

1. ariketa. Konpresore itzulgarri batean 2 kg/s-ko helio gastua sartzen da 1 bar eta 20 °C-tan. Konpresorearen konpresio-erlazioa 5 da eta irteerako helioaren tenperatura 90 °C-koa da. Kalkulatu:

- a- Helioaren entropia-aldaketa denbora unitateko (**% 25**).
- b- Konpresio-prozesuaren berretzaile politropikoa (**%25**).
- c- Konpresorearen potentzia (**%25**).
- d- Unibertsoan suntsitutako exergia denbora-unitateko (**%25**).

Oharra: Kontsidera bedi erreferentzia-tenperatura gisa kanpo ingurunearen tenperatura bera, 15 °C-koa.

2. ariketa. 90 °C-tan dagoen 5 litro ur isurtzen dira hasieran 20 °C-tan dagoen 15 litrotako ur-depositu batera. Kalkulatu:

- a- Hasieran deposituan dagoen uraren entropia-aldaketa espezifikoa prozesuan zehar (**% 50**).
- b- Prozesuan zehar unibertsoan suntsitutako exergia (**%50**).

Oharra: Kontsidera bedi depositua adiabatikoa eta erreferentzia-tenperatura 15 °C.

3. ariketa.

Oharra: a) eta b) atalak bi eratara ebatzi behar dira, bai analitikoki, bai analogia elektrikoa erabiliz.

12 W/mK-ko eroankortasun termikoa, 1,5 m-ko altuera eta 30 cm-ko lodiera duen horma baten kanpoko gainazala airearekin kontaktuan dago. Aire geldirik eta 5 °C-tan dago. Hormaren barruko gainazala 22 °C-tan dago eta horman zeharreko bero-galerak 80 W/m²-koak dira. Kalkulatu:

- a- Hormaren kanpoko gainazaleko tenperatura (**% 20 analitikoki; % 20 analogia elektrikoa**).
- b- Hormaren eta kanpoko airearen arteko konbekzio-koefizientea (**% 20 analitikoki; % 20 analogia elektrikoa**).
- c- Kanpoko muga termiko geruzaren Nusselt zenbakia (**% 20**).

Oharra: Dimentsiorik gabeko konbekzio-parametroetarako, gainazalaren eta fluidoaren arteko batez besteko tenperatura erabili behar da tenperatura karakteristiko gisa.

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.

Problema 1. En un compresor reversible entran 2 kg/ s de He a 1 bar y 20 °C. La relación de compresión del compresor es de 5 y la temperatura del helio en la salida es de 90 °C. Calcúlese:

- a- La variación de entropía del helio por unidad de tiempo **(25%)**.
- b- El exponente politrópico del proceso de compresión **(25%)**.
- c- La potencia del compresor **(25%)**.
- d- La exergía destruida en el universo por unidad de tiempo **(25%)**.

Nota: Considérese la temperatura de referencia igual a la temperatura del medio circundante, 15 °C.

Problema 2. Se vierten 5 litros de agua a 90 °C en un depósito que inicialmente contiene 15 litros de agua a 20 °C. Calcúlese:

- a- La variación de entropía específica del agua que inicialmente se encuentra en el depósito **(50%)**
- b- La exergía destruida en el universo durante el proceso **(50%)**

Nota: Considérese el depósito adiabático y la temperatura de referencia 15 °C.

Problema 3.

Atención: los apartados a) y b) deben resolverse de ambas maneras, tanto analíticamente como empleando la analogía eléctrica.

Una pared de conductividad térmica 12 W/mK, altura 1,5 m y espesor 30 cm, está en contacto con aire exterior en reposo a 5 °C. La superficie interior de la pared se encuentra a 22 °C y las pérdidas de calor a través de la pared son de 80 W/m². Calcúlese:

- a- La temperatura superficial exterior de la pared **(20 % analíticamente; 20% analogía eléctrica)**.
- b- El coeficiente de convección entre pared y aire exterior **(20 % analíticamente; 20% analogía eléctrica)**
- c- El número de Nusselt en la capa límite térmica exterior **(20%)**

Nota: Para los parámetros adimensionales de la convección debe utilizarse como temperatura característica la temperatura media entre la superficie y la del fluido.

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.

Problem 1. A reversible compressor is supplied with 2 kg/s of He at 1 bar and 20 °C. The compressor compression ratio is 5 and the temperature of Helium at the outlet is 90 °C. Calculate:

- a- The entropy change of Helium per unit of time **(25%)**
- b- The polytropic exponent of the compression process **(25%)**
- c- The power of the compressor **(25%)**
- d- The exergy destroyed in the universe per unit of time **(25%)**

Note: consider the reference temperature equal to the temperature of the surroundings, 15 °C.

Problem 2. 5 liters of water at 90 °C are poured into a tank that initially contains 15 liters of water at 20 °C. Calculate:

- a- The specific entropy variation of the water initially in the tank **(50%)**
- b- The exergy destroyed in the universe during the process **(50%)**

Note: consider the tank adiabatic and the reference temperature 15 °C.

Problem 3.

Note: sections a) and b) must be solved in both ways, both analytically and using the electrical analogy.

A wall with thermal conductivity 12 W/mK, height 1.5 m and thickness 30 cm, is in contact with outdoor air in repose and at 5 °C. The inner surface of the wall is at 22 °C and the heat losses through the wall are 80 W/m². Calculate:

- a- The external surface temperature of the wall **(20% analytically; 20% electrical analogy)**.
- b- The convection coefficient between the wall and the external air **(20% analytically; 20% electrical analogy)**
- c- Nusselt number in the external thermal boundary layer **(20%)**

Note: For dimensionless convection parameters, the average temperature between the surface and the fluid should be used as the characteristic temperature.

Time: 2.5 hours

Each exercise is worth one third of the value of the total exam.

Exam papers that are not identified with name and surname, ID, group number and degree, will not be corrected.

Para representar el proceso en los diagramas, primero se

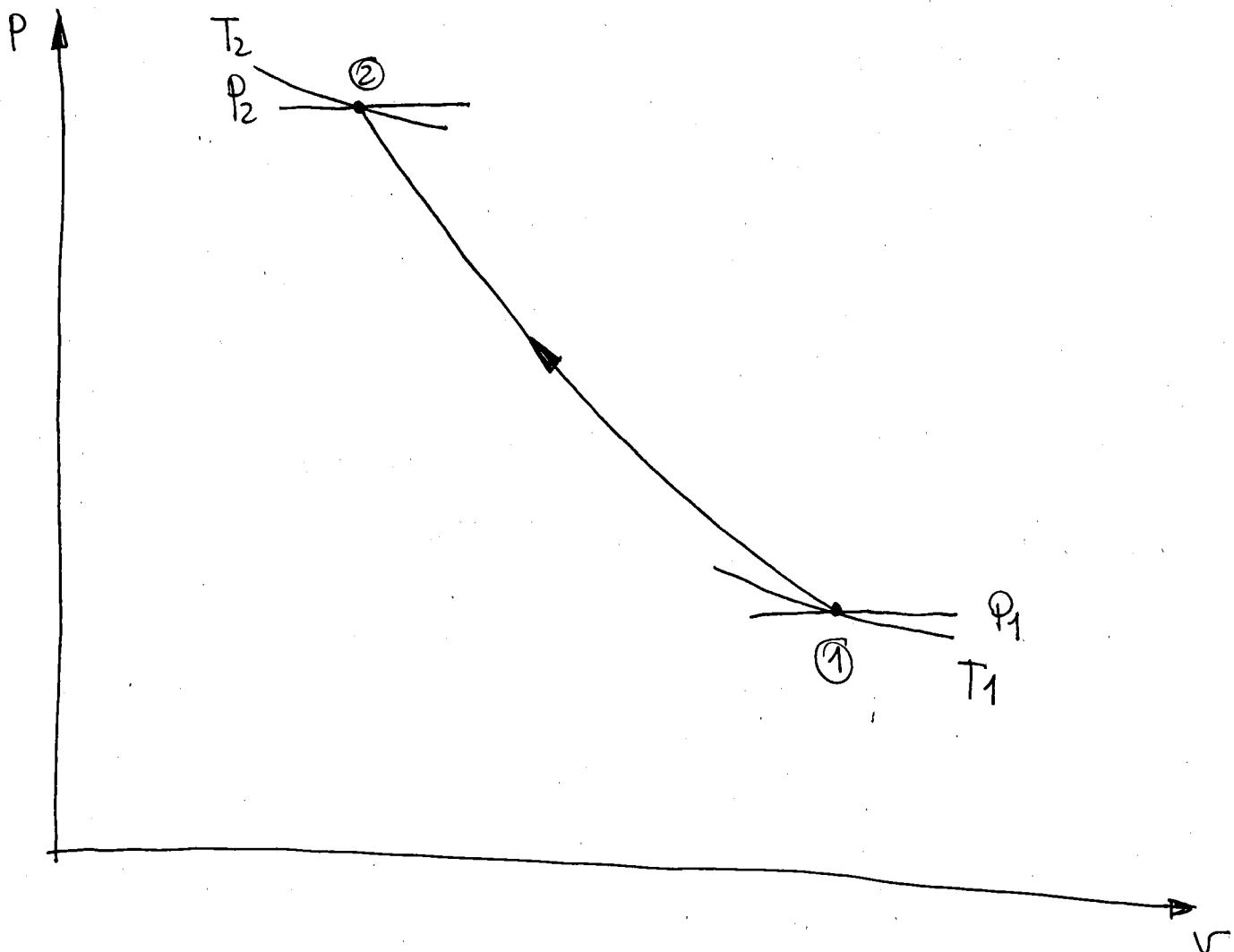
2
determina el valor del exponente politrópico:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} \rightarrow \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) = \left(\frac{n-1}{n}\right) \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) =$$

$$= \ln\left(\frac{363}{293}\right) = \left(\frac{n-1}{n}\right) \ln 5 = 1'6094 = \left(\frac{n-1}{n}\right) \cdot 0'2142$$

$$\boxed{n = \frac{1'6094}{(1'6094 - 0'2142)} = 1'535}$$

Con esto contestamos además el apartado b) de este primer ejercicio.





Universidad del País Vasco Euskal Herriko Unibertsitatea

GIPUZKOAKO INGENIARITZA ESKOLA ESCUELA DE INGENIERÍA DE GIPUZKOA

DEITURAK / APELLIDOS:

IZENA / NOMBRE:

TITULAZIOA / TITULACIÓN:

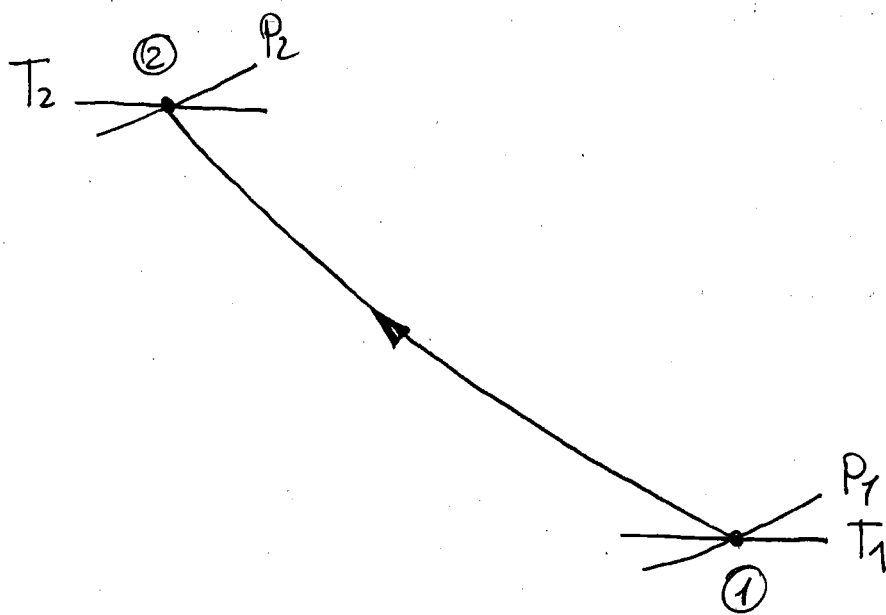
N.A.N. / D.N.I.:

IRASTURTEA / CURSO:

DATA / FECHA:

IRAKASGAIA / ASIGNATURA:

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



a) Sabiendo que se trata de un gas ideal, la variación de entropía del helio por unidad de tiempo se calculará de la siguiente manera:

$$\dot{\Delta S}_{12} = \dot{m} \cdot (S_2 - S_1) = \dot{m} \cdot \left(c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R' \ln \frac{P_2}{P_1} \right)$$

4

De tablas obtenemos que para el helio $\left\{ \begin{array}{l} c_p = 5'19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \\ R' = 2'077 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \end{array} \right.$

Por lo tanto:

$$\boxed{\Delta S_{12} = 2 \cdot \left(5'19 \cdot \ln \frac{363}{293} - 2'077 \ln 5 \right) = -4'462 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}}$$

c) La potencia del compresor se calcula mediante el trabajo de eje o de máquina; por tratarse de un proceso politrópico, se puede calcular de forma analítica utilizando:

$$\begin{aligned} W_c &= - \int_{P_1}^{P_2} v \, dP = - \int_{P_1}^{P_2} \left(\frac{cte}{P} \right)^{1/n} dP = \dots = \frac{n}{n-1} \cdot (P_1 \cdot v_1 - P_2 \cdot v_2) = \\ &= \frac{n}{n-1} \cdot R' (T_1 - T_2) \end{aligned}$$

La potencia del compresor $\rightarrow \dot{W}_c = \dot{m} \cdot w_c$

$$\dot{W}_c = \dot{m} \cdot \left(\frac{n}{n-1} \right) \cdot R' (T_1 - T_2) = 2 \cdot \left(\frac{1'1535}{1'1535 - 1} \right) 2'077 (293 - 363)$$

$$\boxed{\dot{W}_c = -2184'53 \text{ kW}}$$



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:

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

d) La exergía destruida en el universo se puede calcular de dos formas. La primera es calculando la entropía generada en el universo y aplicando la ecuación de Gyg-Stodola. La segunda, aplicando el balance de exergía en el universo.

Calculando la entropía generada en el universo

$$\Delta \dot{S}_{UNIV} = \int \frac{\delta \dot{Q}}{T} + \dot{S}_{G_{UNIV}}$$

Para calcular la entropía generada en el universo, aplicamos el balance de entropía en el universo. El universo es un sistema aislado.

$$\Delta \dot{S}_{UNIV} = \dot{S}_{G_{UNIV}}$$

$$\dot{\Delta S}_{\text{UNIV}} = \dot{\Delta S}_{12} + \dot{\Delta S}_{\text{MC}}$$

Ya se ha calculado la variación de entropía por unidad de tiempo del helio en el apartado a).

Para calcular la variación de entropía del medio circundante, apliquemos el balance de entropía en el mismo:

$$\dot{\Delta S}_{\text{MC}} = \int \frac{\delta \dot{Q}}{T} + \dot{S}_{\text{GMC}}$$

Se considera que el medio circundante es un depósito térmico, por lo tanto su temperatura permanece constante:

$$\dot{\Delta S}_{\text{MC}} = \int \frac{\delta \dot{Q}}{T} + \cancel{\dot{S}_{\text{GMC}}} = \frac{\dot{Q}_{\text{MC}}}{T_{\text{MC}}} = -\frac{\dot{Q}_{\text{C}}}{T_{\text{MC}}}$$

El calor que cede el compresor es el que recibe el medio circundante.

El calor intercambiado por el compresor con el medio



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

circundante se puede calcular aplicando la ecuación de la energía en régimen permanente o, ya que el proceso es politrópico, el calor específico politrópico.

Mediante la ecuación de la energía en régimen permanente
Se desprecian las variaciones de energía cinética y de energía potencial gravitatoria.

$$\dot{Q}_c = \dot{m}(h_2 - h_1) + \dot{W}_c = \dot{m} \cdot c_p(T_2 - T_1) + \dot{W}_c$$

$$\dot{Q}_c = 2 \cdot 5'19(363 - 293) + (-2184'53) = -1457'93 \text{ kW}$$

Utilizando el calor específico politrópico

$$c_m = \left(\frac{\gamma - n}{1 - n} \right) \cdot c_v$$

De tablas $\rightarrow c_v = 3'11$ y $\gamma = 1'667$

$$c_m = \left(\frac{1'667 - 1'1535}{1 - 1'1535} \right) \cdot 3'11 = -10'41 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$\dot{Q}_c = \dot{m} \cdot c_m (T_2 - T_1) = 2 \cdot (-10'4) (363 - 293) = -1457'93 \text{ kW}$$

$$\dot{\Delta S}_{MC} = \frac{-\dot{Q}_c}{T_{MC}} = \frac{1457'93}{288} = 5'06 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}$$

$$\dot{\Delta S}_{UNIV} = \dot{S}_{G_{UNIV}} = \dot{\Delta S}_{12} + \dot{\Delta S}_{MC} = -4'462 + 5'06$$

$$\dot{S}_{G_{UNIV}} = 0'6 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}$$

Aunque el compresor sea reversible, el intercambio de calor entre el compresor y el medio circundante es irreversible al ser motivado por una diferencia finita de temperaturas.

Aplicando la ecuación de Guy-Stodola:

$$\boxed{\dot{Ex}_{D_{UNIV}}} = T_0 \cdot \dot{S}_{G_{UNIV}} = 288 \cdot 0'6 = \boxed{172'9 \text{ kW}}$$



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:

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

Aplicando el balance de exergía en el universo

$$\Delta \dot{A}_{UNIV} = \int \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \delta \dot{Q} - (\dot{W} - P_0(V_2 - V_1)) - \dot{E}x_{D,UNIV}$$

El universo es un sistema aislado, por lo que:

$$\Delta \dot{A}_{UNIV} = \int \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \cancel{\delta \dot{Q}}^0 - (\cancel{\dot{W}}^0 - P_0(V_2 - V_1))^0 - \dot{E}x_{D,UNIV}$$

$$\dot{E}x_{D,UNIV} = - \Delta \dot{A}_{UNIV}$$

La variación de exergía del universo será igual a la suma de las variaciones de exergía de los subsistemas que lo componen.

$$\Delta \dot{A}_{UNIV} = m(a_{f,2} - a_{f,1}) + \Delta \dot{A}_{f,MC}$$

$$\begin{aligned}\dot{m} \cdot (a_{f,2} - a_{f,1}) &= \dot{m} [(h_2 - h_1) - T_0 (s_2 - s_1)] = \\ &= \dot{m} [c_p (T_2 - T_1) - T_0 (s_2 - s_1)] = \dot{m} \cdot c_p (T_2 - T_1) - \\ &- T_0 \cdot \dot{m} \cdot (s_2 - s_1) = 2 \cdot 5'19 \cdot (363 - 293) - 288 \cdot (-4'462)\end{aligned}$$

$$\dot{m} \cdot (a_{f,2} - a_{f,1}) = 2011'63 \text{ kW}$$

En el caso del medio circundante:

$$\Delta \dot{A}_{f,MC} = \int \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \delta \dot{Q}_{MC} - \dot{W}_{MC} - \dot{E}x_{D,MC}$$

$$\dot{E}x_{D,MC} = 0$$

$$\text{Además} \Rightarrow T_0 = T_{MC}$$

$$\Delta \dot{A}_{f,MC} = - \dot{W}_{MC} = - |\dot{W}_c| = -2184'53 \text{ kW}$$

$$\begin{aligned}\Delta \dot{A}_{UNIV} &= \dot{m} (a_{f,2} - a_{f,1}) + \Delta \dot{A}_{f,MC} = 2011'63 + (-2184'53) = \\ &= -172'9 \text{ kW}\end{aligned}$$

$$\boxed{\dot{E}x_{D,UNIV} = - \Delta \dot{A}_{UNIV} = 172'9 \text{ kW}}$$



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.

IRASTURTEA / CURSO:

DATA / FECHA:

IRAKASGAIA / ASIGNATURA:

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

EJERCICIO 2

Datos:

Agua A:

$$V_A = 5 \text{ l}$$

$$\theta_{A_1} = 90^\circ\text{C}$$

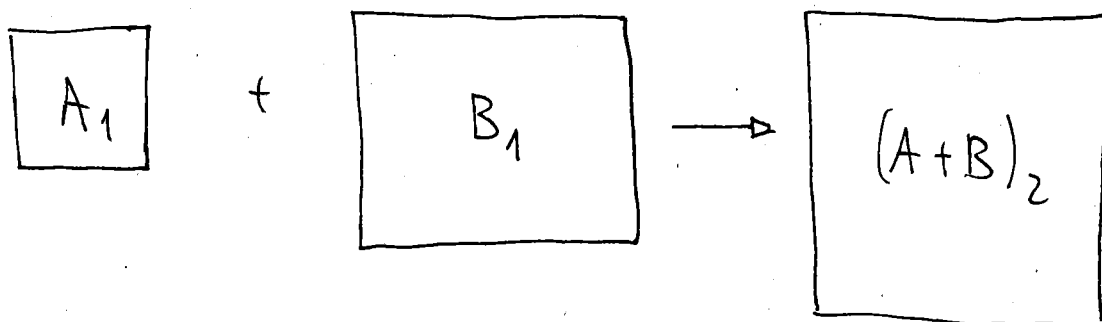
Agua B:

$$V_B = 15 \text{ l}$$

$$\theta_{B_1} = 20^\circ\text{C}$$

$$\theta_0 = 15 \text{ l}$$

- Se indica que se considere depósito adiabático



- Se considera el agua como sustancia incompresible ($v = \text{cte}$)
- Se trata de un sistema cerrado donde se mezclan dos masas de agua en distinto estado termodinámico.



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

a) Para calcular la variación de entropía específica del agua que inicialmente se encuentra en el depósito (depósito B), primero debemos fijar el estado de equilibrio final, esto es, una vez realizada la mezcla. Para ello, calcularemos la temperatura final de la mezcla aplicando el primer principio:

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

Siendo el sistema adiabático, no existe intercambio de calor con el entorno. Por considerar el agua una sustancia incompresible no hay variación de volumen por lo que no existe trabajo por desplazamiento de frontera.

$$\Delta U_{12} = 0$$

La variación de energía interna del agua se puede calcular como la suma de las variaciones de la energía interna de cada subsistema:

$$\Delta U_{12} = \Delta U_A + \Delta U_B = 0$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta U_A &= m_A \cdot c (T_2 - T_{A1}) \\ \Delta U_B &= m_B \cdot c (T_2 - T_{B1}) \end{aligned} \right\} T_2 = T_{A2} = T_{B2}$$

Por considerarse el agua sustancia incompresible

$$c_v = c_p = c = 4'186 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

$$v = \text{cte} \rightarrow v = 0'001 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$m_A \cdot c (T_2 - T_{A1}) + m_B \cdot c (T_2 - T_{B1}) = 0$$

$$\frac{V_A}{v} \cdot (T_2 - T_{A1}) + \frac{V_B}{v} \cdot (T_2 - T_{B1}) = 0$$

$$T_2 = \frac{V_A \cdot T_{A1} + V_B \cdot T_{B1}}{V_A + V_B} = \frac{5 \cdot 363 + 15 \cdot 293}{5 + 15} = 310'5 \text{ K}$$

El cálculo de la variación de entropía específica del agua que se encuentra inicialmente en el depósito (B) se utiliza



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

la siguiente expresión:

$$\Delta S_B = c \ln \frac{T_2}{T_{B_1}} = 4'186 \ln \frac{310'5}{293} = 0'243 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

b) La exergía destruida en el proceso se puede calcular de dos formas distintas. La primera mediante el cálculo de la entropía generada en el proceso y aplicando la ecuación de Guy - Stodola; la segunda mediante el balance de exergía aplicado a sistemas cerrados.

A partir del cálculo de la entropía generada

Plantando el balance de entropía en el sistema (A+B)

$$\Delta S'_{12} = \int \frac{\delta Q}{T} + S'_G$$

Por ser el sistema adiabático $\rightarrow \int \frac{\delta Q}{T} = 0$

$$\Delta S_{12} = S_G$$

$$\Delta S_{12} = (m_A + m_B) S_2 - m_A \cdot S_{A1} - m_B \cdot S_{B1}$$

Agua líquida se considera sustancia incompresible ($v = \text{cte}$)

$$v = 0'001 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\begin{aligned} \Delta S_{12} &= \left(\frac{V_A}{v} + \frac{V_B}{v} \right) c \cdot \ln \frac{T_2}{273} - \frac{V_A}{v} c \ln \frac{T_{A1}}{273} - \frac{V_B}{v} c \ln \frac{T_{B1}}{273} = \\ &= \left(\frac{0'015}{0'001} + \frac{0'005}{0'001} \right) \cdot 4'186 \ln \frac{310'5}{273} - \frac{0'015}{0'001} 4'186 \ln \frac{293}{273} - \\ &\quad - \frac{0'005}{0'001} 4'186 \ln \frac{363}{273} = 10'78 - 4'44 - 5'96 \end{aligned}$$

$$\Delta S_{12} = 0'373 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

$$\Delta S_{\text{UNIV}} = \Delta S_{12} + \Delta S_{\text{MC}} = 0'373 + 0$$

$$\Delta S_{\text{UNIV}} = S_{G \text{ UNIV}} = 0'373 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

Es un proceso de mezcla, por lo tanto irreversible.

$$\boxed{Ex_{D_{\text{UNIV}}} = T_0 S_{G_{\text{UNIV}}} = 288 \cdot 0'373 = 107'39 \text{ kJ}}$$

Mediante el balance de exergía

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

El sistema es adiabático y no existe trabajo por desplazamiento de frontera, por no haber variación de volumen.

$$\Delta A_{12} = - Ex_{D_{\text{SIST}}} \rightarrow Ex_{D_{\text{SIST}}} = - \Delta A_{12}$$



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

$$\begin{aligned}
 \Delta A_{12} &= (m_A + m_B) a_2 - m_A a_{A_1} - m_B a_{B_1} = \\
 &= m_A (a_2 - a_{A_1}) + m_B (a_2 - a_{B_1}) = \\
 &= m_A \left[(u_2 - u_{A_1}) + P_0 (\cancel{v_2} - \cancel{v_{A_1}}) - T_0 (s_2 - s_{A_1}) \right] + \\
 &+ m_B \left[(u_2 - u_{B_1}) + P_0 (\cancel{v_2} - \cancel{v_{B_1}}) - T_0 (s_2 - s_{B_1}) \right] = \\
 &= 5 \left[4'186 (310'S - 363) - 288 \cdot 4'186 \ln \frac{310'S}{363} \right] + \\
 &+ 15 \left[4'186 (310'S - 293) - 288 \cdot 4'186 \ln \frac{310'S}{293} \right] = \\
 &= -157'16 + 49'78 = -107'39 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

Por lo tanto, la energía destruida en el proceso es

$$Ex_{D_{sist}} = -\Delta A_{12}$$

$$Ex_{D_{sist}} = 107'39 \text{ kJ}$$

$$Ex_{D_{UNIV}} = Ex_{D_{SIST}} + Ex_{D_{MC}} = 107'39 + 0$$

$$Ex_{D_{UNIV}} = 107'39 \text{ KJ}$$



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.

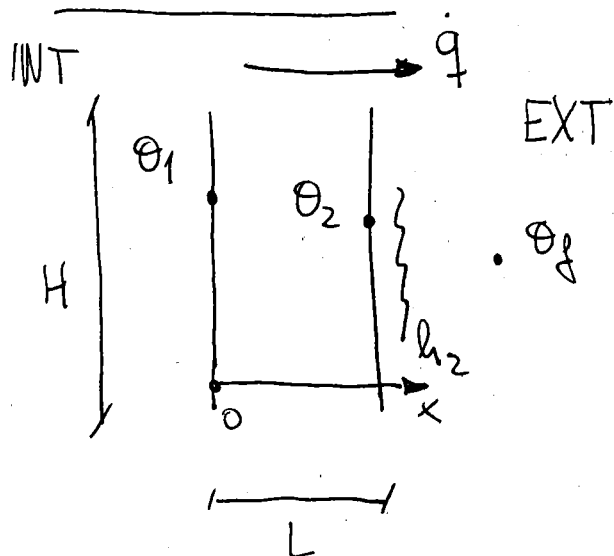
IKASTURTEA / CURSO:

DATA / FECHA:

IRAKASGAIA / ASIGNATURA:

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

EJERCICIO 3



Datos:

$$k = 12 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$H = 1.5 \text{ m}$$

$$L = 0.3 \text{ m}$$

$$\theta_f = 5^\circ \text{C}$$

$$\theta_1 = 22^\circ \text{C}$$

$$\dot{q} = 80 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

- Se trata de un problema de transmisión de calor en régimen permanente.
- El problema se considera unidimensional.
- La densidad del flujo de calor se transmite por conducción desde la superficie interna de la pared hasta la superficie externa, y desde esta superficie externa de la pared por convección natural al aire externo.

- Se considera que la transmisión de calor entre el aire y la superficie externa es por convección natural porque el aire está en reposo.

a) Resolviendo la ecuación general de conducción de calor

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) + \dot{q}_g = \rho \cdot c_p \frac{\partial \theta}{\partial t}$$

- Régimen permanente $\rightarrow \frac{\partial \theta}{\partial t} = 0$
- Sin generación de calor $\rightarrow \dot{q}_g = 0$
- Material isotrópico y propiedades constantes:

$$k_x(\theta) = k_y(\theta) = k_z(\theta) = k = \text{cte}$$

$$\frac{d^2 \theta}{dx^2} = 0$$

1era integral $\rightarrow \frac{d\theta}{dx} = C_1$

2a integral $\rightarrow \theta(x) = C_1 \cdot x + C_2$

Para determinar el valor de las 2 constantes de integración necesitamos 2 condiciones de contorno:



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

1.- Condición de contorno de primera especie:

$$X=0 \rightarrow \Theta(X=0) = \Theta_1 = 22^\circ\text{C}$$

$$\Theta(X=0) = C_1 \cdot 0 + C_2 = C_2 \quad \left. \vphantom{\Theta(X=0)} \right\} C_2 = 22$$

2.- Condición de contorno de segunda especie:

$$\dot{q} = 80 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

De acuerdo con la Ley de Fourier $\rightarrow \dot{q} = -k \frac{d\Theta}{dx}$

$$\dot{q} = -k \cdot C_1 \rightarrow 80 = -12 \cdot C_1$$

$$C_1 = -6'67$$

Por lo tanto, se obtiene que

$$\Theta(X) = -6'67 \cdot X + 22$$

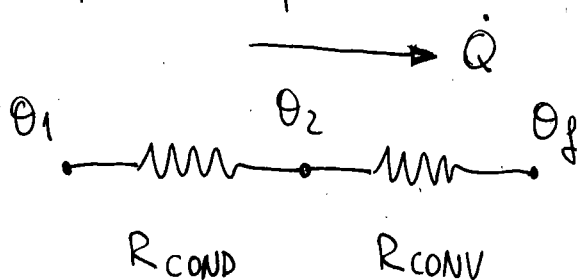
Para calcular la temperatura en la superficie externa de la pared ($X=0'3$) utilizamos esta ecuación:

$$\Theta(x) = -6'67x + 22$$

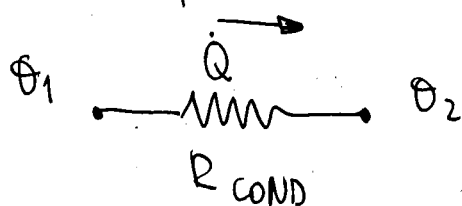
$$\boxed{\Theta(x=0'3) = -6'67 \cdot 0'3 + 22 = 20^\circ\text{C}}$$

Utilizando la analogía eléctrica

El circuito para el problema completo quedaría como sigue:



El cálculo de la temperatura superficial se puede hacer utilizando la siguiente parte del circuito:



$$\dot{Q} = \frac{\theta_1 - \theta_2}{R_{COND}}$$

La resistencia térmica $\rightarrow R_{COND} = \frac{L}{KA}$

$$\dot{Q} = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\frac{L}{KA}} \rightarrow \frac{\dot{Q}}{A} = \dot{q} = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\frac{L}{K}}$$

$$\dot{q} = 80 = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\frac{L}{K}} = \frac{22 - \theta_2}{\frac{0'3}{12}}$$

Despejando θ_2 , tenemos que

$$\boxed{\theta_2 = 20^\circ\text{C}}$$



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

b) Análiticamente

Para determinar el valor del coeficiente de convección entre la pared y el aire exterior aplicaremos la ley de enfriamiento de Newton:

$$Q_{\text{CONV}} = h_2 A (\theta_2 - \theta_f) \rightarrow \frac{Q_{\text{CONV}}}{A} = \dot{q}_{\text{CONV}} = h_2 (\theta_2 - \theta_f)$$

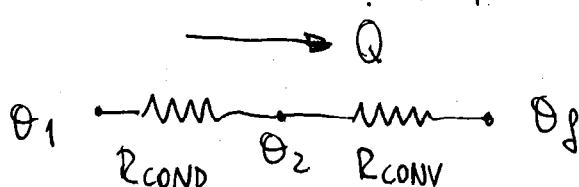
3.- Condición de contorno de tercera especie:

$$\dot{q}_{\text{CONV}} = \dot{q}_{\text{COND}} = \dot{q} = 80 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$\boxed{h_2 = \frac{\dot{q}}{(\theta_2 - \theta_f)} = \frac{80}{20 - 5} = 5,33 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}}$$

Mediante analogía eléctrica

Utilizando el circuito completo:



$$\dot{Q} = \frac{\theta_1 - \theta_f}{R_{\text{COND}} + R_{\text{CONV}}}$$

Como ya se ha indicado $\rightarrow R_{\text{COND}} = \frac{L}{KA}$

En cuanto a $R_{\text{CONV}} \rightarrow R_{\text{CONV}} = \frac{1}{h_2 A}$

$$\dot{Q} = \frac{\theta_1 - \theta_f}{\frac{L}{KA} + \frac{1}{h_2 A}} \rightarrow \frac{\dot{Q}}{A} = \dot{q} = \frac{\theta_1 - \theta_f}{\frac{L}{K} + \frac{1}{h_2}} = 80 = \frac{22 - 5}{\frac{0.3}{12} + \frac{1}{h_2}}$$

Resolviendo la ecuación tenemos que $\rightarrow h_2 = 5.33 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$

c) Para determinar el valor del número de Nusselt utilizaremos la siguiente expresión:

$$Nu = \frac{h L_c}{k_f}$$

De acuerdo con la correlación relativa al caso "Convección natural en placa plana vertical", la longitud característica es la altura de la pared o placa, y la temperatura característica es la temperatura media entre la de la superficie y la del fluido (tal y como se indica en el enunciado).



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

$$\pi = 1'5 \text{ m}$$

$$\theta_{cc} = \frac{\theta_f + \theta_p}{2} = \frac{\theta_f + \theta_2}{2} = \frac{5 + 20}{2} = 12'5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Utilizando la temperatura característica se determinan las propiedades termofísicas del aine, utilizando para ello las tablas. En este caso, necesitamos la conductividad térmica del aine:

$$k_f = 0'02458 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$

Por lo tanto, el número de Nusselt:

$$Nu = \frac{h_2 \pi}{k_f} = \frac{5'33 \cdot 1'5}{0'02458} = \boxed{325'46}$$