

Ariketa 1. Zilindro-pistoi motako gailu batean 5 kg aire dago 2,5 bar-etan bolumena 2 m^3 izanik. Aire horrek -0,5 berretzaile poltropicodun prozesu bat jasaten du, prozesu honetan zehar 120 kJ askatzen dira.

- Irudika bedi prozesu diagrama egokienak erabiliz horretarako (%15).
- Kalkula bedi bukaerako egoeran airearen tenperatura (15%).
- Lana prozesuan zehar (%20).
- Bukaerako egoeran airearen bolumena (25%).
- Prozesuan zehar entropia aldaketa (%25)

Ariketa 2. Bi foku termikoen artean lan egiten duen motore termiko batek potentzia ziklo bat osatzen du. Foku beroaren tenperatura $300 \text{ }^\circ\text{C}$ da eta hotzarena $20 \text{ }^\circ\text{C}$, motoreak foku berotik 60.000 W jasotzen ditu. Motore termikoaren etekin termikoa, edozein motore termiko itzulgarrik edukiko lukeenaren %80a da. Motore termiko honek ematen duen potentzia mekanikoa konpresore batean erabiltzen da 0,1 kg/s aire konprimatzeko, 1 bar eta $20 \text{ }^\circ\text{C}$ -tik, 5 bar eta $150 \text{ }^\circ\text{C}$ -taraino.

- Irudika bedi aireak jasaten duen prozesua diagrama egokienetan. (15%).
- Kalkula bedi konpresorearen potentzia (20%).
- Kalkulatu bero-fluxua konpresorean eta foku hotzari motore termikoak emandako bero-fluxua (25%).
- Konpresorean suntsitutako exergia (20%).
- Konpresorearen etekin exergetikoa (20%).

Kontsidera bedi $P_0 = 1 \text{ bar}$ eta $T_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Ariketa 3. 5 m luze den eta, hurrenez hurren, 15 cm eta 18 cm-ko barne eta kanpo-diametroak dituen altzairuzko tutueria batean zehar 16 kg/s ur pasatzen da. Tutueriaren sarreran, ur honen tenperatura $85 \text{ }^\circ\text{C}$ da eta presioa 1 bar da. Bero-galerak murrizteko, magnesita isotzaile termiko geruza bat jartzen zaio altzairuzko tutueriari, eta horrela bero-galerak 8000 W izatea lortzen da. Magnesitaren kanpo gainazaleko geruzan tenperatura neurtu eta $71 \text{ }^\circ\text{C}$ dela dakigu, $15 \text{ }^\circ\text{C}$ -tan dagoen haizeak jotzen duenean tutueriarekiko elkartuta. Kalkula bitez:

- Altzairuzko tutueriaren barne-gainazaleko tenperatura (%20).
- Altzairuzko tutueriaren kanpo-gainazaleko tenperatura (%20).
- Tutueria babesteko jarri beharreko magnesita geruzaren lodiera (%20).
- Haizearen abidura (%40).

Kontsidera bedi tutueriaren konduktibitatea $k_{\text{tutueria}} = 14 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, eta magnesitarena $k_{\text{magnesita}} = 2,69 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

Oharra: Uraren propietate termofisikoak kalkulatzeko, erabili hodian uraren sarrerako tenperatura.

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 dispositivo cilindro-pistón hay 5 kg de aire a 2,5 bar con un volumen de 2 m³. A lo largo de un proceso de exponente politrópico de -0,5, se liberan 120 kJ de calor. Calcúlese:

- a) Representese el proceso en los diagramas más apropiados (15%).
- b) Temperatura final (15%).
- c) Trabajo intercambiado (20%).
- d) Volumen final (25%).
- e) Variación entropía a lo largo del proceso (25%).

Problema 2. Un motor térmico que realiza un ciclo de potencia trabaja entre dos focos térmicos. La temperatura del foco caliente es 300 °C, y la del foco frío 20 °C, de tal forma que el motor recibe 60.000 W del foco caliente. El rendimiento térmico del motor térmico es el 80% del que tendría cualquier motor térmico reversible. La potencia generada por este motor térmico se emplea en un compresor para comprimir 0,1 kg/s de aire a 1 bar y 20 °C hasta 5 bar y 150 °C.

- a) Representese el proceso de compresión en los diagramas más adecuados (15%).
- b) Calcúlese la potencia del compresor (20%).
- c) Calcúlese el flujo de calor en el compresor y el flujo de calor cedido por el motor térmico al foco frío (25%).
- d) La exergía destruida en el compresor (20%).
- e) El rendimiento exergético del compresor (20%).

Considere $P_0 = 1$ bar y $T_0 = 20$ °C.

Problema 3. A través de una tubería de acero de 5 m de longitud y de 15 cm y 18 cm de diámetro interior y exterior, respectivamente, pasan 16 kg/s de agua. A la entrada de la tubería, la temperatura del agua es 85 °C y la presión es 1 bar. Para reducir las pérdidas de calor, se coloca una capa de magnesita sobre la tubería de acero, consiguiendo así que la pérdida de calor a través de la tubería sea 8000 W. Se mide la temperatura en la superficie exterior de la magnesita, y se sabe que su valor es 71 °C cuando el viento a 15 °C sopla perpendicular a la misma. Calcúlese:

- a) La temperatura de la superficie interior de la tubería de acero (20%).
- b) La temperatura de la superficie exterior de la tubería de acero (20%).
- c) El espesor de la capa de magnesita colocada en la tubería (20%).
- d) La velocidad del viento (40%).

Considérese que la conductividad de la tubería en $k_{\text{tubería}} = 14$ W/(m · K), y de la magnesita en $k_{\text{magnesita}} = 2,69$ W/(m · K).

Nota: Para calcular las propiedades termofísicas del agua, utilícese la temperatura de entrada del agua en la tubería.

Tiempo: 2.5 horas

Cada ejercicio vale un tercio del valor del examen total.

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

DEITURAK/APELLIDOS:

IZENA/ NOMBRE:

TALDEA/ GRUPO:

TITULAZIOA/ TITULACIÓN:

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

IKASTURTEA/ CURSO:

DATA/ FECHA:

IRAKASGAIA/ ASIGNATURA:

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

EJERCICIO 1

Datos:

- Aire, $m = 5 \text{ kg}$

$$\text{Estado ①} \begin{cases} P_1 = 2,5 \text{ bar} \\ V_1 = 2 \text{ m}^3 \end{cases} \xrightarrow[\begin{matrix} Q_{12} = -120 \text{ kJ} \end{matrix}]{\begin{matrix} n = -0,5 \end{matrix}} \text{Estado ②}$$

Se pide:

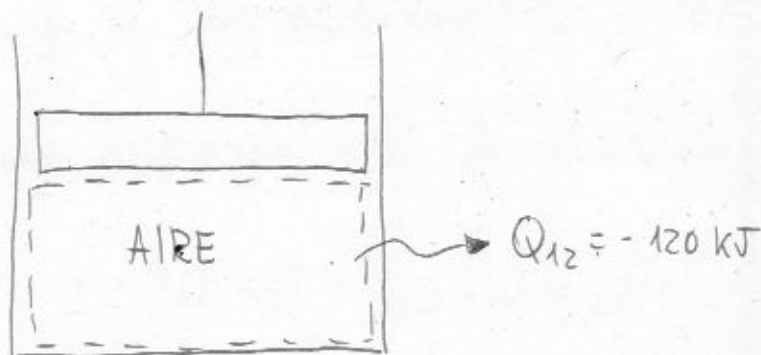
a) Diagramas

b) T_2

c) W_{12}

d) V_2

e) ΔS_{12}



- Se trata de un sistema cerrado

- Nos indican cuanto vale el exponente politrópico, por lo que podemos deducir que el proceso es politrópico.

- Por lo tanto, consideraremos que el aire es un gas ideal y que el proceso que sufre es reversible.

- Se indica que el aire libera 120 kJ de calor, por lo que debemos considerar ese calor como negativo.

Antes de representar el proceso en los diagramas, definiremos la temperatura final del proceso (apartado b), lo que nos facilitará la representación, aunque es posible hacerlo sin saber su valor. Para su cálculo, podemos relacionar el calor intercambiado en el proceso con la variación de temperatura mediante el calor específico politrópico:

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

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

$$Q_{12} = m \cdot \left(\frac{\gamma - m}{1 - m} \right) c_v (T_2 - T_1)$$

Sabemos de tablas que para el aire, $\gamma = 1.4$ y $c_v = 0.718 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$

$$Q_{12} = m \cdot \left(\frac{\gamma - m}{1 - m} \right) c_v (T_2 - T_1) \rightarrow -120 = 5 \cdot \left(\frac{1.4 - (-0.5)}{1 - (-0.5)} \right) \cdot 0.718 (T_2 - T_1)$$

DEITURAK/APELLIDOS:

IZENA/ NOMBRE:

TALDEA/ GRUPO:

TITULAZIOA/ TITULACIÓN:

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

IRASTURTEA/ CURSO:

DATA/ FECHA:

IRAKASGAIA/ ASIGNATURA:

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

Para determinar el valor de T_2 debemos obtener primero el valor de T_1 . Para ello aplicaremos la ecuación de estado de gases ideales:

$$P_1 \cdot V_1 = m \cdot R' \cdot T_1 \rightarrow T_1 = \frac{P_1 \cdot V_1}{m \cdot R'} = \frac{2'5 \cdot 10^5 \cdot 2}{5 \cdot 287} = 348'43 \text{ K}$$

Ahora sustituimos en la ecuación anterior el valor de T_1 .

$$Q_{12} = m \left(\frac{\gamma - m}{1 - m} \right) c_v (T_2 - T_1) \rightarrow -120 = 5 \left(\frac{1'4 - (-0'5)}{1 - (-0'5)} \right) \cdot 0'718 (T_2 - 348'43)$$

Despejando T_2 , tenemos que $T_2 = 322'04 \text{ K}$.

DEITURAK/APELLIDOS:

IZENA/ NOMBRE:

TALDEA/ GRUPO:

TITULAZIOA/ TITULACIÓN:

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

IRASTURTEA/ CURSO:

DATA/ FECHA:

IRAKASGAIA/ ASIGNATURA:

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

b) La temperatura final del aire ya la hemos calculado:

$$T_2 = 322'04 \text{ K}$$

c) Por ser un sistema cerrado, el trabajo se produce por desplazamiento de frontera. Siendo un proceso politrópico, y por lo tanto reversible:

$$\begin{aligned}
 W_{12} &= \int P dV = m \int P dv = \\
 P \cdot v^m &= cte \quad \left\{ \begin{aligned} &= m \int cte \frac{dv}{v^m} = m \frac{(P_2 \cdot v_2 - P_1 \cdot v_1)}{1-m} = \\ &= m \cdot \frac{R'}{1-m} (T_2 - T_1) \end{aligned} \right.
 \end{aligned}$$

$$W_{12} = m \left(\frac{P_2 \cdot v_2 - P_1 \cdot v_1}{1-m} \right) = m \frac{R'}{1-m} (T_2 - T_1) \quad \text{por ser un gas ideal}$$

$$W_{12} = m \frac{R'}{1-m} (T_2 - T_1) = 5 \cdot \frac{0'287}{1-(-0'5)} (322'04 - 348'43) = -25'25 \text{ kJ}$$

Otra forma válida para calcular el trabajo es aplicando el primer principio:

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

$$\Delta U_{12} = m \cdot c_v \cdot (T_2 - T_1) = 5 \cdot 0.718 \cdot (322.04 - 348.43) = -94.75 \text{ kJ}$$

$$\boxed{W_{12} = Q_{12} - \Delta U_{12} = -120 - (-94.75) = -25.25 \text{ kJ}}$$

d) Para determinar el volumen final de aire podemos utilizar las relaciones de gases ideales, ya que el aire es un gas ideal que sufre un proceso reversible.

$$\left. \begin{aligned} \frac{V_2}{V_1} &= \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{1}{n}} \\ \frac{T_2}{T_1} &= \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \\ \frac{T_2}{T_1} &= \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{n-1} \end{aligned} \right\} \text{ Relaciones de gases ideales}$$

Utilizaremos la siguiente relación para despejar el valor del volumen final

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{n-1} \rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{n-1}$$

DEITURAK/APELLIDOS:

IZENA/ NOMBRE:

TALDEA/ GRUPO:

TITULAZIOA/ TITULACIÓN:

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

IRASTURTEA/ CURSO:

DATA/ FECHA:

IRAKASGAIA/ ASIGNATURA:

KALIFIKAZIOA
CALIFICACIÓN

$$V_2 = V_1 \cdot \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{1}{n-1}} = 2 \cdot \left(\frac{322'04}{348'43} \right)^{\frac{1}{0'5-1}} = 1'898 \text{ m}^3$$

e) En este último apartado se pide determinar la variación de la entropía del aire a lo largo del proceso. Por ser un gas ideal utilizaremos la siguiente expresión:

$$\Delta S_{12} = m \cdot \left(c_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R' \ln \frac{V_2}{V_1} \right) = m \cdot \left(c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R' \ln \frac{P_2}{P_1} \right)$$

En este caso son conocidos los valores de las temperaturas y volúmenes en los estados inicial y final, por lo que:

$$\Delta S_{12} = m \cdot \left(c_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R' \ln \frac{V_2}{V_1} \right)$$

$$\Delta S_{12} = 5 \cdot \left(0'718 \ln \frac{322'04}{348'43} + 0'287 \ln \frac{1'898}{2} \right) = -0'358 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}$$

La variación de la entropía sale negativa, tal y como se indica en el diagrama $T-s$, la entropía específica en el estado inicial es mayor que en el final $s_1 > s_2$.

DEITURAK/APELLIDOS:

IZENA/ NOMBRE:

TALDEA/ GRUPO:

TITULAZIOA/ TITULACIÓN:

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

IKASTURTEA/ CURSO:

DATA/ FECHA:

IRAKASGAIA/ ASIGNATURA:

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

EJERCICIO 2

Datos:

$$- \theta_c = 300^\circ\text{C}$$

$$- \theta_F = 20^\circ\text{C}$$

$$- \dot{Q}_c = 60.000\text{W}$$

$$- \eta_T = 0.8 \cdot \eta_c$$

$$- \dot{m}_{\text{aire}} = 0.1 \text{ kg/s}$$

$$- P_1 = 1 \text{ bar}$$

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

$$- P_2 = 5 \text{ bar}$$

$$- \theta_2 = 150^\circ\text{C}$$

Se pide:

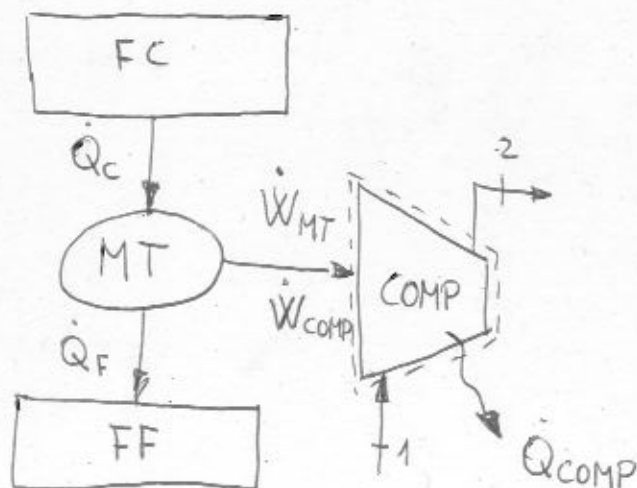
a) Diagramas

b) $\dot{W}_{\text{COMP}}$

c) $\dot{Q}_{\text{COMP}}$, $\dot{Q}_F$

d) $Ex_{D,\text{COMP}}$

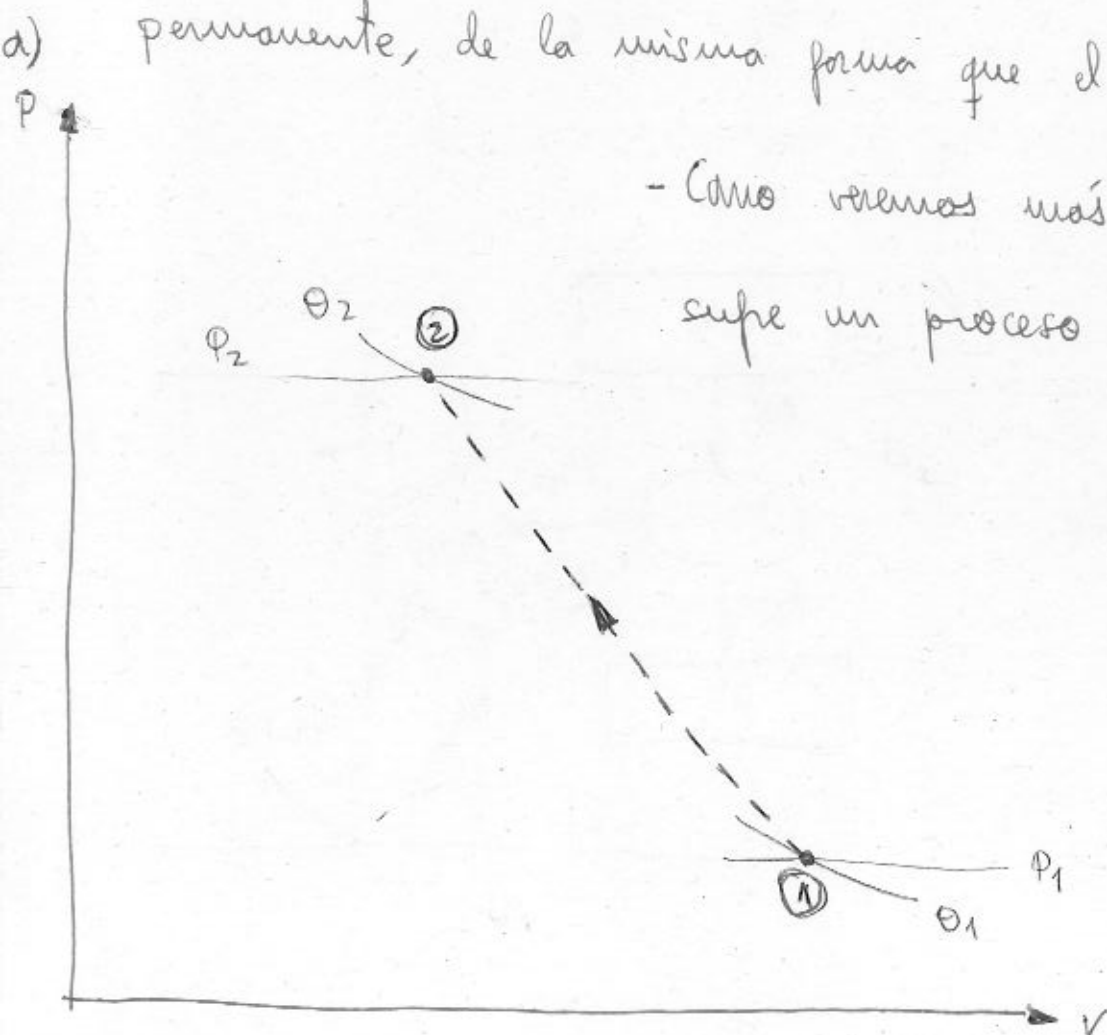
e) $\eta_{Ex,\text{COMP}}$



El enunciado describe el comportamiento de un motor térmico que hace trabajar un compresor que se utiliza para comprimir aire.

- Siendo el rendimiento del motor térmico inferior al de uno reversible, este motor es irreversible.
- El rendimiento térmico del motor reversible lo calcularemos utilizando el rendimiento de Carnot.
- El compresor comprime aire que consideraremos como un gas ideal.
- El compresor es un sistema abierto que trabaja en régimen permanente, de la misma forma que el motor térmico.

- Como veremos más adelante, el aire sufre un proceso irreversible.



DEITURAK/APELLIDOS:

IZENA/ NOMBRE:

TALDEA/ GRUPO:

TITULAZIOA/ TITULACIÓN:

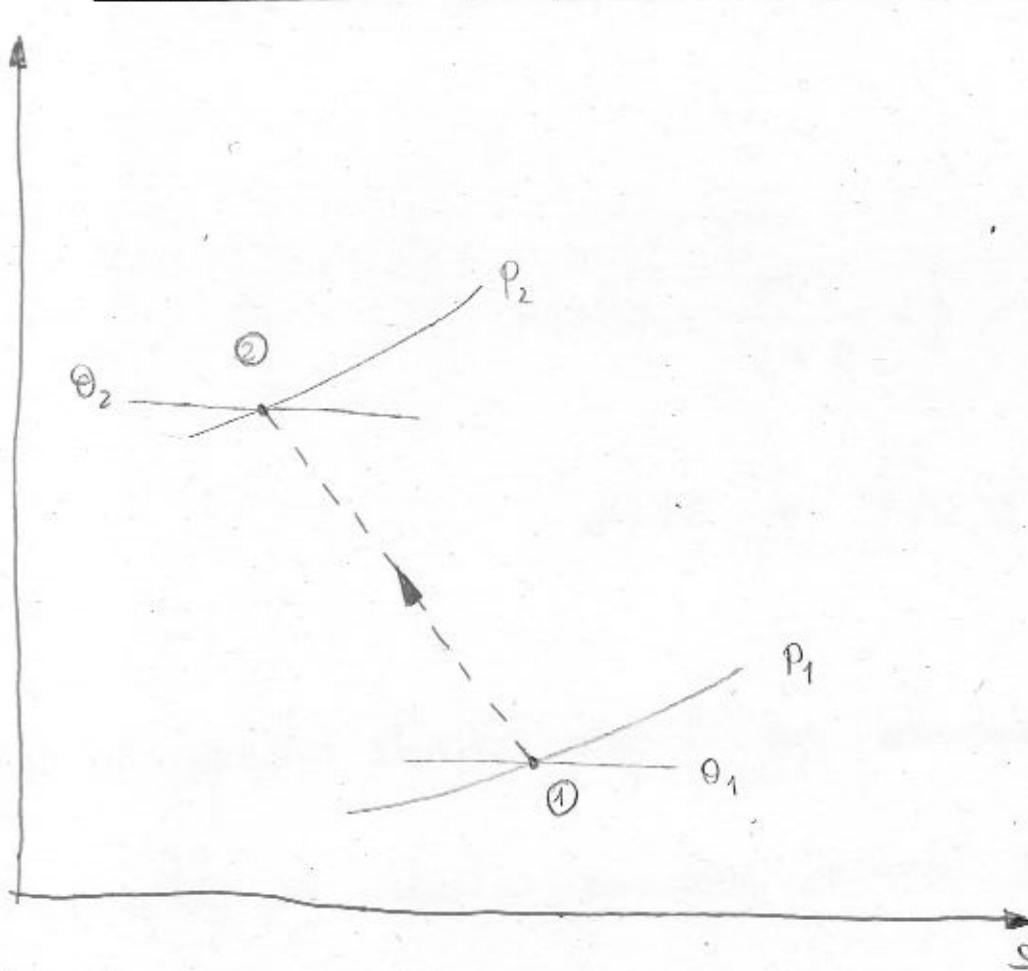
N.A.N/ D.N.I:

IRASTURTEA/ CURSO:

DATA/ FECHA:

IRAKASGAIA/ ASIGNATURA:

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



b) El compresor utiliza toda la potencia entregada por el motor térmico, por lo que calcularemos su valor.

$$\dot{W}_{MT} = |\dot{W}_{comp}|$$

La potencia del motor térmico se calculará a partir de su rendimiento térmico:

$$\eta_T = \frac{\dot{W}_{MT}}{\dot{Q}_c} \rightarrow \dot{W}_{MT} = \eta_T \cdot \dot{Q}_c$$

Sabiendo que el rendimiento térmico del motor es el 80% del rendimiento térmico del motor térmico reversible.

$$\eta_T = 0.8 \cdot \eta_c$$

$$\eta_c = 1 - \frac{T_F}{T_c} = 1 - \frac{293}{573} = 0.489$$

$$\eta_T = 0.8 \cdot \eta_c = 0.391 \rightarrow 39.1\%$$

Por lo tanto, sabiendo que el foco caliente entrega 60.000 W de calor al motor térmico, podemos calcular la potencia que genera, y por lo tanto consume el compresor.

$$\dot{W}_{MT} = \eta_T \cdot \dot{Q}_c = 0.391 \cdot 60.000 = 23455.5 \text{ W}$$

$$\dot{W}_{MT} = |\dot{W}_{comp}| = -\dot{W}_{comp} \rightarrow \boxed{\dot{W}_{comp} = -23455.5 \text{ W}}$$

c) Para calcular el flujo de calor en el compresor, se

DEITURAK/APELLIDOS:

IZENA/ NOMBRE:

TALDEA/ GRUPO:

TITULAZIOA/ TITULACIÓN:

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

IKASTURTEA/ CURSO:

DATA/ FECHA:

IRAKASGAIA/ ASIGNATURA:

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

aplicará la ecuación de la energía en régimen permanente

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

$$\dot{Q}_{\text{COMP}} = \dot{m}_{\text{aire}} \cdot c_p (\theta_2 - \theta_1) + \dot{W}_{\text{COMP}}$$

De tablas c_p del aire es igual a $1005 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$

$$\dot{Q}_{\text{COMP}} = 0'1 \cdot 1005 (150 - 20) + (-23455'5) = -10390'5 \text{ W}$$

El flujo de calor cedido por el motor térmico al foco frío se determina a partir del balance de energía en el motor térmico:

$$\dot{W}_{\text{MT}} = \dot{Q}_c + \dot{Q}_F \rightarrow \dot{Q}_F = \dot{W}_{\text{MT}} - \dot{Q}_c = 23455'5 - 60000$$

$$\dot{Q}_F = -36544'5 \text{ W}$$

d) La exergía destruida en el compresor se puede calcular mediante el cálculo de la entropía generada y aplicando la ecuación de Guy-Stodola, o utilizando el balance de exergía en sistemas abiertos en régimen permanente.

* Mediante la ecuación de Guy-Stodola:

$$\dot{S}_{G,COMP} = \dot{m}_{aire} (s_2 - s_1) - \int \frac{\delta \dot{Q}}{T}$$

Se calculará primero la entropía generada mediante el balance de entropía en sistemas abiertos en régimen permanente.

La variación de entropía específica del aire considerado gas ideal:

$$s_2 - s_1 = c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R' \ln \frac{P_2}{P_1}$$

$$\text{De tablas } c_p = 1005 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \text{ y } R' = 287 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$$

$$s_2 - s_1 = 1005 \ln \frac{423}{293} - 287 \ln \frac{5}{1} = -92.87 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$$

DEITURAK/APELLIDOS:

IZENA/ NOMBRE:

TALDEA/ GRUPO:

TITULAZIOA/ TITULACIÓN:

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

IRASTURTEA/ CURSO:

DATA/ FECHA:

IRAKASGAIA/ ASIGNATURA:

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

Para calcular el segundo término de la derecha en la ecuación que define el balance de entropía en sistemas abiertos en régimen permanente, consideraremos que la temperatura de la superficie a la que se produce el intercambio de calor es el promedio entrada-salida del aire, y que permanece constante:

$$\int \frac{\delta \dot{Q}}{T} = \frac{\dot{Q}_{\text{comp}}}{\frac{(T_1 + T_2)}{2}} = \frac{-10390 \text{ S}}{\left(\frac{293 + 423}{2}\right)} = -29'02 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

Volviendo al balance de entropía:

$$\dot{S}_{G,\text{comp}} = \dot{m}_{\text{aire}} (S_2 - S_1) - \int \frac{\delta \dot{Q}}{T} = 0'1 \cdot (-92'87) - (-29'02) = 19'73 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

Aplicando Gouy-Stodola

$$\boxed{Ex_{D,\text{comp}} = T_0 \cdot \dot{S}_{G,\text{comp}} = 293 \cdot 19'73 = 5782'8 \text{ W}}$$

* A partir del balance de exergía en sistemas abiertos en régimen permanente.

16

$$E_{x,D,COMP} = \dot{m}_{aire} (a_{f,1} - a_{f,2}) + \int (1 - \frac{T_0}{T}) \delta \dot{Q} - \dot{W}_{COMP}$$

La variación de exergía física de flujo del aire:

$$a_{f,1} - a_{f,2} = (h_1 - h_2) - T_0 (s_1 - s_2)$$

Considerando el aire como gas ideal:

$$a_{f,1} - a_{f,2} = c_p (\theta_1 - \theta_2) - T_0 (c_p \ln \frac{T_1}{T_2} - R' \ln \frac{P_1}{P_2})$$

$$a_{f,1} - a_{f,2} = 1005 (20 - 150) - 293 (1005 \ln \frac{293}{423} - 287 \ln \frac{1}{5}) = -157861'8 \text{ W}$$

El término de transferencia de exergía por transferencia de calor:

$$\int (1 - \frac{T_0}{T}) \delta \dot{Q}$$

Considerando que la temperatura a la que se produce el intercambio de calor permanece constante y es el promedio de la

DEITURAK/APELLIDOS:

IZENA/ NOMBRE:

TALDEA/ GRUPO:

TITULAZIOA/ TITULACIÓN:

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

IRASTURTEA/ CURSO:

DATA/ FECHA:

IRAKASGAIA/ ASIGNATURA:

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

entrada y la salida del aire

$$\int \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \delta \dot{Q} = \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \dot{Q}_{\text{COMP}} = \left(1 - \frac{293}{\left(\frac{423+293}{2}\right)}\right) \cdot (-10390'5) = \\
 = -1886'5 \text{ W}$$

Sustituyendo los valores en la ecuación que define el balance:

$$\dot{E}_{X_{D, \text{COMP}}} = \dot{m}_{\text{aire}} (q_{p1} - q_{p2}) + \int \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \delta \dot{Q} - \dot{W}_{\text{COMP}}$$

$$\dot{E}_{X_{D, \text{COMP}}} = 0'1 \cdot (-157861'8) + (-1886'5) - (-23455'5)$$

$$\boxed{\dot{E}_{X_{D, \text{COMP}}} = 5782'8 \text{ W}}$$

Por ser un proceso irreversible, el valor sale positivo.

c) Para el cálculo del rendimiento exergético del compresor utilizaremos la siguiente expresión:

$$\eta_{EX, COMP} = \frac{\dot{m}_{aire} (a_{f2} - a_{f1})}{-\dot{W}_{COMP}} \times 100$$

Esta expresión indica cómo se aprovecha la exergía en forma de trabajo que recibe el compresor para aumentar la exergía física de flujo del aire.

$$\eta_{EX, COMP} = \frac{0.1 \cdot (157861.8)}{-(-23455.5)} \times 100 = 67.3\%$$

DEITURAK/APELLIDOS:

IZENA/ NOMBRE:

TALDEA/ GRUPO:

TITULAZIOA/ TITULACIÓN:

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

IRASTURTEA/ CURSO:

DATA/ FECHA:

IRAKASGAIA/ ASIGNATURA:

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

EJERCICIO 3

Datos:

Tubería:

$$L = 5 \text{ m}$$

$$\phi_1 = 15 \text{ cm}$$

$$\phi_2 = 18 \text{ cm}$$

$$K_{TUB} = 14 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$$

$$K_{MAG} = 2'69 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$$

$$\dot{Q} = 8000 \text{ W}$$

$$\theta_3 = 71^\circ \text{C}$$

Agua:

$$\dot{m} = 16 \text{ kg/s}$$

$$\theta_e = 85^\circ \text{C}$$

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

Aire (viento):

$$\theta_{A3} = 15^\circ \text{C}$$

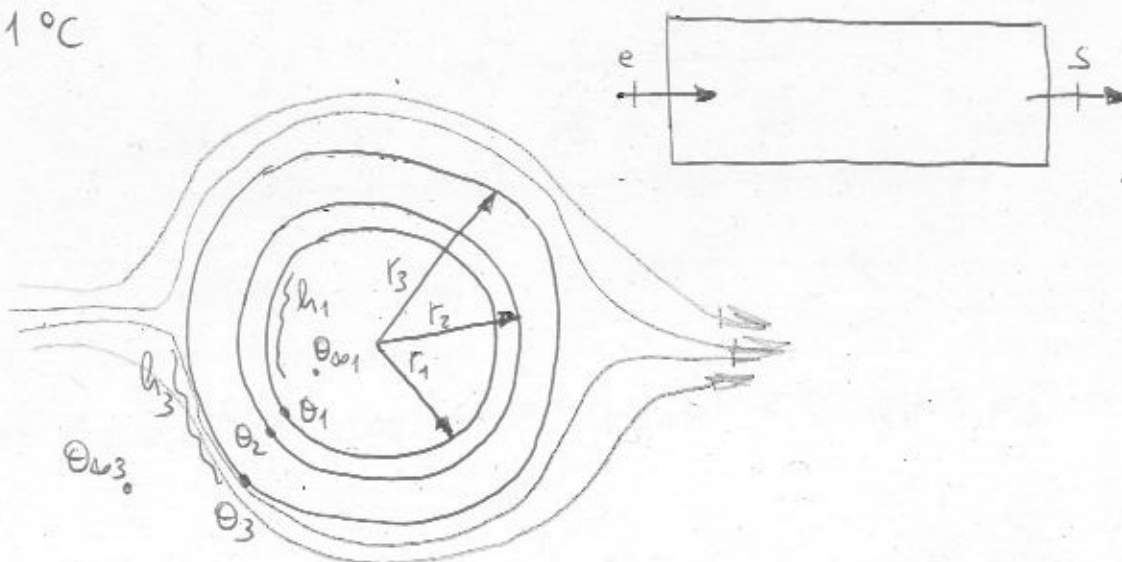
Se pide:

a) θ_1

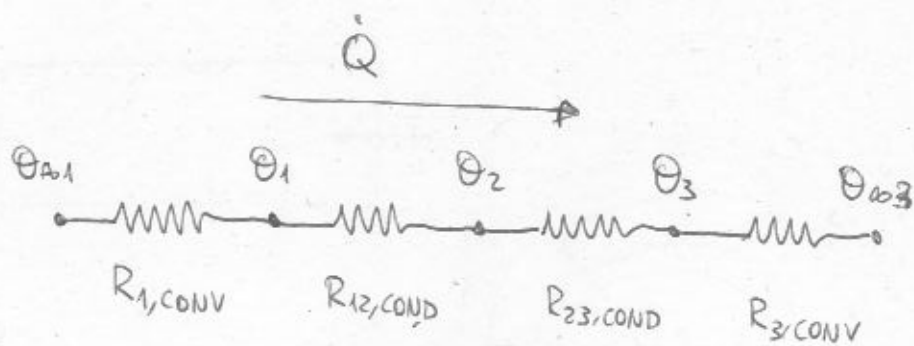
b) θ_2

c) e_{MAG}

d) C_{AIRE}



El agua que entra en la tubería de acero transmite calor a la superficie interna de la tubería por convección forzada. Por ser un problema sin generación de calor y en régimen permanente, por lo que el calor que recibe la superficie interna de la tubería de acero se transmite por conducción hasta superficie externa de la tubería de acero, y, finalmente, desde la superficie interna de la magnesia hasta la externa. En cuanto a la superficie externa de magnesia, desde esta superficie el calor que pierde la tubería se transmite por convección forzada hacia el viento que sopla al exterior de la tubería.



$$\dot{Q} = 8000 \text{ W} = \dot{Q}_{1, CONV} = \dot{Q}_{12, COND} = \dot{Q}_{23, COND} = \dot{Q}_{3, CONV}$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_{aire} \cdot c_p (\theta_e - \theta_s)$$

DEITURAK/APELLIDOS:

IZENA/ NOMBRE:

TALDEA/ GRUPO:

TITULAZIOA/ TITULACIÓN:

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

IRASTURTEA/ CURSO:

DATA/ FECHA:

IRAKASGAIA/ ASIGNATURA:

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

- a) Para calcular la temperatura interior de la tubería de acero utilizaremos la siguiente expresión:

$$\dot{Q} = h_1 \cdot A_1 \cdot (\theta_{\infty 1} - \theta_1) = \frac{\theta_{\infty 1} - \theta_1}{\frac{1}{h_1 A_1}} = \frac{\theta_{\infty 1} - \theta_1}{R_{1, \text{CONV}}}$$

$$\theta_1 = \theta_{\infty 1} - \frac{\dot{Q}}{h_1 \cdot A_1}$$

Por ser convección forzada por el interior de una tubería aplicaremos Dittus-Boelter, para lo que necesitamos la temperatura característica para obtener las propiedades termofísicas del agua, y así calcular los números adimensionales y determinar el coeficiente de convección.

La temperatura característica para el cálculo de las propiedades termofísicas se tomará igual a la temperatura de entrada del agua, como dice el enunciado.

$$\theta_{carac} = \theta_e = 85^\circ\text{C}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho = 968.1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ c_p = 4201 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \\ K = 0.673 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \\ \mu = 3.33 \cdot 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \\ D = 3.43973 \cdot 10^{-7} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \\ Pr = 2.08 \end{array} \right.$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_{\text{aire}} \cdot c_p (\theta_e - \theta_s) \rightarrow 8000 = 16 \cdot 4201 \cdot (85 - \theta_s)$$

$$\theta_s = 84.88^\circ\text{C}$$

Una vez calculada la temperatura de salida del agua, calcularemos los números adimensionales, en este caso el número de Reynolds.

$$Re = \frac{c \cdot \phi_1}{D}$$

La velocidad del agua en el interior de la tubería de acero se calcula aplicando la ecuación de la continuidad

$$\dot{m}_{\text{aire}} = \rho \cdot A \cdot c \rightarrow c = \frac{\dot{m}_{\text{aire}}}{\rho \cdot A} = \frac{16}{968.1 \cdot \pi \frac{\phi_1^2}{4}} = 0.935 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

DEITURAK/APELLIDOS:

IZENA/ NOMBRE:

TALDEA/ GRUPO:

TITULAZIOA/ TITULACIÓN:

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

IRASTURTEA/ CURSO:

DATA/ FECHA:

IRAKASGAIA/ ASIGNATURA:

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

$$Re = \frac{c \cdot \phi_1}{\nu} = \frac{0'935 \cdot 0'15}{3'43973 \cdot 10^{-7}} = 407844$$

Para calcular el coeficiente de convección calcularemos el número de Nusselt a partir de la correlación de Dittus-Boelter:

$$Nu = \frac{h_1 \cdot \phi_1}{k} = 0'023 \cdot Re^{0'8} \cdot Pr^{0'3} = 0'023 \cdot 407844^{0'8} \cdot 2'08^{0'3}$$

(La correlación de Dittus-Boelter es aplicable)

$$Nu = \frac{h_1 \cdot 0'15}{0'673} = 882'15 \rightarrow h_1 = 3957'9 \frac{W}{m^2 K}$$

Volvemos a la ecuación que hemos propuesto antes:

$$\theta_1 = \theta_{\infty 1} - \frac{\dot{Q}}{h_1 A_1} = \frac{85 + 84'88}{2} - \frac{8000}{3957'9 \cdot 2\pi \frac{\phi_1}{2} \cdot L_{tub}}$$

$$\boxed{\theta_1 = 84'08^\circ C}$$

b) Para calcular la temperatura en la superficie externa de la tubería de acero:

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

$$R_{12, \text{COND}} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi k L} = \frac{\ln\left(\frac{0'18}{0'15}\right)}{2\pi \cdot 14 \cdot 5} = 4'145 \cdot 10^{-4} \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$\boxed{\theta_2 = 84'08 - 8000 \cdot 4'145 \cdot 10^{-4} = 80'77^\circ\text{C}}$$

c) El espesor de la capa de magnesia de acero se calculará despejando de la resistencia térmica el radio de su superficie externa

$$\dot{Q} = \frac{\theta_2 - \theta_3}{R_{23, \text{COND}}} \rightarrow R_{23, \text{COND}} = \frac{\theta_2 - \theta_3}{\dot{Q}} = \frac{80'77 - 71}{8000}$$

$$R_{23, \text{COND}} = 1'22 \cdot 10^{-3} \frac{\text{K}}{\text{W}} = \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi k_{\text{Mg}} L}$$

$$r_3 = 0'0998 \text{ m}$$

El espesor de magnesia será $r_3 - r_2 = \boxed{9'8 \cdot 10^{-3} \text{ m}} \approx 1 \text{ cm}$

DEITURAK/APELLIDOS:

IZENA/ NOMBRE:

TALDEA/ GRUPO:

TITULAZIOA/ TITULACIÓN:

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

IRASTURTEA/ CURSO:

DATA/ FECHA:

IRAKASGAIA/ ASIGNATURA:

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

d) Para calcular la velocidad determinaremos el número de Reynolds de la correlación correspondiente, calculando primero el coeficiente de convección de la superficie externa de maguesita y después el número de Nusselt.

$$\dot{Q} = \frac{\theta_s - \theta_{\infty 3}}{R_{3, \text{CONV}}} \rightarrow 8000 = \frac{71 - 15}{\frac{1}{h_3 \cdot A_3}} = h_3 \cdot 2\pi \frac{\phi_3}{2} \cdot L (71 - 15)$$

$$h_3 = \frac{8000}{2\pi \frac{0.01996}{2} \cdot 5 (71 - 15)} = 45.57 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$$

Para calcular el número de Nusselt necesitamos los valores de las propiedades termofísicas a partir de la temperatura característica del caso convección forzada flujo transversal externo a tubería:

$$\theta_c = \frac{\theta_p + \theta_f}{2} = \frac{71 + 15}{2} = 43^\circ \text{C}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho = 1'1162 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ c_p = 1007 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \\ k = 0'02684 \frac{\text{W}}{\text{m K}} \\ \mu = 1'9318 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m s}} \\ \nu = 1'7308 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \\ Pr = 0'7247 \end{array} \right.$$

$$Nu = \frac{h_3 \cdot \phi_3}{k} = \frac{45'57 \cdot 0'1996}{0'02684} = 338'84$$

Para calcular el número de Reynolds utilizaremos las opciones alternativas. Para ello, utilizaremos las dos opciones y comprobaremos en qué caso se cumplen las condiciones

$$1000 < Re < 2 \cdot 10^5 \rightarrow Nu = 0'26 Re^{0'6} \cdot Pr^{1/3} \rightarrow \boxed{Re = 185952}$$

$$2 \cdot 10^5 < Re < 10^6 \rightarrow Nu = 0'076 Re^{0'7} \cdot Pr^{1/3} \rightarrow Re = 190421$$

Sabiendo el número de Reynolds despejaremos de la expresión la velocidad del viento.

$$Re = \frac{C_{\text{VIENTO}} \cdot \phi_3}{\nu} \rightarrow C_{\text{VIENTO}} = \frac{Re \cdot \nu}{\phi_3} = \frac{185952 \cdot 1'7308 \cdot 10^{-5}}{0'1996}$$

DEITURAK/APELLIDOS:

IZENA/ NOMBRE:

TALDEA/ GRUPO:

TITULAZIOA/ TITULACIÓN:

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

IKASTURTEA/ CURSO:

DATA/ FECHA:

IRAKASGAIA/ ASIGNATURA:

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

$$C_{VIENTO} = 1613 \text{ mm/s}$$