

INGENIERÍA TÉRMICA – Examen de 30 enero de 2024

Ejercicio 1. Se expanden 0,25 kg de aire contenidos en un dispositivo cilindro-pistón, pasando de 0,9 m³/kg a 1,5 m³/kg según un proceso ideal. Inicialmente, el aire se encuentra a 1 bar y al final del proceso la temperatura es de 5 °C.

- Representétese el proceso en los diagramas más apropiados (10%).
- El exponente politrópico del proceso (10%). $1'235$
- El calor intercambiado durante el proceso (10%). $4'45 \text{ kJ} / 0 \text{ kJ}$
- El trabajo realizado (10%). $10'83 \text{ kJ} / 10'4 \text{ kJ}$
- La variación de entropía del aire (15%). $0'015 \text{ kJ/K} / 0 \text{ kJ/K}$
- Los apartados "a", "c", "d" y "e" anteriores si el proceso se realiza de forma adiabática, desde el mismo estado inicial hasta el mismo volumen final que en el caso anterior (45%).

Ejercicio 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. Tómese como estado de referencia 1 bar y 19 °C, y como temperatura media de la superficie del separador, 126 °C. Calcúlese:

- Representétese el proceso en los diagramas más apropiados (15%).
- La entropía generada en el proceso (25%). $0'0326 \text{ kJ/K}$
- La exergía destruida en el proceso mediante el balance de exergía (30%). $9'524 \text{ kW}$
- El rendimiento exergético del separador (30%). $97'36\%$

Ejercicio 3. Dos tubos concéntricos de 9,5 m de longitud conducen por el tubo interior 0,9 kg/s de aceite para motor que entra a 106 °C y sale a 96 °C, mientras por el tubo exterior circula agua que entra a 14 °C y sale a 25 °C. El diámetro interior del tubo interior es de 2,5 cm, su espesor de 0,5 cm y el diámetro interior del tubo exterior es de 5 cm. El tubo interior tiene una conductividad de 55 W/(m·K). Despréciense las pérdidas de calor entre el tubo exterior y el medio circundante.

Tómense los siguientes datos para cada fluido:

	ρ [kg/m ³]	c_p [J/(kg·K)]	k [W/(m·K)]	μ [kg/(m·s)]	ν [m ² /s]	Pr [-]
Aceite motor	839,445	2224,4	0,1366	0,0168355	$2,005 \cdot 10^{-5}$	273,96
Agua	998,11	4182,3	0,5971	0,0010156	$1,0175 \cdot 10^{-6}$	7,118

Calcúlese:

- La temperatura superficial exterior del tubo interior (25%). $28'13^\circ\text{C}$
- La temperatura superficial interior del tubo interior (25%). $30'18^\circ\text{C}$
- El coeficiente de convección en la superficie exterior del tubo interior (25%). $2220'77' \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$
- El coeficiente de convección en la superficie interior del tubo interior (25%). $378'88 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$

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.

Ariketa 1. Zilindro-pistoi gailu batean $0,25 \text{ kg}$ aire zabaltzen da, hasierako $0,9 \text{ m}^3/\text{kg}$ -etatik amaierako $1,5 \text{ m}^3/\text{kg}$ -etara, prozesu ideal batean zehar. Prozesuaren hasieran presioa 1 bar da; prozesuaren amaieran, airearen tenperatura $5 \text{ }^\circ\text{C}$.

- Irudika bedi prozesua diagrama egokienetan (10%).
- Kalkula bedi prozesuaren berretzaile politropikoa (10%).
- Prozesuan trukaturako beroa (10%).
- Prozesuan egindako lana (10%).
- Airearen entropia-aldaketa (15%).
- "a", "c", "d" eta "e" atalak, baldin eta prozesua adiabatikoa bada, hasierako egoera berdinetik amaierako bolumen berdineraino (45%).

Ariketa 2. Termikoki gaizki isolaturik dagoen berezgailu batean, $0,5 \text{ kg/s}$ ur-lurrun gainberotu gastua sartzen da $250 \text{ }^\circ\text{C}$ eta 2 bar -etan, eta bi korrante irteten dira, bata $0,1 \text{ kg/s}$ gastuko likido ase eta bestea lurrun ase lehorra. Suposa bedi erreferentzia egoera 1 bar eta $19 \text{ }^\circ\text{C}$ eta berezgailuaren gainazaleko tenperatura $126 \text{ }^\circ\text{C}$ dela.

- Irudika bedi prozesua diagrama egokienetan (10%).
- Prozesuan garaturako entropia (25%).
- Prozesuan deuseztutako exergia, horretarako exergia balantzea erabiliz (30%).
- Bereizgailuaren etekin exergetikoa (30%).

Ariketa 3. $9,5 \text{ m}$ -ko luzera duten bi hodi zentrukideen barneko hoditik, $0,9 \text{ kg/s}$ -ko motor-olio gastua daroa, $106 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan sartuz eta $96 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan irtenez. Kanpoko hoditik ura pasatzen da, $14 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan sartuz eta $25 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan irtenez. Barneko hodiaren barne-diametroa $2,5 \text{ cm}$ da eta lodiera $0,5 \text{ cm}$. Kanpoko hodiaren barne-diametroa 5 cm da. Barneko hodiaren eroankortasun termikoa $55 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ da. Kotsidera bedi kanpoko hodia eta kanpo-ingurunearen artean ez dagoela bero trakerik.

Erabil bitez fluidoaren ondorengo datuak:

	ρ [kg/m^3]	c_p [$\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]	k [$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$]	μ [$\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s})$]	ν [m^2/s]	Pr [-]
Motor-olioa	839,445	2224,4	0,1366	0,0168355	$2,005\cdot 10^{-5}$	273,96
Ura	998,11	4182,3	0,5971	0,0010156	$1,0175\cdot 10^{-6}$	7,118

Kalkula bitez:

- Barneko hodiaren kanpo-gainazalean tenperatura (25%).
- Barneko hodiaren barne-gainazalean tenperatura (25%).
- Barneko hodiaren kanpo-gainazaleko konbekzio-koefizientea (25%).
- Barneko hodiaren barne-gainazaleko konbekzio-koefizientea (25%).

Denbora: 2.5 ordu

Ariketak bakoitzak azterketa osoak balio duenaren herena balio du.

Hurrengo datuak idatzi behar dira entregaturako 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:

[illegible]

EJERCICIO 1

Datos:

$m = 0,25 \text{ kg}$ de aine

$$V_1 = 0.9 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} ; P_1 = 1 \text{ bar}$$

$$v_2 = 1.5 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} ; \theta_2 = 5^\circ\text{C}$$



- Se trata de un sistema cerrado.
 - El aire se considera un gas ideal.
 - Se trata de un proceso politrópico que cumple la ecuación $P \cdot v^n = \text{cte.}$ y por lo tanto, reversible.
- a) Para representar los diagramas con más facilidad, es posible calcular primero el exponente del proceso politrópico.

$$P_1 \cdot V_1^m = P_2 \cdot V_2^m$$

$$P_2 \cdot v_2 = R' T_2 \rightarrow P_2 = \frac{R' T_2}{v_2} \quad (P_2 \text{ ser gas ideal})$$

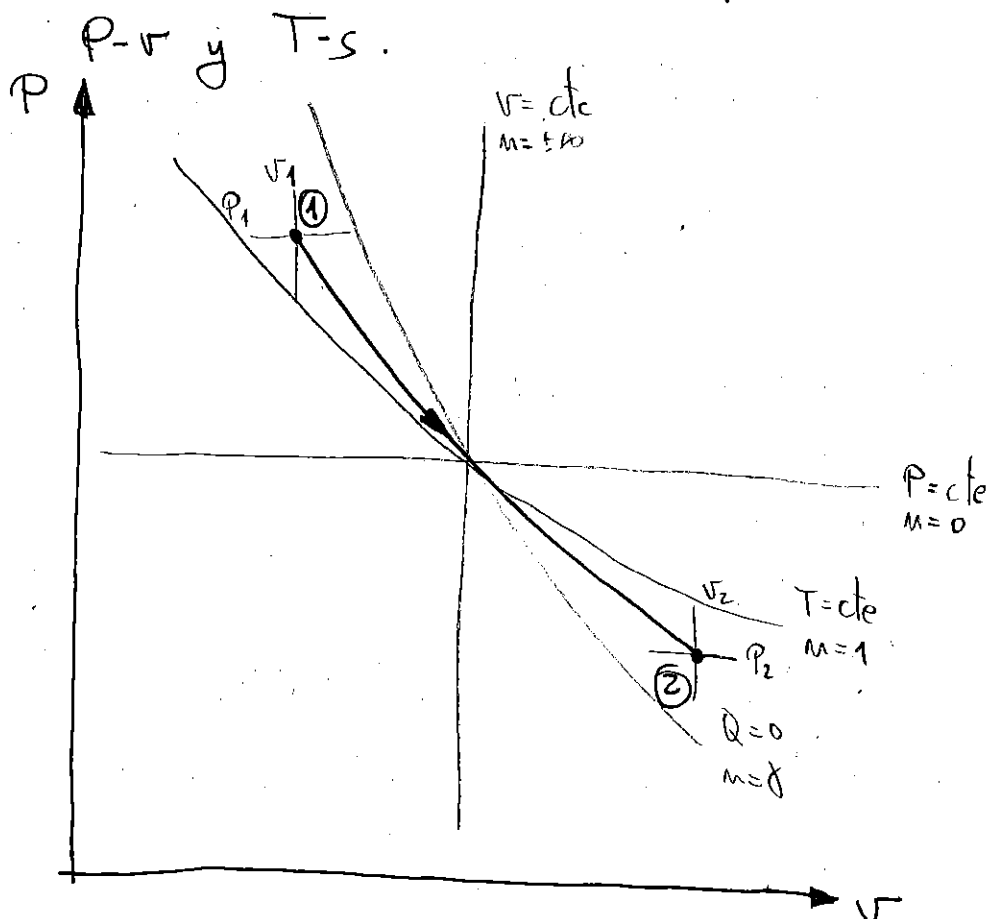
$$P_2 = \frac{287 \cdot (273+5)}{1.5} = 53200 \text{ Pa} = 0.532 \text{ bar}$$

Si despejamos el valor del exponente politrópico de la siguiente expresión:

$$P_1 \cdot v_1^m = P_2 \cdot v_2^m$$

$$m = \frac{\ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right)}{\ln\left(\frac{v_2}{v_1}\right)} = \frac{\ln\left(\frac{1}{0.532}\right)}{\ln\left(\frac{1.5}{0.9}\right)} = 1.235$$

Alina podemos representar fácilmente el proceso en los diagramas



4

$$\text{Siendo } \rightarrow Q_{12} = m \cdot c_m (T_2 - T_1)$$

Calculando T_1 a partir de la ecuación de estado de gases ideales:

$$P_1 \cdot V_1 = R' T_1 \rightarrow T_1 = \frac{P_1 \cdot V_1}{R'} = \frac{100000 \cdot 0.9}{287} = 313.6 \text{ K}$$

$$Q_{12} = m \cdot c_m (T_2 - T_1) = 0.25 \cdot (-0.5) \cdot (278 - 313.6) = 4.45 \text{ kJ}$$

$Q_{12} = 4.45 \text{ kJ}$

Es posible calcular el calor intercambiado utilizando el primer principio.

$$Q_{12} = \Delta U_{12} + W_{12}$$

$$\Delta U_{12} = m \cdot c_v (T_2 - T_1) = 0.25 \cdot 0.718 (278 - 313.6) = -6.39 \text{ kJ}$$

El trabajo por desplazamiento de frontera en un proceso reversible:

$$W_{12} = \int P_e dV = \int P dV$$

$$P \cdot v^m = \text{cte} \rightarrow P = \frac{\text{cte}}{v^m}$$



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

$$W_{12} = m \int P dv = m \int \frac{cte}{v^m} dv = m \left(\frac{P_1 v_1 - P_2 v_2}{m-1} \right) =$$

$$= m \frac{R'}{m-1} (T_1 - T_2) = 0'25 \frac{0'287}{1'235 - 1} (313'6 - 278) = 10'83 \text{ kJ}$$

$$Q_{12} = \Delta U_{12} + W_{12} = -6'39 + 10'83 = 4'45 \text{ kJ}$$

d) El trabajo por desplazamiento de frontera ya se ha calculado.

$$W_{12} = 10'83 \text{ kJ}$$

e) La variación de entropía del aire se calcula considerando el aire como un gas ideal

$$\Delta S_{12} = m \left(c_p \ln \frac{T_2}{T_1} + R' \ln \frac{P_1}{P_2} \right) =$$

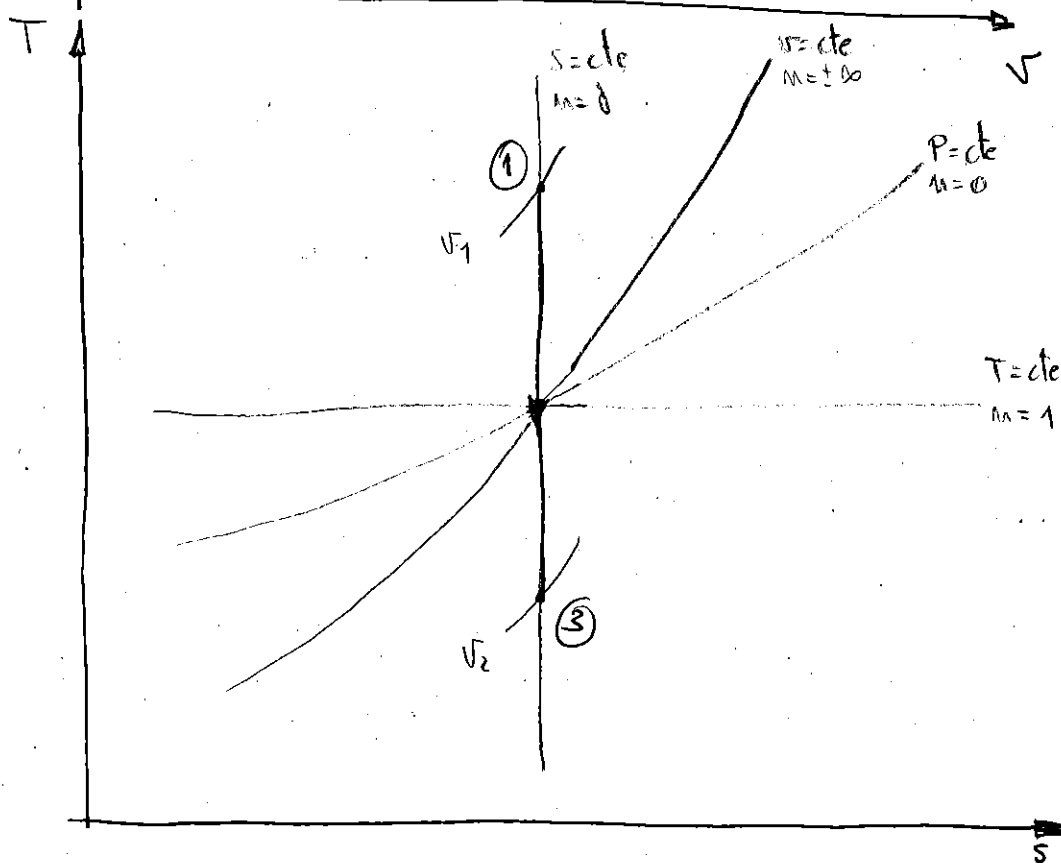
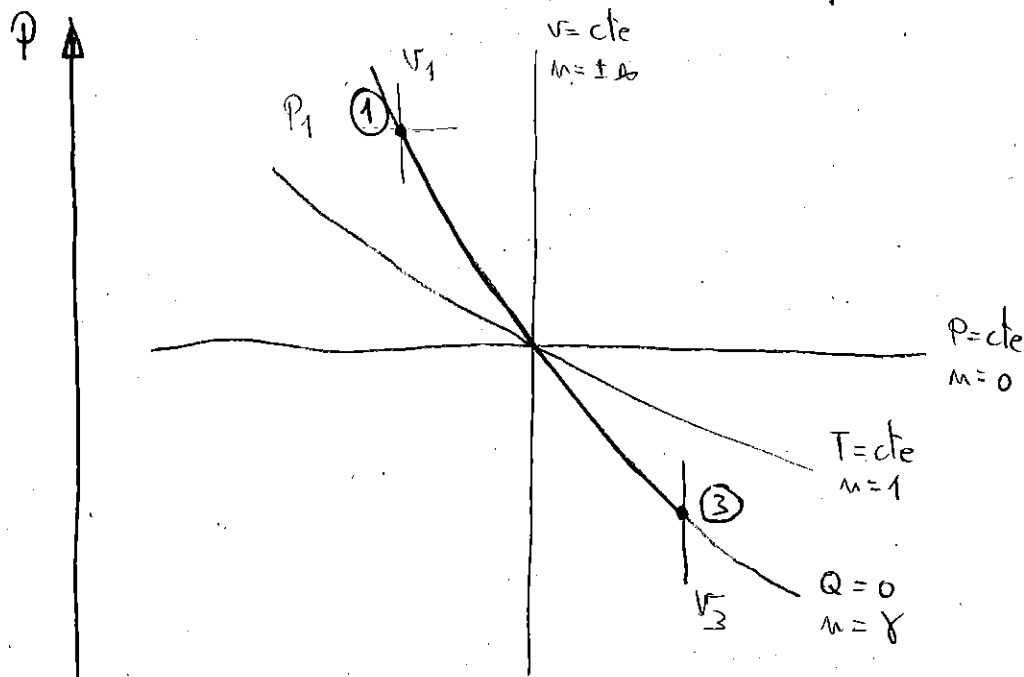
$$= 0'25 \left(1'005 \ln \frac{278}{313'6} + 0'287 \ln \frac{1}{0'532} \right) = 0'015 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}$$

f) Si el proceso es adiabático y en los siguientes datos

$$V_1 = 0.9 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} ; P_1 = 1 \text{ bar}$$

$$V_3 = 1.5 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

El exponente adiabático tiene que ser $n = \gamma = 1.4$





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

Por ser el proceso adiabático, el calor intercambiado en el proceso es $Q_{13} = 0$

Para calcular el trabajo realizado podemos utilizar la expresión para el cálculo del trabajo por desplazamiento de fronteras:

$$W_{13} = \int P_c dV$$

Por ser proceso reversible:

$$W_{13} = \int P_c dV = \int P dV = m \int P dv = m \left(\frac{P_1 \cdot v_1 - P_3 \cdot v_3}{\gamma - 1} \right) =$$

$$= m \frac{R'}{\gamma - 1} (T_1 - T_3)$$

Calculamos T_3 considerando el aire como un gas ideal y utilizando las relaciones de gases ideales, ya que se trata de un proceso reversible:

$$\frac{T_3}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_3}\right)^{\gamma-1} \rightarrow T_3 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_3}\right)^{\gamma-1} = 313'6 \left(\frac{0'9}{1'5}\right)^{1'4-1} = 255'6 \text{ K}$$

$$W_{13} = m \frac{R'}{\gamma-1} (T_1 - T_3) = 0'25 \frac{0'287}{1'4-1} (313'6 - 255'6)$$

$$\boxed{W_{13} = 10'4 \text{ kJ}}$$

Utilizando el primer principio:

$$Q_{13} = \Delta U_{13} + W_{13}$$

$$Q_{13} = 0, \text{ por ser adiabático}$$

$$\Delta U_{13} = -W_{13}$$

$$\Delta U_{13} = m \cdot c_v (T_3 - T_1) = 0'25 \cdot 0'718 (255'6 - 313'6)$$

$$\Delta U_{13} = -10'4 \text{ kJ}$$

$$\boxed{W_{13} = -\Delta U_{13} = 10'4 \text{ kJ}}$$



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.

IRASTURTEA / CURSO:

DATA / FECHA:

IRAKASGAIA / ASIGNATURA:

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

La variación de entropía del aire en un proceso adiabático y reversible será nula, ya que se trata de un proceso isentrópico.

$$\Delta S_{13} = 0$$



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

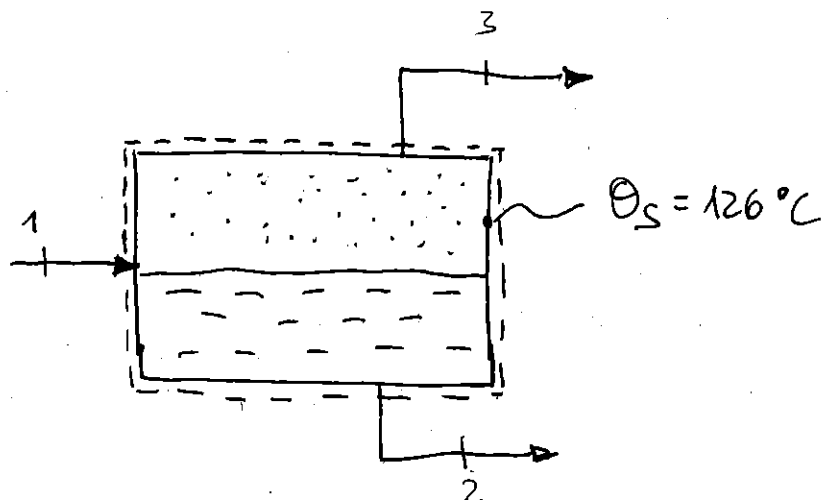
EJERCICIO 2

Datos:

$$\textcircled{1} \begin{cases} \dot{m}_1 = 0.5 \text{ kg/s} \\ P_1 = 2 \text{ bar} \\ \theta_1 = 250^\circ\text{C} \end{cases}$$

$$\textcircled{2} \begin{cases} \dot{m}_2 = 0.1 \text{ kg/s} \\ X_2 = 0 \end{cases}$$

$$\textcircled{3} \rightarrow X_3 = 1$$

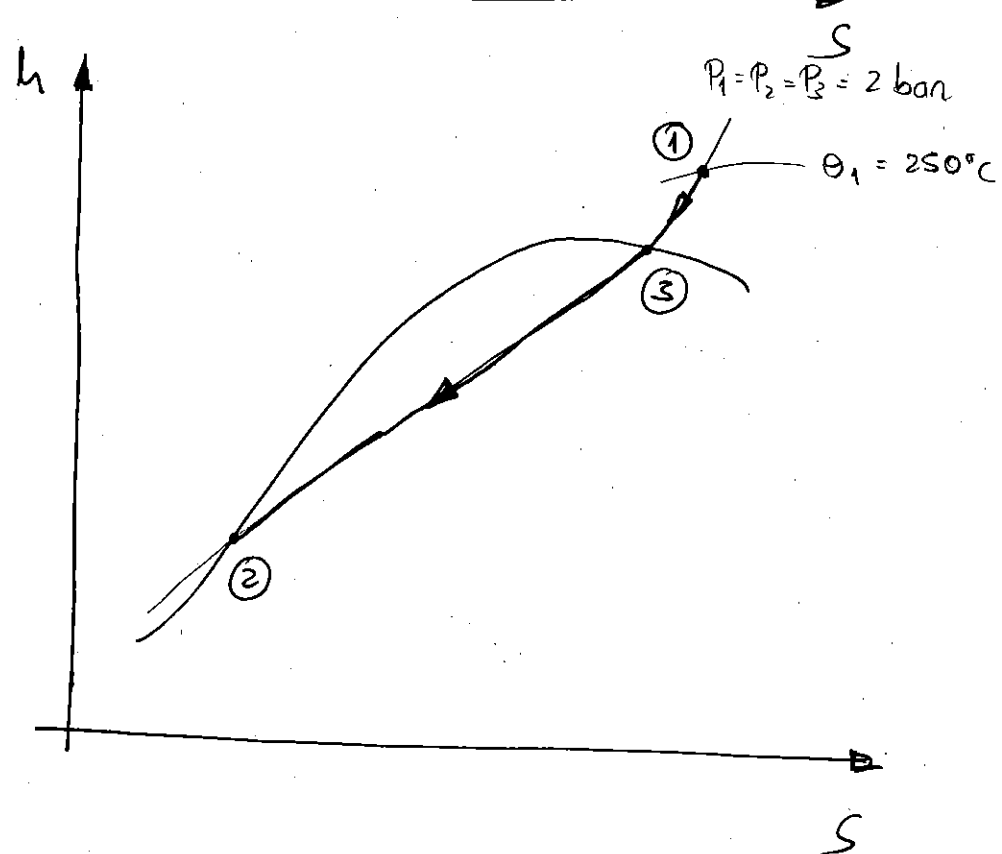
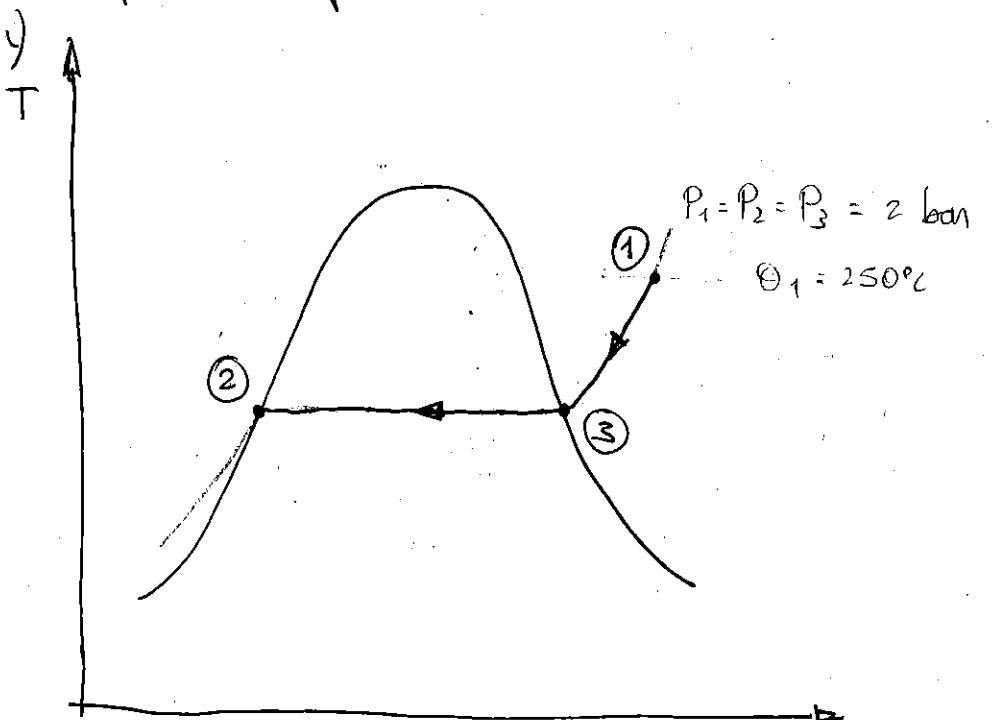


$$\begin{cases} P_0 = 1 \text{ bar} \\ \theta_0 = 19^\circ\text{C} \end{cases}$$

- Se trata de un sistema abierto o volumen de control trabajando en régimen permanente.
- La sustancia de trabajo es el agua
- Se desprecian las pérdidas de carga ($P_1 = P_2 = P_3 = 2 \text{ bar}$)

Se puede comprobar que el agua entra al separador en estado de vapor sobrecalentado, y que debido a la pérdida de calor

que sufre, se enfría a presión constante hasta el estado de vapor húmedo. Las dos fases del vapor húmedo se separan como, por una parte, vapor saturado seco y líquido saturado, por otra parte.





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

b) Para determinar la entropía generada en el proceso aplicaremos el balance de entropía en sistemas abiertos en régimen permanente:

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

A partir del balance de masa en sistemas abiertos en régimen permanente:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 + \dot{m}_3 \rightarrow \dot{m}_1 s_1 = \dot{m}_2 s_2 + \dot{m}_3 s_3$$

$$\dot{m}_3 = 0.4 \text{ kg/s}$$

Utilizando las tablas determinamos la entropía específica en los tres estados termodinámicos:

$$s_1 = 7.71 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

$$s_2 = 1.5302 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

$$s_3 = 7.127 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

Debido a que el separador está mal aislado, debemos suponer que existe transferencia de calor entre el sistema y el medio circundante. Calculamos el flujo de calor mediante la ecuación de la energía, para posteriormente determinar el término de transferencia de entropía por transferencia de calor.

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

No existe trabajo de eje en el separador y se desprecia la variación de energía cinética y potencial gravitatoria.

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

A partir de tablas determinamos la entalpía de cada estado:

$$h_1 = 2971.2 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = 504.7 \text{ kJ/kg}$$

$$h_3 = 2706 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{Q}_s = 0.1 \cdot 504.7 + 0.4 \cdot 2706 - 0.5 \cdot 2971.2 = -352.7 \text{ kW}$$



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

Calculamos el término que define la transferencia de entropía por transferencia de calor:

$$\int \frac{\delta Q_s}{T_s}$$

Considerando que la temperatura de intercambio de calor permanece constante:

$$\int \frac{\delta Q_s}{T_s} = \frac{Q_s}{T_s} = \frac{-352'7}{(126+273)} = -0'884 \frac{\text{KW}}{\text{K}}$$

La entropía generada:

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

$$\dot{S}_G = 0'1 \cdot 1'5302 + 0'4 \cdot 7'127 - 0'5 \cdot 7'771 - (-0'884)$$

$$\boxed{\dot{S}_G = 0'0326 \frac{\text{KW}}{\text{K}}}$$

c) Para calcular la exergía destruida en el proceso, tenemos que utilizar el balance de exergía:

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

A partir de los valores de entalpía y entropía calcularemos la exergía física de flujo en cada estado

$$\begin{aligned} a_{f1} - a_{f0} &= (h_1 - h_0) - T_0 (s_1 - s_0) = \\ &= (2971'2 - 75'54) - (19 + 273)(7'71 - 0'2678) = 722'54 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_{f2} - a_{f0} &= (h_2 - h_0) - T_0 (s_1 - s_0) = \\ &= (504'7 - 75'54) - (19 + 273)(1'5302 - 0'2678) = 60'54 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \end{aligned}$$

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

Calculamos el término de transferencia de exergía por transferencia de calor:

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



$$Z_{EX} = 0.9736 \rightarrow 97.36\%$$



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:

- Aceite de motor:

$$\dot{m}_{am} = 0.9 \text{ kg/s}$$

$$\theta_{e,am} = 106^\circ\text{C}$$

$$\theta_{s,am} = 96^\circ\text{C}$$

- Agua:

$$\theta_{e,a} = 14^\circ\text{C}$$

$$\theta_{s,a} = 25^\circ\text{C}$$

- Tubos:

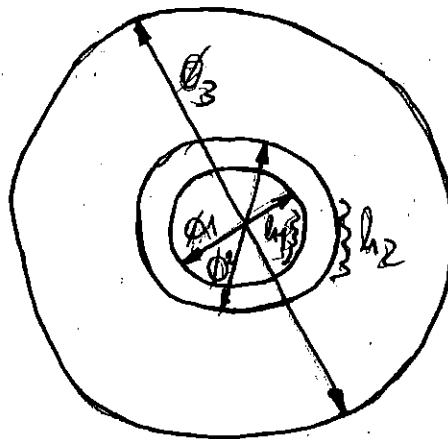
$$L = 9.5 \text{ m}$$

$$\phi_1 = 0.025 \text{ m}$$

$$\phi_2 = 0.035 \text{ m}$$

$$\phi_3 = 0.05 \text{ m}$$

$$k = 55 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$$



Se pide:

a) θ_2

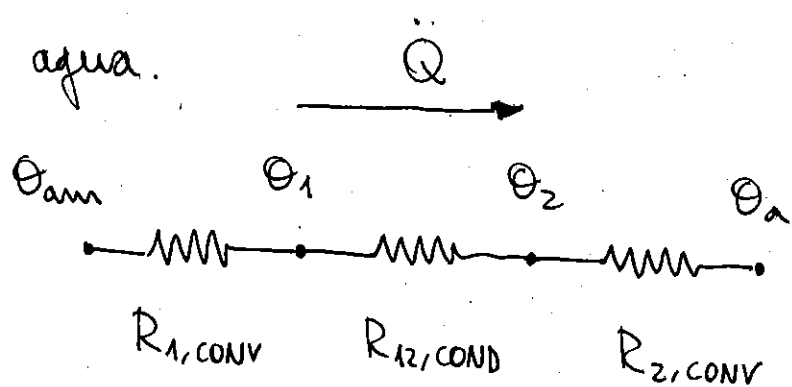
b) θ_1

c) h_2

d) h_1

Se trata de un problema de transmisión de calor en régimen permanente, no existe generación de calor.

El calor que cede el aceite motor lo recibe la superficie interior del tubo por convección forzada. Desde esta superficie el calor se transmite por conducción hasta la superficie exterior del tubo. El agua que circula entre los tubos concéntricos recibe el calor por convección forzada. Todo el calor que cede el aceite de motor lo recibe el agua.



$$\dot{Q}_{am} = -\dot{Q}_a$$

- a) En este apartado nos piden calcular la temperatura superficial exterior del tubo interior, θ_2 .



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea

GIPUZKOAKO
INGENIARITZA
ESKOLA
ESCUELA
DE INGENIERÍA
DE GIPUZKOA

DEITURAK / APELLIDOS:

IZENA / NOMBRE:

TITULAZIOA / TITULACIÓN:

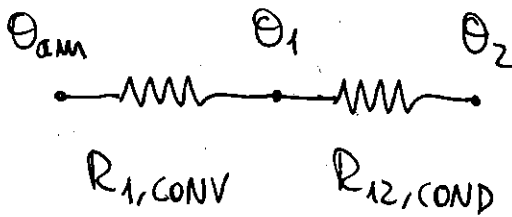
N.A.N. / D.N.I.

IRASTURTEA / CURSO:

DATA / FECHA:

IRAKASGAIA / ASIGNATURA:

KALIFIKAZIOA
CALIFICACIÓN



$$R_{1, CONV} = \frac{1}{h_1 \cdot A_1}$$

$$R_{12, COND} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi k \cdot L}$$

$$Q = \frac{\theta_{a,m} - \theta_2}{R_{1, CONV} + R_{12, COND}} \rightarrow \theta_2 = \theta_{a,m} - Q \cdot (R_{1, CONV} + R_{12, COND})$$

Calcularemos el calor intercambiado, para ello aplicaremos la ecuación de la energía en el tubo interior:

$$Q = \dot{m}_{a,m} \cdot c_{p,a,m} \cdot (\theta_{s,a,m} - \theta_{e,a,m}) = 0'9 \cdot 2224'4 \cdot (106 - 96)$$

$$Q = 20019'6 \text{ W}$$

Seguidamente, determinaremos el valor de las resistencias térmicas:

$$R_{1,conv} = \frac{1}{h_1 A_1}$$

Para calcular el coeficiente de convección, sabemos que es un problema de convección forzada interna a un conducto:

$$\text{Dittus - Boelter} \rightarrow Nu = 0.023 Re^{0.8} \cdot Pr^{0.3} \quad (\text{se enfría el fluido})$$

$$Re = \frac{C_{am} \cdot \phi_1}{D_{am}}$$

A partir de la ecuación de la continuidad:

$$\dot{m}_{am} = \rho_{am} \cdot A \cdot C_{am} \rightarrow C_{am} = \frac{\dot{m}_{am}}{\rho_{am} \cdot A}$$

$$C_{am} = \frac{0.9}{839.445 \cdot \pi \frac{0.025^2}{4}} = 2.184 \frac{m}{s}$$

$$Re = \frac{C_{am} \cdot \phi_1}{D_{am}} = \frac{2.184 \cdot 0.025}{2.005 \cdot 10^{-5}} = 2722.3 > 2100$$



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

$$Nu = 0'023 \cdot Re^{0'8} \cdot Pr^{0'3} = 0'023 \cdot 2722'3^{0'8} \cdot 273'96^{0'3} = 69'34$$

El número de Nusselt es $\rightarrow Nu = \frac{h_1 \cdot \phi_1}{k_{am}}$

$$h_1 = \frac{Nu \cdot k_{am}}{\phi_1} = \frac{69'34 \cdot 0'1366}{0'025} = 378'88 \frac{W}{m^2 K}$$

Una vez determinado el valor del coeficiente de convección determinamos la resistencia térmica correspondiente:

$$R_{1, CONV} = \frac{1}{h_1 \cdot A_1} = \frac{1}{378'88 \cdot 2\pi \frac{\phi_1}{2} \cdot L} = 0'00354 \frac{K}{W}$$

Calcularemos ahora la resistencia térmica correspondiente a la conducción a través del tubo interior:

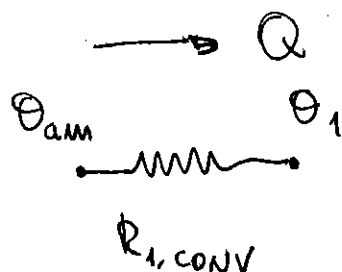
$$R_{12, COND} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi k L} = \frac{\ln\left(\frac{0'035}{0'025}\right)}{2\pi \cdot 55 \cdot 4'5} = 0'0001025 \frac{K}{W}$$

La temperatura del aceite de motor se considera $\frac{\theta_{e,am} + \theta_{s,am}}{2}$

$$\theta_2 = \theta_{am} - Q(R_{1,CONV} + R_{12,COND}) = \frac{\theta_{e,am} + \theta_{s,am}}{2} - Q(R_{1,CONV} + R_{12,COND})$$

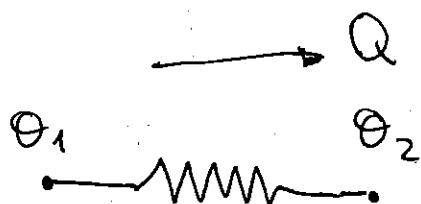
$$\boxed{\theta_2 = \frac{106 + 96}{2} - 20019'6 (0'00354 + 0'0001025) = 28'13^\circ C}$$

b) Para calcular la temperatura superficial interior del tubo interior podemos emplear las resistencias térmicas ya calculadas



$$Q = \frac{\theta_{am} - \theta_1}{R_{1,CONV}} \rightarrow \theta_1 = \theta_{am} - Q \cdot R_{1,CONV}$$

o bien,



$$Q = \frac{\theta_1 - \theta_2}{R_{12,COND}} \rightarrow \theta_1 = \theta_2 + Q \cdot R_{12,COND}$$

Utilizando por ejemplo esta última opción

$$\boxed{\theta_1 = \theta_2 + Q \cdot R_{12,COND} = 28'13 + 20019'6 \cdot 0'0001025 = 30'18^\circ C}$$



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.

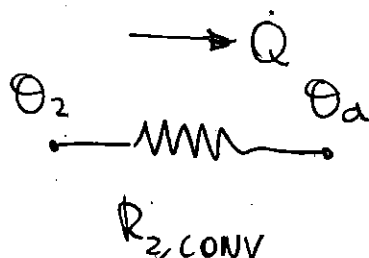
IKASTURTEA / CURSO:

DATA / FECHA:

IRAKASGAIA / ASIGNATURA:

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

c) Para calcular el coeficiente de convección en la superficie exterior del tubo interno podemos utilizar lo siguiente



$$\dot{Q} = \frac{\theta_2 - \theta_a}{R_{2, CONV}}$$

$$\text{donde } \theta_a = \frac{\theta_{a,e} + \theta_{a,s}}{2} = \frac{14 + 25}{2} = 19.5^\circ\text{C}$$

$$R_{2, CONV} = \frac{1}{h_2 \cdot A_2}$$

$$\text{por lo que } R_{2, CONV} = \frac{\theta_2 - \theta_a}{\dot{Q}} = \frac{28.13 - 19.5}{20019.6} = 4.31 \cdot 10^{-4} \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{2, CONV} = \frac{1}{h_2 \cdot 2\pi \frac{\phi_2}{2} \cdot L} = 4.31 \cdot 10^{-4} \rightarrow h_2 = 2220.77 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$$

d) El coeficiente de convección de la superficie interior del tubo interior ya lo hemos calculado.

$$h_1 = 378'88 \frac{W}{m^2 K}$$