



Pontificia Universidad Católica de Chile  
Instituto de Física  
FIS1523 Termodinámica  
14 de octubre del 2016

P1	P2	P3	Nota

Tiempo: 120 minutos

Se puede usar calculadora.

No se puede usar celular.

No se puede prestar nada.

Preguntas de enunciado en voz alta durante los primeros 60 minutos.

Si usa lápiz mina no podrá pedir corrección.

## Interrogación Nro. 2

Nombre: \_\_\_\_\_

### Problema 1

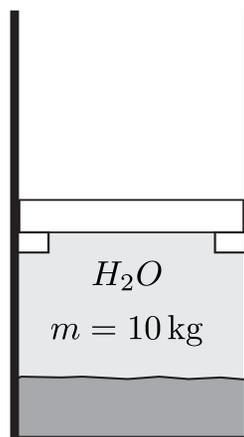
Dentro de un dispositivo cilindro-pistón hay 10 kg de vapor húmedo de agua a 125 kPa. Al principio hay 4 kg de agua en la fase líquida y el resto está en la fase de vapor. Entonces, se transfiere calor al agua; el émbolo, que descansa en un par de topes, comienza subir cuando la presión en el interior llega a 300 kPa. La transferencia de calor continúa hasta que el volumen total aumenta en un 20 por ciento. Determine:

- las temperaturas inicial y final,
- la masa de agua líquida justo cuando comienza a subir el pistón,
- el trabajo realizado durante el proceso.

Además, dibuje el proceso con respecto a la curva de saturación en un diagrama  $P - v$ .

Ayuda: para interpolar una variable  $y$  en términos de otra variable  $x$  use la fórmula

$$y(x) = y_a + \frac{x - x_a}{x_b - x_a} (y_b - y_a) .$$



### Solución:

a) El estado inicial es una mezcla saturada de calidad  $x_1 = 0,6$  a 125 kPa. La temperatura es la temperatura de saturación a esa presión:

$$T_1 = 105,97^\circ\text{C}. \quad (0.5 \text{ pts.})$$

El volumen específico inicial es

$$\begin{aligned} \nu_1 &= x_1 \nu_{g@125 \text{ kPa}} + (1 - x_1) \nu_{f@125 \text{ kPa}} \\ &= 0,8254192 \text{ m}^3/\text{kg}, \end{aligned}$$

mientras que el final es

$$\begin{aligned} \nu_3 &= 1,2 \nu_1 \\ &= 0,99050304 \text{ m}^3/\text{kg}. \quad (0.5 \text{ pts.}) \end{aligned}$$

Como sabemos la presión final,  $P_3 = 300$  kPa, podemos verificar si el sistema está saturado o no (las propiedades del vapor saturado corresponden a la primera entrada en la tabla de vapor sobrecalentado):

$$\nu_3 > \nu_{g@300 \text{ kPa}} = 0,60582 \text{ m}^3/\text{kg}. \quad (1 \text{ pto.})$$

El estado final es de vapor sobrecalentado. Mirando la tabla correspondiente a 0,3 MPa, vemos que

$$\nu_{@300^\circ\text{C}} < \nu_3 < \nu_{@400^\circ\text{C}} \quad \Rightarrow \quad 300^\circ\text{C} < T_3 < 400^\circ\text{C}.$$

Interpolando linealmente,

$$T(\nu) = T_a + \frac{\nu - \nu_a}{\nu_b - \nu_a} (T_b - T_a),$$

con

$$\begin{aligned} T_a &= 300^\circ\text{C}, & \nu_a &= 0,87535 \text{ m}^3/\text{kg}, \\ T_b &= 400^\circ\text{C}, & \nu_b &= 1,03155 \text{ m}^3/\text{kg}, \end{aligned}$$

encontramos

$$T(\nu_3) = 373,7^\circ\text{C}. \quad (1 \text{ pto.})$$

b) La primera parte del proceso ocurre a volumen constante  $\nu_1 = \nu_2 = 0,8254192 \text{ m}^3/\text{kg}$ . Justo cuando el pistón comienza a moverse la presión alcanza los 300 kPa. Mirando la tabla de saturación verificamos que

$$\nu_2 > \nu_{g@300 \text{ kPa}} = 0,60582. \quad (1 \text{ pto.})$$

Por lo tanto, el sistema ya está sobrecalentado y la cantidad de masa en la fase líquida es cero.

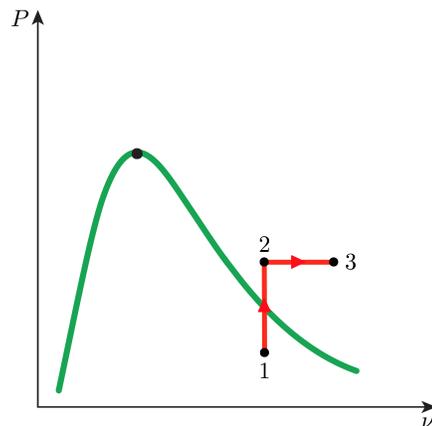
c) En la primera parte el sistema no realiza trabajo ya que el volumen es constante. En la segunda parte, el trabajo es

$$\begin{aligned} W &= P_3 (V_3 - V_2) \\ &= 0,2 m P_3 \nu_1, \end{aligned}$$

donde hemos usado que la presión se mantuvo constante y que  $\nu_3 = 1,2 \nu_1$  y  $\nu_2 = \nu_1$ . Evaluando numéricamente obtenemos

$$W = 495,3 \text{ kJ}. \quad (1 \text{ pto.})$$

El proceso en el diagrama  $P - \nu$  se ve de la siguiente forma:

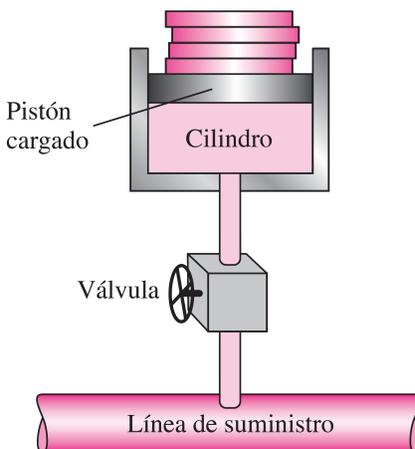


(1 pto.)

Nombre: \_\_\_\_\_

### Problema 2

El pistón con carga del dispositivo que se ve en la figura mantiene en 1200 kPa la presión dentro del cilindro. Al principio, el sistema no contiene masa. Entonces se abre la válvula y el vapor de agua que pasa por la línea de suministro entra al cilindro, hasta que el volumen es  $0,5 \text{ m}^3$ . Este proceso es adiabático y el vapor de agua en la línea de suministro permanece a 2000 kPa y  $250 \text{ }^\circ\text{C}$ . Determine la temperatura final (y la calidad, si corresponde) del vapor en el cilindro y el trabajo total producido al llenar este dispositivo.



## Solución:

La conservación de masa y de energía nos dicen que

$$m_2 = m_e, \quad m_2 u_2 = m_e h_e - W, \quad (1 \text{ pto.})$$

donde  $W$  es el trabajo que hace el vapor para levantar el pistón. Como la presión es constante dentro del volumen de control tenemos

$$W = P_2 V_2. \quad (0.5 \text{ pts.})$$

Así, dividiendo por  $m_2$  encontramos

$$u_2 = h_e - P_2 v_2 \quad \Rightarrow \quad h_2 = h_e. \quad (1.5 \text{ pts.})$$

Entonces, la entalpía final del sistema es igual a la entalpía de entrada del vapor. De la tabla extraemos  $h_e = 2903,3 \text{ kJ/kg}$ . El estado final es de vapor sobrecalentado ya que

$$h_2 > h_{g@1,2 \text{ MPa}} = 2783,8 \text{ kJ/kg} \quad (1 \text{ pto.})$$

De hecho, a  $1,2 \text{ MPa}$  vemos que

$$h_{@200^\circ\text{C}} < h_2 < h_{@250^\circ\text{C}} \quad \Rightarrow \quad 200^\circ\text{C} < T_2 < 250^\circ\text{C}.$$

Interpolando linealmente,

$$T(h) = T_a + \frac{h - h_a}{h_b - h_a} (T_b - T_a)$$

con

$$T_a = 200^\circ\text{C}, \quad h_a = 2816,1 \text{ kJ/kg},$$

$$T_b = 250^\circ\text{C}, \quad h_b = 2935,6 \text{ kJ/kg},$$

encontramos

$$T(h_2) = 236,5^\circ\text{C}. \quad (1.5 \text{ pts.})$$

El trabajo realizado es simplemente

$$\begin{aligned} W &= P_2 V_2 \\ &= 600 \text{ kJ}. \quad (0.5 \text{ pts.}) \end{aligned}$$

Nombre: \_\_\_\_\_

### Problema 3

Entra vapor uniformemente a una turbina a 10 MPa y 550 °C con una velocidad de 60 m/s y sale a 25 kPa con una calidad de 95 por ciento. Durante el proceso ocurre una pérdida de calor de 30 kJ/kg. El área de entrada de la turbina es de 150 cm<sup>2</sup> y el área de salida es de 1400 cm<sup>2</sup>. Determine:

- a) el flujo másico del vapor,
- b) la velocidad de salida,
- c) la potencia desarrollada.

### Solución:

a) Para calcular el flujo de masa que entra a la turbina usamos la relación

$$\dot{m} = \rho v A = \frac{v A}{\nu}.$$

Como conocemos las condiciones de entrada podemos leer de la tabla el volumen específico:

$$\nu_1 = 0,035655 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Así, usando los datos del enunciado encontramos

$$\dot{m}_e = 25,2 \text{ kg/s.} \quad (1.5 \text{ pts.})$$

b) Para calcular la velocidad de salida usamos la misma fórmula

$$v = \frac{\dot{m}}{A\rho} = \frac{\dot{m}\nu}{A}.$$

El volumen específico final está dado por

$$\begin{aligned} \nu_2 &= x_2\nu_{g@25\text{kPa}} + (1 - x_2)\nu_{f@25\text{kPa}} \\ &= 5,8932810 \text{ m}^3/\text{kg}. \end{aligned}$$

Por lo tanto, dado que  $\dot{m}_s = \dot{m}_e$ ,

$$v_2 = 1062,6 \text{ m/s.} \quad (1.5 \text{ pts.})$$

c) La potencia se calcula usando la primera ley:

$$\dot{m}\theta_1 = \dot{W} + \dot{Q} + \dot{m}\theta_2 \quad \Rightarrow \quad \dot{W} = \dot{m}(\theta_1 - \theta_2) - \dot{Q}. \quad (1 \text{ pto.})$$

donde  $\theta = h + \frac{v^2}{2}$ . Pero  $\dot{Q} = \dot{m}q$  con  $q = 30 \text{ kJ/kg}$ . Luego,

$$\dot{W} = \dot{m} \left( h_1 + \frac{1}{2}v_1^2 - h_2 - \frac{1}{2}v_2^2 - q \right). \quad (1 \text{ pto.})$$

Sólo falta determinar las entalpías de entrada y salida. De las tablas extraemos

$$\begin{aligned} h_1 &= 3502,0 \text{ kJ/kg}, \\ h_2 &= x_2h_{g@25\text{kPa}} + (1 - x_2)h_{f@25\text{kPa}} \\ &= 2500,2 \text{ kJ/kg}. \end{aligned}$$

Así,

$$\dot{W} = 10325,6 \text{ kW.} \quad (1 \text{ pto.})$$