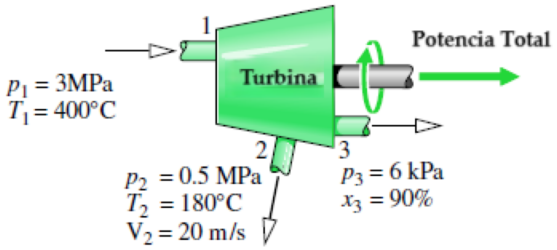
Examen

Fecha: 30 de Julio de 2025

1. Considere una turbina bien aislada que opera en estado estacionario. El vapor de agua entra con una presión de 3 MPa a una temperatura de 400°C y con un caudal volumétrico de 85 m^3/min. Parte del vapor se extrae de la turbina a una presión de 0,5 MPa y una temperatura de 180°C. El resto se expande hasta una presión de 6 kPa y una calidad de 90 %. La potencia total desarrollada por la turbina es de 11400 kW. Se pueden despreciar los efectos de la energía cinética y potencial. Determine:

   a) (4 ptos.) El flujo de masa de vapor en cada una de las dos salidas en kg/s.

   b) (2 ptos.) El diámetro, en m, del conducto por el cual se extrae el vapor, si la velocidad de salida es $V_2 = 20$ m/s.



a) Considerando que la turbina opera en estado estacionario entonces el flujo de masa es

$$\left.\frac{dm}{dt}\right|_{v.c} = \dot{m}_1 - \dot{m}_2 - \dot{m}_3 = 0 \Rightarrow \dot{m}_3 = \dot{m}_1 - \dot{m}_2 \quad \textbf{[0.20 ptos. por la relación entre la masas]} \tag{1}$$

Utilizando que $\dot{m} = \rho AV = \frac{AV}{v}$, donde A es el área, V la velocidad y v el volumen específico. Entonces, podemos ver que el flujo de masa en 1 es

$$\dot{m}_1 = \frac{A_1 V_1}{v_1} = \frac{85 \frac{m^3}{min}}{0,09938 \frac{m^3}{kg}} \frac{1\text{min}}{60\text{s}} = 14,25 \frac{kg}{s} \quad \textbf{[0.50 ptos.]} \tag{2}$$

donde hemos usado el volumen específico para vapor a 3 MPa y 400°C de la tabla A-6.
Ya conociendo $\dot{m}_1$, aún nos queda por determinar $\dot{m}_2$ y $\dot{m}_3$. Es decir, por ahora tenemos dos incógnitas y una ecuación. Podemos obtener otra ecuación a partir del balance de flujos de energías:

$$\left.\frac{dE}{dt}\right|_{vc} = \dot{Q}_{vc} - \dot{W}_{vc} + \dot{m}_1 \left(h_1 + \frac{V_1^2}{2} + gz_1\right) + \dot{m}_2 \left(h_2 + \frac{V_2^2}{2} + gz_2\right) + \dot{m}_3 \left(h_3 + \frac{V_3^2}{2} + gz_3\right) \tag{3}$$

Por enunciado, las energías cinéticas y potenciales son cero. Entonces:

$$-\dot{W}_{v.c} = +\dot{m}_1 h_1 - \dot{m}_2 h_2 - \dot{m}_3 h_3 \quad \textbf{[0.30 ptos por el balance de energía]} \tag{4}$$

Utilizando (1), podemos escribir

$$-\dot{W}_{vc} + \dot{m}_1 (h_1 - h_3) - \dot{m}_2 (h_2 - h3) = 0 \tag{5}$$

y por lo tanto:

$$\dot{m}_2 = \frac{\dot{m}_1 (h_1 - h_3) - \dot{W}_{v.c}}{h_2 - h_3} \quad \textbf{[0.20 ptos.]} \tag{6}$$

La entalpía uno se obtiene de la tabla A-6 y vale:

$$h_1 = 3231,7 \frac{kJ}{kg} \quad \textbf{[0.20 ptos.]} \tag{7}$$

Para obtener la entalpía en la salida dos debemos realizar una interpolación lineal **[0.20 ptos. por identificar la interpolación]** que nos entrega que

$$h_2 = 2811,83 \frac{kJ}{kg} \quad \textbf{[0.30 ptos.]} \tag{8}$$

Mientras que la entalpía en la salida tres es:

$$h_3 = h_{f@6kPa} + x h_{fg@6kPa} \tag{9}$$

■

las cuales también podemos obtener usando interpolación **[0.20 ptos. por identificar la interpolación]** . Utilizando los datos de la tabla A-5, la interpolación nos entrega:

$$h_{f@6kPa} = 150\frac{kJ}{kg} \quad \textbf{[0.30 ptos.]}, \; h_{fg@6kPa} = 2415,52\frac{kJ}{kg} \quad \textbf{[0.30 ptos.]} \tag{10}$$

entonces

$$h_3 = 2323,97\frac{kJ}{kg} \quad \textbf{[0.30 ptos.]} \tag{11}$$

Por lo tanto, el flujo de masa en la salida dos será:

$$\dot{m}_2 = 3,15\frac{kg}{s} \quad \textbf{[0.50 ptos.]} \tag{12}$$

Teniendo $\dot{m}_2$, entonces es directo obtener

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_1 - \dot{m}_2 = 11,1\frac{kg}{s} \quad \textbf{[0.50 ptos.]} \tag{13}$$

b) El vapor sale por la salida 2 (en la salida 3 sale agua saturada). Utilizando que el caudal en la salida dos

$$\dot{m}_2 = \frac{A_2 V_2}{v_2} \Rightarrow A_2 = \frac{\dot{m}_2 v_2}{V_2} \quad \textbf{[0.5 ptos]} \tag{14}$$

Para obtener el volumen específico en 2, debemos realizar una interpolación lineal de donde obtenemos

$$v_2 = 0,404\frac{m^3}{kg} \quad \textbf{[0.5 ptos]} \tag{15}$$

entonces

$$A_2 = \frac{3,15 \cdot 0,404}{20} m^2 = 0,06m^3 \quad \textbf{[0.5 ptos]} \tag{16}$$

Por lo tanto, diámetro es:

$$d = \sqrt{\frac{4A_2}{\pi}} = 0,28m \quad \textbf{[0.5 ptos]} \tag{17}$$

■

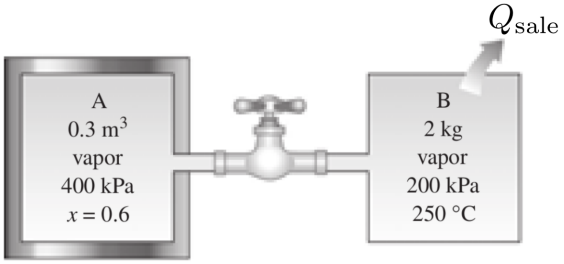
2. Dos recipientes rígidos están conectados por una válvula. El recipiente A está aislado y contiene inicialmente $0,3\,\mathrm{m}^3$ de vapor de agua a 400 kPa y calidad de 60 %. El recipiente B no está aislado y contiene inicialmente 2 kg de vapor de agua a 200 kPa y 250° C. Ahora se abre la válvula y fluye vapor del recipiente A al B hasta que la presión del recipiente A cae a 200 kPa y la presión en B a 175 kPa. Durante este proceso, se transfieren calor del recipiente B al entorno a 17° C. Suponiendo que el vapor que queda dentro del recipiente A ha sufrido un proceso reversible adiabático, determine:

   a) (1.0 pto.) La temperatura, el volumen específico, masa, la energía interna específica y la entropía específica inicial en cada recipiente.

   b) (2.0 ptos.) La temperatura, el volumen específico, masa, la energía interna específica y la entropía específica final en cada recipiente.

   c) (1.0 pto.) Determine el calor que se transfiere desde el recipiente B al entorno.

   d) (2.0 ptos.) La entropía generada durante este proceso.



a) Considerando que el tanque A se encuentra aislado y el proceso corresponde uno reversible adiabático, se puede considerar que la entropía se mantiene constante, entonces, se puede encontrar los valores del volumen específico, energía interna y entropia por unidad de masa para los estados inicial (1) y final (2), como sigue.

El estado inicial a 400 kPa y calidad de 60 % (Tabla A5) **[0.5 ptos.]**:

$$v_{1A} = v_f + x v_{fg} = 0,001084\,\mathrm{m}^3/\mathrm{kg} + (0,6)(0,46242 - 0,001084)\,\mathrm{m}^3/\mathrm{kg} = 0,27788\,\mathrm{m}^3/\mathrm{kg}$$
$$u_{1A} = u_f + x u_{fg} = 604,22\,\mathrm{kJ/kg} + (0,6)(1948,9)\,\mathrm{kJ/kg} = 1773,6\,\mathrm{kJ/kg}$$
$$s_{1A} = s_f + x s_{fg} = 1,7765\,\mathrm{kJ/kg\cdot K} + (0,6)(5,1191)\,\mathrm{kJ/kg\cdot K} = 4,8479\,\mathrm{kJ/kg\cdot K}$$

Para el recipiente B, inicialmente a 200 kPa y 250° C, el estado inicial es de vapor sobrecalentado ya que la temperatura es mayor a la de saturación en dicha presión (Tabla A5). Por ende, de la Tabla A6 se tiene **[0.3 ptos.]**:

$$v_{1B} = 1,1989\,\mathrm{m}^3/\mathrm{kg}$$
$$u_{1B} = 2731,4\,\mathrm{kJ/kg}$$
$$s_{1B} = 7,7100,\mathrm{kJ/kg\cdot K}$$

Por otro lado, la masa inicial del recipiente A están dadas por:

$$m_{1A} = \frac{V_{1A}}{v_{1A}} = \frac{0,3\,\mathrm{m}^3}{0,27788\,\mathrm{m}^3/\mathrm{kg}} = 1,08\,\mathrm{kg} \quad \textbf{[0.2 ptos.]}$$

■

b) El estado final del recipiente A a 200 kPa y

$$s_{2A} = s_{1A} = 4,8479\,\text{kJ/kg}\cdot\text{K} \quad \textbf{[0.1 ptos.]}$$

Para la presión definida, $s_f < s_2 < s_g$ entonces el estado final es mezcla, por lo que la temperatura final del recipiente A es la temperatura de saturación a dicha presión (Tabla A5):

$$T_{2A} = T_{\text{sat}@200\,\text{kPa}} = 120.21\,^\circ\text{C} \quad \textbf{[0.1 ptos.]}$$

Luego, la calidad, al final del proceso será,

$$x_{2A} = \frac{s_{2A} - s_f}{s_{fg}} = 0.5928 \quad \textbf{[0.2 ptos.]}$$

y el volumen específico y energía interna final del recipiente A serán:

$$v_{2A} = v_f + x_{2A}v_{fg} = 0,001061\,\text{m}^3/\text{kg} + (0,5928)(0,88580,001061)\,\text{m}^3/\text{kg} = 0.52552\,\text{m}^3/\text{kg} \quad \textbf{[0.1 ptos.]}$$
$$u_{2A} = u_f + x_{2A}u_{fg} = 504,50\,\text{kJ/kg} + (0,5928)(2024,6\,\text{kJ/kg}) = 1704,7\,\text{kJ/kg} \quad \textbf{[0.1 ptos.]}$$

Por otro lado, la masa final del recipiente A es:

$$m_{2A} = \frac{V_{2A}}{v_{2A}} = \frac{0,3\,\text{m}^3}{0.52552\,\text{m}^3/\text{kg}} = 0.5709\,\text{kg} \quad \textbf{[0.2 ptos.]}$$

Es decir, durante el proceso se transfieren $m_{1A} - m_{2A} = 0,5091\,\text{kg}$ al recipiente B, por lo que la masa final del recipiente B es

$$m_{2B} = 2\,\text{kg} + 0,5091\,\text{kg} = 2,5091\,\text{kg} \quad \textbf{[0.2 ptos.]}$$

y el volumen específico en el recipiente B al finalizar el proceso será:

$$v_{2B} = \frac{V_B}{m_{2B}} = \frac{m_1 v_{1B}}{m_{2B}} = \frac{2\,\text{kg}\cdot 1,1989\,\text{m}^3/\text{kg}}{2\,\text{kg} + 0,5091\,\text{kg}} = 0,9556\,\text{m}^3/\text{kg} \quad \textbf{[0.3 ptos.]}$$

Si la presión en el recipiente B es de 175 kPa, se tiene que $v_f < v_{2B} < v_g$ por lo que el estado final al interior del recipiente B es de mezcla con calidad:

$$x_{B2} = \frac{v - v_f}{v_{fg}} = \frac{0,9556 - 0.001057}{1.0037 - 0.001057} = 0.952$$

Entonces:

$$u_{2B} = u_f + x_{B2}u_{fg} = 2426.71\,\text{kJ/kg} \quad \textbf{[0.25 ptos.]}$$
$$T_{2B} = 116,04^\circ\text{C} \quad \textbf{[0.2 ptos.]}$$
$$s_{2B} = 6,8985\,\text{kJ/kg}\cdot\text{K}\,. \quad \textbf{[0.25 ptos.]}$$

c) A continuación analizaremos el balance de energía para el sistema cerrado completo (recipientes A y B). En este caso el proceso se puede considerar sobre un sistema cerrado y estacionario:

$$\begin{aligned} E_{\text{entra}} - E_{\text{sale}} &= \Delta E_{\text{sistema}} \\ -Q_{\text{sale}} &= \Delta U_A + \Delta U_B \\ -Q_{\text{sale}} &= (m_{2A}u_{2A} - m_{1A}u_{1A}) + (m_{2B}u_{2B} - m_{1B}u_{1B}) \quad \textbf{[0.5 ptos.]} \end{aligned}$$

Reemplazando los valores obtenidos en ls incisos previos se tiene:

$$\begin{aligned} Q_{\text{sale}} &= -(m_{2A}u_{2A} - m_{1A}u_{1A}) - (m_{2B}u_{2B} - m_{1B}u_{1B}) \\ Q_{\text{sale}} &= -(0.5709\cdot 1704.7 - 1.08\cdot 1773.6)\,\text{kJ/kg} - (2.5091\cdot 2426.71 - 2\cdot 2731.4)\,\text{kJ/kg} \\ Q_{\text{sale}} &= 316,22\,\text{kJ} \quad \textbf{[0.5 ptos.]} \end{aligned}$$

d) Consideramos el sistema extendido (recipientes A y B) y los alrededores a temperatura de 17°C, por lo que el balance de entropía queda:

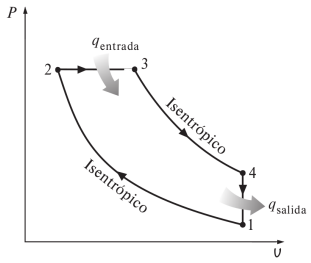
$$\begin{aligned} S_{\text{entra}} - S_{\text{sale}} &= \Delta S_{\text{sistena}} \\ -\frac{Q_{\text{sale}}}{T_{\text{alrrededores}}} + S_{\text{gen}} &= \Delta S_A + \Delta S_B \quad \textbf{[0.5 ptos.]} \\ -\frac{Q_{\text{sale}}}{T_{\text{alrrededores}}} + S_{\text{gen}} &= (m_{2A}s_{2A} - m_{1A}s_{1A}) + (m_{2B}s_{2B} - m_{1B}s_{1B}) \quad \textbf{[0.5 ptos.]} \end{aligned}$$

Entonces:

$$S_{\text{gen}} = \frac{Q_{\text{sale}}}{T_{\text{alrrededores}}} + s_{1A}(m_{2A} - m_{1A}) + (m_{2B}s_{2B} - m_{1B}s_{1B}) \quad \textbf{[0.5 ptos.]}.$$

Reemplazando los valores obtenidos en el inciso a), $S_{\text{gen}} = 0.505,\text{kJ/K}$ **[0.5 ptos]**.

3. Un motor ideal Diésel tiene una relación de compresión de 20 y usa aire como fluido de trabajo. El aire al principio del proceso de compresión tiene una temperatura de 293 K. Considere que la temperatura máxima en el ciclo es de 2200 K. Cada proceso del ciclo ideal Diesel está representado en el diagrama P-v adjunto.



a) (4.0 ptos.) Determine la temperatura en cada uno de los estados del proceso.

b) (1.0 pto.) Determine el calor que entra y el calor que sale del sistema en cada proceso.

c) (1.0 pto.) Determine la eficiencia térmica del ciclo.

Suponga calores específicos constantes para el aire a temperatura ambiente, es decir, que $c_p = 1.005\,\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$, $c_v = 0.718\,\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$, y $R = 0.287\,\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$.

a) El proceso 1–2 es una compresión isentrópica de gas ideal, por lo tanto:

$$T_2 = T_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1} \quad \textbf{[0.50 ptos. por la relación isentrópica]}$$
$$= (293\,\text{K})(20)^{0.4} \quad \textbf{[0.50 ptos. por la relación de compresión]}$$
$$\approx \boxed{972.1\ \text{K}} \quad \textbf{[0.50 ptos.]}$$

En el estado 3 la temperatura es máxima, por lo tanto $T_3 = \boxed{2200\ \text{K}}$ **[0.50 ptos.]**
Para el proceso 3–4 de xxpansión isentrópica se tiene que:

$$T_4 = T_3\left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{k-1} \quad \textbf{[0.50 ptos. por la relación isentrópica]}$$

El proceso 2–3 es de adición de calor a presión constante, por lo tanto $P_2 = P_3$ **[0.50 ptos.]**, usando la ecuación de estado de los gases ideales se tiene que:

$$\frac{P_3V_3}{T_3} = \frac{P_2V_2}{T_2} \quad \Rightarrow \quad V_3 = \frac{T_3}{T_2}V_2 = 2.265\,V_2 \quad \textbf{[0.50 ptos.]}$$

Así:

$$T_4 = T_3\left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{k-1} = T_3\left(\frac{2.265V_2}{V_4}\right)^{k-1} = (2200\,\text{K})\left(\frac{2.265}{20}\right)^{0.4} \approx \boxed{920.5\ \text{K}} \quad \textbf{[0.50 ptos.]}$$

b) El calor que entra en el proceso 2–3 a presión constante es:

$$q_{\text{in}} = c_p(T_3 - T_2) = (1.005\,\text{kJ/kg}\cdot\text{K})(2200\,\text{K} - 972.1\,\text{K}) \approx \boxed{1234.04\ \text{kJ/kg}} \quad \textbf{[0.50 ptos.]}$$

El calor que sale en el proceso 4–1 a volumen constante es:

$$q_{\text{out}} = c_v(T_4 - T_1) = (0.718\,\text{kJ/kg}\cdot\text{K})(920.9\,\text{K} - 293\,\text{K}) \approx \boxed{450.83\ \text{kJ/kg}} \quad \textbf{[0.50 ptos.]}$$

■

c) La eficiencia térmica del ciclo está dada por:

$$\eta = 1 - \frac{q_{\text{out}}}{q_{\text{in}}} \quad \textbf{[0.50 ptos.]}$$
$$= 1 - \frac{450.83}{1234.04}$$
$$\approx \boxed{0.635 = 63.5\,\%} \quad \textbf{[0.50 ptos.]}$$

Se obtiene mismo resultado si se calcula el trabajo neto del ciclo y el calor de salida.

■

Tablas

TABLA A-5

Agua saturada. Tabla de presiones

		Volumen específico, m^3/kg		*Energía interna, kJ/kg*			*Entalpía, kJ/kg*			*Entropía, kJ/kg · K*		
Pres., P kPa	Temp. sat., T_{sat} °C	Líq. sat., v_f	Vapor sat., v_g	Líq. sat., u_f	Evap., u_{fg}	Vapor sat., u_g	Líq. sat, h_f	Evap., h_{fg}	Vapor sat., h_g	Líq. sat., s_f	Evap., s_{fg}	Vapor sat., s_g
1.0	6.97	0.001000	129.19	29.302	2355.2	2384.5	29.303	2484.4	2513.7	0.1059	8.8690	8.9749
1.5	13.02	0.001001	87.964	54.686	2338.1	2392.8	54.688	2470.1	2524.7	0.1956	8.6314	8.8270
2.0	17.50	0.001001	66.990	73.431	2325.5	2398.9	73.433	2459.5	2532.9	0.2606	8.4621	8.7227
2.5	21.08	0.001002	54.242	88.422	2315.4	2403.8	88.424	2451.0	2539.4	0.3118	8.3302	8.6421
3.0	24.08	0.001003	45.654	100.98	2306.9	2407.9	100.98	2443.9	2544.8	0.3543	8.2222	8.5765
4.0	28.96	0.001004	34.791	121.39	2293.1	2414.5	121.39	2432.3	2553.7	0.4224	8.0510	8.4734
5.0	32.87	0.001005	28.185	137.75	2282.1	2419.8	137.75	2423.0	2560.7	0.4762	7.9176	8.3938
7.5	40.29	0.001008	19.233	168.74	2261.1	2429.8	168.75	2405.3	2574.0	0.5763	7.6738	8.2501
10	45.81	0.001010	14.670	191.79	2245.4	2437.2	191.81	2392.1	2583.9	0.6492	7.4996	8.1488
15	53.97	0.001014	10.020	225.93	2222.1	2448.0	225.94	2372.3	2598.3	0.7549	7.2522	8.0071
20	60.06	0.001017	7.6481	251.40	2204.6	2456.0	251.42	2357.5	2608.9	0.8320	7.0752	7.9073
25	64.96	0.001020	6.2034	271.93	2190.4	2462.4	271.96	2345.5	2617.5	0.8932	6.9370	7.8302
30	69.09	0.001022	5.2287	289.24	2178.5	2467.7	289.27	2335.3	2624.6	0.9441	6.8234	7.7675
40	75.86	0.001026	3.9933	317.58	2158.8	2476.3	317.62	2318.4	2636.1	1.0261	6.6430	7.6691
50	81.32	0.001030	3.2403	340.49	2142.7	2483.2	340.54	2304.7	2645.2	1.0912	6.5019	7.5931
75	91.76	0.001037	2.2172	384.36	2111.8	2496.1	384.44	2278.0	2662.4	1.2132	6.2426	7.4558
100	99.61	0.001043	1.6941	417.40	2088.2	2505.6	417.51	2257.5	2675.0	1.3028	6.0562	7.3589
101.325	99.97	0.001043	1.6734	418.95	2087.0	2506.0	419.06	2256.5	2675.6	1.3069	6.0476	7.3545
125	105.97	0.001048	1.3750	444.23	2068.8	2513.0	444.36	2240.6	2684.9	1.3741	5.9100	7.2841
150	111.35	0.001053	1.1594	466.97	2052.3	2519.2	467.13	2226.0	2693.1	1.4337	5.7894	7.2231
175	116.04	0.001057	1.0037	486.82	2037.7	2524.5	487.01	2213.1	2700.2	1.4850	5.6865	7.1716
200	120.21	0.001061	0.88578	504.50	2024.6	2529.1	504.71	2201.6	2706.3	1.5302	5.5968	7.1270
225	123.97	0.001064	0.79329	520.47	2012.7	2533.2	520.71	2191.0	2711.7	1.5706	5.5171	7.0877
250	127.41	0.001067	0.71873	535.08	2001.8	2536.8	535.35	2181.2	2716.5	1.6072	5.4453	7.0525
275	130.58	0.001070	0.65732	548.57	1991.6	2540.1	548.86	2172.0	2720.9	1.6408	5.3800	7.0207
300	133.52	0.001073	0.60582	561.11	1982.1	2543.2	561.43	2163.5	2724.9	1.6717	5.3200	6.9917
325	136.27	0.001076	0.56199	572.84	1973.1	2545.9	573.19	2155.4	2728.6	1.7005	5.2645	6.9650
350	138.86	0.001079	0.52422	583.89	1964.6	2548.5	584.26	2147.7	2732.0	1.7274	5.2128	6.9402
375	141.30	0.001081	0.49133	594.32	1956.6	2550.9	594.73	2140.4	2735.1	1.7526	5.1645	6.9171
400	143.61	0.001084	0.46242	604.22	1948.9	2553.1	604.66	2133.4	2738.1	1.7765	5.1191	6.8955
450	147.90	0.001088	0.41392	622.65	1934.5	2557.1	623.14	2120.3	2743.4	1.8205	5.0356	6.8561
500	151.83	0.001093	0.37483	639.54	1921.2	2560.7	640.09	2108.0	2748.1	1.8604	4.9603	6.8207
550	155.46	0.001097	0.34261	655.16	1908.8	2563.9	655.77	2096.6	2752.4	1.8970	4.8916	6.7886
600	158.83	0.001101	0.31560	669.72	1897.1	2566.8	670.38	2085.8	2756.2	1.9308	4.8285	6.7593
650	161.98	0.001104	0.29260	683.37	1886.1	2569.4	684.08	2075.5	2759.6	1.9623	4.7699	6.7322
700	164.95	0.001108	0.27278	696.23	1875.6	2571.8	697.00	2065.8	2762.8	1.9918	4.7153	6.7071
750	167.75	0.001111	0.25552	708.40	1865.6	2574.0	709.24	2056.4	2765.7	2.0195	4.6642	6.6837

TABLA A-6

Vapor de agua sobrecalentado

T °C	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K
	P = 0.01 MPa (45.81°C)*				P = 0.05 MPa (81.32°C)				P = 0.10 MPa (99.61°C)			
Sat.†	14.670	2437.2	2583.9	8.1488	3.2403	2483.2	2645.2	7.5931	1.6941	2505.6	2675.0	7.3589
50	14.867	2443.3	2592.0	8.1741								
100	17.196	2515.5	2687.5	8.4489	3.4187	2511.5	2682.4	7.6953	1.6959	2506.2	2675.8	7.3611
150	19.513	2587.9	2783.0	8.6893	3.8897	2585.7	2780.2	7.9413	1.9367	2582.9	2776.6	7.6148
200	21.826	2661.4	2879.6	8.9049	4.3562	2660.0	2877.8	8.1592	2.1724	2658.2	2875.5	7.8356
250	24.136	2736.1	2977.5	9.1015	4.8206	2735.1	2976.2	8.3568	2.4062	2733.9	2974.5	8.0346
300	26.446	2812.3	3076.7	9.2827	5.2841	2811.6	3075.8	8.5387	2.6389	2810.7	3074.5	8.2172
400	31.063	2969.3	3280.0	9.6094	6.2094	2968.9	3279.3	8.8659	3.1027	2968.3	3278.6	8.5452
500	35.680	3132.9	3489.7	9.8998	7.1338	3132.6	3489.3	9.1566	3.5655	3132.2	3488.7	8.8362
600	40.296	3303.3	3706.3	10.1631	8.0577	3303.1	3706.0	9.4201	4.0279	3302.8	3705.6	9.0999
700	44.911	3480.8	3929.9	10.4056	8.9813	3480.6	3929.7	9.6626	4.4900	3480.4	3929.4	9.3424
800	49.527	3665.4	4160.6	10.6312	9.9047	3665.2	4160.4	9.8883	4.9519	3665.0	4160.2	9.5682
900	54.143	3856.9	4398.3	10.8429	10.8280	3856.8	4398.2	10.1000	5.4137	3856.7	4398.0	9.7800
1000	58.758	4055.3	4642.8	11.0429	11.7513	4055.2	4642.7	10.3000	5.8755	4055.0	4642.6	9.9800
1100	63.373	4260.0	4893.8	11.2326	12.6745	4259.9	4893.7	10.4897	6.3372	4259.8	4893.6	10.1698
1200	67.989	4470.9	5150.8	11.4132	13.5977	4470.8	5150.7	10.6704	6.7988	4470.7	5150.6	10.3504
1300	72.604	4687.4	5413.4	11.5857	14.5209	4687.3	5413.3	10.8429	7.2605	4687.2	5413.3	10.5229
	P = 0.20 MPa (120.21°C)				P = 0.30 MPa (133.52°C)				P = 0.40 MPa (143.61°C)			
Sat.	0.88578	2529.1	2706.3	7.1270	0.60582	2543.2	2724.9	6.9917	0.46242	2553.1	2738.1	6.8955
150	0.95986	2577.1	2769.1	7.2810	0.63402	2571.0	2761.2	7.0792	0.47088	2564.4	2752.8	6.9306
200	1.08049	2654.6	2870.7	7.5081	0.71643	2651.0	2865.9	7.3132	0.53434	2647.2	2860.9	7.1723
250	1.19890	2731.4	2971.2	7.7100	0.79645	2728.9	2967.9	7.5180	0.59520	2726.4	2964.5	7.3804
300	1.31623	2808.8	3072.1	7.8941	0.87535	2807.0	3069.6	7.7037	0.65489	2805.1	3067.1	7.5677
400	1.54934	2967.2	3277.0	8.2236	1.03155	2966.0	3275.5	8.0347	0.77265	2964.9	3273.9	7.9003
500	1.78142	3131.4	3487.7	8.5153	1.18672	3130.6	3486.6	8.3271	0.88936	3129.8	3485.5	8.1933
600	2.01302	3302.2	3704.8	8.7793	1.34139	3301.6	3704.0	8.5915	1.00558	3301.0	3703.3	8.4580
700	2.24434	3479.9	3928.8	9.0221	1.49580	3479.5	3928.2	8.8345	1.12152	3479.0	3927.6	8.7012
800	2.47550	3664.7	4159.8	9.2479	1.65004	3664.3	4159.3	9.0605	1.23730	3663.9	4158.9	8.9274
900	2.70656	3856.3	4397.7	9.4598	1.80417	3856.0	4397.3	9.2725	1.35298	3855.7	4396.9	9.1394
1000	2.93755	4054.8	4642.3	9.6599	1.95824	4054.5	4642.0	9.4726	1.46859	4054.3	4641.7	9.3396
1100	3.16848	4259.6	4893.3	9.8497	2.11226	4259.4	4893.1	9.6624	1.58414	4259.2	4892.9	9.5295
1200	3.39938	4470.5	5150.4	10.0304	2.26624	4470.3	5150.2	9.8431	1.69966	4470.2	5150.0	9.7102
1300	3.63026	4687.1	5413.1	10.2029	2.42019	4686.9	5413.0	10.0157	1.81516	4686.7	5412.8	9.8828
	P = 0.50 MPa (151.83°C)				P = 0.60 MPa (158.83°C)				P = 0.80 MPa (170.41°C)			
Sat.	0.37483	2560.7	2748.1	6.8207	0.31560	2566.8	2756.2	6.7593	0.24035	2576.0	2768.3	6.6616
200	0.42503	2643.3	2855.8	7.0610	0.35212	2639.4	2850.6	6.9683	0.26088	2631.1	2839.8	6.8177
250	0.47443	2723.8	2961.0	7.2725	0.39390	2721.2	2957.6	7.1833	0.29321	2715.9	2950.4	7.0402
300	0.52261	2803.3	3064.6	7.4614	0.43442	2801.4	3062.0	7.3740	0.32416	2797.5	3056.9	7.2345
350	0.57015	2883.0	3168.1	7.6346	0.47428	2881.6	3166.1	7.5481	0.35442	2878.6	3162.2	7.4107
400	0.61731	2963.7	3272.4	7.7956	0.51374	2962.5	3270.8	7.7097	0.38429	2960.2	3267.7	7.5735
500	0.71095	3129.0	3484.5	8.0893	0.59200	3128.2	3483.4	8.0041	0.44332	3126.6	3481.3	7.8692
600	0.80409	3300.4	3702.5	8.3544	0.66976	3299.8	3701.7	8.2695	0.50186	3298.7	3700.1	8.1354
700	0.89696	3478.6	3927.0	8.5978	0.74725	3478.1	3926.4	8.5132	0.56011	3477.2	3925.3	8.3794
800	0.98966	3663.6	4158.4	8.8240	0.82457	3663.2	4157.9	8.7395	0.61820	3662.5	4157.0	8.6061
900	1.08227	3855.4	4396.6	9.0362	0.90179	3855.1	4396.2	8.9518	0.67619	3854.5	4395.5	8.8185
1000	1.17480	4054.0	4641.4	9.2364	0.97893	4053.8	4641.1	9.1521	0.73411	4053.3	4640.5	9.0189
1100	1.26728	4259.0	4892.6	9.4263	1.05603	4258.8	4892.4	9.3420	0.79197	4258.3	4891.9	9.2090
1200	1.35972	4470.0	5149.8	9.6071	1.13309	4469.8	5149.6	9.5229	0.84980	4469.4	5149.3	9.3898
1300	1.45214	4686.6	5412.6	9.7797	1.21012	4686.4	5412.5	9.6955	0.90761	4686.1	5412.2	9.5625

*La temperatura entre paréntesis es la temperatura de saturación a la presión especificada.

† Propiedades del vapor saturado a la presión especificada.

TABLA A-6

Vapor de agua sobrecalentado (*continuación*)

T °C	*v* m³/kg	*u* kJ/kg	*h* kJ/kg	*s* kJ/kg · K	*v* m³/kg	*u* kJ/kg	*h* kJ/kg	*s* kJ/kg · K	*v* m³/kg	*u* kJ/kg	*h* kJ/kg	*s* kJ/kg · K
	P = 1.00 MPa (179.88 °C)				*P* = *1.20* MPa (187.96 °C)				*P* = 1.40 MPa (195.04 °C)			
Sat.	0.19437	2582.8	2777.1	6.5850	0.16326	2587.8	2783.8	6.5217	0.14078	2591.8	2788.9	6.4675
200	0.20602	2622.3	2828.3	6.6956	0.16934	2612.9	2816.1	6.5909	0.14303	2602.7	2803.0	6.4975
250	0.23275	2710.4	2943.1	6.9265	0.19241	2704.7	2935.6	6.8313	0.16356	2698.9	2927.9	6.7488
300	0.25799	2793.7	3051.6	7.1246	0.21386	2789.7	3046.3	7.0335	0.18233	2785.7	3040.9	6.9553
350	0.28250	2875.7	3158.2	7.3029	0.23455	2872.7	3154.2	7.2139	0.20029	2869.7	3150.1	7.1379
400	0.30661	2957.9	3264.5	7.4670	0.25482	2955.5	3261.3	7.3793	0.21782	2953.1	3258.1	7.3046
500	0.35411	3125.0	3479.1	7.7642	0.29464	3123.4	3477.0	7.6779	0.25216	3121.8	3474.8	7.6047
600	0.40111	3297.5	3698.6	8.0311	0.33395	3296.3	3697.0	7.9456	0.28597	3295.1	3695.5	7.8730
700	0.44783	3476.3	3924.1	8.2755	0.37297	3475.3	3922.9	8.1904	0.31951	3474.4	3921.7	8.1183
800	0.49438	3661.7	4156.1	8.5024	0.41184	3661.0	4155.2	8.4176	0.35288	3660.3	4154.3	8.3458
900	0.54083	3853.9	4394.8	8.7150	0.45059	3853.3	4394.0	8.6303	0.38614	3852.7	4393.3	8.5587
1000	0.58721	4052.7	4640.0	8.9155	0.48928	4052.2	4639.4	8.8310	0.41933	4051.7	4638.8	8.7595
1100	0.63354	4257.9	4891.4	9.1057	0.52792	4257.5	4891.0	9.0212	0.45247	4257.0	4890.5	8.9497
1200	0.67983	4469.0	5148.9	9.2866	0.56652	4468.7	5148.5	9.2022	0.48558	4468.3	5148.1	9.1308
1300	0.72610	4685.8	5411.9	9.4593	0.60509	4685.5	5411.6	9.3750	0.51866	4685.1	5411.3	9.3036
	P = 1.60 MPa (201.37 °C)				*P* = 1.80 MPa (207.11 °C)				*P* = 2.00 MPa (212.38 °C)			
Sat.	0.12374	2594.8	2792.8	6.4200	0.11037	2597.3	2795.9	6.3775	0.09959	2599.1	2798.3	6.3390
225	0.13293	2645.1	2857.8	6.5537	0.11678	2637.0	2847.2	6.4825	0.10381	2628.5	2836.1	6.4160
250	0.14190	2692.9	2919.9	6.6753	0.12502	2686.7	2911.7	6.6088	0.11150	2680.3	2903.3	6.5475
300	0.15866	2781.6	3035.4	6.8864	0.14025	2777.4	3029.9	6.8246	0.12551	2773.2	3024.2	6.7684
350	0.17459	2866.6	3146.0	7.0713	0.15460	2863.6	3141.9	7.0120	0.13860	2860.5	3137.7	6.9583
400	0.19007	2950.8	3254.9	7.2394	0.16849	2948.3	3251.6	7.1814	0.15122	2945.9	3248.4	7.1292
500	0.22029	3120.1	3472.6	7.5410	0.19551	3118.5	3470.4	7.4845	0.17568	3116.9	3468.3	7.4337
600	0.24999	3293.9	3693.9	7.8101	0.22200	3292.7	3692.3	7.7543	0.19962	3291.5	3690.7	7.7043
700	0.27941	3473.5	3920.5	8.0558	0.24822	3472.6	3919.4	8.0005	0.22326	3471.7	3918.2	7.9509
800	0.30865	3659.5	4153.4	8.2834	0.27426	3658.8	4152.4	8.2284	0.24674	3658.0	4151.5	8.1791
900	0.33780	3852.1	4392.6	8.4965	0.30020	3851.5	4391.9	8.4417	0.27012	3850.9	4391.1	8.3925
1000	0.36687	4051.2	4638.2	8.6974	0.32606	4050.7	4637.6	8.6427	0.29342	4050.2	4637.1	8.5936
1100	0.39589	4256.6	4890.0	8.8878	0.35188	4256.2	4889.6	8.8331	0.31667	4255.7	4889.1	8.7842
1200	0.42488	4467.9	5147.7	9.0689	0.37766	4467.6	5147.3	9.0143	0.33989	4467.2	5147.0	8.9654
1300	0.45383	4684.8	5410.9	9.2418	0.40341	4684.5	5410.6	9.1872	0.36308	4684.2	5410.3	9.1384
	P = 2.50 MPa (223.95 °C)				*P* = 3.00 MPa (233.85 °C)				*P* = 3.50 MPa (242.56 °C)			
Sat.	0.07995	2602.1	2801.9	6.2558	0.06667	2603.2	2803.2	6.1856	0.05706	2603.0	2802.7	6.1244
225	0.08026	2604.8	2805.5	6.2629								
250	0.08705	2663.3	2880.9	6.4107	0.07063	2644.7	2856.5	6.2893	0.05876	2624.0	2829.7	6.1764
300	0.09894	2762.2	3009.6	6.6459	0.08118	2750.8	2994.3	6.5412	0.06845	2738.8	2978.4	6.4484
350	0.10979	2852.5	3127.0	6.8424	0.09056	2844.4	3116.1	6.7450	0.07680	2836.0	3104.9	6.6601
400	0.12012	2939.8	3240.1	7.0170	0.09938	2933.6	3231.7	6.9235	0.08456	2927.2	3223.2	6.8428
450	0.13015	3026.2	3351.6	7.1768	0.10789	3021.2	3344.9	7.0856	0.09198	3016.1	3338.1	7.0074
500	0.13999	3112.8	3462.8	7.3254	0.11620	3108.6	3457.2	7.2359	0.09919	3104.5	3451.7	7.1593
600	0.15931	3288.5	3686.8	7.5979	0.13245	3285.5	3682.8	7.5103	0.11325	3282.5	3678.9	7.4357
700	0.17835	3469.3	3915.2	7.8455	0.14841	3467.0	3912.2	7.7590	0.12702	3464.7	3909.3	7.6855
800	0.19722	3656.2	4149.2	8.0744	0.16420	3654.3	4146.9	7.9885	0.14061	3652.5	4144.6	7.9156
900	0.21597	3849.4	4389.3	8.2882	0.17988	3847.9	4387.5	8.2028	0.15410	3846.4	4385.7	8.1304
1000	0.23466	4049.0	4635.6	8.4897	0.19549	4047.7	4634.2	8.4045	0.16751	4046.4	4632.7	8.3324
1100	0.25330	4254.7	4887.9	8.6804	0.21105	4253.6	4886.7	8.5955	0.18087	4252.5	4885.6	8.5236
1200	0.27190	4466.3	5146.0	8.8618	0.22658	4465.3	5145.1	8.7771	0.19420	4464.4	5144.1	8.7053
1300	0.29048	4683.4	5409.5	9.0349	0.24207	4682.6	5408.8	8.9502	0.20750	4681.8	5408.0	8.8786