I2: FIS1523 - Termodinámica

Facultad de Física
Pontificia Universidad Católica de Chile
Profs. Mario Favre y Griselda García
Primer Semestre 2011

P1	P2	P3	Nota

Nombre: _____

- No desprenda ninguna hoja del cuadernillo.
- No se permite el uso de teléfonos celulares, ni la consulta de apuntes.
- Incluya su nombre completo al comienzo de todas las hojas del examen.
- Si utiliza lápiz de grafito, perderá la posibilidad de reclamar errores de corrección.
- Encuadre y señale claramente aquello que no debe ser considerado en la evaluación (por ejemplo cálculos erróneos, sondeo de resultados, etc.). Todo aquello que usted escriba y no anule explícitamente podría ser evaluado.
- Debe rendir la interrogación en la sala correspondiente a su sección.
- El profesor no se hace responsable de las respuestas que los ayudantes puedan dar a sus consultas durante el examen.

Tiempo para responder: 120 minutos

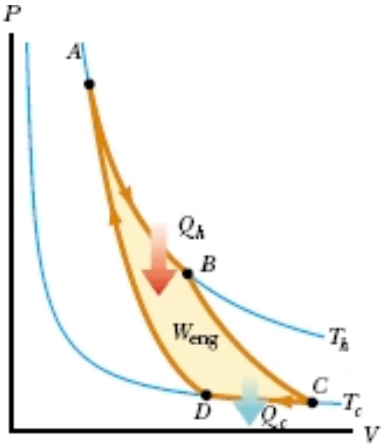
Nombre: _____

Problema 1

Una máquina de Carnot que opera con aire recibe 50 kJ/ kg y cede 29 kJ/kg en cada ciclo. Se sabe que el volumen específico máximo es 10 m^3/kg y que la presión al final de la expansión isotérmica es 200 kPa. Suponiendo que el aire se comporta como gas ideal ($R_{aire} = 0.287$ kJ/ kg K),

a) Encuentre las temperaturas extremas entra las cuales opera el ciclo.
b) Encuentre el volumen específico al final de la etapa de expansión isotérmica.
c) Encuentre la presión al final de la etapa de expansión adiabática.
d) Calcule la eficiencia termodinámica del ciclo.

Solución



$A \to B$ ... expansión isotérmica, $\Delta U = 0$
$B \to C$ ... expansión adiabática, $Q = 0$
$C \to D$ ... compresión isotérmica, $\Delta U = 0$
$D \to A$ ... compresión adiabática, $Q = 0$

$Q_h = 50$ kJ/kg
$Q_c = 29$ kJ/kg
$P_B = 200$ kPa
$\nu_C = 10$ m^3/kg
$k = 1.4$
$T_h = T_B = T_A$
$T_c = T_C = T_D$

$Q_h = Q_{AB} = W_{AB}$
$Q_c = Q_{CD} = W_{CD}$
$P\,\nu = R_{aire}\,T$ (ec. de estado)
$P\,\nu^k = cte.$ (adiabático)
$T\,\nu^{k-1} = cte.$ (adiabático)

La eficiencia termodinámica del ciclo es

$$\eta = 1 - \frac{|Q_c|}{Q_h} = 1 - \frac{29}{50} = 0{,}42 \qquad \frac{|Q_c|}{Q_h} = \frac{T_c}{T_h} = \frac{29}{50} = 0{,}58$$

$$\frac{T_c}{T_h} = \frac{T_C}{T_B} = \left(\frac{\nu_B}{\nu_C}\right)^{k-1} = 0{,}58 \quad \longrightarrow \quad \nu_B = \left(\frac{T_C}{T_B}\right)^{1/(k-1)} \nu_C \quad \longrightarrow \quad \nu_B = 2.56 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$T_B = \frac{P_B\,\nu_B}{R_{aire}} \quad \longrightarrow \quad T_B = 1784 \text{ K} = 1511^o\text{C}$$

$$T_C = 0{,}58\,T_B \quad \longrightarrow \quad T_C = 876.4 \text{ K} = 603.4^o\text{C}$$

$$P_C = \frac{R_{aire}\,T_C}{\nu_C} \quad \longrightarrow \quad P_C = 29.7 \text{ kPa}$$

Nombre: _____

Problema 2

Un tanque de volumen constante contiene 5 kg de aire a 100 kPa y 327^{o}C. El aire es enfriado a la temperatura del entorno 27^{o}C. Considerando calores específicos constantes a 300 K,

a) determinar el cambio de entropía del aire en el tanque durante el proceso.
b) determinar el cambio de entropía neto del universo.
c) hacer un gráfico cualitativo en el diagrama T-s de los procesos seguidos por el aire y por el entorno. Asegurarse de indicar explícitamente los estados inicial y final de cada sistema.

Solución

$T_i = 327^o\text{C} = 600$ K $\qquad c_V = 0.718$ kJ/kg K

$T_f = 27^o\text{C} = 300$ K $= T_{amb}$ $\qquad c_P = 1.005$ kJ/kg K

$m = 5$ kg

$$\Delta S_{aire} = \int \frac{\delta q}{T} = \int_{T_i}^{T_f} \frac{m\, C_V\, dT}{T} = m\, c_V\, \ln \frac{T_f}{T_i}$$

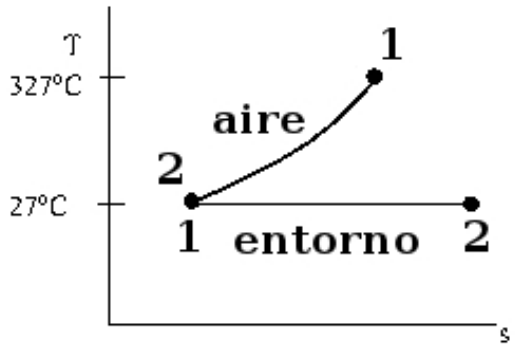
$$\Delta S_{aire} = 5 \times 0{,}718 \times \ln \frac{300}{600} = \text{-}2.49 \text{ kJ/K}$$

$$\Delta S_{entorno} = \frac{Q_{recibido}}{T_{amb}} = \frac{m\, c_V\, (T_i - T_f)}{T_f}$$

$$\Delta S_{entorno} = \frac{5 \times 0{,}718 \times (600 - 300)}{300} = 3.59 \text{ kJ/K}$$

$$\Delta S_{universo} = \Delta S_{aire} + \Delta S_{entorno} = S_{gen}$$

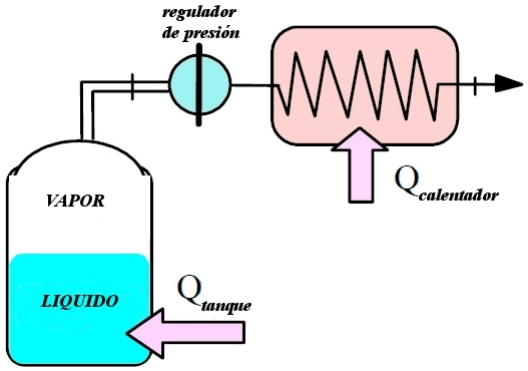
$$\Delta S_{universo} = S_{gen} = 1.10 \text{ kJ/K}$$



Nombre: _____

Problema 3

Un tanque de 2 m^3 contiene metano que está 95 % líquido y 5 % como vapor a 160 K. Se transfiere calor al tanque y el vapor saturado fluye estacionariamente hacia un calentador de flujo estacionario, del cual sale a 300 K. El proceso continúa hasta que el tanque se vacía. Calcular la cantidad total de calor transferida al tanque y la cantidad total de calor transferida al calentador.



Solución

$V_{tanque} = 2$ m^3

metano ... inicialmente 95 % líquido y 5 % vapor

$T_i = 160$ K

$T_f = 300$ K

Consideremos el tanque como volumen control ... flujo transiente, 1 salida y no hay entrada de masa.

Ecuación de continuidad, considerando que la masa final m_2 es cero,

$$m_2 - m_1 = 0 - m_1 = -m_1 = -m_{sale} \quad \longrightarrow \quad m_1 = m_{sale}$$

Ecuación de energía,

$$Q_{tanque} = m_{sale}\, h_{sale} - m_1\, u_1$$

Para las condiciones iniciales, $T_i = 160$ K y $P_{sat} = 1592.8$ kPa,

$$\nu_f = 0.002974 \text{ m}^3/\text{kg} \qquad u_f = \text{-}106.35 \text{ kJ/kg} \qquad h_f = \text{-}101.61 \text{ kJ/kg}$$

$$\nu_g = 0.03936 \text{ m}^3/\text{kg} \qquad u_g = 207.66 \text{ kJ/kg} \qquad h_g = 270.35 \text{ kJ/kg}$$

La masa inicial en el tanque es

$$m_1 = m_{liq} + m_{vapor} = \frac{V_{liq}}{\nu_f} + \frac{V_{vapor}}{\nu_g} = \left(\frac{0{,}95}{\nu_f} + \frac{0{,}05}{\nu_g}\right) V_{tanque} = 641.4 \text{ kg}$$

La energía inicial en el tanque es

$$m_1\, u_1 = m_{liq}\, u_f + m_{vapor}\, u_g = 638.9 \text{ kg} \times \text{(-106.35 kJ/kg)} + 2.54 \text{ kg} \times 207.66 \text{ kJ/kg}$$

$$m_1\, u_1 = \text{-67416.16 kJ}$$

La energía que se lleva el metano cuando sale del tanque es

$$m_{sale}\, h_{sale} = m_{sale}\, h_{g@160K} = 641.4 \text{ kg} \times 270.35 \text{ kJ/kg}$$

$$m_{sale}\, h_{sale} = 173402.5 \text{ kJ}$$

El calor agregado al tanque es

$$Q_{tanque} = m_{sale}\, h_{sale} - m_1\, u_1 = 173402.5 \text{ kJ} - \text{(-67416.16 kJ)} = 240818.65 \text{ kJ}$$

Consideremos ahora el calentador como el volumen control ... flujo estacionario a la P = P_{sat} = 1592.8 kPa.

Ecuación de energía para el calentador es

$$Q_{calentador} = m_1\,(h_{sale} - h_{entra}) = m_1\,(h_{g@300K} - h_{g@160K})$$

El valor de $h_{g@300K}$ para la presión de funcionamiento del calentador no está directamente en la tabla. Necesitamos interpolar.

Cuando $T = 300$ K,

$$P_a = 1500 \text{ kPa} \quad \longrightarrow \quad h_a = 613.82 \text{ kJ/kg}$$
$$P_b = 2000 \text{ kPa} \quad \longrightarrow \quad h_b = 608.85 \text{ kJ/kg}$$

$P_{sale} = P_{sat} = 1592.8$ kPa,

$$h_{sale} = h_a - \left(\frac{h_a - h_b}{P_b - P_a}\right)(P_{sale} - P_a) = 612.9 \text{ kJ/kg}$$

Entonces,

$$Q_{calentador} = 641{,}4 \times (612{,}9 - 270{,}35) = 219711.6 \text{ kJ}$$