

1. ariketa. 80 °C-tan dagoen 5 kg-ko altzairuzko bloke bat, 20 litro uretan murgiltzen da. Ontzia zurruna eta adiabatikoa da. Blokea urperatu ondoren, oreka lortu arte aski denbora igarotzen da. Oreka egoera honetan, blokea eta uraren tenperatura 25 °C-koa da. Kalkulatu:

a) Uraren hasierako tenperatura.

b) Prozesuan suntsitutako exergia, kalkulua ikastaroan zehar erakutsitako bi moduetako bat erabiliz eginez.

c) Prozesuan suntsitutako exergia, kalkulua ikastaroan zehar erakutsitako beste era erabiliz eginez.

Oharra: Altzairuaren bero espezifikoa = 0,44 kJ/kg·K; Uraren bero espezifikoa = 4,186 kJ/kg·K; Erreferentziako tenperatura: 15°C.

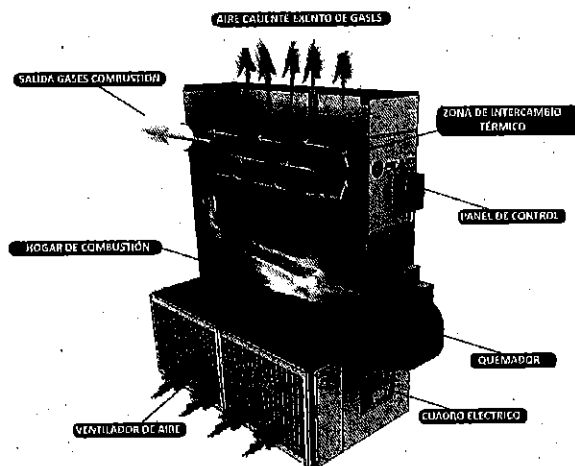
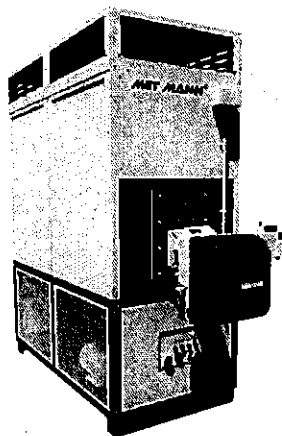
2. ariketa. Irudiko taulak aire-bero sorgailu baten datu teknikoak erakusten ditu. Potentzia termiko nominalaren eta potentzia utilaren arteko diferentzia bero-galeratzat hartzen da (funtsean 70 °C-tan kanporatutako errekontza-gasekin). Aire-bero sorgailuaren barruko bero-trukerako guneko tenperatura 400 °C-koa da. Aireak 11°C-tan sartzen da sorgailura. Taulan emandako aire-fluxua sorgailuaren sarrerako baldintzetan adierazita dago. Kalkulatu:

a) Sorgailuaren irteerako aire beroaren tenperatura.

b) Prozesuan suntsitutako exergia.

c) Aire-bero sorgailuaren etekin exergetikoa.

Oharra: Airearen bero espezifikoa = 1,0045 kJ/kg·K; Erreferentziako tenperatura: 10 °C.



DATOS TECNICOS	DESCRIPCIÓN	UNIDADES	DATOS
	Potencia nominal	kW	200,00
	Potencia útil	kW	184,00
	Caudal de aire	m ³ /h	16,500
	Nivel sonoro	dB (A) 3m	71
	Tipo de ventilador	-	DA 15/15 N2T

3. ariketa. 6 m-ko luzera, 10 cm-ko barne-diametroa eta 4 mm-ko lodiera dituen tutueria horizontal batean zehar 0,15 kg/s ur pasatzen da. Uraren tenperatura tutueriaren sarreran 80 °C da eta presioa 1 bar. 1 cm-ko isolatzaile geruza bat jartzen zaio tutueriari, horrela, tutuerian zehar bero-galerak 1 kW izatera murriztuz. Isolatzailearen kanpo-gainazalarekiko elkarzuta haizeak jotzen du, eta haize honen tenperatura 15 °C da. Kalkula bitez:

a) Haizearen abladura.

b) Bero-transmisio koefiziente orokorraren balioa (kanpo-gainazalarekiko).

Datuak: Tutueriaren konduktibitate termikoa $k_T = 20 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$; Isolatzailearen konduktibitate termikoa, $k_I = 0,08 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

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.

Problema 1. Se sumerge un bloque de acero de 5 kg a 80 °C en 20 litros de agua. El depósito rígido que contiene ambos elementos es adiabático. Tras sumergir el bloque, se espera el tiempo suficiente hasta que se alcance el equilibrio. En dicho estado de equilibrio, la temperatura es de 25 °C. Calcúlese:

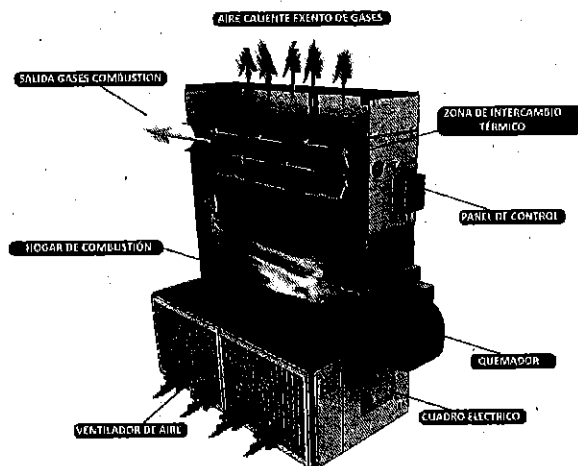
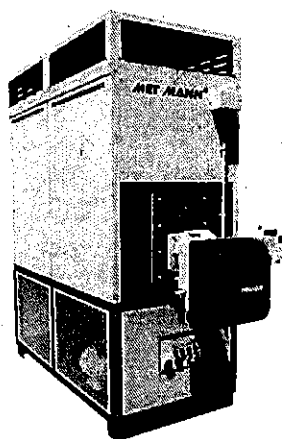
- La temperatura inicial del agua.
- La exergía destruida en el proceso, realizando el cálculo mediante una de las dos maneras mostradas durante el curso.
- La exergía destruida en el proceso, realizando el cálculo mediante la otra manera mostrada durante el curso.

Nota: Calor específico del acero = 0,44 kJ/kg·K; Calor específico del agua = 4,186 kJ/kg·K; Temperatura de referencia: 15 °C.

Problema 2. - La tabla de la figura muestra los datos técnicos de un generador de aire caliente. La diferencia entre la potencia térmica nominal y la útil se consideran pérdidas de calor (básicamente con los gases de combustión expulsados a 70 °C) al medio circundante. La temperatura en la zona de intercambio térmico dentro del generador de aire caliente es de 400 °C. El aire entra a 11 °C al generador. El caudal de aire que se facilita en la tabla es en las condiciones a la entrada del generador. Calcúlese:

- La temperatura del aire caliente a la salida del generador.
- La exergía destruida en el proceso.
- El rendimiento exergético del generador de aire caliente.

Nota: Calor específico del aire = 1,0045 kJ/kg·K; Temperatura de referencia: 10 °C.



DATOS TECNICOS	DESCRIPCIÓN	UNIDADES	DATOS
	Potencia nominal	kW	200,00
	Potencia útil	kW	184,00
	Caudal de aire	m ³ /h	16.500
	Nivel sonoro	dB (A) 3m	71
	Tipo de ventilador	-	DA 15/15 N2T

Problema 3. Por un tubo horizontal de 6 m de largo, 10 cm de diámetro interior y 4 mm de espesor fluyen 0,15 kg/s de agua. La temperatura del agua a la entrada de la tubería es de 80 °C y la presión es de 1 bar. Se coloca una capa de aislamiento de 1 cm sobre la tubería, reduciendo así las pérdidas de calor a través de la tubería a 1 kW. Si sobre la superficie exterior del material aislante el viento pega de forma perpendicular, y la temperatura del aire exterior es de 15 °C, calcúlese:

a) Velocidad del aire exterior.

b) El valor del coeficiente general de transferencia de calor (en relación con la superficie exterior).

Datos: Conductividad térmica de la tubería, $k_T = 20 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$; Conductividad térmica del aislante, $k_I = 0,08 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

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.

Problem 1. A 5 kg steel block at 80 °C is immersed in 20 liters of water. The rigid reservoir containing both elements is adiabatic. After submerging the block, we wait enough time until equilibrium is reached. In this equilibrium state, the temperature is 25 °C. Calculate:

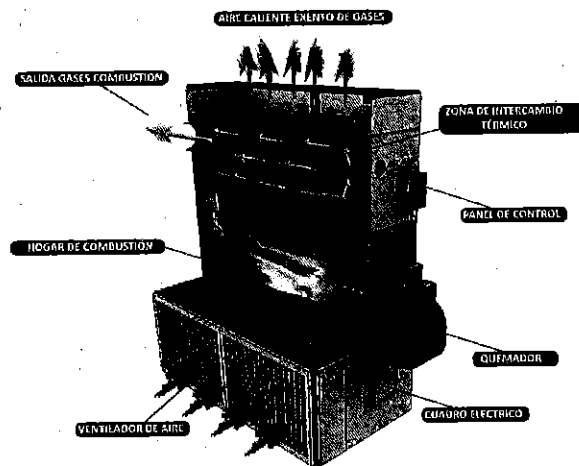
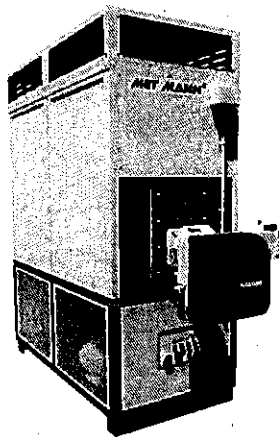
- The initial temperature of the water
- The exergy destroyed in the process, performing the calculation using one of the two ways shown during the course
- The exergy destroyed in the process, performing the calculation using the other way shown during the course

Note: Specific heat of steel = 0.44 kJ/kg·K; Specific heat of water=4.186 kJ/kg·K. Reference temperature: 15°C

Problem 2. The table in the figure shows the technical data of a hot air generator. The difference between the nominal thermal power and the useful one is considered heat losses (basically with the combustion gases expelled at 70 °C) to the surrounding medium. The temperature in the heat exchange zone inside the hot air generator is 400 °C. The air enters the generator at 11°C. The air flow rate provided in the table is under the conditions at the generator inlet. Calculate:

- The temperature of the hot air at the generator outlet.
- The exergy destroyed in the process.
- The exergy efficiency of the hot air generator.

Note: Specific heat of air = 1.0045 kJ/kg·K; Reference temperature: 10 °C.



DATOS TECNICOS	DESCRIPCION	UNIDADES	DATOS
	Potencia nominal	kW	200,00
	Potencia útil	kW	184,00
	Caudal de aire	m³/h	16.500
	Nivel sonoro	dB (A) 3m	71
	Tipo de ventilador		DA 15/15 N2T

Problem 3. 0.15 kg/s of water flows through a horizontal tube 6 m long, 10 cm inside diameter and 4 mm thick. The temperature of the water at the entrance of the pipe is 80 °C and the pressure is 1 bar. A 1 cm layer of insulation is placed over the pipe, thereby reducing heat losses through the pipe to 1 kW. If the outside air temperature is 15 °C, calculate:

a) Outdoor air velocity.

b) The value of the overall heat transfer coefficient (relative to the outer surface).

Data: Thermal conductivity of the pipe, $k_T = 20 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$; Thermal conductivity of the insulator, $k_I = 0.08 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

Time: 3 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.



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

PROBLEMA 1

Datos:

$$m_{AC} = 5 \text{ kg}$$

$$\theta_{AC,1} = 80^\circ\text{C}$$

$$c_{p,AC} = 0.44 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

Agua:

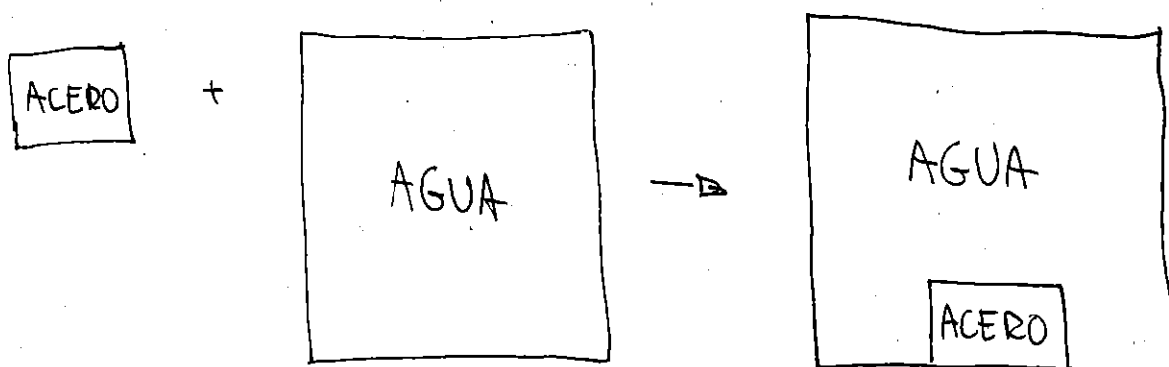
$$V_A = 20 \text{ l}$$

$$c_{p,A} = 4.186 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

$$\theta_2 = 25^\circ\text{C}$$

$$\theta_0 = 15^\circ\text{C}$$

- El depósito es rígido y adiabático
- Se trata de un sistema formado por dos subsistemas.



- Tanto el agua como el acero se consideran sustancias incompresibles : $c_v = c_p = c$

- Se trata de un sistema cerrado en el que ambos cuerpos intercambian energía en forma de calor hasta alcanzan el equilibrio térmico.

a) Para calcular la temperatura inicial del agua, aplicaremos el primer principio al conjunto agua-acero:

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

Sabiendo que el sistema es adiabático y rígido, no existe intercambio de calor con el entorno ni trabajo por desplazamiento de frontera.

$$\Delta U_{12} = 0 = U_2 - (U_{AC,1} + U_{A,1})$$

$$\Delta U_{12} = (m_{AC} \cdot c_{AC} + m_A \cdot c_A) \theta_2 - m_{AC} \cdot c_{AC} \cdot \theta_{AC,1} - m_A \cdot c_A \cdot \theta_{A,1}$$

Se considera el agua líquida como sustancia incompresible

$$v = cte$$

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

$$m_A = \frac{V_A}{v_A} = \frac{0'02 m^3}{0'001 \frac{m^3}{kg}} = 20 kg$$



DEITURAK / APELLIDOS:

IZENA / NOMBRE:

TITULAZIOA / TITULACIÓN:

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

IRASTURTEA / CURSO:

DATA / FECHA:

IRAKASGAIA / ASIGNATURA:

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

$$\Delta U_{12} = (5 \cdot 0'44 + 20 \cdot 4'186) \cdot 25 - 5 \cdot 0'44 \cdot 80 - 20 \cdot 4'186 \cdot \theta_{A,1} = 0$$

Despejando la temperatura del agua en el estado inicial:

$$\theta_{A,1} = \frac{(5 \cdot 0'44 + 20 \cdot 4'186) \cdot 25 - 5 \cdot 0'44 \cdot 80}{20 \cdot 4'186} = 23'55^{\circ}\text{C}$$

b) La exergía destruida en el proceso se puede calcular de dos formas, determinando la entropía generada y aplicando la ecuación de Guy-Stodola, o mediante el balance de exergía aplicado al sistema cerrado. Este apartado b) se resuelve utilizando la ecuación de Guy-Stodola:

$$Ex_D = T_0 \cdot S_G$$

4

Para calcular la entropía generada en el proceso se aplica el balance de entropía al sistema cerrado:

$$\Delta S_{12} = \int \frac{\delta Q}{T} + S_G$$

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

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

$$\begin{aligned}\Delta S_{12} &= (m_{AC} \cdot s_{AC,2} + m_A \cdot s_{A,2}) - (m_{AC} \cdot s_{AC,1} + m_A \cdot s_{A,1}) = \\ &= m_{AC} \cdot (s_{AC,2} - s_{AC,1}) + m_A (s_{A,2} - s_{A,1})\end{aligned}$$

Como ya se ha indicado, el acero y el agua se consideran sustancias incompresibles

$$s_{AC,2} - s_{AC,1} = c_{AC} \ln \frac{T_2}{T_{A,1}} = 0.44 \cdot \ln \frac{(273+25)}{(273+80)} = -0.0745 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

$$s_{A,2} - s_{A,1} = c_A \ln \frac{T_2}{T_{A,1}} = 4.186 \cdot \ln \frac{(273+25)}{(273+23.55)} = 0.0204 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

$$\Delta S_{12} = 5 \cdot (-0.0745) + 20 \cdot 0.0204 = -0.3726 + 0.407$$

$$\Delta S_{12} = S_G = 0.0344 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}$$



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

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

$$E_{x_D} = T_0 \cdot S_G = (273 + 15) \cdot 0'0344 = 9'908 \text{ KJ}$$

c) En este caso se aplica el balance de exergía al sistema cerrado:

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

Depósito adiabático $\rightarrow \int \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \delta Q = 0$

Depósito rígido $\rightarrow (W - P_0(V_2 - V_1)) = 0$

Por lo tanto, $E_{x_D} = -\Delta A_{12}$

$$\begin{aligned} \Delta A_{12} &= (m_{AC} \cdot a_{AC,2} + m_A \cdot a_{A,2}) - (m_{AC} \cdot a_{AC,1} + m_A \cdot a_{A,1}) = \\ &= m_{AC} \cdot (a_{AC,2} - a_{AC,1}) + m_A \cdot (a_{A,2} - a_{A,1}) \end{aligned}$$

$$a_{AC,2} - a_{AC,1} = (u_{AC,2} - u_{AC,1}) + P_0 (\cancel{v_{AC,2}} - \cancel{v_{AC,1}}) - T_0 (s_{AC,2} - s_{AC,1}) =$$

$$= C_{AC} \cdot (\theta_2 - \theta_{AC,1}) - T_0 \cdot C_{AC} \cdot \ln \frac{T_2}{T_{AC,1}}$$

$$a_{AC,2} - a_{AC,1} = 0'44 (25 - 80) - (273 + 15) \cdot 0'44 \ln \frac{(273 + 25)}{(273 + 80)}$$

$$a_{AC,2} - a_{AC,1} = -2'737 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$a_{A,2} - a_{A,1} = (u_{A,2} - u_{A,1}) + P_0 (\cancel{v_{A,2}} - \cancel{v_{A,1}}) - T_0 (s_{A,2} - s_{A,1}) =$$

$$= C_A \cdot (\theta_2 - \theta_{A,1}) - T_0 \cdot C_A \ln \frac{T_2}{T_{A,1}}$$

$$a_{A,2} - a_{A,1} = 4'186 (25 - 23'55) - (273 + 15) \cdot 4'186 \cdot \ln \left(\frac{273 + 25}{273 + 23'55} \right)$$

$$a_{A,2} - a_{A,1} = 0'1888 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\Delta A_{12} = m_{AC} \cdot (a_{AC,2} - a_{AC,1}) + m_A (a_{A,2} - a_{A,1}) = 5 \cdot (-2'737) +$$

$$+ 20 \cdot 0'1888$$

$$\Delta A_{12} = -9'908 \text{ kJ}$$

$$\boxed{Ex_D = -\Delta A_{12} = 9'908 \text{ kJ}}$$



DEITURAK / APELLIDOS:

IZENA / NOMBRE:

TITULAZIOA / TITULACIÓN:

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

IRASTURTEA / CURSO:

DATA / FECHA:

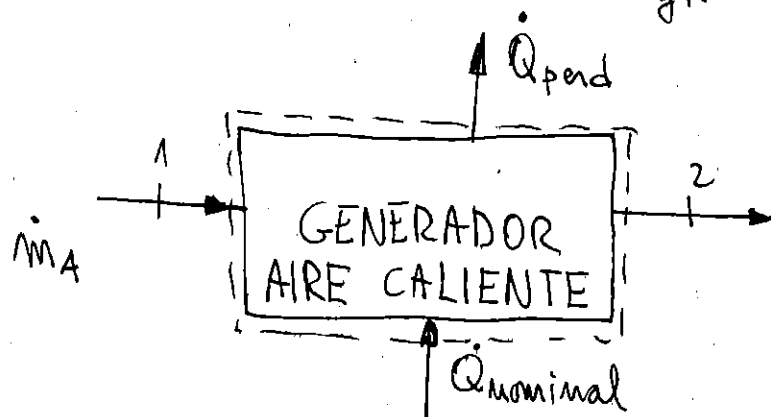
IRAKASGAIA / ASIGNATURA:

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

PROBLEMA 2

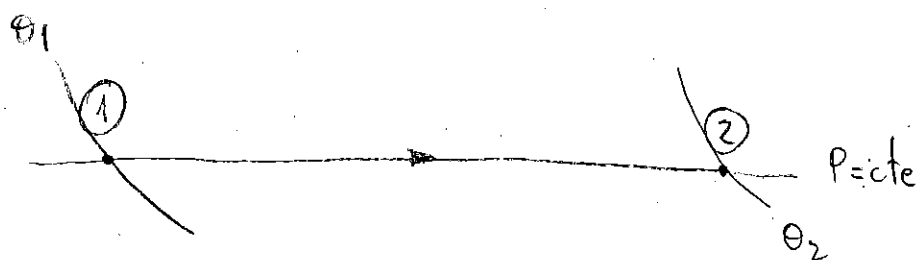
Datos:

$$\begin{array}{l|l|l}
 \dot{Q}_{nom} = 200 \text{ kW} & V_A = 16500 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} & \theta_{INT} = 400^\circ\text{C} \\
 \dot{Q}_u = 184 \text{ kW} & \theta_1 = 11^\circ\text{C} & \theta_{HUMOS} = 70^\circ\text{C} \\
 & c_p = 10045 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} & \theta_o = 10^\circ\text{C}
 \end{array}$$

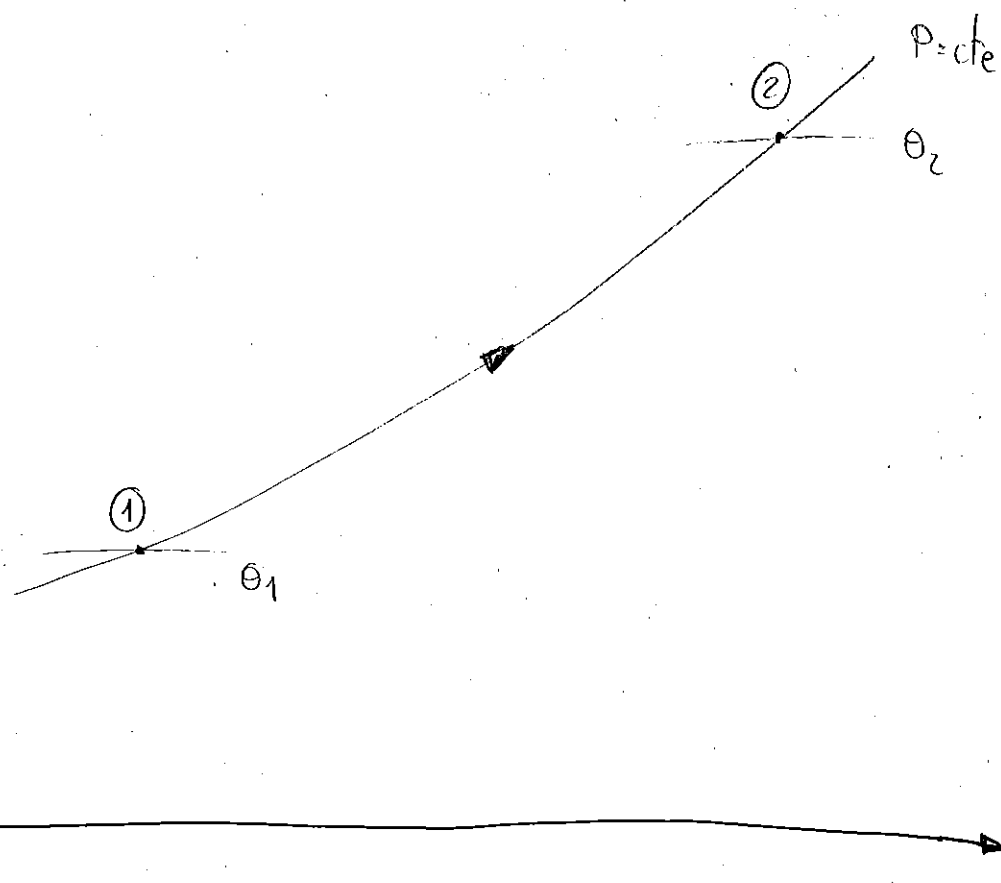


- Se trata de un sistema abierto que trabaja en régimen permanente.
- El aire se considera como un gas ideal.
- El aire sufre un proceso a presión constante.

P



T





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

a) Para calcular la temperatura del aire a la salida del generador se aplica la ecuación de la energía en régimen permanente. No existe trabajo de eje, y se consideran despreciables las variaciones de energía cinética y de energía potencial gravitatoria.

$$\dot{Q} = \dot{m}_A \cdot \left[(h_2 - h_1) + \left(\frac{c_2^2 - c_1^2}{2} \right) + g(z_2 - z_1) \right] + \cancel{\dot{W}}$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_A (h_2 - h_1) = \dot{m}_A \cdot c_p \cdot (\theta_2 - \theta_1)$$

La cantidad de energía en forma de calor que ha recibido el aire es la potencia útil del equipo

$$\dot{Q} = \dot{Q}_u = \dot{m}_A \cdot c_p (\theta_2 - \theta_1)$$

Para calcular el gasto de aire se utiliza el caudal indicado en la ficha del equipo. Este caudal es el de la entrada del equipo

$$P_1 \cdot V_1 = R' T_1 \rightarrow V_1 = \frac{R' T_1}{P_1} = \frac{287 \cdot 284}{101325} = 0'8044 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\dot{m}_A = \frac{\dot{V}_1}{V_1} = \frac{\frac{16500}{3600}}{0'8044} = 5'698 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$Q_u = \dot{m}_A \cdot c_p (\theta_2 - \theta_1) \rightarrow \theta_2 = \frac{Q_u}{\dot{m}_A \cdot c_p} + \theta_1$$

$$\boxed{\theta_2 = \frac{184}{5'698 \cdot 1'0045} + 11 = 43'15^\circ\text{C}}$$

b) La exergía destruida en el proceso se puede calcular de dos formas: mediante el cálculo de la entropía generada en el proceso y aplicando Guy-Stodola, o mediante el balance de exergía.

Mediante la aplicación de la ecuación de Guy-Stodola

Primero calculamos la entropía generada en el sistema; se debe tener en cuenta que al sistema entra calor en forma de potencia térmica nominal y sale calor en forma de pérdida:



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

$$\dot{S}_G = \dot{m}_A (s_2 - s_1) - \int \frac{\delta \dot{Q}_{nom}}{T_{int}} - \int \frac{\delta \dot{Q}_{perd}}{T_{humos}}$$

El aire se considera un gas ideal:

$$s_2 - s_1 = c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R' \ln \frac{p_2}{p_1} = 1'0045 \ln \frac{(273 + 43'15)}{(273 + 11)}$$

$$s_2 - s_1 = 0'1077 \frac{kJ}{kgK}$$

En cuanto al flujo de entropía por el flujo de calor, tenemos que considerar la potencia nominal entregada y las pérdidas de calor.

$$\int \frac{\delta \dot{Q}}{T} = \int \frac{\delta \dot{Q}_{nom}}{T_{int}} + \int \frac{\delta \dot{Q}_{perd}}{T_{humos}} = \frac{\dot{Q}_{nom}}{T_{int}} + \frac{\dot{Q}_{perd}}{T_{humos}}$$

$$|\dot{Q}_{perd}| = \dot{Q}_{nom} - \dot{Q}_u = 200 - 184 = 16 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{perd} = -16 \text{ kW}$$

$$\int \frac{\delta \dot{Q}}{T} = \frac{200}{(273+400)} + \frac{(-16)}{(273+70)} = 0'297 - 0'0466 = 0'2505 \frac{\text{KW}}{\text{K}}$$

$$\dot{S}_G = \dot{m}_A (s_2 - s_1) - \int \frac{\delta \dot{Q}}{T} = 5'698 \cdot 0'1077 - 0'2505 = 0'363 \frac{\text{KW}}{\text{K}}$$

$$\boxed{\dot{E}_{X_D} = T_0 \dot{S}_G = (273+10) \cdot 0'363 = 102'8 \text{ KW}}$$

Aplicando el balance de exergía en el generador de aire caliente:

$$\dot{E}_{X_D} = \dot{m}_A (a_{g,1} - a_{g,2}) + \int \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \delta \dot{Q} - \cancel{\dot{W}}$$

$$\begin{aligned} a_{g,1} - a_{g,2} &= (h_1 - h_2) - T_0 (s_1 - s_2) = c_p (\theta_1 - \theta_2) - T_0 (s_1 - s_2) \\ &= 1'0045 (11 - 43'15) - (273+10) (-0'1077) = -1'808 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \end{aligned}$$

$$\int \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \delta \dot{Q} = \int \left(1 - \frac{T_0}{T_{\text{INT}}}\right) \delta \dot{Q}_{\text{mm}} + \int \left(1 - \frac{T_0}{T_{\text{HUMOS}}}\right) \delta \dot{Q}_{\text{pnd}} =$$

$$= \left(1 - \frac{T_0}{T_{\text{INT}}}\right) \dot{Q}_{\text{mm}} + \left(1 - \frac{T_0}{T_{\text{HUMOS}}}\right) \dot{Q}_{\text{HUMOS}} =$$

$$= \left(1 - \frac{(273+10)}{(273+400)}\right) 200 + \left(1 - \frac{(273+10)}{(273+70)}\right) (-16) = 113'1 \text{ KW}$$

$$\dot{E}_{X_D} = \dot{m}_A (a_{g,1} - a_{g,2}) - \int \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \delta \dot{Q} =$$



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

$$= 5'698 \cdot (-1'808) + 113'1$$

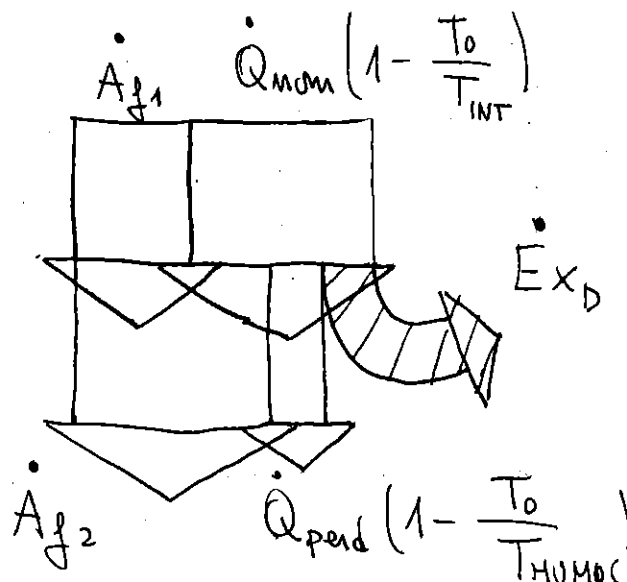
$$E_{x_D} = 102'8 \text{ kW}$$

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

$$\eta_{EX} = \frac{\dot{m}_A (a_{f,2} - a_{f,1}) + \left| \left(1 - \frac{T_0}{T_{HUMOS}} \right) \dot{Q}_{perd} \right|}{\left(1 - \frac{T_0}{T_{INT}} \right) \dot{Q}_{nom}} \times 100 =$$

$$= \frac{5'698 \cdot 1'808 + 2'799}{115'9} \times 100$$

$$\eta_{EX} = 11'3 \%$$





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

PROBLEMA 3

Datos:

Tubería:

$$L = 6 \text{ m}$$

$$\phi_1 = 10 \text{ cm}$$

$$e_T = 4 \text{ mm}$$

$$K_T = 20 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$

Aislamiento:

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

$$k_I = 0.08 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$

Agua:

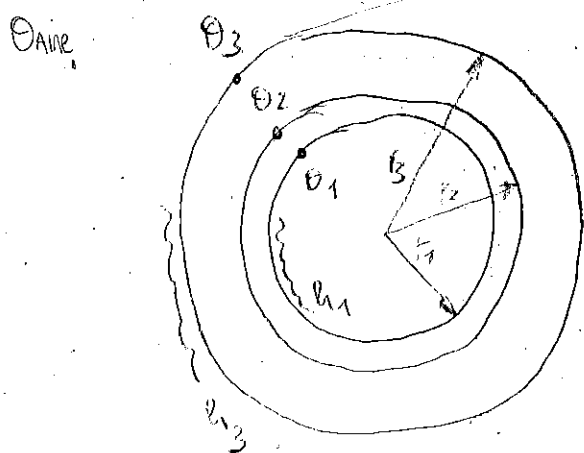
$$\dot{m} = 0.15 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\theta_e = 80^\circ\text{C}$$

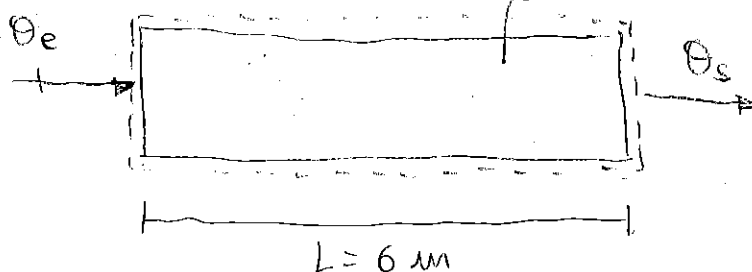
Aire:

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

Pérdidas de calor $\rightarrow Q = 1 \text{ kW}$



$C_{\text{ext}}?$



- Se trata de un problema de transmisión de calor en régimen permanente y sin generación de calor.
- El flujo de calor se considera unidimensional.
- El agua cede calor por convección forzada a la superficie interior de la tubería. El flujo de calor atraviesa la tubería y el aislamiento por conducción hasta llegar a la superficie exterior del material aislante. Desde esta superficie hasta el aire, la transmisión de calor ocurre por convección forzada, ya que el aire exterior no está en reposo.

a) La velocidad del aire exterior se determinará a partir del valor del número de Reynolds exterior. Este valor se obtendrá a partir de la correlación para el análisis de la "convección forzada flujo transversal exterior a tubería", calculando para ello primero el coeficiente de convección h_3 , y después el número de Nusselt exterior.



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.

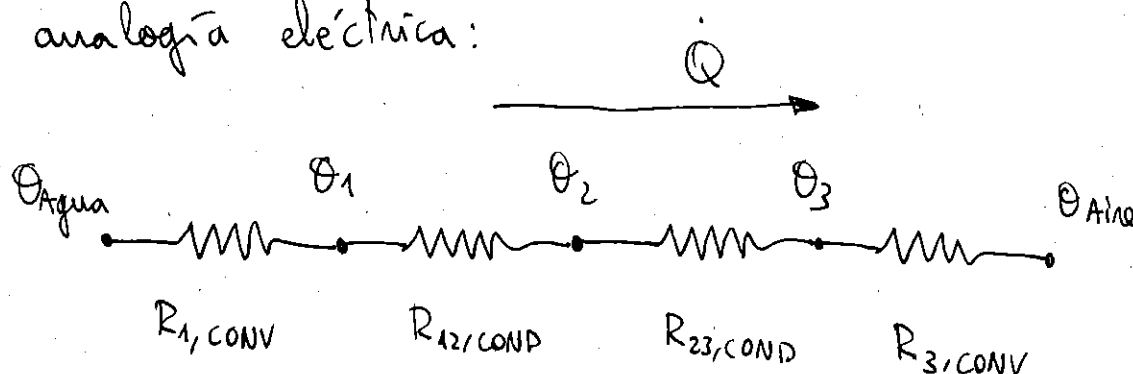
IRASTURTEA / CURSO:

DATA / FECHA:

IRAKASGAIA / ASIGNATURA:

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

Para determinar el coeficiente de convección h_3 se utiliza la analogía eléctrica:



$$\dot{Q} = \frac{\Theta_{\text{Agua}} - \Theta_{\text{Aire}}}{R_{1,\text{CONV}} + R_{12,\text{COND}} + R_{23,\text{COND}} + R_{3,\text{CONV}}}$$

$$R_{3,\text{CONV}} = \frac{\Theta_{\text{Agua}} - \Theta_{\text{Aire}}}{\dot{Q}} - (R_{1,\text{CONV}} + R_{12,\text{COND}} + R_{23,\text{COND}})$$

$$R_{3,\text{CONV}} = \frac{1}{h_3 A_3} \rightarrow h_3 = \frac{1}{R_{3,\text{CONV}} \cdot A_3}$$

Por lo tanto, calcularemos la temperatura del agua y el valor de las resistencias térmicas para determinar el valor

de h_3 .

La temperatura del agua se calcula de la siguiente manera:

$$\theta_{\text{Agua}} = \frac{\theta_e + \theta_s}{2}$$

Es conocida la temperatura del agua a la entrada.

Para determinar la temperatura del agua a la salida se calcula aplicando la ecuación de la energía en régimen permanente sobre la tubería, sabiendo que no existe trabajo

de eje y despreciando las variaciones de energía cinética y de energía potencial gravitatoria.

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c_p (\theta_e - \theta_s) \rightarrow \theta_s = \theta_e - \frac{\dot{Q}}{\dot{m} \cdot c_p}$$

El valor de c_p se toma utilizando la temperatura del agua a la entrada de la tubería, esto es, 80°C .

$c_p = 4197 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$ - ya que no se conoce todavía la temperatura a la salida.



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

$$\theta_s = \theta_e - \frac{\dot{Q}}{\dot{m} \cdot c_p} = 80 - \frac{1000}{0'15 \cdot 4197} = 78'11^\circ\text{C}$$

Para la correlación correspondiente a convección forzada interna a tubería, usaremos la ecuación de Dittus-Boelter. En dicha correlación la temperatura característica ha de ser la temperatura del fluido interno.

La temperatura característica será por lo tanto la temperatura del agua:

$$\theta_{cc} = \theta_{\text{agua}} = \frac{\theta_e + \theta_s}{2} = \frac{80 + 78'11}{2} = 79'21^\circ\text{C}$$

Conocida la temperatura característica, determinaremos las propiedades termofísicas del agua, con ello los números adimensionales y el coeficiente de convección después.

$$\theta_{cc} = \theta_{\text{agua}} = 79'21^\circ\text{C} \rightarrow \begin{cases} \rho = 972'26 \text{ kg/m}^3 \\ k = 0'67 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \\ D = 3'689 \cdot 10^{-7} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \\ Pr = 2'245 \end{cases}$$

Para el cálculo del número de Reynolds interior, se determina la velocidad del agua primero, utilizando para ello la ecuación de la continuidad

$$\dot{m} = f \cdot A_T \cdot C_{INT} \rightarrow C_{INT} = \frac{\dot{m}}{f \cdot \pi \frac{\phi_1^2}{4}} = \frac{0'15}{972'26 \cdot \pi \frac{0'1^2}{4}}$$

$$C_{INT} = 0'02 \frac{m}{s}$$

$$Re_{INT} = \frac{C_{INT} \cdot \phi_1}{\nu_{agua}} = \frac{0'02 \cdot 0'1}{3'689 \cdot 10^{-7}} = 5325'2$$

$$\text{Dittus-Boelter} \rightarrow Nu_{INT} = \frac{h_1 \cdot \phi_1}{K_{agua}} = 0'023 Re_{INT}^{0'8} \cdot Pr^{0'3}$$

(el fluido se enfría)

$$Nu_{INT} = 0'023 \cdot 5325'2^{0'8} \cdot 2'245^{0'3} = 28'07$$

$$h_1 = \frac{Nu_{INT} \cdot K_{agua}}{\phi_1} = \frac{28'07 \cdot 0'67}{0'1} = 187'9 \frac{W}{m^2 K}$$

$$R_{1, CONV} = \frac{1}{h_1 A_1} = \frac{1}{h_1 2\pi \frac{\phi_1}{2} \cdot L} = \frac{1}{187'9 \cdot \pi \cdot 0'1 \cdot 6} = 2'823 \cdot 10^{-3} \frac{K}{W}$$

$$R_{12, COND} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi K_T \cdot L} = \frac{\ln\left(\frac{0'054}{0'05}\right)}{2\pi \cdot 20 \cdot 6} = 1'021 \cdot 10^{-4} \frac{K}{W}$$

$$R_{23, COND} = \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi K_I \cdot L} = \frac{\ln\left(\frac{0'064}{0'054}\right)}{2\pi \cdot 0'08 \cdot 6} = 5'63 \cdot 10^{-2} \frac{K}{W}$$



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.

IKASTURTEA / CURSO:

DATA / FECHA:

IRAKASGAIA / ASIGNATURA:

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

$$R_{3, \text{CONV}} = \frac{\theta_{\text{Agua}} - \theta_{\text{Aire}}}{\dot{Q}} - (R_{1, \text{CONV}} + R_{12, \text{COND}} + R_{23, \text{COND}})$$

$$R_{3, \text{CONV}} = \frac{79'21 - 15}{1000} - (2'823 \cdot 10^{-3} + 1'021 \cdot 10^{-4} + 5'63 \cdot 10^{-2})$$

$$R_{3, \text{CONV}} = 4'95 \cdot 10^{-3} \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$h_3 = \frac{1}{R_{3, \text{CONV}} \cdot A_3} = \frac{1}{R_{3, \text{CONV}} \cdot 2\pi \frac{\phi_3}{7} \cdot L} = \frac{1}{4'95 \cdot 10^{-3} \cdot \pi \cdot 0'128 \cdot 6}$$

$$h_3 = 83'79 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$$

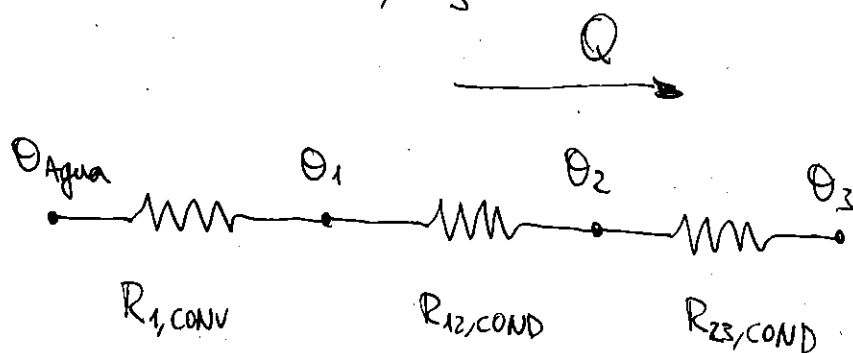
$$Nu_{\text{at}} = \frac{h_3 \cdot \phi_3}{K_{\text{aire}}}$$

Para calcular el valor de la conductividad del aire, y el resto de propiedades termofísicas, es necesario

Determinar la temperatura característica de acuerdo con la correlación que se refiere al caso "convección forzada flujo transversal externa a tubería".

$$\theta_{cc} = \frac{\theta_p + \theta_f}{2} = \frac{\theta_3 + \theta_{Aire}}{2}$$

El cálculo de la temperatura en la superficie exterior del material aislante, θ_3 :



$$Q = \frac{\theta_{Agua} - \theta_3}{R_{1,conv} + R_{12,COND} + R_{23,COND}}$$

$$\begin{aligned} \theta_3 &= \theta_{Agua} - Q \cdot (R_{1,conv} + R_{12,COND} + R_{23,COND}) = \\ &= 79'21 - 1000 \cdot (2'823 \cdot 10^{-3} + 1'021 \cdot 10^{-4} + 5'63 \cdot 10^{-2}) \end{aligned}$$

$$\theta_3 = 19'95^\circ\text{C}$$

$$\theta_{carac} = \frac{\theta_3 + \theta_{Aire}}{2} = \frac{19'95 + 15}{2} = 17'47^\circ\text{C}$$



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

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho = 12146 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ k = 0.02495 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \\ D = 1.4928 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \\ Pr = 0.7316 \end{array} \right.$$

$$Nu_{\text{ext}} = \frac{h_3 \phi_3}{K_{\text{aire}}} = \frac{83.79 \cdot 0.128}{0.02495} = 429.86$$

Para calcular el número de Reynolds externo se utilizan las dos correlaciones alternativas a Churchill-Bernstein:

$$(1) \quad 1000 < Re < 2 \cdot 10^5 \rightarrow Nu = 0.26 Re^{0.6} \cdot Pr^{1/3}$$

$$(2) \quad 2 \cdot 10^5 < Re < 10^6 \rightarrow Nu = 0.076 \cdot Re^{0.7} \cdot Pr^{1/3}$$

Se calcula el número de Reynolds externo con cada correlación y se comprueba si el valor obtenido se encuentra dentro del rango de uso de cada correlación:

$$(1) Nu_{ext} = 0'26 Re_{ext}^{0'6} \cdot Pr^{1/3} \rightarrow Re_{ext} = 274990'7$$

$$(2) Nu_{ext} = 0'076 Re_{ext}^{0'7} \cdot Pr^{1/3} \rightarrow Re_{ext} = 266291'9$$

Por lo tanto, la correlación a aplicar es

$$Nu_{ext} = 0'076 Re_{ext}^{0'7} \cdot Pr^{1/3} \text{ y el número de Reynolds}$$

$$\text{es } Re_{ext} = 266291'9.$$

Ahora calculamos la velocidad del aire exterior:

$$Re_{ext} = \frac{C_{ext} \cdot \phi_3}{V_{aire}} \rightarrow C_{ext} = \frac{Re_{ext} \cdot V_{aire}}{\phi_3} = \frac{266291'9 \cdot 1'4928 \cdot 10^{-5}}{0'128}$$

$$C_{ext} = 31'06 \frac{m}{s}$$

b) El valor del coeficiente global de transferencia de calor en relación con la superficie exterior se calcula utilizando la siguiente expresión:

$$U_3 = \frac{1}{\frac{r_3}{h_1 \cdot r_1} + \frac{r_3 \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{k_T} + \frac{r_3 \ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{h_2}}$$



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

También mediante esta otra expresión:

$$\dot{Q} = U_3 \cdot A_3 (\theta_{\text{Agua}} - \theta_{\text{Aire}}) \rightarrow U_3 = \frac{\dot{Q}}{A_3 (\theta_{\text{Agua}} - \theta_{\text{Aire}})}$$

$$U_3 = \frac{\dot{Q}}{\pi \frac{\phi_3}{2} \cdot L (\theta_{\text{Agua}} - \theta_{\text{Aire}})} = \frac{1000}{\pi \cdot 0'128 \cdot 6 (79'21 - 15)}$$

$$U_3 = 6'455 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$$

