Nombre: **N° de lista:**

RUT: **Sección:**

Código de Honor UC

Firma: "Como miembro de la comunidad de la Pontificia Universidad Católica de Chile, me comprometo a respetar los principios y normativas que la rigen. Asimismo, me comprometo a actuar con rectitud y honestidad en las relaciones con los demás integrantes de la comunidad y en la realización de todo trabajo, particularmente en aquellas actividades vinculadas a la docencia, al aprendizaje y la creación, difusión y transferencia del conocimiento. Además, me comprometo a velar por la dignidad e integridad de las personas, evitando incurrir en y, rechazando, toda conducta abusiva de carácter físico, verbal, psicológico y de violencia sexual. Del mismo modo, asumo el compromiso de cuidar los bienes de la Universidad"

Instrucciones para el desarrollo de la evaluación

- La evaluación debe rendirla en la sala informada para la sección en la que está inscrito/a.
- Los/as cuidadores/as de prueba **gestionaran la ubicación de los estudiantes en sala**, con el fin de optimizar el espacio y prevenir faltas a la integridad académica.
- Debe completar sus datos personales en **todas las hojas de respuesta**, las hojas de respuesta sin sus datos no serán consideradas para la corrección.
- La evaluación tiene una **duración máxima de 120 minutos**, es su responsabilidad llegar de manera puntual ya que no se otorgará tiempo adicional.
- Preguntas de enunciado en voz alta durante los primeros 90 minutos.
- El trabajo es individual y está absolutamente **prohibida la colaboración o la copia.**
- No se puede prestar nada.
- Se puede usar una calculadora simple.
- Está estrictamente **prohibido el uso de dispositivos electrónicos avanzados** (teléfonos celulares, tablets, relojes inteligentes, etc) estos deben estar apagados y dentro de la mochila/bolso del estudiante debajo de la silla. El uso de celular, cualquiera sea este, durante la prueba implica un 1.0 directo en la evaluación.
- Los cuidadores no están autorizados a proporcionar sugerencias o ayuda.
- Recuerde que para optar al puntaje máximo es requisito que cada paso del desarrollo sea explicado y presentado de manera ordenada.

- Al finalizar la evaluación, **deberá entregar todos los cuadernillos** de respuesta incluyendo los no utilizados.
- **Cualquier falta a la integridad académica** detectada en la evaluación **será derivada al Comité de Integridad Académica** de la Facultad de Física quienes analizarán cada caso de manera individual.
- Para subir el pdf de la evaluación al canvas del curso, se asignarán 10 minutos adicionales al término de la evaluación.
- Luego de subir el pdf a canvas debe dejar la prueba física en el puesto y retirarse de la sala.

Por protocolo de la Facultad de Física, si se presenta alguna **dificultad de salud o emocional**, el/la cuidador/a de la prueba está **obligado/a a llamar al número de emergencia del campus** (+56 955045000) para que personal capacitado pueda evaluar la situación y prestar la ayuda necesaria al estudiante.

Pontificia Universidad Católica de Chile
Instituto de Física
FIS1523 Termodinámica
5 de septiembre del 2025

Interrogación Nro. 1

1. Formulario

Dilatación térmica:

$$L(T) = L_0 \left[1 + \alpha(T - T_0)\right],$$
$$V(T) = V_0 \left[1 + \beta(T - T_0)\right],$$

α y β son, respectivamente, los coeficientes de dilatación térmica lineal y volumétrica.

Transferencia de calor y cambio de temperatura:

$$Q = mc\Delta T$$

donde m es la masa y c el calor específico.

Escala Kelvin se relaciona con la Celsius mediante:

$$T(\mathrm{K}) = T(^\circ\,\mathrm{C}) + 273.$$

Relación entre fuerza y presión:

$$P = \frac{F}{A}.$$

Presión atmosférica

$$P_{\mathrm{atm}} = 101325\,\mathrm{Pa}.$$

Fuerza de flotación o boyante:

$$B = \rho_{\mathrm{liquido}} g V_{\mathrm{desplazado}}$$

Variación de la presión en un fluido de densidad ρ con la profundidad h,

$$P(h) = P_0 + \rho g h.$$

Cambios de estado:

$$Q_f = mL_f$$
$$Q_v = mL_v$$

donde L_f y L_v son, respectivamente, el calor latente de fusión y vaporización.

Ecuación de Estado de gases ideales:

$$PV = nRT = NK_BT$$

donde $R = 8{,}314 \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{mol}\cdot\mathrm{K}} = 0,287 \frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}\cdot\mathrm{K}}$, $k_B = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ J/K, y n es el número de moles y N el número de partículas. Alternativamente,

$$Pv = RT$$

donde $v = V/m$ o $v = V/n$, según corresponda.

Factor de compresibilidad, con v volumen especifico:

$$Z = \frac{P\ v}{R\ T}$$

Primera Ley de la Termodinámica:

$$dU = \delta Q - \delta W$$

donde dU es la variación de energía interna, δQ el flujo de calor y δW el trabajo realizado por el sistema.

Alternativamente, en el caso de un proceso en en que un sistema absorbe una cantidad de calor Q y realiza trabajo W, la variación de energía interna es

$$\Delta U = Q - W$$

Trabajo realizado por un gas al cambiar del estado A al estado B:

$$W_{AB} = \int_A^B P dV$$

También,

$$h = u + Pv$$

donde h, u y v son, respectivamente, magnitudes específicas de entalpía, energía interna y volumen.

Variación de energía interna en un proceso a volumen constante:

$$\Delta U = n c_v \Delta T$$

con c_v el calor específico a volumen constante.

Variación de entalpía en un proceso de presión constante:

$$\Delta h = c_p \Delta T$$

con c_p el calor específico a presión constante.

Flujo de calor en un proceso a presión constante:

$$\Delta q = c_p \Delta T$$

donde $c_v = c_v/M_m$ y $c_p = c_p/M_m$ son los calores específicos a volumen y presión constante, respectivamente.

En un proceso adiabático no hay transferencia de calor y se satisface la relación

$$PV^\gamma = \text{cte}$$

donde $\gamma = c_p/c_v$.
Gas ideal, $c_p - c_v = R$:

$$\text{monoatómico:} \quad c_v = \frac{3}{2}R, \quad c_p = \frac{5}{2}R$$

$$\text{diatómico:} \quad c_v = \frac{5}{2}R, \quad c_p = \frac{7}{2}R$$

Procesos con sustancias puras:

$m = m_{liq} + m_{vap}$ es la masa total de una mezcla de líquido y vapor.La calidad está dada por

$$x = \frac{m_{vap}}{m}$$

En una mezcla de líquido y vapor los valores específicos de volumen, energía interna y entalpía estan dados por

$$\begin{aligned} v &= v_f + x \cdot v_{fg} \\ u &= u_f + x \cdot u_{fg} \\ h &= h_f + x \cdot h_{fg} \end{aligned}$$

con

$$\begin{aligned} v_{fg} &= v_g - v_f \\ u_{fg} &= u_g - u_f \\ h_{fg} &= h_g - h_f \end{aligned}$$

correspondiendo el índice g a la condición de vapor saturado y el índice f a la condición de líquido saturado, y los valores correspondientes se obtienen de Tablas Termodinámicas.

Energía total E contenida en un sistema termodinámico encerrado en volume control (v. c.):

$$E = U + K + U_p$$

donde U es la energía interna, y K y U_p son la energía cinética y potencial asociada a la masa contenida en el v. c. Primera Ley de la Termodinámica,

$$dE = dU + dK + dU_p = \delta Q - \delta W$$

Por unidad de masa:

$$\theta = e + Pv = h + \frac{1}{2}v^2 + gz$$

Tasa de variación de energáa en interior del v.c.

$$\frac{dE_{v.c.}}{dt} = \dot{Q}_{v.c.} - \dot{W}_{v.c.} + \dot{m}_e(h_e + \frac{1}{2}v_e^2 + gz_e) - \dot{m}_s(h_s + \frac{1}{2}v_e^2 + gz_s)$$

donde $\dot{m}_e$ y $\dot{m}_s$ son la cantidad de masa que entra y sale del v. c., transportando entalpía y energía cinética y potencial.

Proceso estacionario:

$$\frac{dE_{v.c.}}{dt} = 0$$

Posibilidad de varios componentes de masa entrando y saliendo del v.c.:

$$\dot{Q}_{v.c.} + \sum \dot{m}_e \left(h_e + \frac{1}{2}v_e^2 + gz_e \right) = \sum \dot{m}_s \left(h_s + \frac{1}{2}v_s^2 + gz_s \right) + \dot{W}_{v.c.}$$

Una sola especie, $\dot{m}_e = \dot{m}_s = \dot{m}$. Primera Ley en proceso estacionario con una sola especie:

$$q + h_e + \frac{1}{2}v_e^2 + gz_e = h_s + \frac{1}{2}v_s^2 + gz_s + w$$

Primera Ley en proceso transiente, con $1 \rightarrow$ estado incial del v. c. y $2 \rightarrow$ estado final del v. c.:

$$\begin{aligned} Q_{v.c.} + \sum m_e \left(h_e + \tfrac{1}{2}v_e^2 + gz_e \right) &= \sum m_s \left(h_s + \tfrac{1}{2}v_s^2 + gz_s \right) \\ &+ \left[m_2 \left(u_2 + \tfrac{1}{2}v_2^2 + gz_2 \right) - m_1 \left(u_1 + \tfrac{1}{2}v_1^2 + gz_1 \right) \right]_{v.c.} + W_{v.c.} \end{aligned}$$

Problema 1

Los gases de escape calientes (considerelos Aire) de un motor de combustión interna se van a utilizar para producir vapor de agua saturado a una presión de 2 MPa. Los gases de escape entran al intercambiador de calor a 400°C con un caudal másico (tasa de flujo de masa) de 32 kg/min, mientras que el agua entra a 15°C.

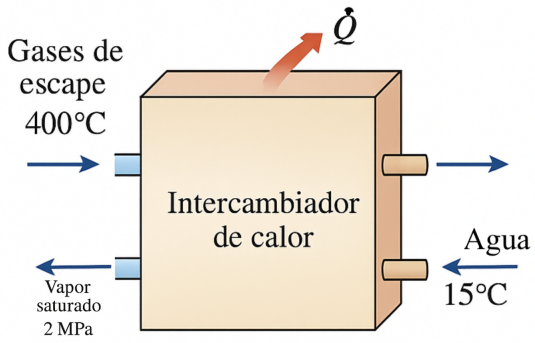
El intercambiador de calor no está bien aislado y se estima que el 10 % del calor cedido por los gases de escape se pierde hacia los alrededores.

Si el caudal másico (tasa de flujo de masa) de los gases de escape es 15 veces el del agua, determine:

a) La temperatura de los gases de escape a la salida del intercambiador de calor

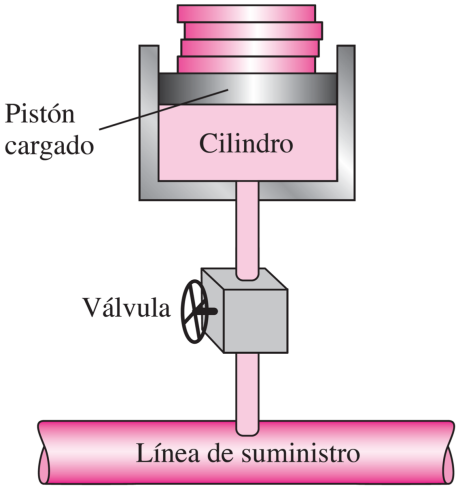
b) La tasa de transferencia de calor al agua.

Use las propiedades de calor específico constante del aire para los gases de escape.
Puede asumir que las propiedades del líquido comprimido son las mismas que las del líquido saturado.



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 m^3. Este proceso es adiabático y el vapor de agua en la línea de suministro permanece a 2000 kPa y 250 °C. Determine la temperatura final (y la calidad, si corresponde) del vapor en el cilindro y el trabajo total producido al llenar este dispositivo.



Problema 3

Un tanque rígido de volumen total V_{tot} contiene dos cámaras separadas por un pistón móvil sin fricción, que permite el equilibrio de presiones entre ambas.

- En la Cámara A hay nitrógeno (N_2) con masa $m_N = 0{,}10$ kg.
- En la Cámara B hay **agua** en una mezcla saturada de vapor y líquido, con masa $m_w = 1{,}00$ kg y calidad inicial $x_0 = 0{,}10$.

Inicialmente, ambas cámaras se encuentran a una temperatura de 100 °C y en equilibrio mecánico. El tanque se calienta lentamente desde el exterior, de modo que el pistón se mueve sin pérdidas hasta que el sistema alcanza una presión final común de $P_f = 200$ kPa.

Se pide:

a) Determinar el volumen del tanque.

b) Determinar la **temperatura final** del sistema.

c) Calcular el **calor total transferido** al sistema.

Suposiciones:

- El pistón es diatérmico y se mueve sin fricción.

Pauta P1

Se asume flujo en estado estacionario, por lo que no hay cambios temporales en la masa contenida ni la energia neta del volumen de control. Cambios en la energia cinética y potencial se consideran despreciables. No hay trabajo del sistema. Por ultimo, los gases de escape se asumen tienen las propiedades del aire con capacidad calorica constante.

a)

De la tabla A2, para el aire, los gases de escape tendran capacidad calorica:

$$c_p = 1{,}005 \ \frac{kJ}{K \cdot kg}$$

De las tablas A4 y A5 determinamos las entalpias del agua que entra y sale en el volumen de control:

$$\text{agua in; Estado: liquido : } \ T_{w,in} = 15°\text{C} \Rightarrow x = 0 \ ; \ h_f = 62{,}982 \frac{kJ}{kg} \quad \text{(0.5 pto.)}$$

$$\text{agua out; Estado: vapor saturado : } \ P_{w,out} = 2 \text{ MPa} \Rightarrow x = 1 \ ; \ h_g = 2798{,}3 \frac{kJ}{kg} \quad \text{(0.5 pto.)}$$

Por flujo estacionario:

$$\dot{m}_{in} = \dot{m}_{out} \quad \text{por cada flujo de masa, aire, agua} \quad \text{(0.5 pto.)}$$

$$\dot{E}_{in} = \dot{E}_{out} \quad \text{(0.5 pto.)}$$

$$\dot{m}_{gas} h_{gas,in} + \dot{m}_{w,in} h_{w,in} = \dot{m}_{gas} h_{gas,out} + \dot{m}_{w,out} h_{w,out} + \dot{Q} \quad \text{(0.5 pto.)}$$

o tambien, considerando $h_{gas,in} = c_p T_{in}$

$$\dot{m}_{gas} \ c_p \ T_{gas,in} + \dot{m}_{w,in} \ h_{w,in} = \dot{m}_{gas} \ c_p \ T_{gas,out} + \dot{m}_{w,out} \ h_{w,out} + \dot{Q} \quad \text{(0.5 pto.)}$$

Pero de enunciado:

$$\dot{m}_{gas} = 15 \dot{m}_w$$

donde

$$\dot{m}_{gas} = 32 \text{ kg/min} = 0{,}533 \text{ kg/s}$$

por lo que

$$\dot{m}_w = 0{,}03556 \text{ kg/s}$$

Desde el punto de vista de los gases, el calor entregado por ellos sera:

$$\dot{Q}_{gas} = \dot{m}_{gas} \ c_p \ (T_{gas,in} - T_{gas,out}) \quad \text{(0.5 pto.)}$$

Ademas el calor que se escapa del intercambiador es el 10 % del calor entregado por el gas, o sea:

$$\dot{Q} = 0{,}1 \ \dot{Q}_{gas}$$

reemplazando los numeros para revisar ecuaciones e incognitas:

$$0{,}533 \ \frac{kg}{s} 1{,}005 \ \frac{kJ}{kgC} 400°\text{C} + 0{,}03556 \frac{kg}{s} 62{,}982 \frac{kJ}{kg} = 0{,}533 \frac{kg}{s} 1{,}005 \ \frac{kJ}{kgC} \ T_{gas,out} + 0{,}03556 \text{ kg/s } 2798{,}3 \frac{kJ}{kg} + 0{,}1 \dot{Q}_{gas}$$

$$\dot{Q}_{gas} = 0{,}533 \ \frac{kg}{s} \ 1{,}005 \ \frac{kJ}{kgC} \ (400°\text{C} - T_{gas,out})$$

de las cuales podemos despejar las variables

$$T_{gas,out} = 197{,}7°\text{C} \quad \text{(1 pto.)}$$

b)

Por otro lado, revisando el calor recibido por el agua, considerando al VC como la porcion de calentador que contiene agua:

$$\dot{Q}_w = \dot{m}_w(h_{w,out} - h_{w,in}) \quad \text{(0.5 pto.)}$$

de donde se puede despejar la respuesta de la (b)

$$\dot{Q}_w = 0{,}03556\frac{kg}{s}(2798{,}3\frac{kJ}{kg} - 62{,}982\frac{kJ}{kg}) = 97{,}268\frac{kJ}{s}\text{(1 pto.)}$$

Otra manera similar: Asumiendo flujo estacionario. Los cambios de energía cinetica y potencial son despreciables y no hay trabajo hacia el volumen de control. Asumiendo que los gases de escape se comportan como aire.

a) Los gases de escape entran a 400°C, entonces la temperatura reducida es:

$$T_R = \frac{T}{T_c} = \frac{400 + 273,15}{132,5} = 5,08 \tag{1}$$

Es decir, los gases de escape se pueden aproximar como gas ideal.

Del enunciado sabemos que:

$$\dot{m}_{\text{escape}} = 15\dot{m}_{\text{agua}}, \quad \dot{Q}_{\text{out, gas}} = \dot{Q}_{\text{in, agua}} + \underbrace{\dot{Q}_{\text{pierde}}}_{0{,}1\dot{Q}_{\text{out, gas}}} \Rightarrow \dot{Q}_{\text{in, agua}} = 0,9\dot{Q}_{\text{out, gas}}\text{(0,5 ptos)} \tag{2}$$

Llamaremos 1 a la entrada de gases y 2 a la salida de gases; 3 a la entrada de agua y 4 a la salida de agua. Entonces, el balance de energía para gases y agua es:

gases	$\dot{E}_{\text{in}} = \dot{E}_{\text{out}}$
	$\dot{m}_1 h_1 = \dot{Q}_{\text{out, gas}} + \dot{m}_2 h_2$ (0,5 ptos)
agua	$\dot{E}_{\text{in}} = \dot{E}_{\text{out}}$
	$\dot{Q}_{\text{in, agua}} + \dot{m}_3 h_3 = \dot{m}_4 h_4$(0,5 ptos)

(3)

utilizando que, tanto para el gas como para el agua, se conserva el flujo masico $\dot{m}_1 = \dot{m}_2$ y $\dot{m}_3 = \dot{m}_4$ y las relaciones (2) los balances de energía quedan:

$$15\dot{m}_3 h_1 = \dot{Q}_{\text{out, gas}} + 15\dot{m}_3 h_2, \quad 0,9\dot{Q}_{\text{out, gas}} + \dot{m}_3 h_3 = \dot{m}_3 h_4 \tag{4}$$

Depejando el $\dot{Q}$ y evaluando en la segunda ecuación se tiene:

$$0,9 \cdot 15\dot{m}_3(h_1 - h_2) = \dot{m}_3(h_4 - h_3) \tag{5}$$

Simplificando:

$$13,5(h_1 - h_2) = h_4 - h_3\text{(0,5 ptos)} \tag{6}$$

Dado que el gas se comporta como gas ideal

$$h_1 = c_p T_1, \; h_2 = c_p T_2\text{(0,5 ptos)} \tag{7}$$

Buscamos la T_2, que es:

$$h_2 = h_1 - \frac{h_4 - h_3}{13,5} \Rightarrow T_2 = T_1 - \frac{h_4 - h_3}{13,5 c_p} \tag{8}$$

El agua entra como agua liquida comprimida y su entalpia es la de liquido saturado a 15°C y sale como vapor saturado a 2MPa:

$$h_3 = h_{\text{f @ 15°C}} = 62,982 \frac{kJ}{kg} \text{(0,5 ptos)}, \quad h_4 = h_{\text{g @ 2MPa}} = 2798,3 \frac{kJ}{kg} \text{(0,5 ptos)} \tag{9}$$

Entonces, la temperatura de salida del gas de escape es:

$$T_2 = (400 + 273)K - \frac{2798,3 - 62,982}{1,003 \cdot 13,5} K = 470,99K = 197,84°\text{C} \text{(1ptos)} \tag{10}$$

b) Teniendo las entalpias, podemos reemplazar en en la segunda ecuación de (4). Especificamente, tendremos:

$$0,9 \dot{Q}_{\text{out, gas}} = \dot{Q}_{\text{in, agua}} = \dot{m}_3 (h_4 - h_3) = \frac{\dot{m}_1}{15} (h_4 - h_3) \text{(0,5 ptos)} \tag{11}$$

Reemplazando los valores tendremos

$$\dot{Q}_{\text{in, agua}} = \frac{32}{15} \frac{\text{kg}}{\text{min}} (2798,3 - 62,982) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 5835,35 \frac{\text{kJ}}{\text{min}} = 97,256 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \text{(1 ptos)} \tag{12}$$

Pauta P2

La conservación de masa y de energía nos dicen que

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

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

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

Así, dividiendo por m_2 encontramos

$$u_2 = h_e - P_2\nu_2 \qquad \Rightarrow \qquad h_2 = h_e\,. \qquad \text{(1.5 pts.)}$$

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

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

De hecho, a 1,2 MPa vemos que

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

Interpolando linealmente,

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

con

$$T_a = 200\,^\circ\text{C}\,, \qquad h_a = 2816{,}1\,\text{kJ/kg}\,,$$
$$T_b = 250\,^\circ\text{C}\,, \qquad h_b = 2935{,}6\,\text{kJ/kg}\,,$$

encontramos

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

El trabajo realizado es simplemente

$$W = P_2 V_2$$
$$= 600\,\text{kJ}\,. \qquad \text{(0.5 pts.)}$$

Pauta P3

a) Volumen El nitrógeno tiene temperatura y presión críticas $T_c = 126{,}2$ K y $P_c = 3{,}39$ MPa. En este problema:

$$T_0 = 373{,}15 \text{ K} \Rightarrow T_r = \frac{T_0}{T_c} = 2{,}96, \qquad P_0 = 0{,}1013 \text{ MPa} \Rightarrow P_r = \frac{P_0}{P_c} = 0{,}030.$$

Dado que $T_r > 1$ y $P_r \ll 1$, el factor de compresibilidad $Z \approx 1$, por lo que el N_2 se comporta de manera prácticamente ideal. Luego las propiedades del N_2 (gas ideal) son $R = 0{,}2968$ kJ/(kg · K) y $c_v = 0{,}743$ kJ/(kg · K).
(0.5 pts.)

El volumen inicial del N_2:

$$V_{N,0} = \frac{m_N R T_0}{P_0} = \frac{0{,}10 \times 0{,}2968 \times 373{,}15}{101{,}3} = 0{,}10933 \text{ m}^3.$$

(0.5 pts.)
El agua inicialmente es una mezcla saturada a 100°C:
Propiedades (tablas saturadas, aproximadas):

$$\begin{aligned} \text{a } 100^\circ\text{C}: \quad & v_f = 0{,}001044 \text{ m}^3/\text{kg}, & v_g = 1{,}6720 \text{ m}^3/\text{kg}, \\ & u_f = 419 \text{ kJ/kg}, & u_g = 2506 \text{ kJ/kg}; \end{aligned}$$

El volumen inicial del agua

$$V_{w,0} = m_w \left[v_f + x_0(v_g - v_f)\right] = 1{,}00 \left[0{,}001044 + 0{,}10 \left(1{,}6720 - 0{,}001044\right)\right] = 0{,}16814 \text{ m}^3.$$

(0.5 pts.)
El volumen total:

$$\boxed{V_{\text{tot}} = V_{N,0} + V_{w,0} = 0{,}10933 + 0{,}16814 = 0{,}27747 \text{ m}^3.}$$

b) Temperatura final del sistema T_f.
El agua final está en mezcla saturada a $P_f = 200$ kPa:

$$\boxed{T_f = T_{\text{sat}}(200 \text{ kPa}) \approx 120 \text{ °C} = 393{,}15 \text{ K}.}$$

(1 pt.)

c) Calor total transferido Q.
El volumen del Nitrogeno lo podemos calcular de la ecuación de estado:

$$V_{N,f} = \frac{m_N R T_f}{P_f} = \frac{0{,}10 \times 0{,}2968 \times 393{,}15}{200} = 0{,}05834 \text{ m}^3,$$

(0.5 pts.) Como el volumen total es conservado tenemos que

$$V_{w,f} = V_{\text{tot}} - V_{N,f} = 0{,}27747 - 0{,}05834 = 0{,}21913 \text{ m}^3.$$

(0.7 pts.)
Las Propiedades del agua en el estado final (tablas saturadas):

$$\begin{aligned} \text{a } 120^\circ\text{C} \ (\approx 200 \text{ kPa}): \quad & v_f = 0{,}001061 \text{ m}^3/\text{kg}, & v_g = 0{,}890 \text{ m}^3/\text{kg}, \\ & u_f = 504 \text{ kJ/kg}, & u_g = 2529 \text{ kJ/kg}. \end{aligned}$$

Calidad final:

$$x_f = \frac{V_{w,f}/m_w - v_f}{v_g - v_f} = \frac{0{,}21913 - 0{,}001061}{0{,}890 - 0{,}001061} = 0{,}2453.$$

(0.6 pts.)

Energía interna del N_2:

$$\Delta U_{N_2} = m_N c_v (T_f - T_0) = 0{,}10 \times 0{,}743 \times (393{,}15 - 373{,}15) = 1{,}486 \text{ kJ}.$$

(0.5 pts.)

Agua:

$$u_{w,0} = 419 + 0{,}10\,(2506 - 419) = 627{,}7 \text{ kJ/kg},$$

$$u_{w,f} = 504 + 0{,}2453\,(2529 - 504) = 1000{,}75 \text{ kJ/kg},$$

$$\Delta U_w = 1{,}00\,(1000{,}75 - 627{,}7) = 373{,}05 \text{ kJ}.$$

(0.5 pts.)

Balance energético (tanque rígido $\Rightarrow W_{\text{ext}} = 0$):

$$\boxed{Q = \Delta U_{N_2} + \Delta U_w = 1{,}486 + 373{,}05 = 374{,}54 \text{ kJ} \approx 3{,}75 \times 10^2 \text{ kJ}.}$$

(0.7 pts.)