

Ariketa 1. 3.485 kJ/kg-ko entalpia espezifikoa duen 0,5 kg/s-ko ur-gastua, 111 °C eta 0,8 titulua duen beste ur-korrante batekin adiabatikoki nahasten da, irteerako nahaste-korrantea 7,8 kJ/kgK entropia espezifikoz irteten delarik. Kalkula bitez:

- a) Lurrun heze egoeran sartzen den korrante gastua.
- b) Prozesuan suntsitutako exergia.
- c) Prozesuaren etekin exergetikoa.

Oharra: Har bedi 0 °C eta 0,00611 bar erreferentzia egoera gisa.

Ariketa 2. Gas-turbina batean 2 kg/s aire sartzen da 20 bar eta 800 °C egoeran. Turbinan zehar airea 1 bar eta 195 °C-taraino zabaltzen da. Kalkula bitez:

- a) Turbinaren potentzia.
- b) Unibertsoan suntsitutako exergia.
- c) Turbinaren etekin isentropikoa eta etekin exergetikoa.

Oharra: Har bedi 20 °C eta 1 bar erreferentzia egoera gisa.

Ariketa 3. 5 cm-ko barne diametroa eta 1 cm-ko lodiera duen hodi batetik ($k_{\text{hodia}} = 2 \text{ W/mK}$) 0,2 kg/s-ko ur likido gastua daroa. Hodi honek 20 °C-tan aurkitzen den gela bat zeharkatzen du, eta hodiaren kanpo gainazaleko tenperatura 60 °C da. Baldin eta hodiaren luzera 10 m bada, kalkula bedi:

- a) Hodian zeharreko bero fluxua.

Bero-galera horiek murriztearren, hodia isolatzea erabakitzen da 0,5 cm-ko lodiera duen isolatzailea erabiliz. Kasu honetan isolatzailearen kanpo gainazalean neurtutako tenperaturaren balioa 50 °C da. Ur likidoaren tenperatura hodi barnean 65 °C da. Kalkula bedi;

- b) Hodian zeharreko bero fluxua.
- c) Isolatzailearen konduktibitatea.

Denbora: 3 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.

Ejercicio 1. 0,5 kg/s de agua con una entalpía específica de 3.485 kJ/kg se mezclan adiabáticamente con una corriente de agua a 111 °C y título igual a 0,8. La corriente resultante tiene una entropía específica de 7,8 kJ/kgK. Calcúlese:

- a) El gasto del vapor húmedo que se mezcla.
- b) La exergía destruida en el proceso.
- c) Rendimiento exergético del proceso.

Ejercicio 2. A una turbina de gas entra un gasto de aire de 2 kg/s a 20 bar y 800 °C, siendo el estado a la salida de la turbina 1 bar y 195 °C. Calcúlese:

- a) La potencia de la turbina.
- b) La exergía destruida en el universo.
- c) El rendimiento isentrópico y el rendimiento exergético de la turbina.

Nota: Tómese como estado de referencia 20 °C y 1 bar.

Ejercicio 3. Por una tubería ($k_{\text{tubería}} = 2 \text{ W/mK}$) de 10 m de longitud, 5 cm de diámetro interior y 1 cm de espesor, circulan 0,2 kg/s de agua líquida. La tubería atraviesa un local que se encuentra a 20 °C, y la temperatura en la superficie exterior de la tubería es igual a 60 °C. Calcúlese:

- a) El flujo de calor a través de la tubería.

Con el objetivo de reducir esas pérdidas de calor se decide aislar térmicamente la tubería. Para ello se utiliza un aislante que tiene un espesor de 0,5 cm. En este caso, la temperatura en la superficie exterior de la tubería es igual a 50 °C. La temperatura del agua en la tubería es igual a 65 °C. Calcúlese:

- b) El flujo de calor a través de la tubería.
- c) La conductividad del material aislante.

Tiempo: 3 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.



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.

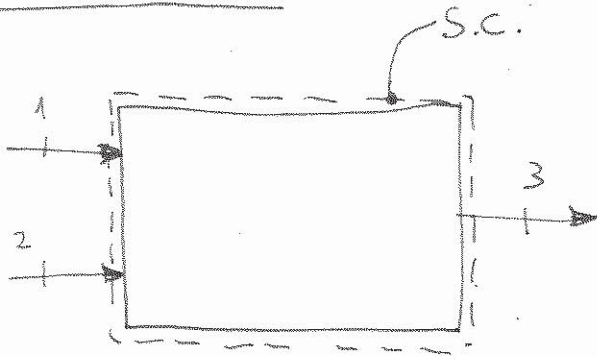
IKASTURTEA / CURSO:

DATA / FECHA:

IRAKASGAIA / ASIGNATURA:

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

EJERCICIO 1



Datos: (Agua)

$$\textcircled{1} \begin{cases} \dot{m}_1 = 0.5 \text{ kg/s} \\ h_1 = 3485 \text{ kJ/kg} \end{cases}$$

$$\textcircled{2} \begin{cases} \theta_2 = 111^\circ\text{C} \\ x_2 = 0.8 \end{cases}$$

$$\textcircled{3} \rightarrow s_3 = 7.8 \text{ kJ/kgK}$$

$$\begin{cases} P_0 = 0.00611 \text{ bar} \\ \theta_0 = 0^\circ\text{C} \end{cases}$$

Se pide:

a) $\dot{m}_2$?

b) $\dot{E}_{x_D}$?

c) $\dot{E}_{ex}$?

- Se desprecian las pérdidas de carga ($P_1 = P_2 = P_3$)

- Se indica que se mezclan de forma adiabática

- Se trata de un sistema abierto

a) Para determinar el gasto del vapor húmedo, aplicaremos el balance de masa y el balance de energía en la cámara de mezcla en régimen permanente

El balance de masa : $\dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3$

El balance de energía mediante la ecuación de la energía:

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

$$0 = (\dot{m}_1 + \dot{m}_2) h_3 - \dot{m}_1 h_1 - \dot{m}_2 h_2$$

$$\dot{m}_2 (h_2 - h_3) = \dot{m}_1 (h_3 - h_1) \rightarrow \dot{m}_2 = \frac{\dot{m}_1 (h_3 - h_1)}{(h_2 - h_3)}$$

Para determinar el valor de la entalpía específica en cada estado se utilizan las tablas.

Como ya se ha indicado, no se consideran pérdidas de



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											
------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

carga, por lo que $P_1 = P_2 = P_3$.

$$\textcircled{2} \left\{ \begin{array}{l} \theta_2 = 111^\circ\text{C} \\ x_2 = 0.8 \end{array} \right. \quad (\text{Tablas de saturación})$$

$$* \left\{ \begin{array}{l} P_2 = 1.4882 \text{ bar} \\ h_2 = 2247.49 \text{ kJ/kg} \\ S_2 = 6.0681 \text{ kJ/kg} \end{array} \right.$$

* Nota: Estos valores se han obtenido mediante interpolación. Se considera válido utilizar los datos correspondientes a la temperatura 111.4°C sin interpolar.

$$\left\{ \begin{array}{l} S_3 = 7.8 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \\ P_3 = P_2 = 1.4882 \text{ bar} \end{array} \right. \quad (\text{Tablas de vapor sobrecalentado})$$

$$h_3 = 2948 \text{ kJ/kg}$$

Sustituyendo los valores de las entalpías específicas:

$$\dot{m}_2 = \frac{\dot{m}_1 (h_3 - h_1)}{(h_2 - h_3)} = \frac{0.5 (2948 - 3485)}{(2247.49 - 2948)} = \boxed{0.383 \text{ kg/s}}$$

b) La exergía destruida en el proceso de mezcla se puede calcular de dos formas distintas. Por una parte, es posible aplicar el balance de entropía al sistema abierto para determinar la entropía generada. Mediante la aplicación de la ecuación de Guy-Stodola se calcularía finalmente la exergía destruida:

$$\dot{E}_{x_D} = T_0 \cdot \dot{S}_G$$

Por otra parte, es posible calcular directamente la exergía destruida aplicando el balance de exergía al sistema abierto.

Aplicando el balance de entropía:

$$\dot{S}_G = \dot{m}_3 \cdot s_3 - \dot{m}_1 s_1 - \dot{m}_2 s_2 - \int_{sc} \frac{\dot{S}_Q}{T}$$

$$\dot{S}_G = \dot{m}_3 \cdot s_3 - \dot{m}_1 \cdot s_1 - \dot{m}_2 s_2$$



DEITURAK / APELLIDOS:

IZENA / NOMBRE:

TITULAZIOA / TITULACIÓN:

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

IKASTURTEA / CURSO:

DATA / FECHA:

IRAKASGAIA / ASIGNATURA:

[illegible]

La entropía específica " s_1 ", se obtiene de tablas del vapor sobrecalentado:

$$\textcircled{1} \begin{cases} h_1 = 3485 \text{ kJ/kg} \\ P_1 = 1.4882 \text{ bar} \end{cases} \rightarrow S_1 = 8.6475 \text{ kJ/kgK}$$

Sustituyendo los valores en la ecuación:

$$\dot{S}_G = \dot{m}_3 \cdot s_3 - \dot{m}_1 \cdot s_1 - \dot{m}_2 \cdot s_2$$

$$\dot{S}_G = (\dot{m}_1 + \dot{m}_2) S_3 - \dot{m}_1 S_1 - \dot{m}_2 S_2$$

$$\dot{S}_G = (0'5 + 0'383) \cdot 7'8 - 0'5 \cdot 8'6475 - 0'383 \cdot 6'0681$$

$$\dot{S}_G = 0.24 \frac{\text{KW}}{\text{K}}$$

$$\dot{E}_{x_D} = T_0 \cdot \dot{S}_G = 273 \cdot 0.24 = \underline{\underline{65.54 \text{ kW}}}$$

Aplicando el balance de exergía en sistemas abiertos:

$$\dot{m}_3 \cdot a_{f3} - \dot{m}_1 \cdot a_{f1} - \dot{m}_2 \cdot a_{f2} = \int \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \delta Q - \cancel{\dot{W}} - \dot{E}_{x_D}$$

$$\dot{E}_{x_D} = \dot{m}_1 \cdot a_{f1} + \dot{m}_2 \cdot a_{f2} - (\dot{m}_1 + \dot{m}_2) a_{f3}$$

$$\dot{E}_{x_D} = \dot{m}_1 (a_{f1} - a_{f3}) + \dot{m}_2 (a_{f2} - a_{f3})$$

$$a_{f1} - a_{f3} = (h_1 - h_3) - T_0 (s_1 - s_3)$$

$$a_{f1} - a_{f3} = (3485 - 2948) - 273(8'6475 - 7'8) = 305'63 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$a_{f2} - a_{f3} = (h_2 - h_3) - T_0 (s_2 - s_3)$$

$$a_{f2} - a_{f3} = (2247'49 - 2948) - 273(6'0681 - 7'8) = -227'71 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Sustituyendo estos resultados en la ecuación del balance de exergía:

$$\boxed{\dot{E}_{x_D} = 0'5 \cdot 305'63 + 0'383 \cdot (-227'71) = 65'54 \text{ kW}}$$



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:

KALIFIRAZIOA CALIFICACIÓN											
------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

c) El rendimiento exergético se define de la siguiente manera en este caso:

$$\eta_{Ex} = \frac{(\dot{m}_1 + \dot{m}_2)(a_{f3} - a_{f0})}{\dot{m}_1(a_{f1} - a_{f0}) + \dot{m}_2(a_{f2} - a_{f0})} \times 100$$

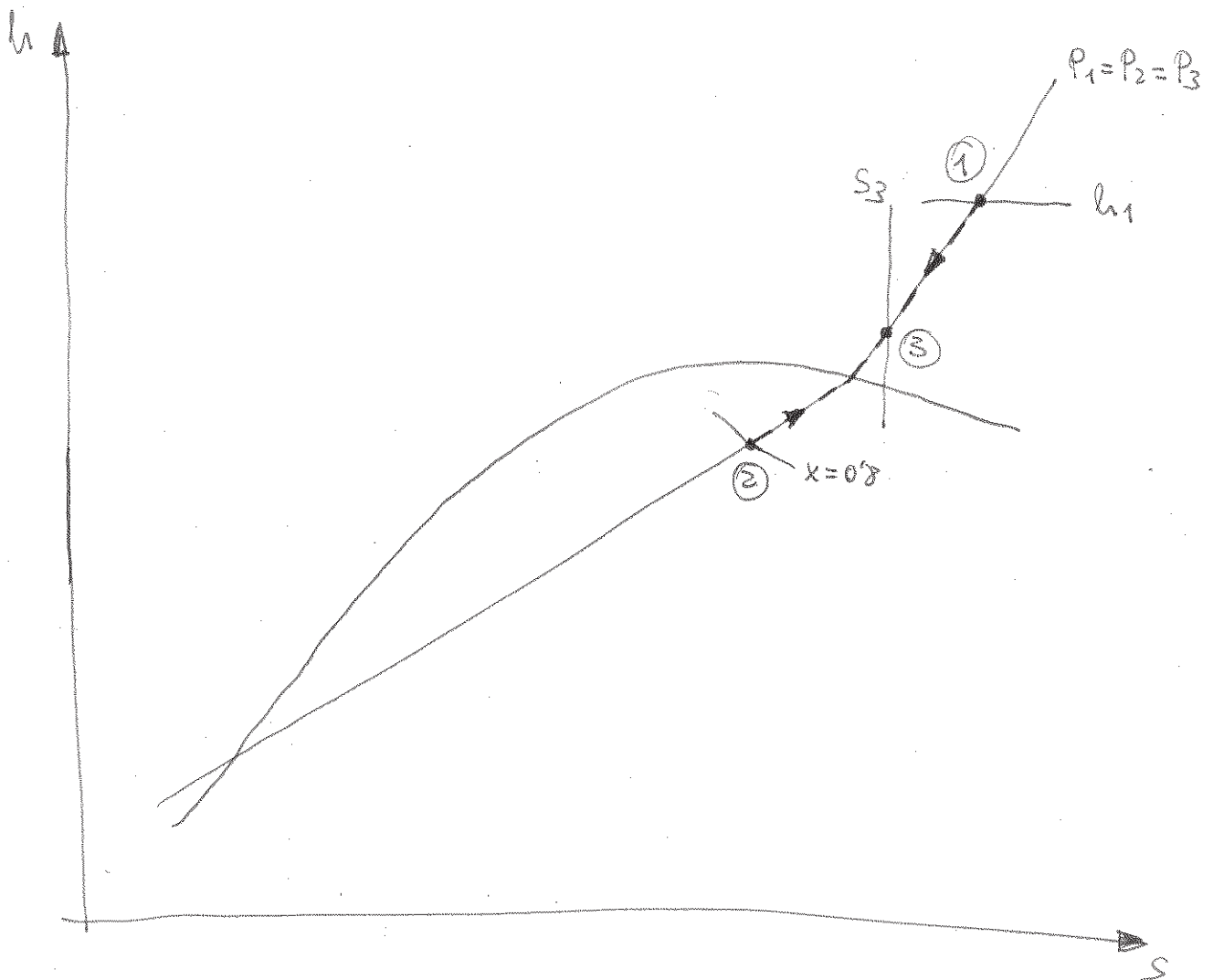
$$\begin{aligned} a_{f1} - a_{f0} &= (h_1 - h_0) - T_0(s_1 - s_0) = (3485 - 0) - 273(8'6475 - 0) = \\ &= 1124'23 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_{f2} - a_{f0} &= (h_2 - h_0) - T_0(s_2 - s_0) = (2247'49 - 0) - 273(6'0681 - 0) = \\ &= 590'9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_{f3} - a_{f0} &= (h_3 - h_0) - T_0(s_3 - s_0) = (2948 - 0) - 273(7'8 - 0) = \\ &= 818'6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \end{aligned}$$

Sustituyendo estos valores en la expresión del rendimiento exergético:

$$\boxed{\eta_{Ex} = \frac{(0.5 + 0.383) \cdot 818.6}{0.5 \cdot 1124.23 + 0.383 \cdot 590.9} \times 100 = 91.7\%}$$



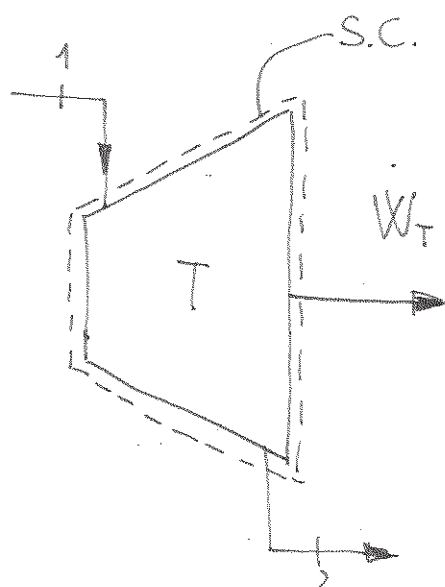
IZENA / NOMBRE:

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

IRAKASGAIA / ASIGNATURA:

[illegible]

EJERCICIO 2



Date:

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

① $\left\{ \begin{array}{l} P_1 = 20 \text{ bar} \\ \theta_1 = 800^\circ \text{C} \end{array} \right.$

$$\textcircled{2} \left\{ \begin{array}{l} P_2 = 1 \text{ bar} \\ \theta_2 = 195^\circ \text{C} \end{array} \right.$$

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

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

Se pide:

a) W_T ?

$$b) \dot{E}_{x_{D, UNIV}}$$

c) h_{ST} , h_{EX} ?

- Se trata de un sistema abierto
- El aire se considera un gas ideal

- Se pide calcular el rendimiento isentrópico de la turbina, por lo que la turbina es adiabática.

a) Para calcular la potencia de la turbina aplicaremos la ecuación de la energía en régimen permanente:

$$\dot{Q} = \dot{m}_{\text{AIRE}} (h_2 - h_1) + \dot{W}_T$$

$$\dot{W}_T = \dot{m}_{\text{AIRE}} (h_1 - h_2) = \dot{m}_{\text{AIRE}} \cdot c_p (\theta_2 - \theta_1)$$

$$\boxed{\dot{W}_T = 2 \cdot 1'005 (800 - 195) = 1216'1 \text{ kW}}$$

b) Para calcular la exergía destruida en el universo, es posible calcular la entropía generada mediante el balance de entropía en sistemas abiertos y después calcular la exergía destruida, o mediante el balance de exergía en sistemas abiertos.

Mediante el balance de entropía en sistemas abiertos:



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											
------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

$$\dot{S}_G = \dot{m}_{\text{AIRE}} (S_2 - S_1) - \int_{SC} \frac{\delta \dot{Q}}{T}$$

$$S_2 - S_1 = c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R' \ln \frac{P_2}{P_1} = 1'005 \ln \frac{(195+273)}{(800+273)} - 0'287 \ln \left(\frac{1}{20} \right) =$$

$$= 0'0259 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

$$\dot{S}_G = \dot{m}_{\text{AIRE}} (S_2 - S_1) = 2 \cdot 0'0259 = 0'0518 \frac{\text{KW}}{\text{K}}$$

$$\boxed{\dot{E}_{XD} = T_0 \cdot \dot{S}_G = (20+273) \cdot 0'0518 = 15'17 \text{ KW}}$$

Aplicando el balance de exergía:

$$\dot{m}_{\text{AIRE}} (a_{f2} - a_{f1}) = \int \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) \delta \dot{Q} - \dot{W}_T - \dot{E}_{XD}$$

$$\dot{E}_{XD} = -\dot{W}_T - \dot{m}_{\text{AIRE}} (a_{f2} - a_{f1})$$

$$a_{f2} - a_{f1} = (h_2 - h_1) - T_0 (S_2 - S_1) = 1'005 \cdot (195 - 800) - (273 + 20$$

$$a_{f2} - a_{f1} = 1'005 (195 - 800) - (20 + 273) \cdot 0'0259 = -615'6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{E}_{x_D} = -\dot{W}_T - \dot{m}_{\text{AIRE}} \cdot (a_{f2} - a_{f1}) = -1216'1 - 2 \cdot (-615'6)$$

$$\boxed{\dot{E}_{x_D} = 15'17 \text{ kW}}$$

c) El rendimiento isentrópico de una turbina se define de la siguiente manera:

$$\eta_{\text{ST}} = \frac{\dot{W}_T}{\dot{W}_{T_s}} = \frac{\dot{m}_{\text{AIRE}} (h_1 - h_2)}{\dot{m}_{\text{AIRE}} (h_1 - h_{2'})} = \frac{c_p (\theta_1 - \theta_2)}{c_p (\theta_1 - \theta_{2'})} =$$

$$= \frac{\theta_1 - \theta_2}{\theta_1 - \theta_{2'}}$$

Para calcular θ_2 supondremos que el proceso de expansión en la turbina además de adiabático es reversible, y por lo tanto isentrópico. Utilizaremos las relaciones de gases ideales:



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.

IRASTURTEA / CURSO:

DATA / FECHA:

IRAKASGAIA / ASIGNATURA:

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

$$\frac{T_{2'}}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \rightarrow T_{2'} = T_1 \cdot \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

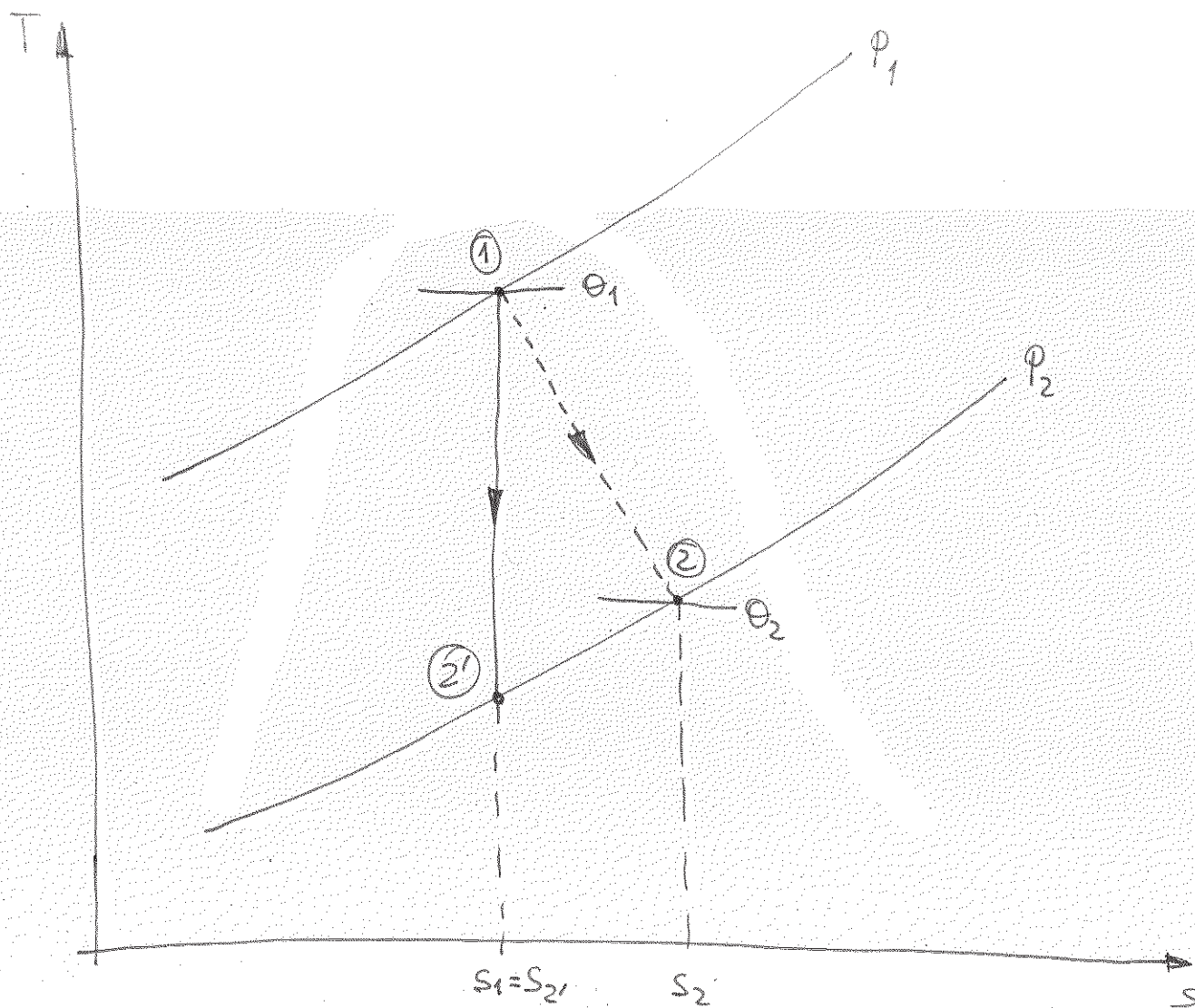
$$T_{2'} = (800 + 273) \cdot \left(\frac{1}{20}\right)^{\frac{1.4-1}{1.4}} = 455.9 \text{ K}$$

$$\theta_{2'} = 182.9 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\boxed{\eta_{ST} = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\theta_1 - \theta_{2'}} = \frac{800 - 195}{800 - 182.9} = 0.98 \rightarrow 98\%}$$

El rendimiento exergético de la turbina lo calcularemos de la siguiente manera:

$$\boxed{\eta_{EX} = \frac{W_T}{\dot{m}_{AIRE} (a_{f1} - a_{f2})} = \frac{1216.1}{2 \cdot 615.6} = 0.988 \rightarrow 98.8\%}$$





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.

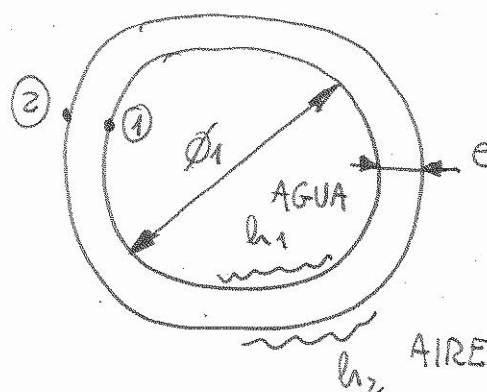
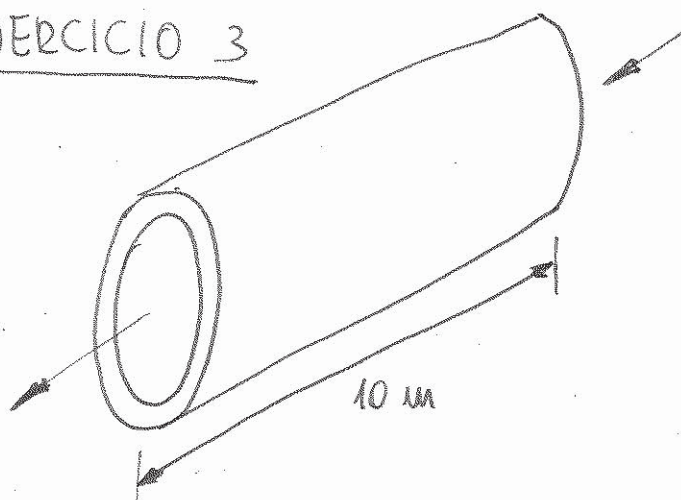
IRASTURTEA / CURSO:

DATA / FECHA:

IRAKASGAIA / ASIGNATURA:

KALIFIKAZIOA
CALIFICACIÓN

EJERCICIO 3



Datos:

Agua:

$$- \dot{m}_{\text{AGUA}} = 0.2 \text{ kg/s}$$

Tubería:

$$- k_{\text{tubería}} = 2 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$

$$- L_{\text{tubería}} = 10 \text{ m}$$

$$- \phi_1 = 5 \text{ cm}$$

$$- e = 1 \text{ cm}$$

$$- \theta_2 = 60^\circ\text{C}$$

Aire:

$$- \theta_{\text{AIRE}} = 20^\circ\text{C}$$

Se pide: a) $\dot{Q}$?

- Se considera régimen permanente
- Se considera que el aire en contacto con la tubería se encuentra en reposo.

La superficie exterior de la tubería se encuentra a mayor temperatura que el aire, por lo que la tubería cede calor por convección natural al aire que se encuentra en reposo. La superficie exterior de la tubería recibe calor por conducción desde la superficie interior de la tubería, la cual recibe calor del agua, que se enfría, por convección forzada.

Para calcular el flujo de calor a través de la tubería aplicaremos la ley de enfriamiento de Newton en la superficie exterior, sabiendo que se trata de un problema de convección natural exterior a cilindro horizontal:



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.

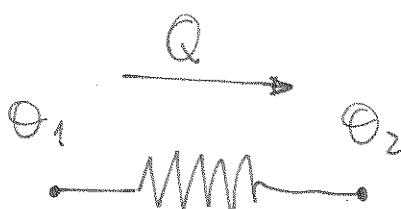
IRASTURTEA / CURSO:

DATA / FECHA:

IRAKASGAIA / ASIGNATURA:

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

$$Q = h_2 A_2 \cdot (\theta_2 - \theta_{\text{aire}}) = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\frac{1}{h_2 A_2}} = \frac{\theta_1 - \theta_2}{R_{2,\text{conv}}}$$



$$R_{2,\text{conv}} = \frac{1}{h_2 A_2}$$

Para calcular la resistencia térmica que corresponde a la convección natural exterior a cilindro horizontal, primero se calculará el coeficiente de convección:

$$Nu = 0.53 \cdot Ra^{1/4}$$

$$\theta_{\text{carac}} = \frac{\theta_p + \theta_f}{2} = \frac{60 + 20}{2} = 40^\circ\text{C}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho = 1.127 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ c_p = 1007 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \end{array} \right.$$

$$k = 0.02662 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$

$$\mu = 1.912 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{ms}}$$

$$D = 1.702 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Pr = 0.7255$$

El número de Rayleigh $\rightarrow Ra = Gr \cdot Pr = \frac{g \cdot \beta \Delta \theta \pi^3}{D^2} \cdot Pr$

El aire se considera como gas ideal $\rightarrow \beta = \frac{1}{T_{carac}}$

$$Ra = \frac{g \cdot \beta \Delta \theta \phi_2^3}{D^2} \cdot Pr = \frac{9'81 \frac{1}{313} \cdot (60 - 20) \cdot 0'07^3}{(1'702 \cdot 10^{-5})^2} \cdot 0'7255$$

$$Ra = 1076953'8 < 10^9$$

$$Nu = 0'53 \cdot Ra^{1/4} = 0'53 \cdot (1076953'8)^{1/4} = 17'07$$

$$Nu = \frac{h_2 \cdot \pi}{k} = \frac{h_2 \cdot \phi}{k} \rightarrow h_2 = \frac{Nu \cdot k}{\phi_2} = \frac{17'07 \cdot 0'2662}{0'07} = 6'49 \frac{W}{m^2 K}$$

Se calcula el área de la superficie de intercambio de calor entre la tubería y el aire:

$$A_2 = 2\pi \frac{\phi_2}{2} L = 2\pi \cdot \frac{0'07}{2} \cdot 10 = 2'2 \text{ m}^2$$

$$R_{2, conv} = \frac{1}{h_2 \cdot A_2} = \frac{1}{6'49 \cdot 2'2} = 0'07 \frac{K}{W}$$



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.

IRASTURTEA / CURSO:

DATA / FECHA:

IRAKASGAIA / ASIGNATURA:

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

$$\dot{Q} = \frac{\theta_2 - \theta_{\text{AIRE}}}{R_{z, \text{conv}}} = \frac{60 - 20}{0'07} = 571'1 \text{ W}$$

El valor del número de Nusselt se podría haber calculado utilizando la siguiente correlación:

$$Nu = \left(0'6 + \frac{0'387 \cdot Ra^{1/6}}{\left(1 + \left(\frac{0'559}{Pr} \right)^{1/4} \right)^{4/9}} \right)^2$$

Utilizando esta correlación el número de Nusselt obtenido sería:

$$Nu = 14'89$$

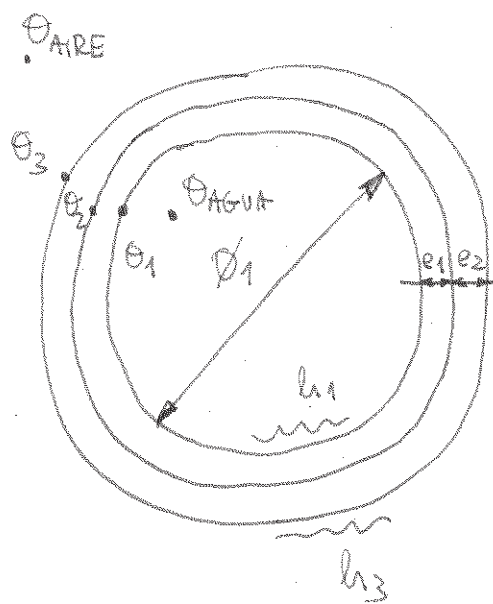
El coeficiente de convección $h_2 = 5'66 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$

El flujo de calor

$$\dot{Q} = 497'69 \text{ W}$$

Ambos resultados se consideran correctos en la corrección del examen.

En la segunda parte del ejercicio se aísla la tubería:



Datos:

- Agua:

$$\dot{m}_{AGUA} = 0'2 \text{ kg/s}$$

$$\theta_{AGUA} = 65^\circ\text{C}$$

- Aire:

$$\theta_{AIRE} = 20^\circ\text{C}$$

- Tubería:

$$k_{tubería} = 2 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$

$$L_{tubería} = 10 \text{ m}$$

$$\phi_1 = 5 \text{ cm}$$

$$e_1 = 1 \text{ cm}$$

- Aislamiento

$$e_2 = 0'5 \text{ cm}$$

$$\theta_3 = 50^\circ\text{C}$$

Se pide: b) $\dot{Q}'$?

c) $k_{aísl}$?

b) El cálculo del flujo de calor a través de la tubería se calcula siguiendo el mismo procedimiento que en el apartado "a".



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.

IRASTURTEA / CURSO:

DATA / FECHA:

IRAKASGAIA / ASIGNATURA:

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

$$\dot{Q}' = h_3 \cdot A_3 \cdot (\theta_3 - \theta_{AIRE}) = \frac{\theta_3 - \theta_{AIRE}}{\frac{1}{h_3 A_3}} = \frac{\theta_3 - \theta_{AIRE}}{R_{3, CONV}}$$

Se trata de un problema de convección natural exterior a cilindro horizontal:

$$Nu = 0.53 Ra^{1/4}$$

$$\theta_{carac} = \frac{\theta_p + \theta_f}{2} = \frac{50 + 20}{2} = 35^\circ C$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho = 1.145 \frac{kg}{m^3} \\ c_p = 1007 \frac{J}{kgK} \end{array} \right.$$

$$k = 0.02625 \frac{W}{mK}$$

$$D = 1.655 \cdot 10^{-5} \frac{m^2}{s}$$

$$\mu = 1.895 \cdot 10^{-5} \frac{kg}{ms}$$

$$Pr = 0.7268$$

$$Ra = Gr \cdot Pr = \frac{g \cdot \beta \Delta \theta \pi^3}{D^2} \cdot Pr = \frac{9.81 \cdot \frac{1}{308} (50 - 20) 0.08^3}{(1.895 \cdot 10^{-5})^2} \cdot 0.7268$$

$$Ra = 1298160.6 < 10^9$$

$$Nu = 0.53 Ra^{1/4} = 0.53 (1298160.6)^{0.25} = 17.89$$

$$Nu = \frac{h_3 \cdot \phi_3}{k} \rightarrow h_3 = \frac{Nu \cdot k}{\phi_3} = \frac{17.89 \cdot 0.02625}{0.08} = 5.87 \frac{W}{m^2 K}$$

El área de la superficie de intercambio de calor entre el aislante y el aire:

$$A_3 = 2\pi \phi_3 \cdot L = 2\pi \frac{0.08}{2} \cdot 10 = 2.51 \text{ m}^2$$

$$R_{3, \text{CONV}} = \frac{1}{h_3 \cdot A_3} = \frac{1}{5.87 \cdot 2.51} = 0.0678 \frac{K}{W}$$

$$\boxed{\dot{Q}} = \frac{\theta_3 - \theta_{\text{AIRE}}}{R_{3, \text{CONV}}} = \frac{50 - 20}{0.0678} = \boxed{442.48 \text{ W}}$$

Como en el caso del apartado "a", se podría haber utilizado la siguiente correlación:

$$Nu = \left(0.6 + \frac{0.387 Ra^{1/6}}{\left(1 + \left(\frac{0.559}{Pr} \right)^{1/6} \right)^{1/4}} \right)^2$$



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											
------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

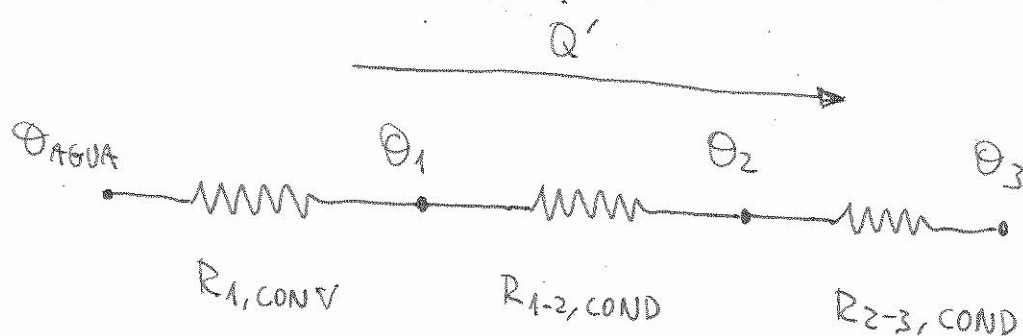
Los resultados parciales y final obtenidos mediante esta relación serán:

$$Nu = 15'69$$

$$h_3 = 5'15 \frac{W}{m^2K}$$

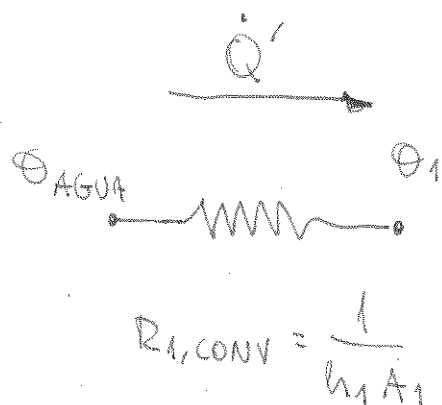
$$\dot{Q}' = 388'3 \text{ W}$$

c) Para calcular la conductividad del material aislante, se calculará primero su resistencia térmica. Para ello, se considera el siguiente circuito:



Se empieza calculando las temperaturas θ_1 y θ_2 , y así determinamos la resistencia térmica del aislante

Para calcular θ_1 :



$$\dot{Q}' = \frac{\theta_{AGUA} - \theta_1}{R_{1, CONV}}$$

El coeficiente de convección se calcula sabiendo que se trata de un problema de convección forzada interior a un conducto.

Dittus - Boelter: $Nu = 0'023 Re^{0'8} \cdot Pr^{0'3}$ (el fluido se enfría)

$$\theta_{carac} = \frac{\theta_e + \theta_s}{2} = \theta_{Agua} = 65^\circ C$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho = 980'4 \frac{kg}{m^3} \\ c_p = 4187 \frac{J}{kg \cdot K} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} k = 0'659 \frac{W}{m \cdot K} \\ \mu = 4'33 \cdot 10^{-4} \frac{kg}{m \cdot s} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} D = 4'417 \cdot 10^{-7} \frac{m^2}{s} \\ Pr = 2'75 \end{array} \right.$$

$$Re = \frac{\rho \cdot \pi \cdot c}{\mu} = \frac{\pi \cdot c}{D} = \frac{\phi_1 \cdot c}{D}$$



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.

IRASTURTEA / CURSO:

DATA / FECHA:

IRAKASGAIA / ASIGNATURA:

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

La velocidad del agua se calcula mediante la ecuación de la continuidad:

$$\dot{m}_{\text{Agua}} = \rho \cdot A_{s1} \cdot C \rightarrow C = \frac{\dot{m}_{\text{Agua}}}{\rho \cdot A_{s1}} = \frac{0'2}{980'4 \cdot \pi \frac{0'05^2}{4}}$$

$$C = 0'104 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Re = \frac{\phi_1 \cdot C}{D} = \frac{0'05 \cdot 0'104}{4'417 \cdot 10^{-7}} = 11767'9 > 10000$$

$$Nu = 0'023 \cdot Re^{0'8} \cdot Pr^{0'3} = 0'023 \cdot (11767'9)^{0'8} \cdot 2'75^{0'3} = 56'25$$

$$Nu = \frac{h_1 \cdot \pi}{k} = \frac{h_1 \cdot \phi_1}{k} \rightarrow h_1 = \frac{Nu \cdot k}{\phi_1} = \frac{56'25 \cdot 0'659}{0'05}$$

$$h_1 = 741'32 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$$

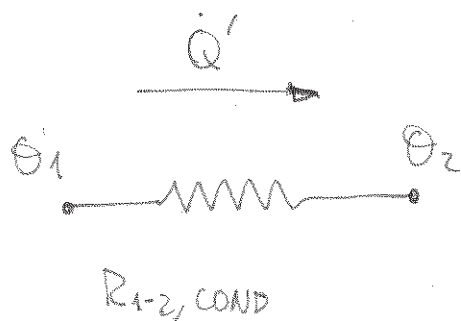
La superficie de intercambio de calor entre el agua y la tubería tiene un área igual a:

$$A_1 = \pi \frac{\phi_1^2}{4} = \pi \frac{0'05^2}{4} = 1'57 \text{ m}^2$$

$$\dot{Q}' = \frac{\theta_{\text{AGUA}} - \theta_1}{R_{1,\text{CONV}}} = \frac{\theta_{\text{AGUA}} - \theta_1}{\frac{1}{h_1 \cdot A_1}} \rightarrow \theta_1 = \theta_{\text{AGUA}} - \frac{\dot{Q}'}{h_1 \cdot A_1}$$

$$\theta_1 = 65 - \frac{442'8}{741'32 \cdot 1'57} = 64'62^\circ\text{C}$$

Calculada la temperatura θ_1 , se calcula θ_2 :



$$\dot{Q}' = \frac{\theta_1 - \theta_2}{R_{1-2, \text{COND}}} = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi k_{\text{tub}} L_{\text{tub}}}}$$

$$\theta_2 = \theta_1 - \dot{Q}' \cdot \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi k_{\text{tub}} L_{\text{tub}}} = 64'62 - 442'8 \cdot \frac{\ln\left(\frac{0'07}{0'05}\right)}{2\pi \cdot 2 \cdot 10}$$

$$\theta_2 = 63'43^\circ\text{C}$$

Finalmente, se determina la resistencia térmica $R_{2-3, \text{COND}}$



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.

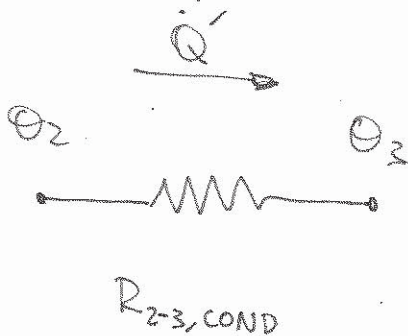
IRASTURTEA / CURSO:

DATA / FECHA:

IRAKASGAIA / ASIGNATURA:

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

para después despejar el valor de la conductividad:



$$\dot{Q}' = \frac{\theta_2 - \theta_3}{R_{2-3, COND}} = \frac{\theta_2 - \theta_3}{\frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi k_{airl} \cdot L}}$$

$$k_{airl} = \frac{\theta_2 - \theta_3}{\dot{Q}' \cdot \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi L}} = \frac{63'43 - 50}{442'8 \cdot \frac{\ln\left(\frac{0'08}{0'07}\right)}{2\pi \cdot 10}} = 0'07 \frac{W}{m \cdot K}$$

Si en el apartado "b" el flujo de calor se obtiene con la siguiente expresión:

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

se obtienen los siguientes resultados parciales y final:

$$\theta_1 = 64'67^\circ \text{C}$$

$$\theta_2 = 63'63^\circ \text{C}$$

$$k_{aisl} = 0'06 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$