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
4 de diciembre del 2025

Interrogación Nro. 1

1. Formulario

1kilo=1k=10^3, 1Mega=1M=10^6

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 $R = 8{,}314\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{mol\cdot K}} = 0,287\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg\cdot K}}$, $k_B = 1{,}38\cdot 10^{-23}$ 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:

$$W_{AB} = \int_A^B PdV$$

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:

$$\Delta u = c_v \Delta T$$

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

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

con

$$v_{fg} = v_g - v_f$$
$$u_{fg} = u_g - u_f$$
$$h_{fg} = h_g - h_f$$

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.:

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

La eficiencia termodinámica de una máquina térmica es:

$$\eta = \frac{W_{\text{neto}}}{Q_H} = 1 - \frac{|Q_L|}{|Q_H|}$$

Eficiencia del Ciclo de Carnot es

$$\eta_C = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

Si en un proceso se transfiere calor δQ a temperatura T, se define el cambio de entropía como

$$dS \equiv \frac{\delta Q}{T}$$

En un proceso realizado por un gas ideal, que va desde un estado inicial i a uno final f, el cambio de entropía es

$$\Delta S = S_f - S_i = nc_p \ln \left(\frac{T_f}{T_i} \right) - nR \ln \left(\frac{P_f}{P_i} \right)$$

Desigualdad de Clausius: en un ciclo cerrado se cumple

$$\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0$$

La igualdad corresponde a un proceso internamente reversible, y la desigualdad a un proceso irreversible. Los procesos irreversibles generan entropía, siendo ΔS_{sis} la entropía generada en el sistema completo, debido a un cambio entre estado 1 y estado 2.

$$\Delta S_{sis} = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} + S_{gen}$$

donde $S_{gen} \geq 0$ es la entropía generada.
Balance de entropía para procesos transientes en volumen control (v.c.):

$$(m_2 s_2 - m_1 s_1)_{v.c.} = \sum m_e s_e - \sum m_s s_s + \int_0^t \frac{\dot{Q}_{v.c.}}{T} dt + \Delta S_{12\,gen}$$

con $1 \rightarrow$ estado incial del v. c. y $2 \rightarrow$ estado final del v. c., y m_e y m_s las masas que entran y salen del v. c. durante el proceso.

Balance de entropía para procesos estacionarios en volumen control (v.c.):

$$\dot{m}(s_s - s_e) = \sum \frac{\dot{Q}_{v.c.}}{T} + \dot{S}_{gen}$$

La entropía de un gas ideal con calor específico variable satisface las relaciones de Gibbs:

$$Tds = Pdv + du$$
$$Tds = dh - vdP$$

donde h y u son la entalpía y energía interna.Relaciones isentrópicas de gas ideal:

$$PV^k = cte, \quad TV^{k-1} = cte\,,$$

donde $k = c_p/c_v$.
Las eficiencias isentropicas son (subindices 1:entrada 2:salida r:real s:isentropico):

$$\text{Turbina: } \eta_T = \frac{W_r}{W_s} = \frac{h_1 - h_{2r}}{h_1 - h_{2s}}, \text{ Compresor: } \eta_C = \frac{W_s}{W_r} = \frac{h_1 - h_{2s}}{h_1 - h_{2r}}, \text{Bomba: } \eta_B = \frac{W_s}{W_r} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_{2r} - h_1}$$

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.

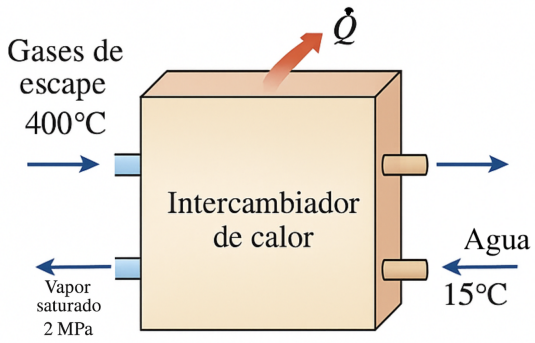
El intercambiador de calor no está bien aislado y se estima que el 10 % del calor cedido por los gases de escape se pierde hacia los alrededores.

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

Considere la planta generadora que opera con vapor de agua como fluido de trabajo, según el ciclo Rankine simple mostrado en la figura. La presión del vapor sobrecalentado a la entrada de la turbina es de 10 MPa, a una temperatura de 500°C, mientras que la presión del líquido saturado a la entrada de la bomba es de 10 kPa. Suponga que la eficiencia isoentrópica de la bomba es del 80 %, mientras la de la turbina es del 85 %. Si la planta debe generar una potencia neta de 500 MW, determine:

a) La calidad del vapor a la salida de la turbina, en el caso ideal isoentrópico

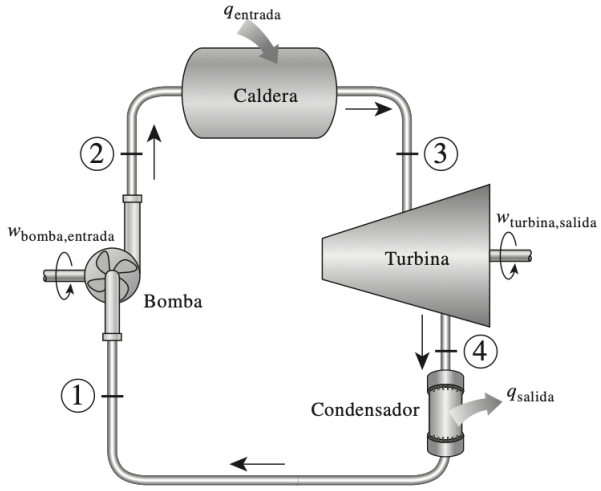
b) La calidad real del vapor a la salida de la turbina, considerando la eficiencia isoentrópica del 85 %

c) El calor por unidad de masa de líquido entregado a la caldera

d) El trabajo por unidad de masa de líquido realizado por la bomba

e) La eficiencia térmica del ciclo real

f) El flujo másico de agua que circula por el ciclo



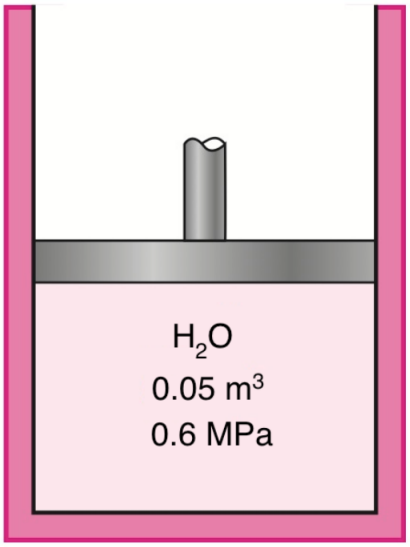
Problema 3

Un dispositivo cilindro-pistón aislado contiene 0,05 m^3 de agua en estado de vapor saturado a 0,6 MPa. Se permite que el sistema se expanda de forma reversible hasta que la presión cae a 200 kPa

a) Determine la temperatura final del agua.

b) Calcule el volumen final del agua.

c) Calcule el trabajo realizado por el sistema.



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:

$$T_2 = (400 + 273)K - \frac{2798,3 - 62,982}{1,005 \cdot 13,5} K = 471,34K = 198,39°\text{C} \text{(1ptos)} \tag{10}$$

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

DATOS
El estado 3 es un vapor sobrecalentado, de la tabla A-6:

$$P_3 = P_2 = 10\ MPa$$
$$T_3 = 500\ ^\circ C$$
$$h_3 = 3375{,}1\ kJ/kg$$
$$s_3 = 6{,}5995 kJ/kgK$$

Ademas, el estado 1, es un liquido saturado con $P_4 = P_1 = 10\ kPa$, de la tabla A-5:

$$T_1 = 45,81\ ^\circ C$$
$$\nu_1 = \nu_{f@P1} = 0,001010\ m^3/kg$$
$$s_1 = s_{f@P1} = 0,6492 kJ/kgK$$
$$h_1 = h_{f@P1} = 191,81\ kJ/kg$$

a) "turbina ideal"
estado 4s: mezcla liquido vapor saturado a $P_{4s} = 10\ kPa$, de la tabla A-5:

$$h_f = 191,81\ kJ/kg$$
$$h_g = 2583,9 kJ/kg$$
$$s_f = 0,6492 kJ/kgK$$
$$s_g = 8,1488 kJ/kgK$$

como la turbina se supone ideal, $s_{4s} = s_3 = 6,5995 kJ/kgK$, lo que ademas por ser mezcla debe cumplir con:

$$s_{4s} = x_{4s} s_g + (1 - x_{4s}) s_f$$
$$\Rightarrow x_{4s} = \frac{s_{4s} - s_f}{s_g - s_f} = \frac{6,5995 - 0,6492}{8,1488 - 0,6493} = 0,7934 \quad \text{(1 ptos)}$$

b)
La entalpia a la salida de la turbina, en el caso ideal isentropico (4s):

$$h_{4s} = x_{4s} h_g + (1 - x_{4s}) h_f = 2089,7\ kJ/kg \quad \text{(0,25 ptos)}$$

Usando la definicion de la eficiencia de la turbina:

$$\eta_{Turbina} = \frac{w_T}{w_{Ts}} = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_{4s}} = 0,85$$
$$\Rightarrow h_4 = h_3 - \eta_T (h_3 - h_{4s}) = 2282,5 kJ/kg \quad \text{(0,25 ptos)}$$

con h_4 (estado real), y dado que esta entre h_g y h_f a la presion P_4, se obtiene la calidad real x_4 a la salida de la turbina:

$$x_4 = \frac{h_4 - h_f}{h_g - h_f} = 0,874 \quad \text{(0,5 ptos)}$$

c)
para calcular el calor por unidad de masa, se puede ocupar:

$$q_{in} = h_3 - h_2 \quad \text{(0,25 ptos)}$$

Para obtener h_2, calculamos primero la entalpia a la salida de la bomba considerando el caso ideal isoentropico:

$$h_{2s} = h_1 + \nu_{1f}(P_2 - P1) = 201,90kJ/kg \quad \text{(0,25 ptos)}$$

Esto se corrige con la eficiencia de la bomba:

$$\eta_B = \frac{w_{Bs}}{w_B} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} \Rightarrow h_2 = h_1 + \frac{h_{2s} - h_1}{\eta_B}$$

$$\Rightarrow h_2 = 204{,}42kJ/kg \quad \text{(0,25 ptos)}$$

por lo que finalmente:

$$q_{in} = 3375,1 - 204,42 = 3170,7kJ/kg \quad \text{(0,25 ptos)}$$

d)

$$w_{bomba} = h_2 - h_1 = 12,61 \ kJ/kg \quad \text{(1 pto)}$$

e)
La eficiencia termica se calculara :

$$\eta_{th} = \frac{w_{neto}}{q_{in}} \% \quad \text{(0,25 ptos)}$$

El trabajo neto sera $w_{neto} = w_{turb} - w_{bomba}$:

$$w_{turb} = h_3 - h_4 = 1092,6kJ/kg \quad \text{(0,25 ptos)}$$

$$\Rightarrow w_{neto} = 1090 \ kJ/kg \quad \text{(0,25 ptos)}$$

$$\eta_{th} = \frac{1080}{3170,7} = 0,34062 = 34,1\,\% \quad \text{(0,25 ptos)}$$

f)

finalmente el flujo masico :

$$\dot{W} = \dot{m} \ w_{neto} \Rightarrow \dot{m} = \frac{\dot{W}}{w_{neto}} = 500 \ 10^3/1080 = 462,96kg/s \quad \text{(1,0 ptos)}$$

Pauta P3

a) Inicialmente tenemos vapor saturado a $600kPa$. De la tabla A-5 leemos vapor saturado:

$$P = 600\ kPa \quad s_1 = s_{g@0,6MPa} = 6,7593\ kJ/kgK$$

Dado que el proceso es adiabatico y reversible, este es isoentropico.
Por lo tanto,(0.5 pt):

$$s_2 = s_1 = 6,7593\ kJ/kgK \quad \text{(0,5 ptos)}$$

Mirando la tabla de saturación notamos que

$$s_{f@200\ kPa} < s_2 < s_{g@200\ kPa} \quad \text{(0,5 ptos)}$$

por lo que el estado final es una mezcla saturada de agua a 200 kPa.
La temperatura final es entonces:

$$T2 = T_{sat@200\ kPa} = 120,21\ ^\circ C \quad \text{(0,5 ptos)}$$

b) El volumen final del sistema está dado por $V2 = m\ \nu_2$.
Para obtener la masa total consideramos el estado inicial.
De la tabla A-5 vemos que vapor saturado a $P = 600\ kPa$ (0.5 pt):

$$\nu_1 = \nu_{g@0,6MPa} = 0,31560\ m^3/kg \ \Rightarrow\ m = \frac{V_1}{\nu_1} = 1,58428\ kg \quad \text{(0,5 ptos)}$$

Ahora, el volumen especifico final es $\nu_2 = (1-x)\nu_{2f} + x\nu_{2g}$. La calidad se puede calcular a partir de entropia especifica.
La tabla A-5 nos dice que mezcla saturada a $P = 200\ kPa$:

$$\begin{aligned}
\nu_{2g} &= \nu_{g@200kPa} = 0,88578m^3/kg \\
\nu_{2f} &= \nu_{f@200kPa} = 0,001061m3/kg \\
s_{2g} &= s_{g@200kPa} = 7,1270kJ/kgK \\
s_{2f} &= s_{g@200kPa} = 1,5302kJ/kgK
\end{aligned}$$

Asi,

$$s_2 = (1-x)s_{2f} + xs_{2g} \Rightarrow x = \frac{s_2 - s_{2f}}{s_{2g} - s_{2f}} = 0,93430 \quad \text{(1.0 ptos)}$$

con lo que,

$$\nu_2 = 0,82765m^3/kg \Rightarrow V2 = 0,131124m^3 \quad \text{(1.0 ptos)}$$

c) Como el proceso es adiabatico, el trabajo realizado por el sistema es igual a menos la variacion de la energia interna, es decir,

$$Q = 0 \quad \Rightarrow \quad W = -\Delta U = U_1 U_2 \quad \text{(1.0 ptos)}$$

Ahora, de la tabla de saturación obtenemos que:
vapor saturado a $P = 600\ kPa$:

$$\Rightarrow u_1 = u_{g@0,6MPa} = 2566,8kJ/kg$$

mezcla saturada a $P = 200kPa$:

$$\Rightarrow$$

$$\begin{aligned}
u_{2g} &= ug@200kPa = 2529,1kJ/kg \\
u_{2f} &= uf@200kPa = 504,50kJ/kg
\end{aligned}$$

La energia interna especifica en el estado final esta dada por $u_2 = (1-x)u_{2f} + xu_{2g} = 2396,0\ kJ/kg$.
Recordando que $U = m\ u$, el trabajo resulta ser $W = m\ (u_1 - u_2) = 27,045\ J$ (1.0 ptos)