



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE

Instituto de Física

FIS1523 — Termodinámica

Primer Semestre 2021

Profesores: C. Arenas, G. Düring, L. Gence, A. Meza, M.J. Retamal, y R. Soto

Nombre: _____

RUT: _____ N lista: _____

Interrogación 1

Entrega 5 de mayo 21:30 hrs en CANVAS

Reglas generales:

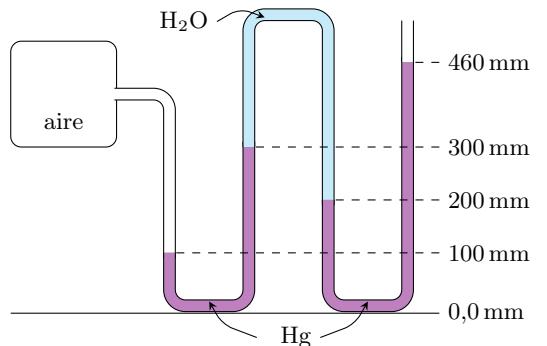
1. Escriba su nombre y RUT de manera clara y legible en cada hoja.
 2. Una vez finalizada la prueba, suba un archivo pdf para cada problema a CANVAS con las soluciones.
 3. Puede usar las tablas termodinámicas del libro guía.
 4. La interrogación es individual, no debe consultar a terceros.
 5. Puede usar sus apuntes de clases, pero no otras fuentes.
 6. Cualquier acto vaya en contra del *código de honor* se sancionará con nota final 1.0 en el curso.
-

Problema 1 [6 puntos]

El manómetro de la figura se encuentra abierto al aire en su extremo derecho. El tanque de la izquierda contiene aire presurizado, mientras que en la parte baja de sus asas contiene mercurio y en la única asa superior contiene agua. Obtenga:

- La presión en la interfase mercurio-agua a 200 mm de altura (**3 pts.**).
- La presión del aire en el tanque (**3 pts.**).

Indicación: Las densidades de las sustancias son: $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 \text{ Kg/m}^3$ y $\rho_{\text{Hg}} = 13600 \text{ Kg/m}^3$.



Solución:

- (**3 pts.**) La presión en la interfase mercurio-agua a 200 mm de altura (punto *B*) la obtenemos comparando la presión en *A* (abierto al aire libre) con *B*.

$$p_B - p_A = \rho_{\text{Hg}} g \Delta h = \gamma_{\text{Hg}} \Delta h \quad (\text{1 punto})$$

donde $\gamma_{\text{Hg}} = \rho_{\text{Hg}} g = 13600 \times 9,806 \text{ N/m}^3 = 133362 \text{ N/m}^3$ que despejando la presión en *B* conduce a

$$p_B = \gamma_{\text{Hg}} \Delta h + p_A = \gamma_{\text{Hg}} = 133362 \text{ N/m}^3 \times (0,460 - 0,200) \text{ m} + 101325 \text{ Pa}, \quad (\text{1 punto})$$

donde hemos considerado que la presión en *A* corresponde a la presión atmosférica. El resultado es

$$p_B = 1,360 \times 10^5 \text{ Pa} = 136,0 \text{ kPa}, \quad (\text{1 punto})$$

o de manera equivalente $p_B^{\text{man}} = 34,7 \text{ kPa}$.

- (**3 pts.**) La presión del aire en el tanque la obtenemos como la presión en *D*. Esto porque el aire es un gas y los cambios de presión debido a cambio de altura en un gas son despreciables.

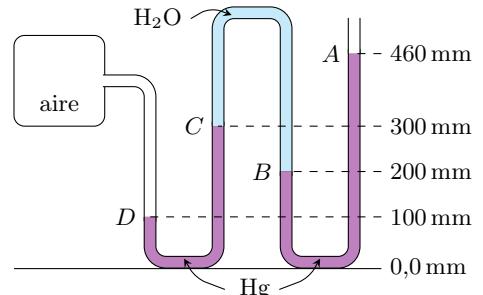
$$p_D - p_C = \gamma_{\text{Hg}} \Delta h_{CD} \implies p_D = \gamma_{\text{Hg}} \Delta h_{CD} + p_C \quad (\text{0.5 puntos})$$

pero la presión en *C* es dada por

$$p_B - p_C = \gamma_{\text{H}_2\text{O}} \Delta h_{CB} \implies p_C = -\gamma_{\text{H}_2\text{O}} \Delta h_{CB} + p_B \quad (\text{0.5 puntos})$$

y la presión en *B* ya la obtuvimos en la pregunta anterior

$$p_B = \gamma_{\text{Hg}} \Delta h_{AB} + p_{\text{atm}}$$



De las tres ecuaciones anteriores se obtiene

$$p_D = \gamma_{\text{Hg}} \Delta h_{CD} - \gamma_{\text{H}_2\text{O}} \Delta h_{CB} + \gamma_{\text{Hg}} \Delta h_{AB} + p_{\text{atm}} = \gamma_{\text{Hg}} (\Delta h_{AB} + \Delta h_{CD}) - \gamma_{\text{H}_2\text{O}} \Delta h_{CB} + p_{\text{atm}} \quad \text{(1 puntos)}$$

Reemplazando los valores

$$p_D = 133\,362 \text{ N/m}^3 \times (0,460 - 0,200 + 0,300 - 0,100) \text{ m} - 9\,806 \text{ N/m}^3 \times (0,300 - 0,200) \text{ m} + 101\,325 \text{ Pa} \quad \text{(0.5 puntos)}$$

finalmente obtenemos:

$$p_D = 1,617 \times 10^5 \text{ Pa} = 161,7 \text{ kPa}, \quad \text{(0.5 puntos)}$$

o equivalentemente a $p_D^{\text{man}} = 60,4 \text{ kPa}$.

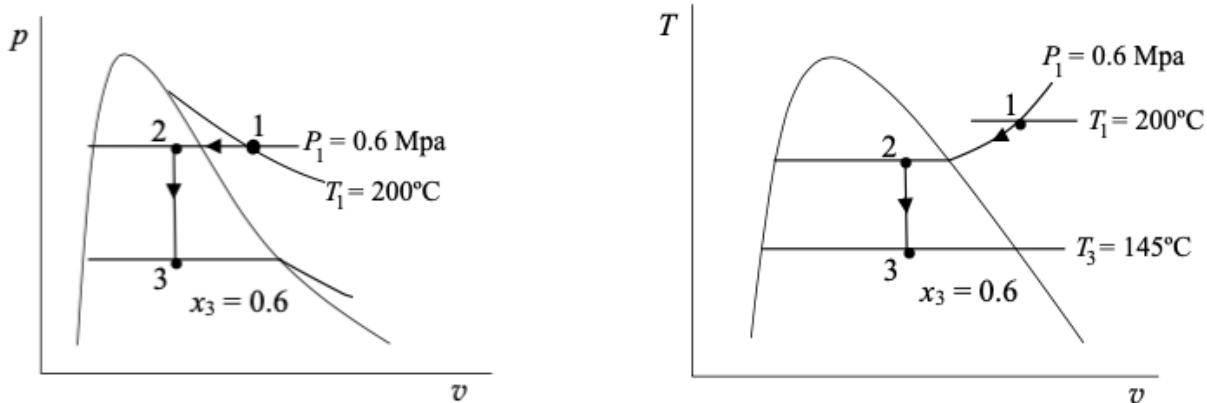
Problema 2 [6 puntos]

Un cilindro con un pistón contiene 1 kg de agua, inicialmente a 0,6 Mpa y 200°C. El agua experimenta dos procesos en serie: un proceso isobárico seguido de un proceso isovolumétrico. Al final de este último proceso, el agua se encuentra en forma de mezcla con calidad $x = 0,6$ a una temperatura de 145°C.

- Dibuje un bosquejo de los procesos en diagramas $P - v$ y $T - v$. Indique claramente los estados del sistema durante el proceso. (2 pts).
- Determine la magnitud del trabajo y el calor para cada proceso. Indique la dirección para cada una de estas cantidades (4 pts).

Solución:

- a) (1 punto) cada figura con todos los detalles



- b) En el estado 1, la presión es $P_1 = 0,6$ Mpa y la temperatura es $T_1 = 200^\circ\text{C}$. De la Tabla A-6 vemos que la temperatura de saturación es $T_{\text{sat}@600\text{kPa}} = 158,83^\circ\text{C}$, por lo tanto el agua está en estado de vapor sobrecalentado (0.1 puntos).

Entonces, de la Tabla A-6 se tiene que

$$\begin{aligned}\nu_1 &= 0,35212 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (0.1 \text{ puntos}) \\ u_1 &= 2639,4 \text{ kJ/kg} \quad (0.1 \text{ puntos})\end{aligned}$$

Para el estado 2 se tiene que la presión es $P_2 = P_1 = 0,6$ Mpa y el volumen específico satisface $\nu_2 = \nu_3$ (0.1 puntos).

En el estado 3 la temperatura es $T_3 = 145^\circ\text{C}$ y calidad $x_3 = 0,6$. De la Tabla A-4, tenemos que el volumen específico y la energía interna específica para el líquido saturado son

$$\begin{aligned}\nu_f@145^\circ\text{C} &= 0,001085 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (0.1 \text{ puntos}) \\ u_f@145^\circ\text{C} &= 610,19 \text{ kJ/kg} \quad (0.1 \text{ puntos})\end{aligned}$$

De la misma tabla, tenemos que el volumen específico y la energía interna específica para el gas saturado son

$$\begin{aligned}\nu_g@145^\circ\text{C} &= 0,44600 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (\text{0.1 puntos}) \\ u_g@145^\circ\text{C} &= 2554,4 \text{ kJ/kg} \quad (\text{0.1 puntos})\end{aligned}$$

Entonces, el volumen específico y la energía interna específica del estado 3 están dados por

$$\begin{aligned}\nu_3 &= \nu_f@145^\circ\text{C} + x_3(\nu_g@145^\circ\text{C} - \nu_f@145^\circ\text{C}) = 0,268034 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (\text{0.2 puntos}) \\ u_3 &= u_f@145^\circ\text{C} + x_3(u_g@145^\circ\text{C} - u_f@145^\circ\text{C}) = 1776,716 \text{ kJ/kg} \quad (\text{0.2 puntos})\end{aligned}$$

Por lo tanto, para el estado 2 se tiene que $\nu_2 = 0,268034 \text{ m}^3/\text{kg}$. De la Tabla A-5, tenemos que el volumen específico y la energía interna específica para el líquido saturado son

$$\begin{aligned}\nu_f@600\text{kPa} &= 0,001101 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (\text{0.1 puntos}) \\ u_f@600\text{kPa} &= 669,72 \text{ kJ/kg} \quad (\text{0.1 puntos})\end{aligned}$$

y el volumen específico y la energía interna específica para el gas saturado son

$$\begin{aligned}\nu_g@600\text{kPa} &= 0,31560 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (\text{0.1 puntos}) \\ u_g@600\text{kPa} &= 2566,8 \text{ kJ/kg} \quad (\text{0.1 puntos})\end{aligned}$$

Entonces, en el estado 2, la calidad de la mezcla es

$$x_2 = \frac{\nu_2 - \nu_f@600\text{kPa}}{\nu_g@600\text{kPa} - \nu_f@600\text{kPa}} = 0,848756 \quad (\text{0.2 puntos})$$

y la energía interna específica es

$$u_2 = u_f@600\text{kPa} + x_2(u_g@600\text{kPa} - u_f@600\text{kPa}) = 2279,8780 \text{ kJ/kg} \quad (\text{0.5 puntos})$$

Finalmente, el trabajo para el proceso a presión constante de $1 \rightarrow 2$ es

$$W_{1 \rightarrow 2} = P_1(V_2 - V_1) = P_1m(\nu_2 - \nu_1) = -50,4516 \text{ kJ} \quad (\text{sobre el gas}) \quad (\text{0.5 puntos})$$

donde $m = 1 \text{ kg}$ es la masa del agua.

El trabajo para el proceso a volumen constante de $2 \rightarrow 3$ es $W_{2 \rightarrow 3} = 0$ (**0.2 puntos**).

Por la Primera Ley, el calor asociado al proceso $1 \rightarrow 2$ es

$$Q_{1 \rightarrow 2} = m(u_2 - u_1) + W_{1 \rightarrow 2} = -409,9736 \text{ kJ} \quad (\text{sale calor}) \quad (\text{0.5 puntos})$$

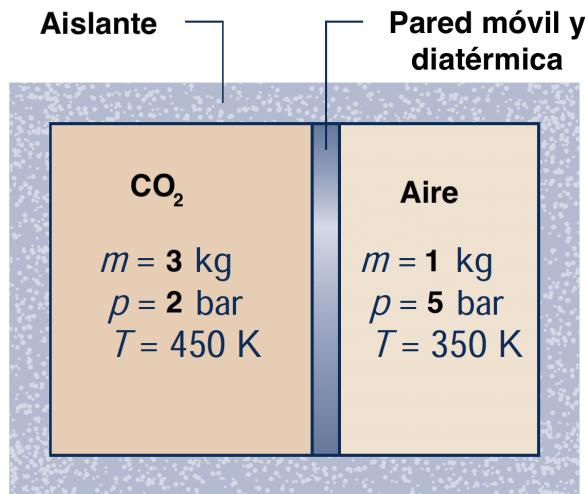
y el calor asociado al proceso $2 \rightarrow 3$ es

$$Q_{2 \rightarrow 3} = m(u_3 - u_2) = -503,162 \text{ kJ} \quad (\text{sale calor}) \quad (\text{0.5 puntos})$$

Problema 3 [6 puntos]

Un kilo de aire, inicialmente a 5 bar , 350 K y 3 kg de dióxido de carbono (CO_2) inicialmente a 2 bar, 450K están confinados en lados opuesto de un contenedor rígido y aislante perfecto, separados por una pared como se muestra en la figura. La pared es libre de moverse y permite la conducción de calor de un gas al otro sin almacenar energía en la pared. Consideré que el aire y el CO_2 se comportan como gases ideales con calores específicos constantes.

Recordar 1 bar = 100 kPa.



- Determine los volúmenes iniciales y la temperatura de equilibrio termodinámico (2.5 pts).
- Calcule la presión y los volúmenes finales de cada gas (3.5 pts).

Calores específicos de gas ideal de varios gases comunes

a) A 300 K

Gas	Fórmula	Constante de gas, R kJ/kg · K	c_p kJ/kg · K	c_v kJ/kg · K	k
Aire	—	0.2870	1.005	0.718	1.400
Argón	Ar	0.2081	0.5203	0.3122	1.667
Butano	C_4H_{10}	0.1433	1.7164	1.5734	1.091
Dióxido de carbono	CO_2	0.1889	0.846	0.657	1.289

Solución:

a) Sea $T_{0,CO_2} = 450$ K y $T_{0,Aire} = 350$ K las temperaturas iniciales y $P_{0,CO_2} = 200$ kPa y $P_{0,Aire} = 500$ kPa. Los volumenes iniciales son

$$V_{0,Aire} = \frac{m_{Aire} R_{Aire} T_{0,Aire}}{P_{0,Aire}} = 0,201 \text{ m}^3 \quad \& \quad V_{0,CO_2} = \frac{m_{CO_2} R_{CO_2} T_{0,CO_2}}{P_{0,CO_2}} = 1,275 \text{ m}^3 \quad \textcolor{red}{1 Punto}$$

Como el sistema es total es aislado y rígido sabemos que

$$\Delta U = 0 = \Delta U_{Aire} + \Delta U_{CO_2} \quad \textcolor{red}{0,5 Puntos} \quad (1)$$

En equilibrio termodinámico la temperatura de ambos gases debe ser la misma, luego

$$\begin{aligned} \Delta U_{Aire} + \Delta U_{CO_2} &= c_{v,Aire} m_{Aire} (T_f - T_{0,Aire}) + c_{v,CO_2} m_{CO_2} (T_f - T_{0,CO_2}) = 0 \\ \Rightarrow T_f &= \frac{c_{v,Aire} m_{Aire} T_{0,Aire} + c_{v,CO_2} m_{CO_2} T_{0,CO_2}}{(c_{v,Aire} m_{Aire} + c_{v,CO_2} m_{CO_2})} = 423,29 \text{ K} \end{aligned} \quad \textcolor{red}{1 Punto}$$

b) En equilibrio termodinámico además las presiones P_f deben ser iguales en ambos gases para que se encuentren en equilibrio mecánico, luego usando la ecuación de estado tenemos que

$$P_f = \frac{m_{Aire} R_{Aire} T_f}{V_{f,Aire}} = \frac{m_{CO_2} R_{CO_2} T_f}{V_{f,CO_2}}. \quad \textcolor{red}{1 Punto}$$

Durante el proceso el Volumen total es conservado

$$V = V_{0,Aire} + V_{0,CO_2} = V_{f,Aire} + V_{f,CO_2} \quad \textcolor{red}{1 Punto}$$

reemplazando en la ecuación anterior,

$$\begin{aligned} \frac{m_{Aire} R_{Aire} T_f}{V_{f,Aire}} &= \frac{m_{CO_2} R_{CO_2} T_f}{V - V_{f,Aire}} \\ (V - V_{f,Aire}) m_{Aire} R_{Aire} &= V_{f,Aire} m_{CO_2} R_{CO_2} \\ V_{f,Aire} &= \frac{V m_{Aire} R_{Aire}}{(m_{CO_2} R_{CO_2} + m_{Aire} R_{Aire})} = 0,496 \text{ m}^3 \quad \textcolor{red}{0,5 Puntos} \\ V_{f,CO_2} &= (V - V_{f,Aire}) = 0,980 \text{ m}^3 \quad \textcolor{red}{0,5 Puntos} \end{aligned}$$

Teniamos que

$$P_f = \frac{m_{Aire} R_{Aire} T_f}{V_{f,Aire}} = \frac{m_{CO_2} R_{CO_2} T_f}{V_{f,CO_2}} = 2,448 \text{ bar} \quad \textcolor{red}{0,5 Puntos}$$