, prozesu itzulgarri baten bitartez.

Kalkula bitez amaierako presioa, lan trukea, entropia aldaketa eta exergia aldaketa.

Irudika bedi prozesua P-v eta T-s diagramatan eta kontsidera bedi erreferentzia egoera gisa 15 °C eta 1 bar.

Denbora: 150 minutu

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.

DEITURAK/APELLIDOS:

IZENA/ NOMBRE:

TITULAZIOA/ TITULACIÓN:

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

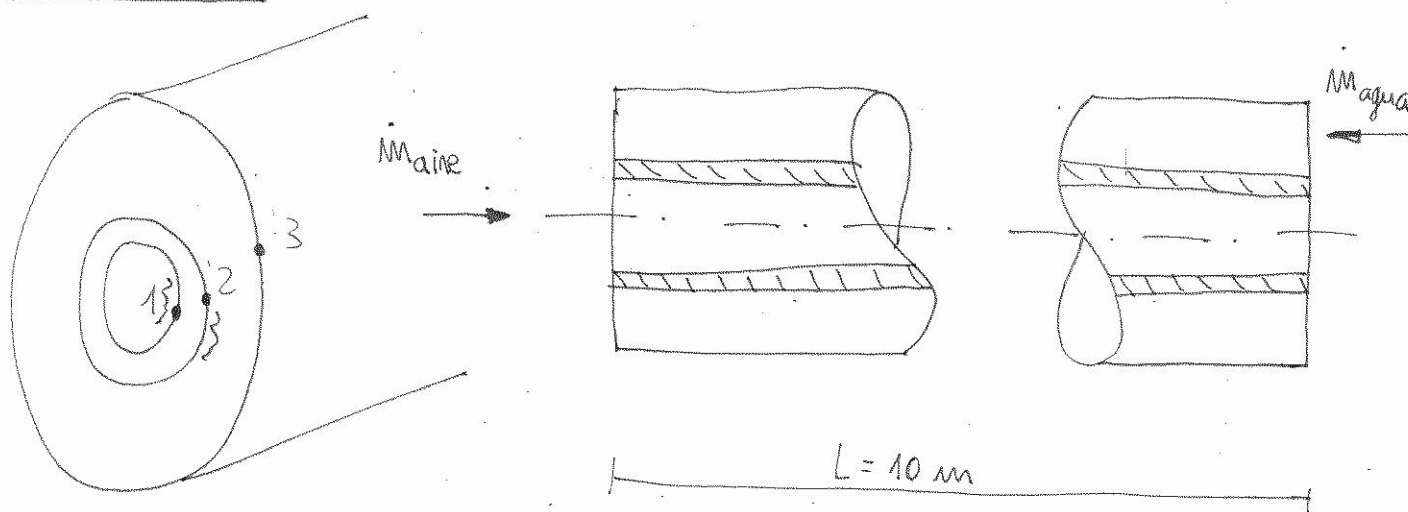
IKASTURTEA/ CURSO:

DATA/ FECHA:

IRAKASGAIA/ ASIGNATURA:

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

EJERCICIO 1



Datos:

- Aire:

$$\dot{m}_{\text{aire}} = 0.5 \text{ kg/s}$$

$$\theta_{e, \text{aire}} = 90^\circ \text{C}$$

$$\theta_{s, \text{aire}} = 70^\circ \text{C}$$

- Agua:

$$\dot{m}_{\text{agua}} = 2 \text{ kg/s}$$

$$\phi_1 = 6 \text{ cm}$$

$$\phi_2 = 8 \text{ cm}$$

$$\phi_3 = 20 \text{ cm}$$

$$L = 10 \text{ m}$$

$$k_{\text{mat}} = 45 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

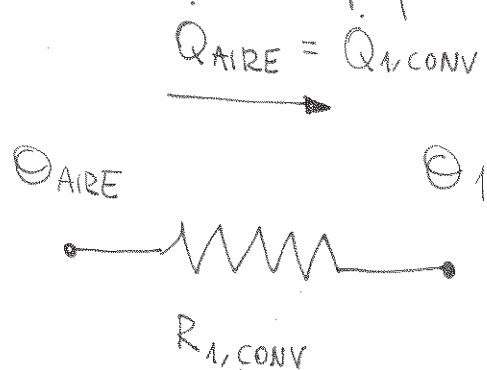
Se pide:

a) θ_1 y θ_2

b) θ_{agua}

Se trata de un problema de transmisión de calor en régimen permanente. El aire que circula por el conducto interior se enfría cediendo calor por convección forzada a la superficie interior del conducto interior. El calor que recibe esta superficie se transmite por conducción hasta la superficie exterior del conducto interior. Esta superficie cede calor por convección forzada al agua que circula entre los dos conductos.

- a) Para calcular la temperatura superficial interior y exterior del conducto de aire aplicaremos la analogía eléctrica, empezando por la superficie interior:



$$\dot{Q}_{\text{AIRE}} = \frac{\Theta_1 - \Theta_{\text{AIRE}}}{R_{1,\text{CONV}}} = \frac{\Theta_1 - \Theta_{\text{AIRE}}}{\frac{1}{h_1 \cdot A_1}} \rightarrow \Theta_1 = \Theta_{\text{AIRE}} + \frac{\dot{Q}_{\text{AIRE}}}{h_1 \cdot A_1}$$

Pasamos a calcular cada uno de los términos necesarios:

DEITURAK/APELLIDOS:

IZENA/ NOMBRE:

TITULAZIOA/ TITULACIÓN:

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

IKASTURTEA/ CURSO:

DATA/ FECHA:

IRAKASGAIA/ ASIGNATURA:

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

$$\theta_{\text{AIRE}} = \frac{\theta_{e,\text{aire}} + \theta_{s,\text{aire}}}{2} = \frac{90 + 70}{2} = 80^\circ\text{C}$$

Para calcular el flujo de calor que recibe la superficie "1" calcularemos el calor que cede el aire. Para ello aplicaremos al aire la ecuación de la energía en régimen permanente despreciando las variaciones de energía cinética y energía potencial gravitatoria, y sabiendo que no existe trabajo de eje:

$$\dot{Q}_{\text{AIRE}} = \dot{m}_{\text{AIRE}} \cdot c_{p,\text{AIRE}} (\theta_{s,\text{aire}} - \theta_{e,\text{aire}}) + \cancel{W} \quad (\text{Aire G. I.})$$

$$\dot{Q}_{\text{AIRE}} = 0,5 \cdot 1008 \cdot (70 - 90) = -10080 \text{ W}$$

(El calor específico del aire se toma de tablas utilizando la temperatura del aire, θ_{AIRE} , igual a 80°C)

Para calcular el coeficiente de convección " h_1 ", sabemos que se trata de un caso de convección forzada interna a un conducto, por lo tanto $\theta_{\text{AIRE}} = 80^\circ\text{C}$ como ya se ha calculado. A partir de esta temperatura característica se determinan las propiedades termofísicas utilizando las tablas del aire:

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho = 0.9994 \text{ kg/m}^3 \\ c_p = 1008 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \\ k = 0.02953 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \\ \mu = 2.096 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{s}} \\ \nu = 2.097 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \\ Pr = 0.7154 \end{array} \right.$$

A partir de estos valores calcularemos el número de Reynolds:

$$Re = \frac{C \cdot \pi}{\nu} = \frac{C \cdot \phi_1}{\nu}$$

Determinamos la velocidad de aire a partir de la ecuación

DEITURAK/APELLIDOS:

IZENA/ NOMBRE:

TITULAZIOA/ TITULACIÓN:

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

IKASTURTEA/ CURSO:

DATA/ FECHA:

IRAKASGAIA/ ASIGNATURA:

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

de la continuidad:

$$\dot{m}_{\text{AIRE}} = \rho_{\text{AIRE}} \cdot A \cdot C_{\text{AIRE}} \rightarrow C_{\text{AIRE}} = \frac{\dot{m}_{\text{AIRE}}}{\rho_{\text{AIRE}} \cdot A} = \frac{\dot{m}_{\text{AIRE}}}{\rho_{\text{AIRE}} \cdot \pi \frac{\phi_1^2}{4}}$$

$$C_{\text{AIRE}} = \frac{0'5}{0'994 \cdot \pi \frac{0'06^2}{4}} = 176'94 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{176'94 \cdot 0'06}{2'097 \cdot 10^{-5}} = 506280'3$$

En el caso de convección forzada interior a un conducto utilizaremos la correlación propuesta por Dittus-Boelter para el caso en el que el fluido se enfría:

$$Nu = 0'023 Re^{0'8} \cdot Pr^{0'3} = 0'023 \cdot 506280'3^{0'8} \cdot 0'7154^{0'3}$$

$$Nu = 761'39$$

Utilizando el número de Nusselt calculamos el coeficiente de convección:

$$Nu = \frac{h_1 \cdot \pi}{K_{AIRE}} = \frac{h_1 \cdot \phi_1}{K_{AIRE}} \rightarrow h_1 = \frac{Nu \cdot k}{\phi_1} = \frac{761'39 \cdot 0'02953}{0'06}$$

$$h_1 = 374'73 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

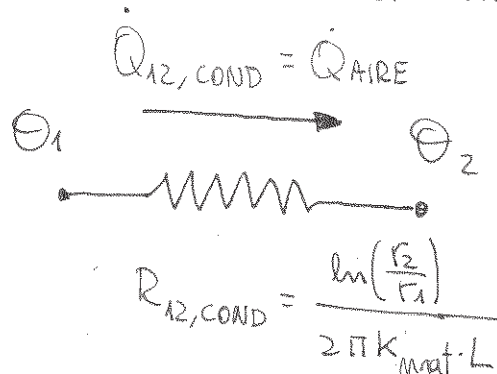
Finalmente, determinamos A_1 :

$$A_1 = 2\pi \frac{\phi_1}{2} \cdot L = 2\pi \frac{0'06}{2} \cdot 10 = 1'885 m^2$$

$$\boxed{\theta_1 = \theta_{AIRE} + \frac{\dot{Q}_{AIRE}}{h_1 \cdot A_1} = 80 + \frac{(-10080)}{374'73 \cdot 1'885} = 65'73^\circ C}$$

La temperatura en la superficie externa del conducto interno

la calcularemos utilizando el siguiente circuito eléctrico:



$$\dot{Q}_{12, COND} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{R_{12, COND}} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{\frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi k_{mat} \cdot L}}$$

$$\theta_2 = \theta_1 + \frac{\dot{Q}_{12, COND} \cdot \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi k_{mat} \cdot L} = 65'73 + \frac{(-10080) \ln\left(\frac{0'04}{0'03}\right)}{2\pi \cdot 45 \cdot 10}$$

$$\boxed{\theta_2 = 64'7^\circ C}$$

DEITURAK/APELLIDOS:

IZENA/ NOMBRE:

TITULAZIOA/ TITULACIÓN:

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

IKASTURTEA/ CURSO:

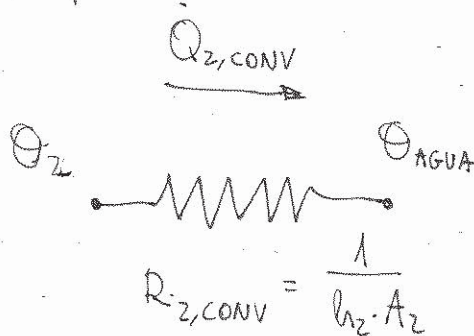
DATA/ FECHA:

IRAKASGAIA/ ASIGNATURA:

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

b) La temperatura promedio del agua en el conducto exterior es igual al promedio de la temperatura del agua a la entrada y salida del conducto.

El agua recibe el calor que cede el aire por convección forzada desde la superficie exterior del conducto interior:



$$\dot{Q}_{2, CONV} = \dot{Q}_{AIRE} = \frac{\theta_{AGUA} - \theta_2}{R_{2, CONV}} = \frac{\theta_{AGUA} - \theta_2}{\frac{1}{h_2 \cdot A_2}}$$

$$\otimes \quad \theta_{AGUA} = \theta_2 + \frac{\dot{Q}_{2, CONV}}{h_2 \cdot A_2} = 64.7 + \frac{(-10080)}{h_2 \cdot \pi \phi_2 \cdot L} = 64.7 + \frac{(-10080)}{h_2 \cdot \pi \cdot 0.08 \cdot 10}$$

Por lo tanto, para calcular la temperatura promedio del agua

8
debemos primero determinar el coeficiente de convección en la superficie externa del conducto interior.

Para calcular el coeficiente de convección, sabemos que se trata de un problema de convección forzada interna a un conducto, ya que el agua circula entre los dos conductos concéntricos. Por lo tanto se aplicará la correlación de Dittus-Boelter:

$$Nu = \frac{h_2 \pi}{K_{AGUA}} = \frac{h_2 (\phi_3 - \phi_2)}{K_{AGUA}} = 0.023 Re^{0.8} \cdot Pr^{0.4} \begin{pmatrix} \text{el agua} \\ \text{se calienta} \end{pmatrix}$$

Donde para determinar el número de Reynolds y Prandtl necesitamos saber el valor de las propiedades termofísicas del agua a la temperatura característica:

$$\theta_{CARAC} = \frac{\theta_{e, AGUA} + \theta_{s, AGUA}}{2} = \theta_{AGUA} \rightarrow \text{justamente la temperatura que nos piden calcular}$$

Se concluye por lo tanto, que es necesario iterar. Esta iteración se plantea de la siguiente manera:

- 1.- Se supone un valor para " θ_{AGUA} ".
- 2.- Utilizando el valor supuesto, se calculan los valores de las propiedades termofísicas del agua mediante

DEITURAK/APELLIDOS:

IZENA/ NOMBRE:

TITULAZIOA/ TITULACIÓN:

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

IKASTURTEA/ CURSO:

DATA/ FECHA:

IRAKASGAIA/ ASIGNATURA:

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

tablas:

3.- Se calculan los valores de los números adimensionales, primero los valores Re y Pr , y después mediante la correlación de Dittus - Boelter el valor de Nu , y finalmente el valor del coeficiente de convección " h_2 ".

4.- Utilizando la expresión (*) se calcula el valor " θ_{AGUA} " y se compara con el valor supuesto. Cuando la diferencia entre los dos valores es pequeña se da por finalizada la iteración.

Por lo tanto, empezamos suponiendo el valor " θ_{AGUA} ". Sabiendo que el agua se calienta en contacto con la superficie externa del conducto interno que se encuentra a $64.7^\circ C$. Por lo tanto, la temperatura del agua será inferior. Teniendo

esto en cuenta, suponemos $\Theta_{\text{AGUA}} = 60^\circ\text{C}$, aunque se podría ¹⁰
tomar cualquier otro valor inferior a " Θ_2 ".

Utilizando esta temperatura del agua se determinan los valores
de las propiedades termofísicas del agua utilizando tablas:

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho = 983'3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ c_p = 4185 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \\ K = 0'654 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \\ \mu = 4'67 \cdot 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \\ Pr = 2'99 \end{array} \right.$$

Utilizando estos valores se calculan Re y Pr.

$$Re = \frac{c \cdot \pi \cdot l}{\mu} = \frac{c (\phi_3 - \phi_2) \cdot l}{\mu}$$

Donde "c" del agua se calcula utilizando la ecuación de la
continuidad : $\dot{m}_{\text{AGUA}} = \rho \cdot A \cdot c = \rho \cdot \pi \frac{(\phi_3^2 - \phi_2^2)}{4} \cdot c$

$$c = \frac{4 \dot{m}_{\text{AGUA}}}{\rho \cdot \pi (\phi_3^2 - \phi_2^2)} = \frac{4 \cdot 2}{983'3 \cdot \pi (0'2^2 - 0'08^2)} = 0'077 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Re = \frac{0'077 (0'2 - 0'08) \cdot 983'3}{4'67 \cdot 10^{-4}} = 19474'45$$

DEITURAK/APELLIDOS:

IZENA/ NOMBRE:

TITULAZIOA/ TITULACIÓN:

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

IKASTURTEA/ CURSO:

DATA/ FECHA:

IRAKASGAIA/ ASIGNATURA:

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

$$\text{Dittus - Boelter: } Nu = 0.023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.4} = 0.023 \cdot 19474.45^{0.8} \cdot 2.99^{0.4}$$

$$Nu = 96.29 = \frac{h_2 \cdot \pi}{k} = \frac{h_2 (\phi_3 - \phi_2)}{k}$$

$$h_2 = \frac{Nu \cdot k}{(\phi_3 - \phi_2)} = \frac{96.29 \cdot 0.654}{0.2 - 0.08} = 524.77 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Finalmente calculamos " θ_{AGUA} ":

$$\theta_{AGUA} = \theta_2 + \frac{\dot{Q}_{2, CONV}}{h_2 \cdot A_2} = 64.7 + \frac{(-10080)}{524.77 \cdot \pi \phi_2 \cdot L} = 57.06 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Habiendo supuesto que " θ_{AGUA} " era igual a 60°C se ha obtenido como resultado una temperatura del agua " θ_{AGUA} " igual a 57.06°C . Por lo tanto, se decide realizar una segunda iteración siguiendo el mismo procedimiento pero suponiendo en este caso que la temperatura del agua es igual a 57.06°C .

Como resultado de esta segunda iteración se obtiene como resultado que la temperatura del agua es $\theta_{AGUA} = 56'9^{\circ}\text{C}$.

Se considera que este resultado se encuentra lo suficientemente cerca del valor supuesto y se da el resultado por bueno.

$$\boxed{\theta_{AGUA} = 56'9^{\circ}\text{C}}$$

DEITURAK/APELLIDOS:

IZENA/ NOMBRE:

TITULAZIOA/ TITULACIÓN:

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

IKASTURTEA/ CURSO:

DATA/ FECHA:

IRAKASGAIA/ ASIGNATURA:

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

EJERCICIO 2

Datos:

Aire:

$$\dot{m}_{\text{aire}} = 0.5 \text{ kg/s}$$

$$\theta_{e,\text{aire}} = 90^\circ\text{C}$$

$$\theta_{s,\text{aire}} = 70^\circ\text{C}$$

$$P_{\text{aire}} = 2 \text{ bar}$$

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

$$\theta_0 = 20^\circ\text{C}$$

$$\dot{Q}_{\text{perd}} = \frac{1}{3} \dot{Q}_{\text{aire}}$$

Se pide:

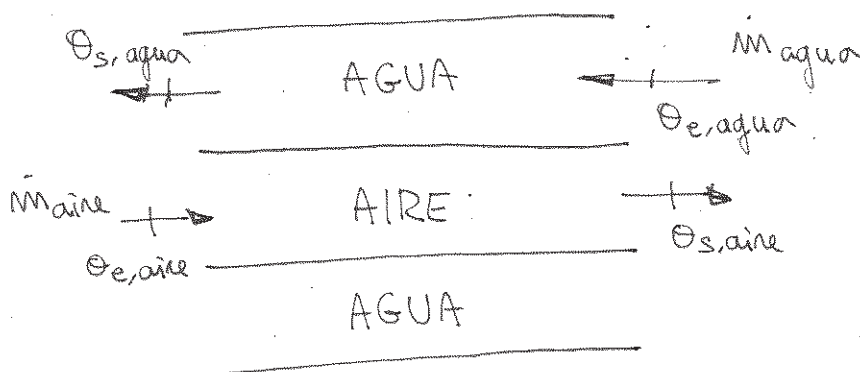
$$- Ex_d$$

$$- h_{2EX}$$

Agua:

$$\dot{m}_{\text{agua}} = 2 \text{ kg/s}$$

$$\theta_{\text{agua}} = \frac{\theta_{e,\text{agua}} + \theta_{s,\text{agua}}}{2} = 56.9^\circ\text{C} \quad \left(\begin{array}{l} \text{eficiencia} \\ \text{anterior} \end{array} \right)$$



Se trata de un sistema abierto o volumen de control que trabaja en régimen permanente en el que el aire y el agua intercambian calor. Existen pérdidas de calor, de tal forma que un tercio del calor intercambiado por el aire sale hacia el exterior desde el conducto de agua exterior. Se desprecian los variaciones de energía cinética y potencial gravitatoria. Se considera el aire como un gas ideal y el agua como sustancia incompresible. La exergía destruida en el proceso se puede calcular a partir de la entropía generada en el proceso o directamente mediante el balance de exergía para sistemas abiertos.

- Calculando la entropía generada en el proceso

$$\dot{Ex}_d = T_0 \cdot \dot{S}_G$$

La entropía generada en el proceso se determina mediante el balance de entropía en sistemas abiertos:

$$\dot{S}_G = \dot{m}_{\text{aire}} (S_{s,\text{aire}} - S_{e,\text{aire}}) + \dot{m}_{\text{agua}} (S_{s,\text{agua}} - S_{e,\text{agua}}) - \int_{sc} \frac{\delta \dot{Q}_i}{T_i}$$

donde $\dot{S}_G \geq 0$

Aire como Gas Ideal:

DEITURAK/APELLIDOS:

IZENA/ NOMBRE:

TITULAZIOA/ TITULACIÓN:

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

IKASTURTEA/ CURSO:

DATA/ FECHA:

IRAKASGAIA/ ASIGNATURA:

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

$$S_{s,aire} - S_{e,aire} = c_{p,aire} \cdot \ln \frac{T_{s,aire}}{T_{e,aire}} - R' \ln \frac{P_{s,aire}}{P_{e,aire}}$$

Donde $P_{s,aire} = P_{e,aire}$ ya que no se consideran pérdidas de carga.

$$S_{s,aire} - S_{e,aire} = c_{p,aire} \cdot \ln \frac{T_{s,aire}}{T_{e,aire}} - R' \ln \frac{P_{s,aire}}{P_{e,aire}} = 1008 \cdot \ln \left(\frac{273+70}{273+90} \right)$$

$$S_{s,aire} - S_{e,aire} = -57'13 \frac{J}{kg \cdot K}$$

$c_{p,aire} = 1008 \frac{J}{kg \cdot K} \rightarrow$ ver propiedades termofísicas del aire del "Ejercicio 1", pág 4.

Agua como sustancia incompresible:

$$S_{s,agua} - S_{e,agua} = C \cdot \ln \frac{T_{s,agua}}{T_{e,agua}}$$

Para calcular las temperaturas del agua a la entrada y salida del conducto conocemos la temperatura promedio del agua y aplicaremos al agua la ecuación de la energía en

16

régimen permanente despreciando variaciones de energía cinética y potencial gravitatoria, y sabiendo que no existe trabajo de eje.

$$\theta_{AGUA} = \frac{\theta_{e,agua} + \theta_{s,agua}}{2} = 56'9^{\circ}\text{C}$$

$$\dot{Q}_{AGUA} = \dot{m}_{agua} \cdot c_{p,agua} (\theta_{s,agua} - \theta_{e,agua}) + \cancel{\dot{W}}$$

$$c_{p,agua} = 4183'8 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \quad (\text{Tablas para la temperatura promedio del agua})$$

El calor neto que recibe el agua será igual a lo que cede el aire y considerando las pérdidas hacia el exterior

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{AGUA} &= -\dot{Q}_{AIRE} + \frac{1}{3} \dot{Q}_{AIRE} = -(-10080) + \frac{1}{3}(-10080) = \\ &= 6720 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\dot{Q}_{AGUA} = \dot{m}_{agua} \cdot c_{p,agua} \cdot (\theta_{s,agua} - \theta_{e,agua})$$

$$6720 = 2 \cdot 4183'8 \cdot (\theta_{s,agua} - \theta_{e,agua})$$

$$(\theta_{s,agua} - \theta_{e,agua}) = 0'8^{\circ}\text{C}$$

$$\frac{\theta_{s,agua} + \theta_{e,agua}}{2} = 56'9^{\circ}\text{C}$$

$$\left. \begin{array}{l} \theta_{s,agua} = 57'3^{\circ}\text{C} \\ \theta_{e,agua} = 56'5^{\circ}\text{C} \end{array} \right\}$$

DEITURAK/APELLIDOS:

IZENA/ NOMBRE:

TITULAZIOA/ TITULACIÓN:

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

IKASTURTEA/ CURSO:

DATA/ FECHA:

IRAKASGAIA/ ASIGNATURA:

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

$$S_{s, \text{agua}} - S_{e, \text{agua}} = C \cdot \ln \frac{T_{s, \text{agua}}}{T_{e, \text{agua}}} = 1008 \cdot \ln \left(\frac{273 + 57'3}{273 + 56'5} \right) = 10'18 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$$

Finalmente, calcularemos el término del balance de entropía correspondiente a la transferencia de entropía por transferencia de calor:

$$\int \frac{\delta \dot{Q}_i}{T_i} = \int \frac{\delta \dot{Q}_{\text{perd}}}{T}$$

Como "T", la temperatura a la que ocurre la transferencia de calor $\delta \dot{Q}_{\text{perd}}$, tomaremos la temperatura promedio del agua. Esta temperatura es una temperatura constante, por lo que $\rightarrow$

$$\int \frac{\delta \dot{Q}_{\text{perd}}}{T} = \frac{\int \delta \dot{Q}_{\text{perd}}}{T_{\text{AGUA}}} = \frac{\dot{Q}_{\text{perd}}}{T_{\text{AGUA}}} \quad \text{donde}$$

$$\dot{Q}_{\text{perd}} = \frac{1}{3} \dot{Q}_{\text{AIRE}} = -3360 \text{ W}$$

$$\frac{\dot{Q}_{\text{perd}}}{T_{\text{AGUA}}} = \frac{-3360}{329'9} = -10'18 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

Volviendo a la expresión del balance de entropía:

$$\dot{S}_G = \dot{m}_{\text{aire}} (S_{s,\text{aire}} - S_{e,\text{aire}}) + \dot{m}_{\text{agua}} (S_{s,\text{agua}} - S_{e,\text{agua}}) -$$

$$- \int \frac{\delta \dot{Q}_i}{T_i}$$

$$\dot{S}_G = 0.2 \cdot (-57.13) + 2 \cdot 10.18 - (-10.18) = 1.992 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

$$\boxed{\dot{E}x_d = T_0 \cdot \dot{S}_G = (273 + 20) \cdot 1.992 = 583.4 \text{ W}}$$

- Mediante el balance de exergía

Se aplica el balance de exergía al sistema abierto en régimen permanente:

$$\begin{aligned} \dot{m}_{\text{aire}} (a_{f,s,\text{aire}} - a_{f,e,\text{aire}}) + \dot{m}_{\text{agua}} (a_{f,s,\text{agua}} - a_{f,e,\text{agua}}) &= \\ &= \int \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \delta \dot{Q} - \cancel{\dot{W}} - \dot{E}x_d \end{aligned}$$

$$a_{f,s,\text{aire}} - a_{f,e,\text{aire}} = (h_{s,\text{aire}} - h_{e,\text{aire}}) - T_0 (S_{s,\text{aire}} - S_{e,\text{aire}}) =$$

$$= c_{p,\text{aire}} (\theta_{s,\text{aire}} - \theta_{e,\text{aire}}) - T_0 (S_{s,\text{aire}} - S_{e,\text{aire}}) =$$

$$= 1008 (70 - 90) - (20 + 273) (-57.13) = -3422.2 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$a_{f,s,\text{agua}} - a_{f,e,\text{agua}} = (h_{s,\text{agua}} - h_{e,\text{agua}}) - T_0 (S_{s,\text{agua}} - S_{e,\text{agua}}) =$$

$$= c_{p,\text{agua}} (\theta_{s,\text{agua}} - \theta_{e,\text{agua}}) - T_0 (S_{s,\text{agua}} - S_{e,\text{agua}}) =$$

DEITURAK/APELLIDOS:

IZENA/ NOMBRE:

TITULAZIOA/ TITULACIÓN:

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

IRASTURTEA/ CURSO:

DATA/ FECHA:

IRAKASGAIA/ ASIGNATURA:

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

$$= 4183'8 \cdot (57'3 - 56'5) - (20 + 273) \cdot 10'18 = 375'8 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$\int \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \delta \dot{Q} = \left(1 - \frac{T_0}{T_{\text{AGUA}}}\right) \int \delta \dot{Q}_{\text{pend}} = \left(1 - \frac{T_0}{T_{\text{AGUA}}}\right) \cdot \dot{Q}_{\text{pend}} =$$

$$= \left(1 - \frac{(20 + 273)}{(56'9 + 273)}\right) \cdot (-3360) = -375'8 \text{ W}$$

Volviendo a la expresión del balance de energía en régimen permanente para sistemas abiertos:

$$\dot{m}_{\text{aire}} (a_{f,s,\text{aire}} - a_{f,e,\text{aire}}) + \dot{m}_{\text{agua}} (a_{f,s,\text{agua}} - a_{f,e,\text{agua}}) =$$

$$= \int \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \delta \dot{Q} - \dot{W}^0 - \dot{E}x_d$$

$$\dot{E}x_d = \int \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \delta \dot{Q} - \dot{m}_{\text{aire}} (a_{f,s,\text{aire}} - a_{f,e,\text{aire}}) -$$

$$- \dot{m}_{\text{agua}} (a_{f,s,\text{agua}} - a_{f,e,\text{agua}})$$

$$\boxed{\dot{E}x_d = -375'8 - 0'5 \cdot (-3422'2) - 2 \cdot 378'8 = 583'4 \text{ W}}$$

El rendimiento exergético del conducto concéntrico se define suponiendo que el objetivo es utilizar la energía que intercambia el aire en forma de calor para calentar el agua, y por lo tanto, el calor que sale hacia el exterior son pérdidas. La expresión para el cálculo del rendimiento exergético será:

$$\eta_{EX} = \frac{\dot{m}_{agua} (a_{fs, agua} - a_{fe, agua})}{\dot{m}_{aire} (a_{fe, aire} - a_{fs, aire})} \times 100$$

$$\boxed{\eta_{EX} = \frac{2 \cdot 375'8}{0'5 \cdot 3422'2} \times 100 = 44\%}$$



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea

GIPUZKOAKO
INGENIARITZA
ESKOLA
ESCUELA
DE INGENIERÍA
DE GIPUZKOA

DEITURAK/APELLIDOS:

IZENA/ NOMBRE:

TITULAZIOA/ TITULACIÓN:

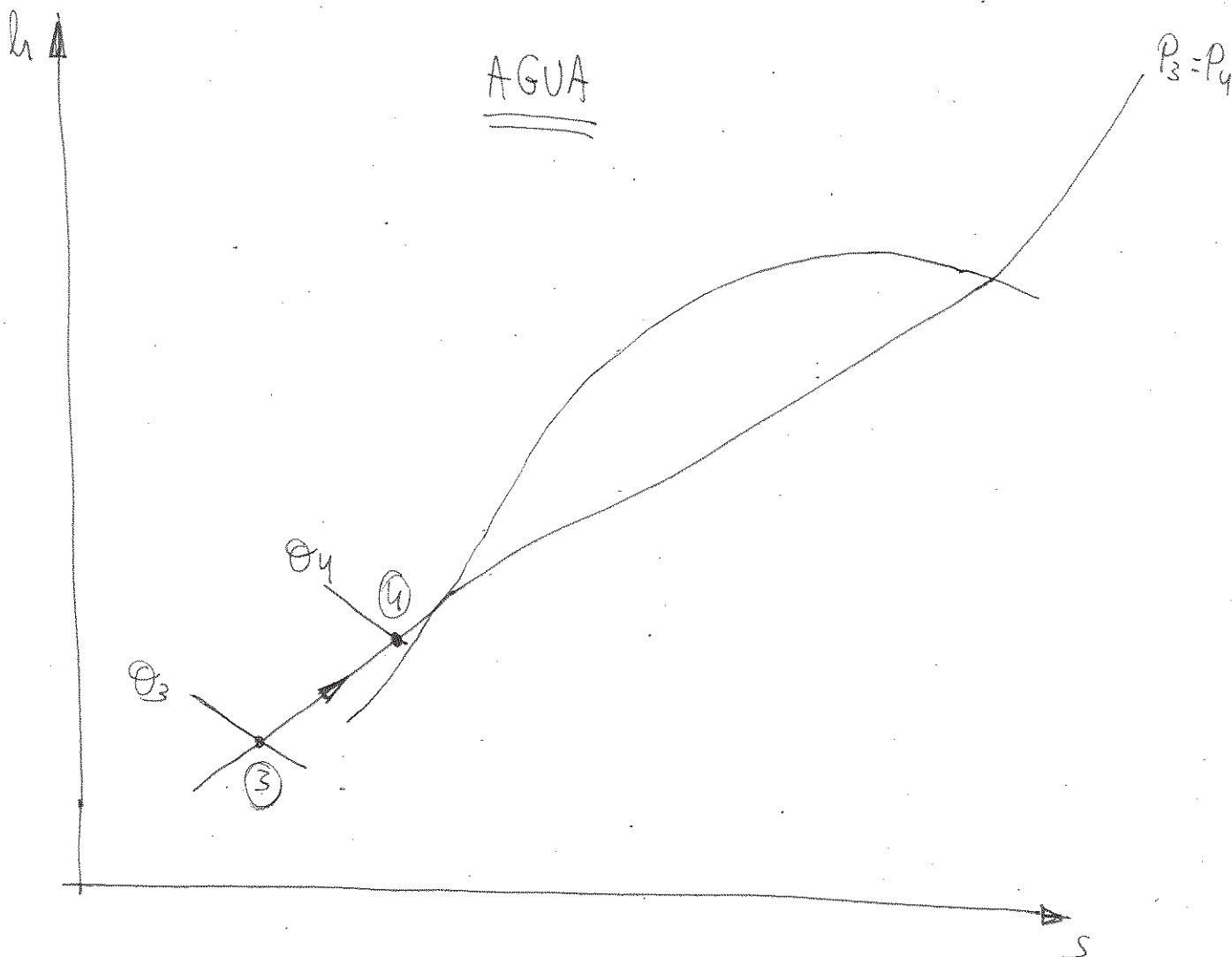
N.A.N/ D.N.I:

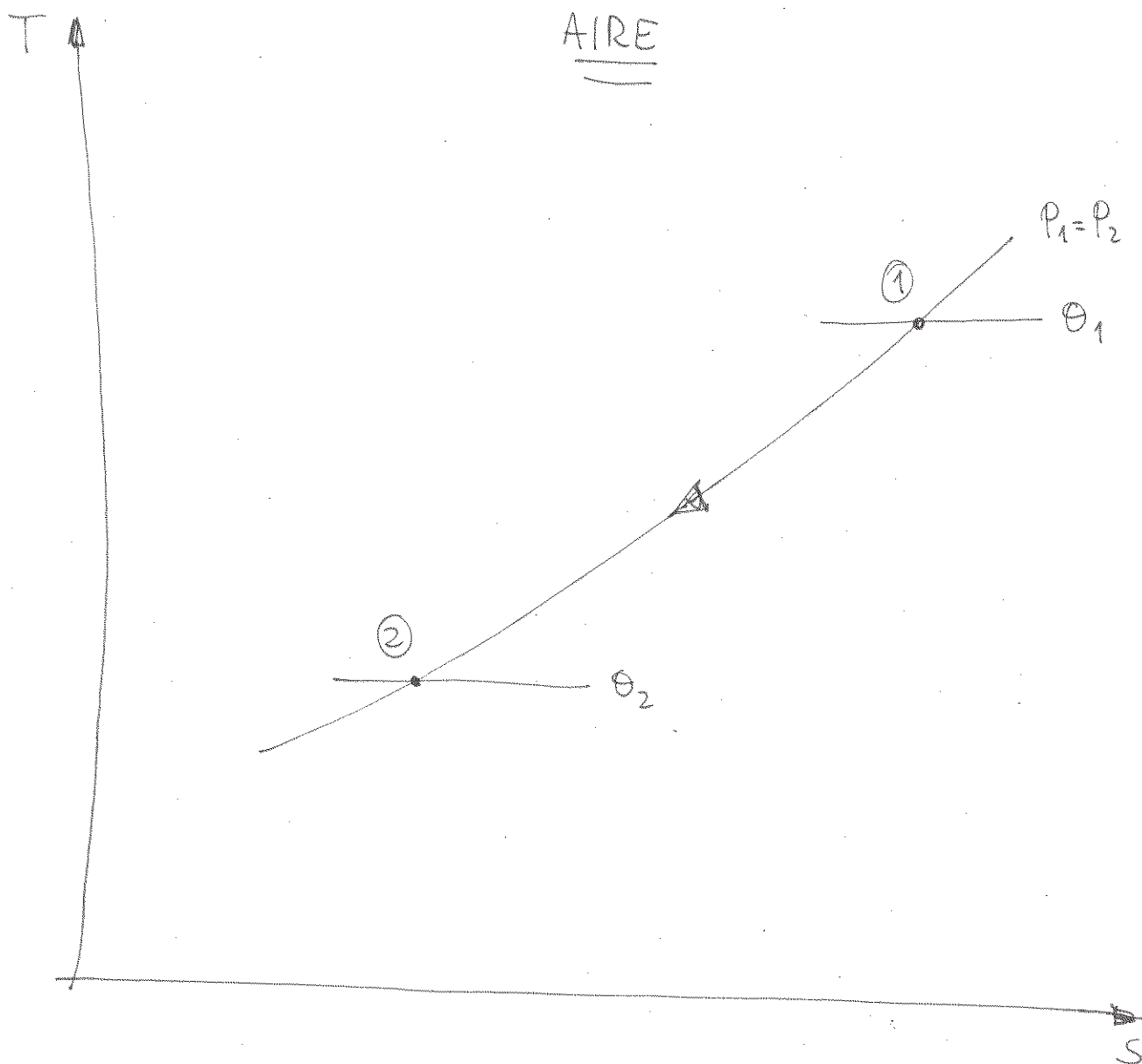
IKASTURTEA/ CURSO:

DATA/ FECHA:

IRAKASGAIA/ ASIGNATURA:

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





① → entrada aire

② → salida aire

DEITURAK/APELLIDOS:

IZENA/ NOMBRE:

TITULAZIOA/ TITULACIÓN:

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

IKASTURTEA/ CURSO:

DATA/ FECHA:

IRAKASGAIA/ ASIGNATURA:

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

EJERCICIO 3

Datos:

- Aire

$$P_1 = 2 \text{ bar}$$

$$\theta_1 = 20^\circ\text{C}$$

$$q_{+12} = 50 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \rightarrow \theta_2 = 60^\circ\text{C}$$

Proceso reversible

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

$$\theta_0 = 20^\circ\text{C}$$

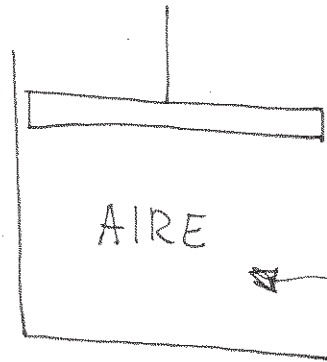
- Se pide:

$$- P_2$$

$$- w$$

$$- \Delta S_{12}$$

$$- \Delta a_{12}$$



$$q_{+12} = 50 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

- Se trata de un sistema cerrado
- El aire se considera como un gas ideal
- Por tratarse de un proceso reversible que sufre un gas ideal, se trata de un proceso politrópico

Para determinar la presión final, primero calcularemos el exponente del proceso politrópico. Sabiendo el valor del exponente politrópico, utilizaremos las relaciones de gases ideales para determinar la presión final.

Para calcular el exponente politrópico utilizaremos el calor específico politrópico:

$$C_m = \left(\frac{n - \gamma}{n - 1} \right) C_v \quad \rightarrow \quad n = \frac{C_m - C_p}{C_m - C_v}$$

Sabiendo que el calor intercambiado en el proceso politrópico se puede calcular como sigue:

$$Q_{12} = m \cdot C_m \cdot (\theta_2 - \theta_1) \rightarrow C_m = \frac{Q_{12}}{m(\theta_2 - \theta_1)}$$

DEITURAK/APELLIDOS:

IZENA/ NOMBRE:

TITULAZIOA/ TITULACIÓN:

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

IKASTURTEA/ CURSO:

DATA/ FECHA:

IRAKASGAIA/ ASIGNATURA:

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

$$C_m = \frac{50}{60-20} = 1'25 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

De tablas sabemos que C_v del aire es igual a $0'718 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$,
y C_p igual a $1'005 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$.

$$m = \frac{C_m - C_p}{C_m - C_v} = \frac{1'25 - 1'005}{1'25 - 0'718} = 0'46$$

Utilizando las relaciones de gases ideales:

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{m}{m-1}} \rightarrow P_2 = P_1 \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{m}{m-1}} = 2 \cdot \left(\frac{273+60}{273+20} \right)^{\frac{0'46}{0'46-1}}$$

$$P_2 = 1'793 \text{ bar}$$

Para calcular el trabajo intercambiado se utiliza el primer principio:

$$Q_{12} = \Delta U_{12} - W_{12} \rightarrow q_{12} = \Delta u_{12} - w_{12}$$

Siendo el aire un gas ideal $\Delta u_{12} = c_v (\theta_2 - \theta_1)$

$$\boxed{W_{12} = q_{12} - \Delta u_{12} = 50 - 0'718(60 - 20) = 21'28 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}$$

Para calcular la variación del aire se aplica la siguiente expresión:

$$\Delta S_{12} = c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R' \ln \frac{P_2}{P_1} = 1'005 \ln \frac{(60+273)}{(20+273)} - 0'287 \ln \frac{1'793}{2}$$

$$\boxed{\Delta S_{12} = 0'15 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}}$$

Finalmente, se calcula la variación de exergía

$$\Delta a_{12} = (u_2 - u_1) + P_0 (v_2 - v_1) - T_0 (s_2 - s_1)$$

$$v_1 = \frac{R' \cdot T_1}{P_1} = \frac{287 \cdot (20+273)}{2 \cdot 10^5} = 0'42 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$v_2 = \frac{R' \cdot T_2}{P_2} = \frac{287 (60+273)}{1'793 \cdot 10^5} = 0'533 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\Delta a_{12} = 0'718(60 - 20) + 100(0'533 - 0'42) - (20+273) \cdot 0'16$$

$$\boxed{\Delta a_{12} = -6'088 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}}$$

DEITURAK/APELLIDOS:

IZENA/ NOMBRE:

TITULAZIOA/ TITULACIÓN:

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

IKASTURTEA/ CURSO:

DATA/ FECHA:

IRAKASGAIA/ ASIGNATURA:

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

