

Ejercicio 1- 1 kg de nitrógeno desarrolla un ciclo termodinámico reversible formado por 3 procesos politrópicos. Inicialmente el nitrógeno evoluciona desde 11 bar y 777 °C hasta 8 bar y 1367 °C. A continuación, evoluciona hasta una presión de 4 bar. Finalmente, regresa al estado inicial del ciclo según una politrópica de exponente 2,5. Determinése para cada uno de los procesos, el exponente politrópico y el calor específico politrópico. Calcúlese también el rendimiento del ciclo. Considérese el nitrógeno gas ideal con calores específicos constantes.

Ejercicio 2- 100 dm³ de aire se encuentran a 4,8 bar y 305 °C en un cilindro-pistón, que al contacto con un foco a 5 °C, se enfrían hasta los 41 °C según un proceso de exponente politrópico -1,4. Calcúlese el intercambio de calor y de trabajo total, así como la entropía generada en el universo. Se valorará especialmente aquellas resoluciones que deduzcan previamente a cualquier cálculo, el signo de los resultados.

Ejercicio 3- La fachada de una vivienda está compuesta de dos capas: la del lado exterior, en contacto con aire a 5 °C, tiene un espesor de 20 cm y una conductividad térmica de 0,3 W/mK. El coeficiente de convección entre el aire exterior y la superficie de esa capa es de 11 W/m²K. La capa del lado interior, en contacto con el aire interior, tiene un espesor de 40 cm y conductividad térmica de 0,1 W/mK. La temperatura superficial de dicha capa interior es de 20 °C. Calcúlese la densidad del flujo de calor a través de la fachada, la temperatura en el medio de cada una de las capas y la temperatura superficial exterior de la fachada. Despréciase el intercambio de calor por radiación.

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.

1 ariketa- 1 kg nitrogenok, 3 prozesu politropikoz osaturiko ziklo termodinamiko itzulgarri bat garatzen du. Lehenengo prozesuan, nitrogenoa 11 bar eta 777 °C-tatik, 8 bar eta 1367 °C-taraino abiatzen da. Jarraian, 4 bar-eko presioraino osatzen du bigarren prozesua. Azkenik, zikloa itxiz, jatorrizko egoeraraino itzultzen da, 2,5-eko berretzaile politropikoa duen prozesu baten bitartez. Kalkula bedi prozesu bakoitzaren berretzaile politropikoa eta bero espezifiko politropikoa. Kalkula bedi ere zikloaren etekina. Kontsidera bedi nitrogenoa gas ideala, bero espezifiko konstanteduna.

2. Ariketa- 100 dm³ aire, 4,8 bar eta 305 °C-tan daude zilindro-pistoi gailu batean. 5 °C-tan dagoen bero-foku batekin kontaktuan jartzerakoan, aireak -1,4 berretzaile politropikoa duen prozesu politropiko bat jorratzen du, bere tenperatura 41 °C-taraino jeitsiz. Kalkula bedi zilindro-pistoiaren eta fokuari arteko bero-trukea, zilindro-pistoiak jorratutako lana eta unibertsoan garatutako entropia. Kalkulurik egin aurretik emaitzen ikurra aurrez aurre ebatzpenak bereziki baloratuko dira.

3 ariketa- Etxebizitza baten pareta bi geruzaz osaturik dago: kanpoaldeko geruzak, hots, 5 °C-tan dagoen airearekin kontaktuan dagoen geruzak, 20 cm-ko lodiera eta 0,3 W/mK-ko eroankortasun termikoa du. Konbektzio koefizientea 11 W/m²K da. Barnealdeko geruzak, 40 cm-ko lodiera du eta 0,1 W/mK-ko eroankortasun termikoa du. Geruza horren gainazaleko tenperatura 20 °C-koa da. Erradiazio bidezko bero-trukea arbuiatuz, kalkula bedi paretan zeharreko bero-fluxu dentsitatea eta geruza bakoitzaren erdiko planoaren tenperatura. Kalkula bedi ere kanpoko gainazalaren tenperatura.

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.

Ejercicio 1

Datos:

$$m = 1 \text{ kg}$$

Nitrogeno (N_2)

$$\text{Estado ①} \left\{ \begin{array}{l} P_1 = 11 \text{ bar} \\ Q_1 = 777^\circ\text{C} \end{array} \right.$$

$$\text{Estado ②} \left\{ \begin{array}{l} P_2 = 8 \text{ bar} \\ Q_2 = 1367^\circ\text{C} \end{array} \right.$$

$$\text{Estado ③} \left\{ \begin{array}{l} P_3 = 4 \text{ bar} \end{array} \right.$$

$$\text{Proceso 3-1} \rightarrow n_{31} = 2.5$$

Resolución:

$$n_{12} ? \quad C_{n_{12}} ?$$

$$n_{23} ? \quad C_{n_{23}} ?$$

$$C_{n_{31}} ?$$

$$\eta_{\text{ciclo}} ?$$

Aplicando las relaciones de gases ideales a)

$$\text{proceso politrópico 1-2} \rightarrow T_2/T_1 = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}}$$

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

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

$$n_{12} = \frac{\ln P_2/P_1}{\ln \left(\frac{P_2/P_1}{T_2/T_1} \right)} = \frac{\ln(8/11)}{\ln \left(\frac{8/11}{1640/1050} \right)} = \underline{\underline{0.417}}$$

$$C_{n_{12}} = C_v \frac{\gamma - n_{12}}{1 - n_{12}} = (*)$$

$$\text{Para el } P_2 : C_v = \frac{R'}{\gamma - 1} = \frac{0.287/28}{1.4 - 1} = 0.737 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

$$\text{Sustituyendo en } (*) : C_{n_{12}} = 0.737 \cdot \frac{1.4 - 0.417}{1 - 0.417} = \underline{\underline{1.243 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}}}$$

proceso politrópico 2-3 : Para poder determinar

el exponente politrópico de este proceso, es necesario definir primero el estado ③ y para

ello se utiliza la información disponible del

proceso 3-1 - $n_{31} = 2.5 \rightarrow T_1/T_3 = \left(P_1/P_3 \right)^{\frac{n_{31}-1}{n_{31}}}$

$$T_3 = T_1 \left(\frac{P_3}{P_1} \right)^{\frac{n_{31}-1}{n_{31}}} = 1050 \left(\frac{4}{11} \right)^{\frac{2.5-1}{2.5}} = 572.3 \text{ K}$$

Regresando al proceso 2-3 :

$$T_3/T_2 = (P_3/P_2)^{\frac{u_{23}-1}{n_{23}}} \rightarrow$$

$$\ln(T_3/T_2) = \frac{u_{23}-1}{n_{23}} \ln(P_3/P_2)$$

$$u_{23} = \frac{\ln(P_3/P_2)}{\ln\left(\frac{P_3/P_2}{T_3/T_2}\right)} = \frac{\ln\left(\frac{4}{8}\right)}{\ln\left(\frac{4/8}{572'3/1050}\right)} =$$

$$= -1'927$$

$$C_{n_{23}} = C_v \frac{\gamma - n_{23}}{1 - n_{23}} = 0'737 \cdot \frac{1'4 - (-1'927)}{1 - (-1'927)} =$$

$$= 0'838 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

Para el proceso 3-1 : $C_{n_{31}} = C_v \frac{\gamma - n_{31}}{1 - n_{31}} =$

$$= 0'737 \cdot \frac{1'4 - 2'5}{1 - 2'5} = 0'54 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

Para calcular el rendimiento del ciclo,
calcularemos el trabajo y el calor intercam-
biado en cada proceso:

proceso 1-2:

$$w_{12} = \frac{R'(\tau_2 - \tau_1)}{1 - \eta_{12}} = 0'297 \frac{(1640 - 1050)}{1 - 0'416} =$$

$$= 300 \text{ kJ/kg}$$

$$q_{12} = c_u(\tau_2 - \tau_1) = 1'242(1640 - 1050) =$$

$$= 732'78 \text{ kJ/kg}$$

proceso 2-3:

$$w_{23} = \frac{R'(\tau_3 - \tau_2)}{1 - \eta_{23}} = 0'297 \frac{(572'3 - 1640)}{1 - (-1'927)} =$$

$$= -108'34 \text{ kJ/kg}$$

$$q_{23} = c_{u_{23}}(\tau_3 - \tau_2) = 0'838 \cdot (572'3 - 1640) =$$

$$= -894'7 \text{ kJ/kg}$$

proceso 3-1:

$$w_{31} = \frac{R'(\tau_1 - \tau_3)}{1 - \eta_{31}} = 0'297 \frac{(1050 - 572'3)}{1 - 2'5} =$$

$$= -94'58 \text{ kJ/kg}$$

$$q_{31} = c_{u_{31}}(\tau_1 - \tau_3) = 0'54(1050 - 572'3) = 257'9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Trabajo veblo:

$$W_{\text{veblo}} = W_{12} + W_{23} + W_{31} =$$

$$= 300 - 108'34 - 94'58 = 97'13 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Calor absorbido del foco caliente:

$$Q_1 = Q_{12} + Q_{31} = 732'78 + 257'96 = 990'74 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\eta_{\text{ciclo}} = \frac{W_{\text{veblo}}}{Q_1} = \frac{97'13}{990'74} = \boxed{9'8\%}$$

182

der gahst

1800 + 2500 + 1500 = 5800

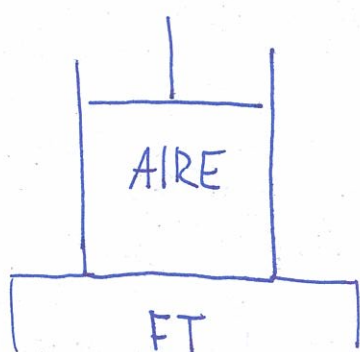
1800 + 2500 = 4300
4300 + 1500 = 5800

Stunden und die Stunden

1800 + 2500 + 1500 = 5800
1800 + 2500 = 4300
4300 + 1500 = 5800

1800 + 2500 = 4300
4300 + 1500 = 5800
1800 + 2500 + 1500 = 5800

EJERCICIO 2



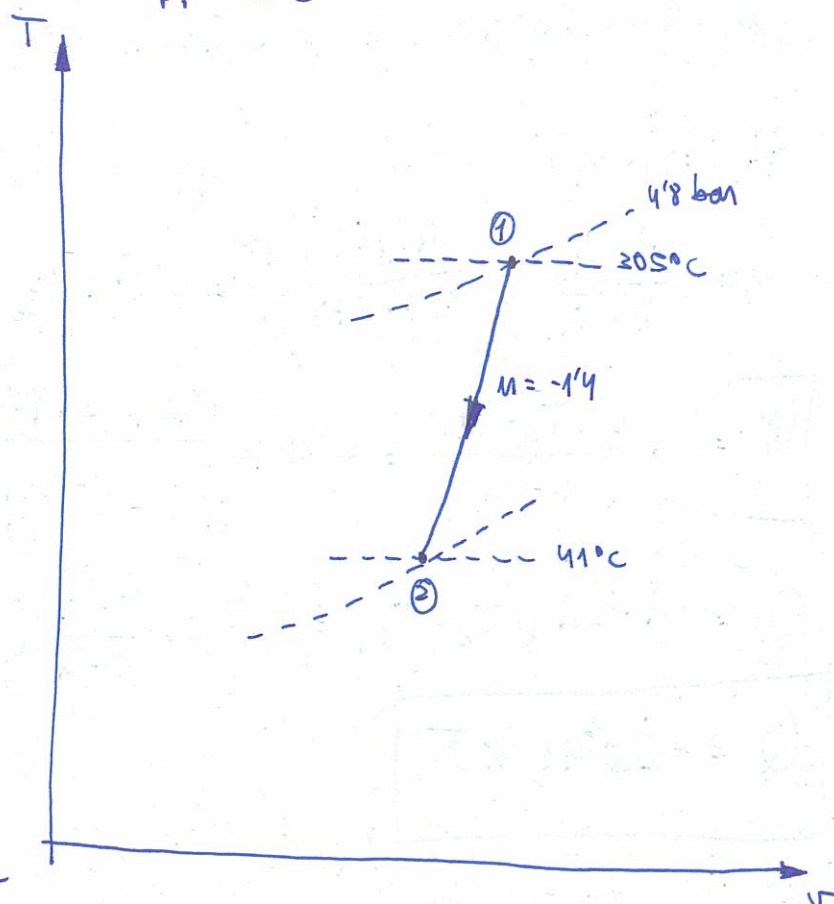
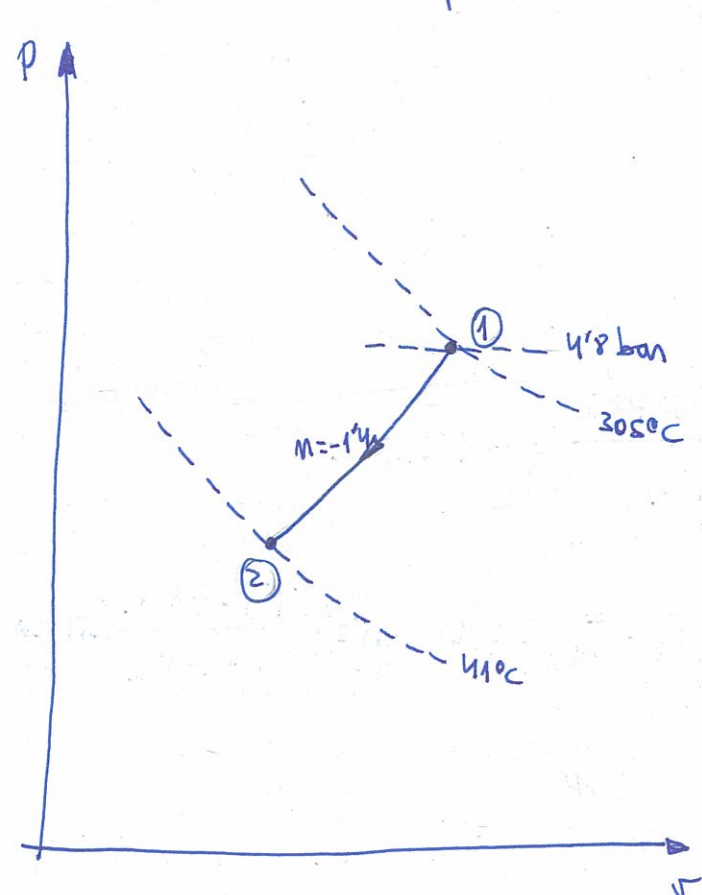
- Sistema cerrado

- Aire $\rightarrow$ Gas ideal

$$\textcircled{1} \left\{ \begin{array}{l} V_1 = 100 \text{ dm}^3 = 0.1 \text{ m}^3 \\ P_1 = 4.8 \text{ bar} \\ \theta_1 = 305^\circ\text{C} = 578 \text{ K} \end{array} \right.$$

$$\xrightarrow{n = -1.4} \textcircled{2} \left\{ \begin{array}{l} \theta_2 = 41^\circ\text{C} = 314 \text{ K} \end{array} \right.$$

Temperatura del foco térmico $\Rightarrow \theta_{FT} = 5^\circ\text{C}$



Para ser un proceso politrópico, se trata de un proceso reversible.

Considerando el trabajo durante el proceso, en el diagrama P-v se comprueba que el volumen del sistema se reduce, por lo que el sistema recibe trabajo desde el entorno $\rightarrow$ trabajo negativo

La temperatura del sistema se reduce por lo que la variación de energía interna es negativa $\Delta u_{12} < 0$

$$\Delta u_{12} = q_{12} - w_{12} \Rightarrow q_{12} = \Delta u_{12} + w_{12}$$

Siendo $\Delta u_{12} < 0$ y $w_{12} < 0$, q_{12} tiene que ser negativo. Esto podría haberse justificado mediante el diagrama T-s.

En cuanto a la entropía generada en el universo, tiene que ser positiva ya que se produce el intercambio de calor entre el sistema y el foco por diferencia finita de temperaturas.

$$P \cdot V = m R' T$$

$$m = \frac{P_1 \cdot V_1}{P' \cdot T_1} = \frac{4'8 \cdot 10^5 \cdot 0'1}{287 \cdot 578} = 0'289 \text{ kg}$$

$$W = m \frac{R'(T_2 - T_1)}{1 - n} = 0'289 \frac{0'287(314 - 578)}{1 - (-1'4)} = -9'135 \text{ kJ}$$

$$Q = m \cdot c_n (T_2 - T_1) = m \cdot c_v \frac{\gamma - n}{1 - n} (T_2 - T_1) = 0'289 \cdot 0'718 \frac{1'4 - (-1'4)}{1 - (-1'4)} (314 - 578)$$

$$Q = -63'91 \text{ kJ}$$

Se considera el universo formado por el sistema y el foco térmico.

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

Debido a que el intercambio de calor se produce entre el sistema y el foco se puede considerar el universo adiabático.

$$\Delta S_{\text{UNI}} = S_G$$

$$\Delta S_{\text{UNI}} = \Delta S_{\text{AIRE}} + \Delta S_{\text{FT}}$$

$$\Delta S_{\text{AIRE}} = m \left(c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R' \ln \frac{P_2}{P_1} \right) = 0'289 \cdot \left(1'005 \ln \frac{314}{578} - 0'287 \ln \frac{3'36}{4'8} \right) =$$

$$= -0'148 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}$$

$$P_2 = P_1 \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{m}{m-1}} = 4'8 \left(\frac{314}{578} \right)^{\frac{-1'4}{-1'4-1}} = 3'36 \text{ bar}$$

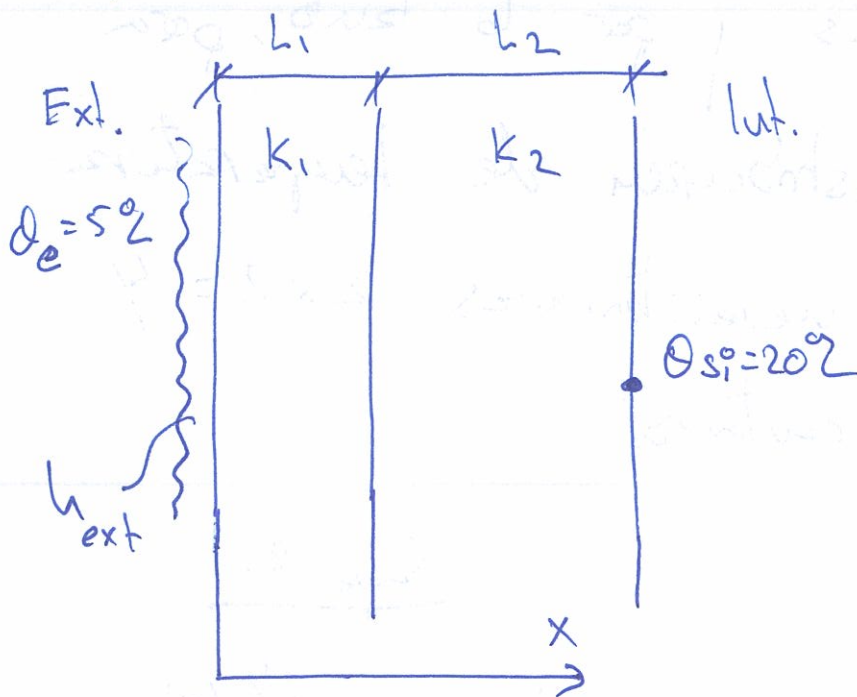
$$\Delta S_{\text{FT}} = \int \frac{\delta Q}{T} + \cancel{S_G}^0 \quad \text{por ser internamente reversible}$$

La temperatura del foco permanece constante

$$\Delta S_{\text{FT}} = \frac{Q_{\text{FT}}}{T_{\text{FT}}} = \frac{-Q_{\text{AIRE}}}{T_{\text{FT}}} = \frac{63'91}{278} = 0'23 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}$$

$$\Delta S_{UNI} = 0'082 \frac{kJ}{K}$$

Ejercicio 3



$$L_1 = 20 \text{ cm}$$

$$L_2 = 40 \text{ cm}$$

$$k_1 = 0.3 \text{ W/mK}$$

$$k_2 = 0.1 \text{ W/mK}$$

$$T_e = 5^\circ\text{C}; T_{si} = 20^\circ\text{C}$$

$$h_{ext} = 11 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Resolución: Se trata de un caso de transmisión de calor por conducción de calor a través de pared plana compuesta, en régimen permanente, en presencia interna de calor, como se ve la Ecuación general de la conducción del calor puede ser:

$$\text{Capa 1} \rightarrow \nabla^2 Q_1(x) = 0 \rightarrow \frac{d^2 Q_1(x)}{dx^2} = 0$$

$$\text{Capa 2} \rightarrow \nabla^2 Q_2(x) = 0 \rightarrow \frac{d^2 Q_2(x)}{dx^2} = 0$$

Tenemos 2 capas | por lo tanto, para obtener la distribución de temperatura en cada capa necesitamos $2 \times 2 = 4$ condiciones de contorno.

Capa 1

$$\nabla^2 Q_1(x) = \frac{d^2 Q_1(x)}{dx^2} = 0$$

$$1^{\text{era}} \text{ integral} \rightarrow \frac{dQ_1(x)}{dx} = C_1$$

$$2^{\text{da}} \text{ integral} \rightarrow Q_1(x) = C_1 x + C_2$$

Capa 2

$$\nabla^2 Q_2(x) = \frac{d^2 Q_2(x)}{dx^2} = 0$$

$$\frac{dQ_2(x)}{dx} = C_3$$

$$Q_2(x) = C_3 x + C_4$$

Las 4 condiciones de contorno necesarias para resolver las 4 constantes de integración, serán:

$$1^{\text{a}} \text{ c.c.} \rightarrow x=0 \rightarrow q_1 = \begin{cases} \text{convección} \\ \text{ext.} \end{cases}$$

$$\text{Aplicando Fourier en la capa 1} \rightarrow f_1 = -k_1 \frac{dQ_1(x)}{dx} = -k_1 \cdot C_1$$

Aplicando la enfriamiento de Newton entre superficie exterior | aire exterior $\rightarrow$

$$\rightarrow \begin{cases} \text{convección} \\ \text{ext} \end{cases} = h_{\text{ext}} (Q_e - Q_1(0))$$

$$\text{Luego: } -k_1 C_1 = h_{\text{ext}} (Q_e - Q_1(0))$$

$$\text{dado } Q_1(x=0) = C_1 \cdot 0 + C_2 = C_2 \quad \text{luego:}$$

$$-k_1 C_1 = h_{\text{ext}} (Q_e - C_2) \quad (1)$$

$$2^{\text{a}} \text{ c.c.} \rightarrow x=L_1 \rightarrow Q_1(x) = Q_2(x)$$

$$C_1 L_1 + C_2 = C_3 L_1 + C_4 \quad (2)$$

$$3^{\text{a}} \text{ c.c.} \rightarrow x=L_1 \rightarrow f_1(x) = f_2(x)$$

$$-k_1 C_1 = -k_2 C_3 \quad (3)$$

$$4^{\text{ta}} \text{ c.c.} \rightarrow x = L_1 + L_2 = 0'6 \text{ m} \rightarrow Q_2(0'6) = 20$$

$$C_3 \cdot 0'6 + C_4 = 20 \quad (4)$$

Obtendremos así un sistema de 4 ecuaciones con 4 incógnitas, cuya resolución proporcionará las 4 constantes de integración C_1, C_2, C_3, C_4 .

$$C_1 = 10'51 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \quad C_3 = 31'52 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$C_2 = 5'28 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \quad C_4 = 1'08 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

¡ sustituyendo:

$$Q_1(x) = 10'51 x + 5'28$$

$$Q_2(x) = 31'52 x + 1'08$$

$$\text{Por } x=0 \rightarrow Q_1(0) = 10'51 \cdot 0 + 5'28 = \boxed{5'28 \text{ kg}}$$

$$\text{Por } x = \frac{L_1}{2} = 0'1 \text{ m} \rightarrow Q_1(0'1) = 10'51 \cdot 0'1 + 5'28 = \boxed{6'34 \text{ kg}}$$

$$\text{por } x = L_1 + \frac{L_2}{2} = 0'2 + \frac{0'4}{2} = 0'4 \text{ m} \rightarrow$$

$$\rightarrow Q_2(0'4) = 31'52 \cdot 0'4 + 1'08 = \boxed{13'69 \text{ kg}}$$

Aplicando Fuerza obtenemos el flujo de

calor por unidad de area en cada capa de la pared, por, al estar en regimen permanente, seran iguales:

$$q_1 = -k_1 \frac{dT_1}{dx} = -k_1 C_1 = -0.3 \cdot 10^5 =$$

$$= -3.15 \frac{W}{m^2} = q_2$$

El signo negativo del flujo de calor representa la direccion del flujo de calor contraria al eje x elegido.

