

EXAMEN DE INGENIERÍA TÉRMICA - ENERO 2016

Ejercicio 1 (10 puntos)

En el condensador de un sistema de refrigeración entra el fluido refrigerante R-134a a 10 bar y 70 °C. A la salida del condensador el refrigerante se encuentra en estado de líquido saturado. El condensador es refrigerado por aire, que entra a 20 °C y 1 bar, y sale a 30 °C. Si el caudal de aire a la entrada del condensador es igual 800 m³/h, calcúlese:

- a) Exergía destruida en kW.
- b) Rendimiento exergético.

Si por suciedad acumulada, la resistencia térmica del tubo aumentase, reduciéndose el flujo de calor intercambiado en un 20 %, calcúlese:

- c) El título del refrigerante a la salida del condensador, si se mantiene el gasto de refrigerante.

Tómese como temperatura de referencia 18 °C.

Ejercicio 2 (10 puntos)

Un motor de turbina de gas con regeneración proporciona una potencia neta de 235 kW, con un rendimiento del 38 % y una relación de presiones de 8. El gasto de aire es de 1,2 kg/s y entra al motor a 20 °C y 1 atm. El rendimiento interno del compresor es del 85 % y la eficiencia del regenerador del 76 %. Calcúlese el rendimiento interno de la turbina.

Ejercicio 3 (10 puntos)

Una plancha se deja en posición vertical sobre la tabla de planchar, en una habitación a 20 °C. La superficie del lado exterior de la placa de la plancha se encuentra a 200 °C. Dicha superficie tiene un área de 0,037 m² y una emisividad de 0,6. La plancha tiene una altura desde la base hasta la punta de 25 cm. La placa tiene una conductividad de 20 W/mK y un espesor de 0,5 cm. Calcúlese:

- a) El calor que fluye a través de la placa
- b) La temperatura del lado interior de la placa de la plancha

Tiempo total: 3 horas

Nota: No se corregirán las hojas que no estén identificadas mediante:

- Nombre y apellidos
- Nº DNI
- Especialidad y nº grupo

Ariketa 1 (10 puntu)

Hozte-ziklo baten kondentsagailuan sartzen den R-134a hozkarriaren presioa 10 bar da eta temperatura 70 °C. Kondentsagailuaren irteeran hozkarria likido ase egoeran dago. Kondentsagailua aire bidez errefrigeratzen da; airea 1 bar eta 20 °C-tan sartzen da eta 30 °C irteten da. Baldin eta sarrerako aire emaria 800 m³/h bada, kalkula bitez:

- a) Suntsitutako exergia, kW-etan.
- b) Etekin exergetikoa.

Denboran zehar metatzen den zikintasuna dela eta, hodiaren erresistentzia termikoa handitzen da, bero trukea 20%an murriztuz kondentsagailuan; kasu honetarako kalkula bedi:

- c) Hozkarriaren titulua kondentsagailuaren irteeran, baldin eta hozkarri-gastua berdin mantentzen bada.

Exergiaren kalkulurako erreferentzia temperatura 18 °C dela kontsidera bedi.

Ariketa 2 (10 puntu)

Birsorketadun gas-turbina potentzia ziklo batek, 235 kW-eko potentzia garatzen du, zikloaren etekin termikoa %38 eta presio-erlazioa 8 izanik. Airea 1 atm eta 20 °C-tan sartzen da konprimagailuan, eta aire-gastua 1,2 kg/s da. Konprimagailuaren barne-etekina %85 da eta birsorgailuaren efizientzia %76. Kalkula bedi turbinaren barne-etekina.

Ariketa 3 (10 puntu)

20 °C-tan dagoen gela batetan, plantxatzeko mahaiaren gainean plantxa bat bertikalki uzten da. Plantxaren plakaren kanpokaldeko gainazalaren temperatura 200 °C da. Gainazal honen azalera 0,037 m² da eta 0,6-ko emisibitatea du. Gainazal honen altuera 25 cm-koa da eta plakaren lodiera 0,5 cm da. Plaka osatzen duen materialaren eroankortasun termikoa 20 W/mK da. Kalkula bitez:

- a) Plaka zeharkatzen duen bero-fluxua.
- b) Plakaren barnekaldeko gainazalaren temperatura.

Denbora: 3 ordu

Oharra: Hurrengo datuak idatzi behar dira entregatutako orri guztietan, bestela ez dira zuzenduko:

- Izena eta abizenak
- NAN zenbakia
- Espezialitatea eta taldea

Ejercicio n° 1

Datos:

1)

Espejo del condensador:

$$P_e = P_s = 1 \text{ Ser}$$

$$Q_o = 18^\circ\text{C}$$

$$P_i = P_2 = 10 \text{ Ser}$$

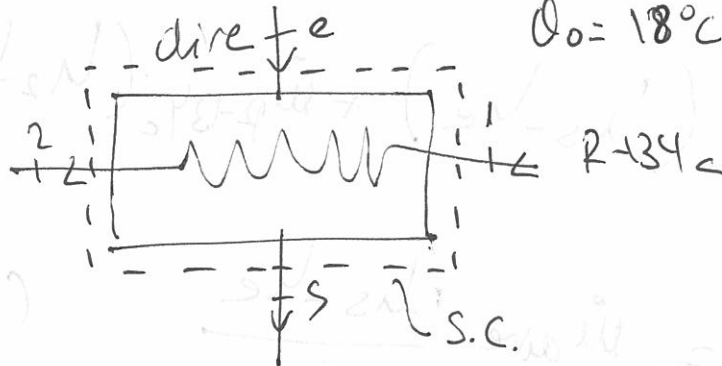
$$Q_i = 70^\circ\text{C}$$

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

$$Q_s = 30^\circ\text{C}$$

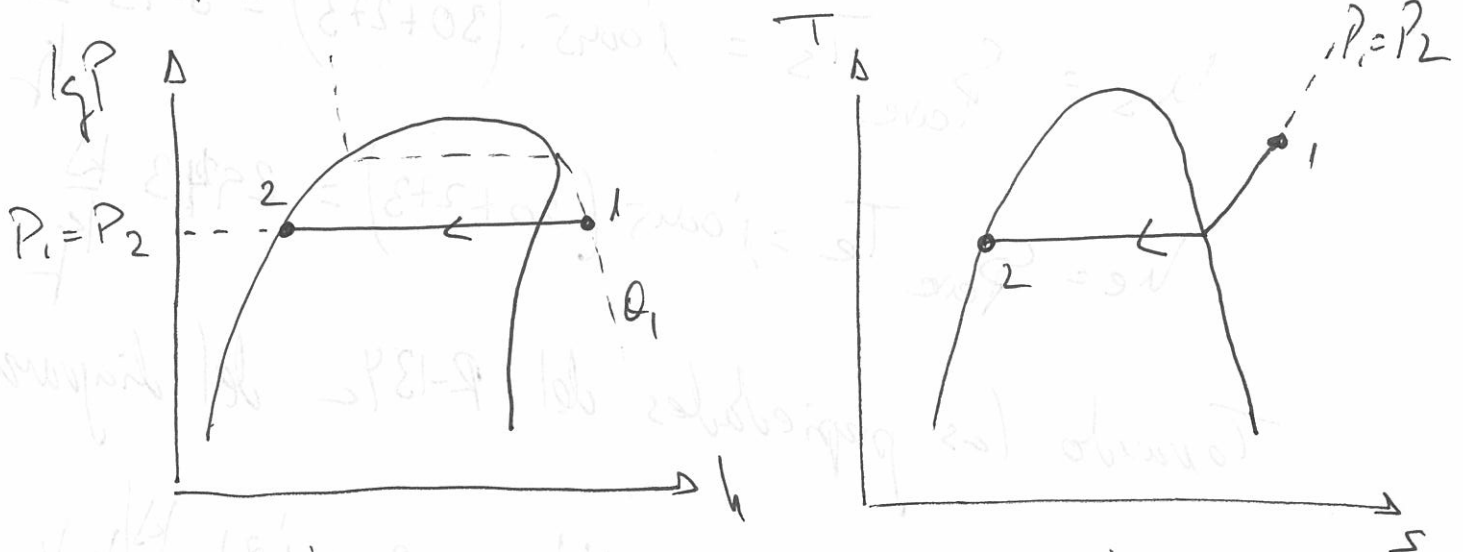
$$\dot{V}_e = 800 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$x_2 = 0$$

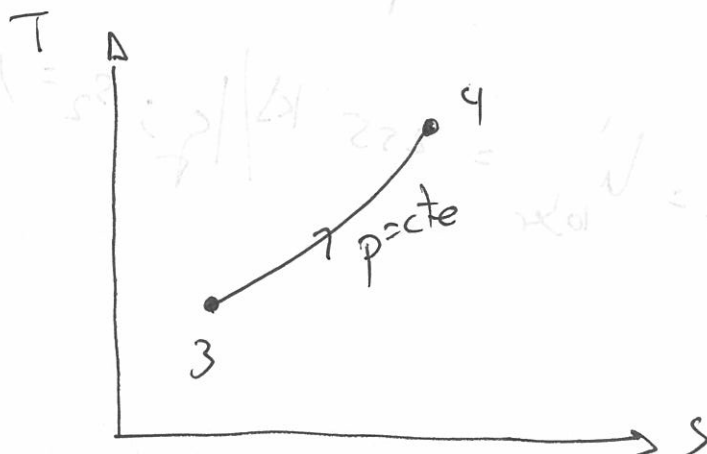


Se trata de un sistema abierto en régimen permanente. Se desprecian las pérdidas de carga.

Representación del proceso se sigue el R-34:



Representación del proceso se sigue el agua:



Aplicando la ecuación de la energía en el condensador:

$$\dot{Q} = \dot{m}_{\text{aire}} (h_s - h_e) + \dot{m}_{\text{R-134c}} (h_2 - h_1) + \dot{W}$$

$$\dot{m}_{\text{R-134c}} = \dot{m}_{\text{aire}} \frac{h_s - h_e}{h_1 - h_2} \quad (1)$$

Considerando el aire gas ideal:

$$h_s = c_{p,\text{aire}} T_s = 1004.5 \cdot (30 + 273) = 304'3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_e = c_{p,\text{aire}} T_e = 1004.5 \cdot (20 + 273) = 294'3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Tomando las propiedades del R-134c del diagrama:

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 10 \text{ bar} \\ Q_1 = 70^\circ \text{C} \end{array} \right\} h_1 = 452 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}; s_1 = 1'81 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 10 \text{ bar} \\ x_2 = 0 \end{array} \right\} h_2 = h'_{10 \text{ bar}} = 255 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}; s_2 = 1'19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

2)

Considerando el aire gas ideal:

$$\dot{m}_{\text{aire}} = \frac{P \dot{V}_e}{R_{\text{aire}} T_e} = \frac{1 \cdot 10^5 \cdot 800 / 3600}{287 \cdot (20 + 273)} = 0.264 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Sustituyendo en (1):

$$\dot{m}_{\text{R-134c}} = 0.264 \frac{(304.3 - 294.3)}{(452 - 255)} = 0.0135 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Aplicando el Balance de exergía en el condensador:

$$\dot{m}_{\text{R-134c}} a_{f1} + \dot{m}_{\text{aire}} a_{fe} + \int \dot{dQ} \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) = \dot{m}_{\text{R-134c}} a_{f2} + \dot{m}_{\text{aire}} a_{fs} + \dot{W} + \dot{E}_{x_D}$$

$$\dot{E}_{x_D} = \dot{m}_{\text{R-134c}} (a_{f1} - a_{f2}) + \dot{m}_{\text{aire}} (a_{fe} - a_{fs}) \quad (2)$$

$$a_{f1} - a_{f2} = h_1 - T_0 s_1 - (h_2 - T_0 s_2) = h_1 - h_2 - T_0 (s_1 - s_2) =$$

$$= 452 - 255 - (273 + 18) (1.31 - 1.19) = 15.6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$a_{fe} - a_{fs} = h_e - T_0 s_e - (h_s - T_0 s_s) = h_e - h_s - T_0 (s_e - s_s) =$$

$$= (294'3 - 304'3) - (273 + 18) \left[C_{p_{\text{aire}}} \ln \frac{T_e}{T_s} - R' \ln \frac{P_e}{P_s} \right] =$$

$$= (294'3 - 304'3) - (273 + 18) \left(1004'5 \ln \frac{(20 + 273)}{(30 + 273)} \right) =$$

$$= -0'235 \text{ kJ/kg}$$

Sustituyendo en (2):

$$a) \dot{E}_{x_D} = 0'0135 \cdot 15'6 + 0'264 \cdot (-0'235) = \underline{0'149 \text{ kW}}$$

$$b) \eta_{ex} = \frac{\dot{W}_{\text{aire}} (a_{fs} - a_{fe})}{\dot{W}_{R-134c} (a_{f1} - a_{f2})} = 29'4 \%$$

c) El calor intercambiado entre el R-134c y el
aire será ahora: $\dot{Q}' = c'_{\theta} \cdot \dot{Q} =$

$$= c'_{\theta} \left[\dot{W}_{R-134c} (h_1 - h_2) \right] = 0'8 \cdot 0'0135 (452 - 255)$$

$$= 2'12 \text{ kW}$$

Con esta disipación de calor, el estado a 1

3)
salida del condensador por el R-134a sea:

$$\dot{Q}' = \dot{m}_{R-134a} (h_1 - h_{2\text{sis}})$$

$$h_{2\text{sis}} = - \frac{\dot{Q}'}{\dot{m}_{R-134a}} + h_1 =$$

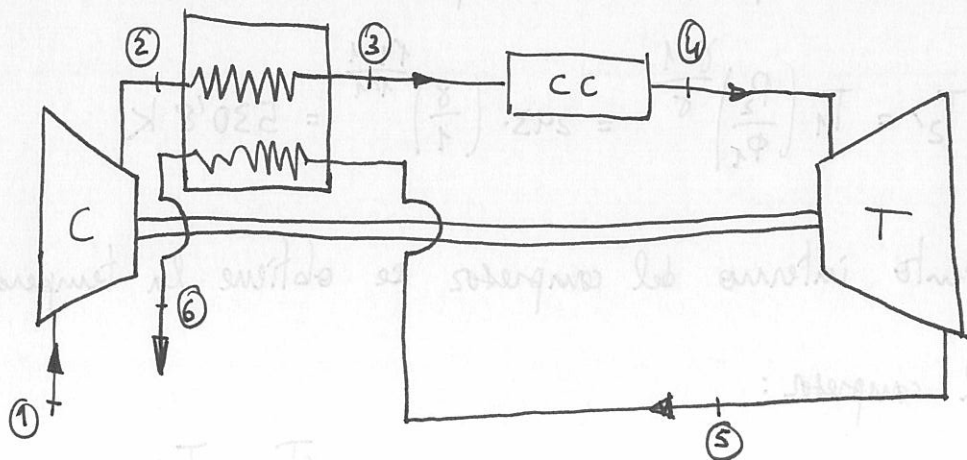
$$= - \frac{2'12}{0'0135} + 452 = 294'2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Mirando en el diagrama P-h del R-134a:

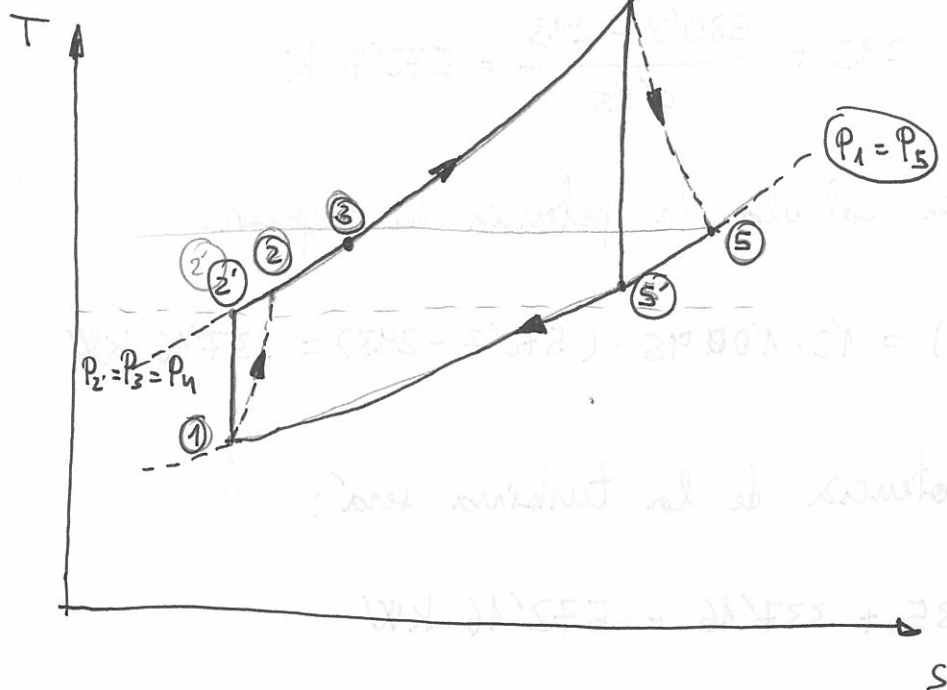
$$\left. \begin{array}{l} h_{2\text{sis}} = 294'2 \text{ kJ/kg} \\ P_2 = 10 \text{ bar} \end{array} \right\} \rightarrow x_{2\text{sis}} = \boxed{0'25}$$

EJERCICIO 2

El esquema de la instalación:



El diagrama del ciclo se representa en el diagrama (T-s).



La potencia neta del ciclo $\rightarrow \dot{W}_N = \dot{W}_T - |\dot{W}_C|$

El rendimiento térmico del ciclo $\rightarrow \eta_T = \frac{\dot{W}_N}{\dot{Q}_{cc}}$

Aplicando la ecuación de la energía en el compresor $\rightarrow |\dot{W}_C| = \dot{m}(h_2 - h_1)$
 Considerando el aire como gas ideal de calores específicos constantes

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

En el caso de considerar el proceso de compresión como ideal:

$$\left(\frac{T_{2'}}{T_1}\right) = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \rightarrow T_{2'} = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 293 \cdot \left(\frac{8}{1}\right)^{\frac{1.4-1}{1.4}} = 530.8 \text{ K}$$

Utilizando el rendimiento interno del compresor se obtiene la temperatura real a la salida del compresor:

$$\eta_{sc} = \frac{h_{2'} - h_1}{h_2 - h_1} \text{ (aire G.I. } c_p, c_v \text{ cte.)} \rightarrow \eta_{sc} = \frac{c_p(T_{2'} - T_1)}{c_p(T_2 - T_1)} = \frac{T_{2'} - T_1}{T_2 - T_1}$$

$$T_2 = T_1 + \frac{T_{2'} - T_1}{\eta_{sc}} = 293 + \frac{530.8 - 293}{0.85} = 572.7 \text{ K}$$

Con esta temperatura se calcula la potencia del compresor.

$$|\dot{W}_c| = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_2 - T_1) = 12 \cdot 1004.5 \cdot (572.7 - 293) = 337.16 \text{ kW}$$

Por lo tanto, la potencia de la turbina será:

$$\dot{W}_T = \dot{W}_H + |\dot{W}_c| = 235 + 337.16 = 572.16 \text{ kW}$$

La potencia de la turbina también se puede calcular de la siguiente manera:

$$\dot{W}_T = \dot{m}(h_4 - h_5) = \dot{m} \cdot c_p (T_4 - T_5)$$

El calor que recibe el aire en la cámara de combustión:

$$\dot{Q}_{cc} = \dot{m}(h_4 - h_3) = \dot{m} c_p (T_4 - T_3)$$

2

Sabiendo que $\rightarrow \dot{Q}_{cc} = \frac{\dot{W}_N}{\eta_r} = \frac{235}{0'38} = 618'42 \text{ kW}$

Por lo tanto, resumiendo:

$$\left. \begin{aligned} \dot{W}_T &= \dot{m} \cdot c_p (T_4 - T_5) \rightarrow 572'16 = 1'2 \cdot 1'0045 (T_4 - T_5) \\ \dot{Q}_{cc} &= \dot{m} \cdot c_p (T_4 - T_3) \rightarrow 618'42 = 1'2 \cdot 1'0045 (T_4 - T_3) \\ \eta &= \frac{h_3 - h_2}{h_5 - h_2} \rightarrow 0'76 = \frac{c_p (T_3 - T_2)}{c_p (T_5 - T_2)} = \frac{T_3 - 572'7}{T_5 - 572'7} \end{aligned} \right\}$$

El sistema de ecuaciones está compuesto por 3 ecuaciones, y 3 incógnitas: T_3 , T_4 y T_5 . Resolviendo el sistema:

$$\begin{cases} T_3 = 694'2 \text{ K} \\ T_4 = 1207'3 \text{ K} \\ T_5 = 732'6 \text{ K} \end{cases}$$

Considerando un proceso ideal de expansión en la turbina:

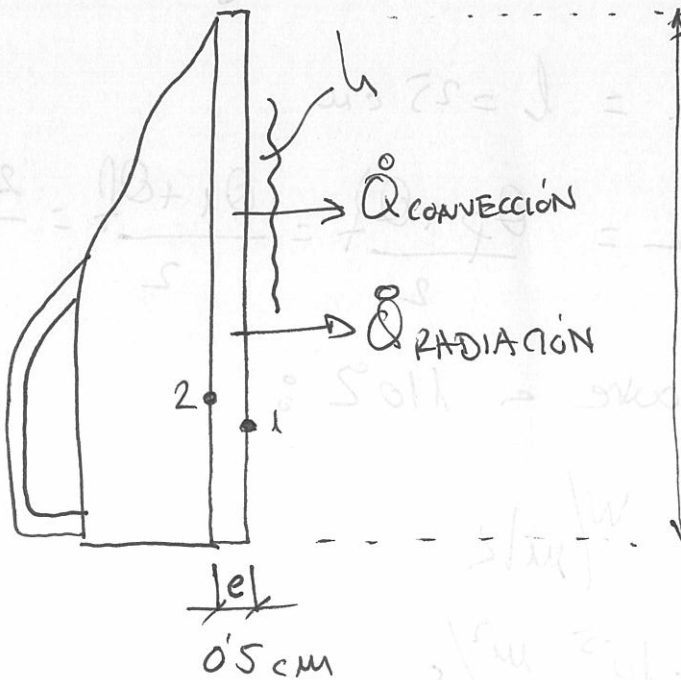
$$\frac{T_{5'}}{T_4} = \left(\frac{P_5}{P_4} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \rightarrow T_{5'} = T_4 \left(\frac{P_5}{P_4} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 1207'3 \left(\frac{1}{8} \right)^{\frac{1'4-1}{1'4}} = 666'48 \text{ K}$$

El rendimiento interno de la turbina es $\eta_{st} = \frac{h_4 - h_5}{h_4 - h_{5'}}$

$$\eta_{st} = \frac{T_4 - T_5}{T_4 - T_{5'}} = 0'878 \rightarrow \boxed{87'7\%}$$

Ejercicio nº 3

Dats:



$$T_1 = 200^\circ\text{C}$$

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

$$l = 25\text{ cm}$$

$$A_1 = 0.037\text{ m}^2$$

$$\varepsilon_1 = 0.6$$

$$K_{\text{placa}} = 20\text{ W/mK}$$

$$e = 0.5\text{ cm}$$

$$l = 25\text{ cm}$$

- a) En régimen permanente, todo el calor que atraviesa por conducción la placa debe salir por la superficie exterior por convección y por radiación:
- $$\dot{Q}_{\text{CONDUCCION}} = \dot{Q}_{\text{CONVECCION}} + \dot{Q}_{\text{RADIACION}}$$

Cálculo de $\dot{Q}_{\text{CONVECCION}}$:

El aire de la habitación se puede considerar en reposo, por lo que se trata de

convección natural. Se puede asemejar al caso de pared vertical, luego:

$$\pi \text{ característica} = l = 25 \text{ cm}$$

$$\theta \text{ característica} = \frac{\theta_p + \theta_f}{2} = \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} = \frac{200 + 20}{2} = 110^\circ \text{C}$$

Propiedades del aire a 110°C :

$$k = 0.03165 \text{ W/mK}$$

$$\nu = 2.414 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Pr = 0.7092$$

$$\beta = 2.611 \cdot 10^{-3} \text{ } 1/\text{K}$$

$$Gr = \frac{g \beta \Delta \theta \pi^3}{\nu^2} = \frac{9.81 \cdot 2.611 \cdot 10^{-3} (200 - 20) 0.25^3}{(2.414 \cdot 10^{-5})^2} =$$

$$= 123'621'463 \cdot 10^6$$

$$Ra = Gr \cdot Pr = 123'621'463 \cdot 10^6 \cdot 0.7092 = 87'672 \cdot 10^6$$

Luego como $Ra > 10^4$ es de aplicación la

siguiente correlación: $Nu = 0.59 \cdot Ra^{1/4}$

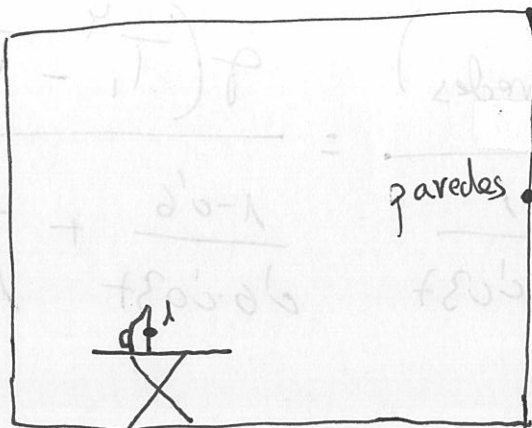
$$P_0 = 0.59 \cdot (87'672 \cdot 10^6)^{1/4} = 57'09$$

$$h = \frac{P_0 \cdot K}{\pi} = \frac{57'09 \cdot 0'03165}{0'25} = 7'228 \frac{W}{m^2K}$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{convección} &= h \cdot A_s \cdot \Delta T = 7'228 \cdot 0'037 \cdot (200 - 20) = \\ &= \underline{48'14 \text{ W}} \end{aligned}$$

Cálculo de $\dot{Q}_{radiación}$:

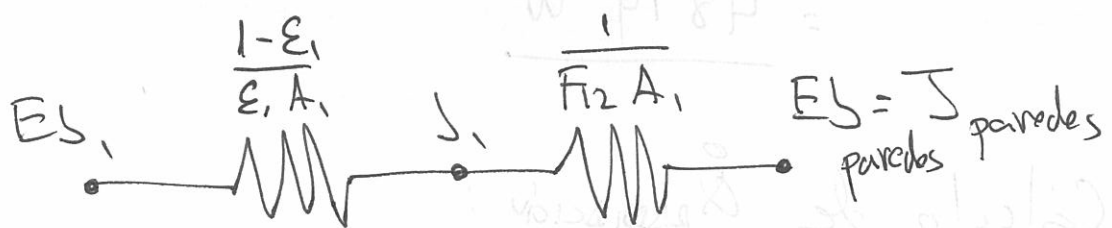
La placa dentro de la habitación se puede considerar como un cuerpo pequeño dentro de otro grande, por lo tanto el grande actúa como cuerpo negro:



Considerando por todas las paredes de la habitación sea de la

misma naturaleza | tienen la misma tempera-

tur, igual a la del aire de la radiación, el circuito eléctrico equivalente al intercambio de calor por radiación sería el siguiente:



donde $F_{12} = 1$ puesto que todo lo que emite el cuerpo pequeño va al grande:

$$Q_{RADIACION} = \frac{E_{b_1} - E_{b_{paredes}}}{\frac{1-\epsilon_1}{\epsilon_1 A_1} + \frac{1}{F_{12} A_1}} =$$

$$= \frac{\sigma(T_1^4 - T_{paredes}^4)}{\frac{1-0.6}{0.6 \cdot 0.037} + \frac{1}{1 \cdot 0.037}} = \frac{\sigma(T_1^4 - T_f^4)}{\frac{1-0.6}{0.6 \cdot 0.037} + \frac{1}{1 \cdot 0.037}} =$$

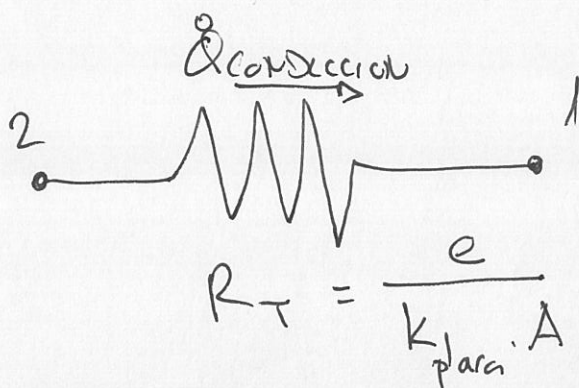
3)

$$= \frac{5'67 \cdot 10^{-8} (473^4 - 293^4)}{18'02 + 27'03} = \underline{53'72 \text{ W}}$$

Par le tube, le calor passe
la paroi de la plaque, par conduction,
soit :

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{\text{conduction}} &= \dot{Q}_{\text{convec.}} + \dot{Q}_{\text{rad.}} = 48'14 + 53'72 = \\ &= \underline{101'86 \text{ W}} \end{aligned}$$

b) La plaque de la plaque se peut
considérer comme paroi plaque en régime
permanent pour le flux de calor par con-
duction. Appliquons la analogie électrique :



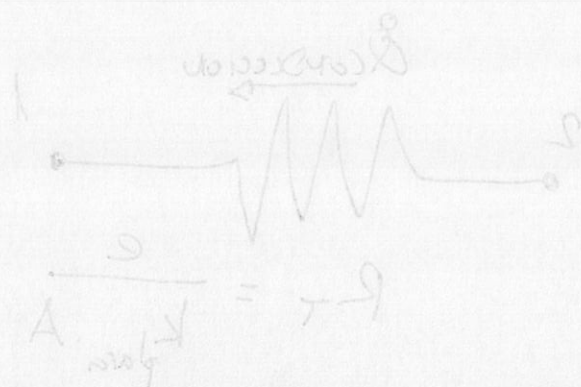
Aplicado la ley de Ohm:

$$\dot{Q}_{conveccion} = \frac{Q_2 - Q_1}{R_T} = \frac{Q_2 - Q_1}{\frac{e}{k_{placa} \cdot A}} =$$

$$= \frac{Q_2 - 200}{\frac{0.005}{20 \cdot 0.037}} \rightarrow Q_2 = 200.7^\circ C$$

$$W_{26'101} =$$

Resistencia



$$R_T = \frac{e}{k_{placa} \cdot A}$$