



# Termodinamica para Ingenieros, FIS1523

I1

Facultad de Física

Pontificia Universidad Católica de Chile

Primer Semestre 2015



**Tiempo para responder: 150 min**

**Atención!!**

- Si utiliza lápiz de grafito, perderá la posibilidad de reclamar errores de corrección.
- El profesor no se hace responsable de las respuestas que los ayudantes puedan dar a sus consultas durante el examen.
- Sólo puede utilizar lápiz y calculadora simple. No se permiten teléfonos celulares.

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



## Problema 1

Se tiene un tanque perfectamente aislado con  $2000 \text{ cm}^3$  de agua inicialmente a  $20^\circ \text{ C}$ . A este tanque se introduce una barra de  $200 \text{ g}$  de un metal desconocido  $X$  a una temperatura inicial de  $450^\circ \text{ C}$  con densidad y coeficiente de expansión volumétrico conocidos (ver abajo). Se observa que, después de mucho tiempo, el volumen total (agua +  $X$ ) es  $0.579 \text{ cm}^3$  mayor al que había el instante inmediatamente después de introducir la barra de  $X$ .

- Determine la temperatura final de equilibrio (3 puntos)
- Identifique el metal que es el mejor candidato para  $X$  (3 puntos)

Datos:  $c_{\text{agua}} = 4.22 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ ;  $\rho_{\text{agua}} = 1 \text{ g/cm}^3$ ;  $\beta_{\text{agua}} = 214 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ;  $\rho_X = 10.49 \text{ g/cm}^3$ ;  $\beta_X = 54 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ . Puede asumir que estas densidades son válidas para el instante inicial, es decir inmediatamente después de introducir la barra en el agua.

Metal	Calor específico ( $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ )
Hierro	0.450
Plomo	0.128
Plata	0.235
Acero	0.500
Magnesio	1.000

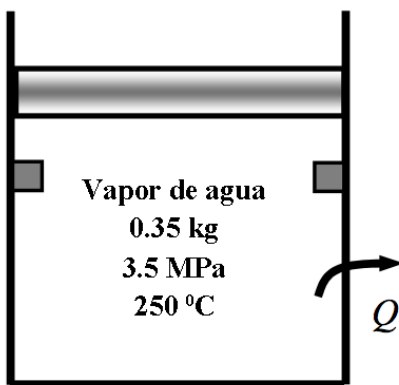
Nombre: \_\_\_\_\_ Sección: \_\_\_\_\_



## Problema 2

Un dispositivo de cilindro-émbolo sin fricción como el de la figura contiene 0.35 kg de vapor de agua a 3.5 MPa y a una temperatura de 250 °C. A continuación, el vapor de agua pierde calor a los alrededores, y el émbolo baja, hasta un conjunto de topes, y en ese punto el cilindro contiene agua líquida saturada. El enfriamiento continúa hasta que el cilindro contiene agua a 200 °C. Determine:

- a) La presión final y la calidad (si es una mezcla). (1.5 puntos)
- b) El trabajo de frontera. (1 punto)
- c) La cantidad de calor transferido cuando el émbolo llega a los topes. (1.25 punto)
- d) El calor total transferido. (1.25 punto)
- e) Dibuje cualitativamente los procesos en un diagrama  $P-v$  con respecto a las líneas de saturación. (1 punto)



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



### Problema 3

Un sistema de almacenamiento de propano ( $C_3H_8$ ) consiste en el dispositivo de cilindro-émbolo sin fricción mostrado en la figura. El émbolo, cuya superficie externa está expuesta a la atmósfera, tiene una masa de 207 toneladas, mientras que el área de la sección del cilindro es  $1 \text{ m}^2$ . Inicialmente, el propano se encuentra a una temperatura  $T_1 = 388.5 \text{ K}$ , cuando el émbolo se encuentra a una altura  $z_1 = 1 \text{ m}$  desde la base del cilindro. Se transmite calor al gas muy lentamente (proceso cuasiestático), de modo tal que la presión del propano se mantiene constante durante el proceso, hasta que se alcanza una temperatura final de  $T_2 = 444 \text{ K}$ . Utilizando la carta del factor de compresibilidad adjunta, y los siguientes datos para el propano:

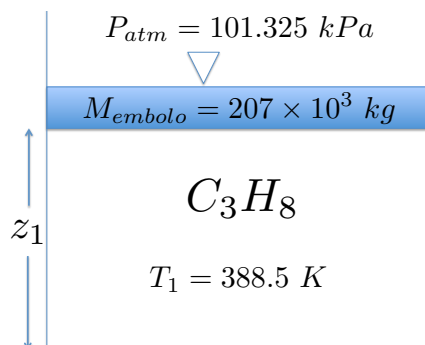
$P_c = 4.26 \text{ MPa}$ ,  $T_c = 370 \text{ K}$ ,  $M_p = 44.097 \text{ g/mol}$ , determine:

- La presión a la cual está sometido el propano (0.5 punto)
- La masa de propano contenido en el dispositivo. (1 punto)
- El volumen final y cambio en la altura del émbolo. (1 punto)
- El calor total transferido al propano, considerando que el calor específico está dado por el polinomio (1 punto)

$$\bar{c}_P(T) = a + bT + cT^2 + dT^3$$

con  $a = -4.04 \text{ J/mol/K}$ ,  $b = 30.48 \times 10^{-2} \text{ J/mol/K}^2$ ,  $c = -15.72 \times 10^{-5} \text{ J/mol/K}^3$ ,  $d = 31.74 \times 10^{-9} \text{ J/mol/K}^4$ .

- El cambio en la energía interna del propano debido al proceso (1.5 punto)
- El cambio en la entalpía del propano debido al proceso (1 punto)



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



## Problema 4

Importante

Marque con una cruz (X) sólo la alternativa correcta.

	a	b	c	d	e
1					
2					
3					
4					
5					
6					

1 Con el aumento de la presión

- (a) la temperatura de saturación de agua aumenta y entalpía de evaporación aumenta
- (b) la temperatura de saturación de agua aumenta y entalpía de evaporación disminuye
- (c) la temperatura de saturación de agua disminuye y la entalpía de evaporación aumenta
- (d) la temperatura de saturación de agua disminuye y la entalpía de evaporación disminuye
- (e) ninguna de las anteriores.

2 Cómo cambia el volumen específico del agua cuando se calienta desde 0 °C, a presión atmosférica

- (a) primero aumenta y luego disminuye
- (b) primero disminuye y luego aumenta
- (c) aumenta de manera constante
- (d) disminuye constantemente
- (e) ninguna de las anteriores.

3 La energía interna de un gas ideal depende de

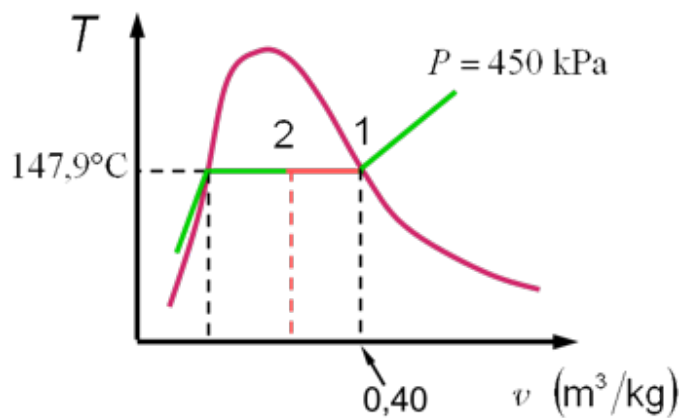
- (a) la temperatura, el calor específico y la presión
- (b) la temperatura, el calor específico y la entalpía
- (c) la temperatura y el volumen
- (d) la temperatura solamente.
- (e) ninguna de las anteriores.

4 En un proceso isotérmico, para un gas ideal

- (a) la temperatura aumenta gradualmente
- (b) volumen permanece constante
- (c) presión permanece constante
- (d) cambio de entalpía es máxima
- (e) cambio de energía interna es cero.

5 Un cilindro con un pistón sin roce, que opera a presión constante, contiene 0.25 kg de vapor de agua saturado a 450 kPa. Luego el sistema intercambia calor con el medio, hasta que agua líquida ocupa 40% del volumen original, como muestra la figura (grafico T-v) Cuál de los siguientes es el trabajo realizado en el proceso?

- (a) -108 kJ
- (b) 108 kJ
- (c) -27 kJ
- (d) 27 kJ
- (e) ninguna de las anteriores.



6 Cuál de las siguientes alternativas es la que más se aproxima a la cantidad de energía transferida a 400 gr de agua líquida saturada para cambiar totalmente a vapor a presión constante de 250 kPa.

- (a) 87.248 kJ
- (b) 872.48 kJ
- (c) 872480 kJ
- (d) 2181.2 kJ
- (e) ninguna de las anteriores.

TABLA A-6

Vapor de agua sobrecalentado (*continuación*)

$T$ °C	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg · K	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg · K	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg · K
$P = 1.00 \text{ MPa (179.88 °C)}$					$P = 1.20 \text{ MPa (187.96 °C)}$				$P = 1.40 \text{ MPa (195.04 °C)}$			
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
$P = 1.60 \text{ MPa (201.37 °C)}$					$P = 1.80 \text{ MPa (207.11 °C)}$				$P = 2.00 \text{ MPa (212.38 °C)}$			
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
$P = 2.50 \text{ MPa (223.95 °C)}$					$P = 3.00 \text{ MPa (233.85 °C)}$				$P = 3.50 \text{ MPa (242.56 °C)}$			
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

TABLA A-5

Agua saturada. Tabla de presiones (conclusión)

Pres., $P$ kPa	Temp. sat., $T_{\text{sat}}$ °C	Volumen específico, $\text{m}^3/\text{kg}$		Energía interna, $\text{kJ/kg}$			Entalpía, $\text{kJ/kg}$			Entropía, $\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$		
		Líqu. sat., $\nu_f$	Vapor sat., $\nu_g$	Líqu. sat., $u_f$	Evap., $u_{fg}$	Vapor sat., $u_g$	Líqu. sat., $h_f$	Evap., $h_{fg}$	Vapor sat., $h_g$	Líqu. sat., $s_f$	Evap., $s_{fg}$	Vapor sat., $s_g$
800	170.41	0.001115	0.24035	719.97	1856.1	2576.0	720.87	2047.5	2768.3	2.0457	4.6160	6.6616
850	172.94	0.001118	0.22690	731.00	1846.9	2577.9	731.95	2038.8	2770.8	2.0705	4.5705	6.6409
900	175.35	0.001121	0.21489	741.55	1838.1	2579.6	742.56	2030.5	2773.0	2.0941	4.5273	6.6213
950	177.66	0.001124	0.20411	751.67	1829.6	2581.3	752.74	2022.4	2775.2	2.1166	4.4862	6.6027
1000	179.88	0.001127	0.19436	761.39	1821.4	2582.8	762.51	2014.6	2777.1	2.1381	4.4470	6.5850
1100	184.06	0.001133	0.17745	779.78	1805.7	2585.5	781.03	1999.6	2780.7	2.1785	4.3735	6.5520
1200	187.96	0.001138	0.16326	796.96	1790.9	2587.8	798.33	1985.4	2783.8	2.2159	4.3058	6.5217
1300	191.60	0.001144	0.15119	813.10	1776.8	2589.9	814.59	1971.9	2786.5	2.2508	4.2428	6.4936
1400	195.04	0.001149	0.14078	828.35	1763.4	2591.8	829.96	1958.9	2788.9	2.2835	4.1840	6.4675
1500	198.29	0.001154	0.13171	842.82	1750.6	2593.4	844.55	1946.4	2791.0	2.3143	4.1287	6.4430
1750	205.72	0.001166	0.11344	876.12	1720.6	2596.7	878.16	1917.1	2795.2	2.3844	4.0033	6.3877
2000	212.38	0.001177	0.099587	906.12	1693.0	2599.1	908.47	1889.8	2798.3	2.4467	3.8923	6.3390
2250	218.41	0.001187	0.088717	933.54	1667.3	2600.9	936.21	1864.3	2800.5	2.5029	3.7926	6.2954
2500	223.95	0.001197	0.079952	958.87	1643.2	2602.1	961.87	1840.1	2801.9	2.5542	3.7016	6.2558
3000	233.85	0.001217	0.066667	1004.6	1598.5	2603.2	1008.3	1794.9	2803.2	2.6454	3.5402	6.1856
3500	242.56	0.001235	0.057061	1045.4	1557.6	2603.0	1049.7	1753.0	2802.7	2.7253	3.3991	6.1244
4000	250.35	0.001252	0.049779	1082.4	1519.3	2601.7	1087.4	1713.5	2800.8	2.7966	3.2731	6.0696
5000	263.94	0.001286	0.039448	1148.1	1448.9	2597.0	1154.5	1639.7	2794.2	2.9207	3.0530	5.9737
6000	275.59	0.001319	0.032449	1205.8	1384.1	2589.9	1213.8	1570.9	2784.6	3.0275	2.8627	5.8902
7000	285.83	0.001352	0.027378	1258.0	1323.0	2581.0	1267.5	1505.2	2772.6	3.1220	2.6927	5.8148
8000	295.01	0.001384	0.023525	1306.0	1264.5	2570.5	1317.1	1441.6	2758.7	3.2077	2.5373	5.7450
9000	303.35	0.001418	0.020489	1350.9	1207.6	2558.5	1363.7	1379.3	2742.9	3.2866	2.3925	5.6791
10,000	311.00	0.001452	0.018028	1393.3	1151.8	2545.2	1407.8	1317.6	2725.5	3.3603	2.2556	5.6159
11,000	318.08	0.001488	0.015988	1433.9	1096.6	2530.4	1450.2	1256.1	2706.3	3.4299	2.1245	5.5544
12,000	324.68	0.001526	0.014264	1473.0	1041.3	2514.3	1491.3	1194.1	2685.4	3.4964	1.9975	5.4939
13,000	330.85	0.001566	0.012781	1511.0	985.5	2496.6	1531.4	1131.3	2662.7	3.5606	1.8730	5.4336
14,000	336.67	0.001610	0.011487	1548.4	928.7	2477.1	1571.0	1067.0	2637.9	3.6232	1.7497	5.3728
15,000	342.16	0.001657	0.010341	1585.5	870.3	2455.7	1610.3	1000.5	2610.8	3.6848	1.6261	5.3108
16,000	347.36	0.001710	0.009312	1622.6	809.4	2432.0	1649.9	931.1	2581.0	3.7461	1.5005	5.2466
17,000	352.29	0.001770	0.008374	1660.2	745.1	2405.4	1690.3	857.4	2547.7	3.8082	1.3709	5.1791
18,000	356.99	0.001840	0.007504	1699.1	675.9	2375.0	1732.2	777.8	2510.0	3.8720	1.2343	5.1064
19,000	361.47	0.001926	0.006677	1740.3	598.9	2339.2	1776.8	689.2	2466.0	3.9396	1.0860	5.0256
20,000	365.75	0.002038	0.005862	1785.8	509.0	2294.8	1826.6	585.5	2412.1	4.0146	0.9164	4.9310
21,000	369.83	0.002207	0.004994	1841.6	391.9	2233.5	1888.0	450.4	2338.4	4.1071	0.7005	4.8076
22,000	373.71	0.002703	0.003644	1951.7	140.8	2092.4	2011.1	161.5	2172.6	4.2942	0.2496	4.5439
22,064	373.95	0.003106	0.003106	2015.7	0	2015.7	2084.3	0	2084.3	4.4070	0	4.4070

TABLA A-4

Agua saturada. Tabla de temperaturas

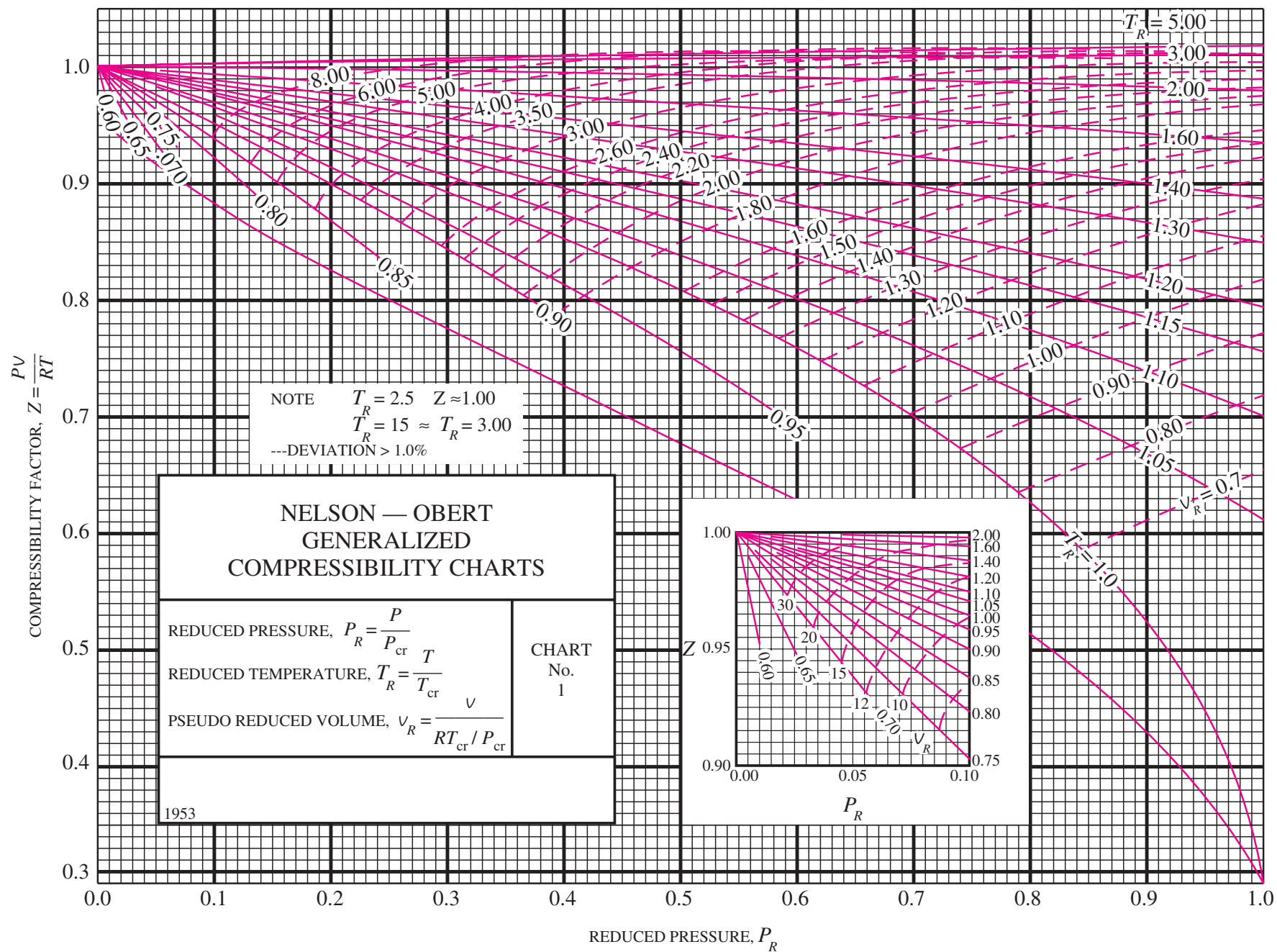
Temp., $T$ °C	Pres. sat., $P_{\text{sat}}$ kPa	Volumen específico, $\text{m}^3/\text{kg}$		Energía interna, $\text{kJ/kg}$			Entalpía, $\text{kJ/kg}$			Entropía, $\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$		
		Líqu. sat., $v_f$	Vapor sat., $v_g$	Líqu. sat., $u_f$	Evap., $u_{fg}$	Vapor sat., $u_g$	Líqu. sat., $h_f$	Evap., $h_{fg}$	Vapor sat., $h_g$	Líqu. sat., $s_f$	Evap., $s_{fg}$	Vapor sat., $s_g$
0.01	0.6117	0.001000	206.00	0.000	2374.9	2374.9	0.001	2500.9	2500.9	0.0000	9.1556	9.1556
5	0.8725	0.001000	147.03	21.019	2360.8	2381.8	21.020	2489.1	2510.1	0.0763	8.9487	9.0249
10	1.2281	0.001000	106.32	42.020	2346.6	2388.7	42.022	2477.2	2519.2	0.1511	8.7488	8.8999
15	1.7057	0.001001	77.885	62.980	2332.5	2395.5	62.982	2465.4	2528.3	0.2245	8.5559	8.7803
20	2.3392	0.001002	57.762	83.913	2318.4	2402.3	83.915	2453.5	2537.4	0.2965	8.3696	8.6661
25	3.1698	0.001003	43.340	104.83	2304.3	2409.1	104.83	2441.7	2546.5	0.3672	8.1895	8.5567
30	4.2469	0.001004	32.879	125.73	2290.2	2415.9	125.74	2429.8	2555.6	0.4368	8.0152	8.4520
35	5.6291	0.001006	25.205	146.63	2276.0	2422.7	146.64	2417.9	2564.6	0.5051	7.8466	8.3517
40	7.3851	0.001008	19.515	167.53	2261.9	2429.4	167.53	2406.0	2573.5	0.5724	7.6832	8.2556
45	9.5953	0.001010	15.251	188.43	2247.7	2436.1	188.44	2394.0	2582.4	0.6386	7.5247	8.1633
50	12.352	0.001012	12.026	209.33	2233.4	2442.7	209.34	2382.0	2591.3	0.7038	7.3710	8.0748
55	15.763	0.001015	9.5639	230.24	2219.1	2449.3	230.26	2369.8	2600.1	0.7680	7.2218	7.9898
60	19.947	0.001017	7.6670	251.16	2204.7	2455.9	251.18	2357.7	2608.8	0.8313	7.0769	7.9082
65	25.043	0.001020	6.1935	272.09	2190.3	2462.4	272.12	2345.4	2617.5	0.8937	6.9360	7.8296
70	31.202	0.001023	5.0396	293.04	2175.8	2468.9	293.07	2333.0	2626.1	0.9551	6.7989	7.7540
75	38.597	0.001026	4.1291	313.99	2161.3	2475.3	314.03	2320.6	2634.6	1.0158	6.6655	7.6812
80	47.416	0.001029	3.4053	334.97	2146.6	2481.6	335.02	2308.0	2643.0	1.0756	6.5355	7.6111
85	57.868	0.001032	2.8261	355.96	2131.9	2487.8	356.02	2295.3	2651.4	1.1346	6.4089	7.5435
90	70.183	0.001036	2.3593	376.97	2117.0	2494.0	377.04	2282.5	2659.6	1.1929	6.2853	7.4782
95	84.609	0.001040	1.9808	398.00	2102.0	2500.1	398.09	2269.6	2667.6	1.2504	6.1647	7.4151
100	101.42	0.001043	1.6720	419.06	2087.0	2506.0	419.17	2256.4	2675.6	1.3072	6.0470	7.3542
105	120.90	0.001047	1.4186	440.15	2071.8	2511.9	440.28	2243.1	2683.4	1.3634	5.9319	7.2952
110	143.38	0.001052	1.2094	461.27	2056.4	2517.7	461.42	2229.7	2691.1	1.4188	5.8193	7.2382
115	169.18	0.001056	1.0360	482.42	2040.9	2523.3	482.59	2216.0	2698.6	1.4737	5.7092	7.1829
120	198.67	0.001060	0.89133	503.60	2025.3	2528.9	503.81	2202.1	2706.0	1.5279	5.6013	7.1292
125	232.23	0.001065	0.77012	524.83	2009.5	2534.3	525.07	2188.1	2713.1	1.5816	5.4956	7.0771
130	270.28	0.001070	0.66808	546.10	1993.4	2539.5	546.38	2173.7	2720.1	1.6346	5.3919	7.0265
135	313.22	0.001075	0.58179	567.41	1977.3	2544.7	567.75	2159.1	2726.9	1.6872	5.2901	6.9773
140	361.53	0.001080	0.50850	588.77	1960.9	2549.6	589.16	2144.3	2733.5	1.7392	5.1901	6.9294
145	415.68	0.001085	0.44600	610.19	1944.2	2554.4	610.64	2129.2	2739.8	1.7908	5.0919	6.8827
150	476.16	0.001091	0.39248	631.66	1927.4	2559.1	632.18	2113.8	2745.9	1.8418	4.9953	6.8371
155	543.49	0.001096	0.34648	653.19	1910.3	2563.5	653.79	2098.0	2751.8	1.8924	4.9002	6.7927
160	618.23	0.001102	0.30680	674.79	1893.0	2567.8	675.47	2082.0	2757.5	1.9426	4.8066	6.7492
165	700.93	0.001108	0.27244	696.46	1875.4	2571.9	697.24	2065.6	2762.8	1.9923	4.7143	6.7067
170	792.18	0.001114	0.24260	718.20	1857.5	2575.7	719.08	2048.8	2767.9	2.0417	4.6233	6.6650
175	892.60	0.001121	0.21659	740.02	1839.4	2579.4	741.02	2031.7	2772.7	2.0906	4.5335	6.6242
180	1002.8	0.001127	0.19384	761.92	1820.9	2582.8	763.05	2014.2	2777.2	2.1392	4.4448	6.5841
185	1123.5	0.001134	0.17390	783.91	1802.1	2586.0	785.19	1996.2	2781.4	2.1875	4.3572	6.5447
190	1255.2	0.001141	0.15636	806.00	1783.0	2589.0	807.43	1977.9	2785.3	2.2355	4.2705	6.5059
195	1398.8	0.001149	0.14089	828.18	1763.6	2591.7	829.78	1959.0	2788.8	2.2831	4.1847	6.4678
200	1554.9	0.001157	0.12721	850.46	1743.7	2594.2	852.26	1939.8	2792.0	2.3305	4.0997	6.4302



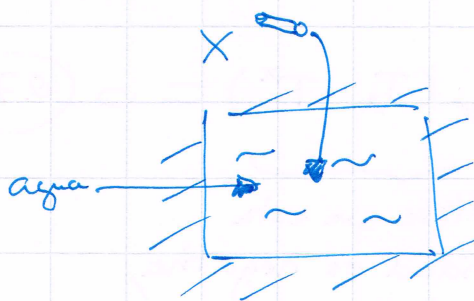
TABLA A-5

Agua saturada. Tabla de presiones

Pres., $P$ kPa	Temp. sat., $T_{\text{sat}}$ °C	Volumen específico, $\text{m}^3/\text{kg}$		Energía interna, $\text{kJ/kg}$			Entalpía, $\text{kJ/kg}$			Entropía, $\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$		
		Líqu. sat., $v_f$	Vapor sat., $v_g$	Líqu. sat., $u_f$	Evap., $u_{fg}$	Vapor sat., $u_g$	Líqu. sat., $h_f$	Evap., $h_{fg}$	Vapor sat., $h_g$	Líqu. 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



# I1, Problema 1



Datos:  $\begin{cases} T_1^a = 20^\circ\text{C} \\ V_1^a = 2000 \text{ cm}^3 \end{cases}$

X  $\begin{cases} T_1^x = 450^\circ\text{C} \\ m_x = 0.2 \text{ kg} \end{cases}$

$$\Delta V^{atx} = V_2^{atx} - V_1^{atx} = 0.579 \text{ cm}^3$$

Queremos determinar  $T_a^2 = T_2^x \equiv T_2$  (ya que es la temperatura de equilibrio) y la identidad de X.

(a) Tenemos que:  $\Delta V^a = V_2^a - V_1^a = \beta_a V_1^a (T_2^a - T_1^a)$  (0.5)

$\Delta V^x = V_2^x - V_1^x = \beta_x V_1^x (T_2^x - T_1^x)$  (0.5)

Con la densidad de X podemos calcular  $V_1^x$ :

$$\frac{V_1^x}{m_x} = (\rho_1^x)^{-1} \Rightarrow V_1^x = \frac{(0.2 \text{ kg})}{10.49 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^3}$$

$$V_1^x = 19.066 \text{ cm}^3$$
 (0.5)

Nos queda entonces:

$$\Delta V^a + \Delta V^x = \Delta V^{atx}$$
 (0.5)

$$\beta_a V_1^a (T_2^a - T_1^a) + \beta_x V_1^x (T_2^x - T_1^x) = V_2^{atx} - V_1^{atx}$$

$$0.428 T_2 - 8.56 + 0.0010296 T_2 - 0.4633 = 0.579$$

$$\rightarrow T_2 = 22.38^\circ\text{C}$$
 (1)

(b) El contenido del tanque (agua + X) es un sistema cerrado y aislado. Por ende, no hay intercambio de calor con el entorno. Tampoco hay trabajo.

(0.75) Entonces el calor ganado por el agua es igual al perdido por X.



$$m_a C_a (T_2 - T_1^a) + m_x C_x (T_2 - T_1^x) = 0 \quad (0.75)$$

$$\rho_1^a = \frac{m_a}{V_1^a}$$

$$\Rightarrow m_a = 2 \text{ kg.}$$

notese que esta cantidad es negativa, ya que X pierde calor

Nos queda:

$$(2 \text{ kg}) \left( 4.22 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) (22.38 - 20) \text{ K} + (0.2 \text{ kg}) C_x (22.38 - 450) \text{ K} = 0$$

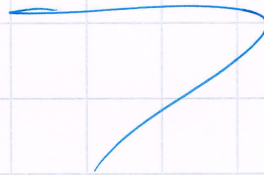
una diferencia de temperaturas es igual en Kelvin que en Celsius

es decir:

$$20.0872 \text{ kJ} + (-85.524 C_x) \text{ kg} \cdot \text{K} = 0$$

$$\rightarrow C_x = 0.2348 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad (1)$$

El metal X es plata. (0.5)



## PROBLEMA 2

En primer lugar se obtienen las variables termodinámicas desconocidas que son necesarias en cada estado:

### ESTADO 1:

$$P_1 = 3.5 \text{ MPa}$$

$$T_1 = 250^\circ\text{C}$$

$$\text{Tabla A-5: } T_{\text{sat}} @ 3.5 \text{ MPa} = 242.56^\circ\text{C}$$

Como  $T_1 > T_{\text{sat}} @ 3.5 \text{ MPa} \Rightarrow$  VAPOR SOBRECALENTADO

$$\begin{aligned} \text{Tabla A-6: } v_1 &= 0.05876 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \\ u_1 &= 2624.0 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \end{aligned}$$

### ESTADO 2:

$$P_2 = P_1 = 3.5 \text{ MPa}$$

Sólo contiene líquido saturado:

$$\text{Tabla A-5: } T_2 = 242.56^\circ\text{C}$$

$$v_2 = v_f = 0.001235 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$u_2 = u_f = 1045.4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

### ESTADO 3:

$$v_3 = v_2 = 0.001235 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$T_3 = 200^\circ\text{C}$$

¿Es mezcla saturada?

### ESTADO 3 (continuación)

Tabla A-4:

$$P_{\text{sat}} @ 200^{\circ}\text{C} = 1554.9 \text{ kPa}$$

$$v_f = 0.001157 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_g = 0.12721 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_f < v_3 < v_g \Rightarrow \text{Mezcla saturada}$$

$$P_3 = P_{\text{sat}} @ 200^{\circ}\text{C} = 1554.9 \text{ kPa}$$

a)  $P_3 = 1554.9 \text{ kPa}$  0.75 pts

Calculamos la calidad:

$$v_3 = (1 - x_3) v_f + x v_g = v_f + x_3 (v_g - v_f)$$

$$x_3 = \frac{v_3 - v_f}{v_g - v_f} = 0.000619 \quad 0.75 \text{ pts}$$

b) Sólo se realiza trabajo de  $1 \rightarrow 2$

Proceso a  $P = \text{cte}$

$$W = P \Delta V = P m (v_2 - v_1)$$

$$= 3.5 \cdot 10^6 \text{ Pa} \cdot 0.35 \text{ kg} (0.001235 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} - 0.05876 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}})$$

$$W = -70468 \text{ J} \quad 1 \text{ pto}$$

Es negativo, el medio realiza trabajo.

c)  $Q_{1 \rightarrow 2} \quad \Delta U = Q - W$

$$m(u_2 - u_1) = Q + 70.468 \text{ kJ} \Rightarrow \boxed{Q = -6230 \text{ kJ}}$$

Sale del sistema, es negativo.

1.25 pts

d)  $Q_{1 \rightarrow 3} = Q_{1 \rightarrow 2} + Q_{2 \rightarrow 3}$

$$Q_{2 \rightarrow 3} = \Delta U_{2 \rightarrow 3} = m(u_3 - u_2) \quad (W_{2 \rightarrow 3} = 0)$$

$$u_3 = (1 - x_3)u_g + x_3 u_{g3}$$

Tabla A-4 :  $u_g = 850.46 \text{ kJ/kg}$

$(x_3 = 0.000619)$

$$u_3 = 851.53 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

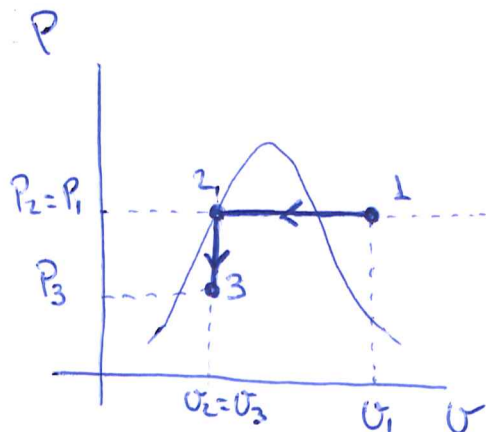
$$u_{g3} = 2594.2 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{2 \rightarrow 3} = -67.9 \text{ kJ} \Rightarrow Q_{1 \rightarrow 3} = -6230 \text{ kJ} + (-67.9 \text{ kJ})$$

$$\boxed{Q_{1 \rightarrow 3} = -690.85 \text{ kJ}}$$

1.25 pts

e)



1 pto

# Pauta Corrección Problema 3

①

(a) La presión total :

$$P = P_{atm} + \frac{Membolo \cdot g}{A}$$

$$= 101.325 \text{ kPa} + \frac{207 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{1 \text{ m}^2} \times 10^{-3} \left( \frac{\text{kPa}}{\text{Pa}} \right)$$

$$P = 2129.93 \text{ kPa}$$

(0.5 pt)

(b)  $P_R = \frac{P}{P_c} = \frac{2129.93 \text{ kPa}}{4260 \text{ kPa}} = 0.5$  } de la carta  $Z_1 = 0.84$

$T_{R_1} = \frac{T_1}{T_c} = \frac{388.5^\circ \text{K}}{370^\circ \text{K}} = 1.05$

Q volumen  
specific :

$$V_1 = \frac{R \cdot T_1 \cdot Z_1}{M_p \cdot P} = \frac{8.314 \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}} \right) \cdot 388.5^\circ \text{K} \cdot 0.84}{44.097 \left( \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \right) \cdot 2129.93 \text{ (kPa)}}$$

$$V_1 = 0.02889 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\Rightarrow M = \frac{V_1}{v_1} = \frac{z_1 \cdot A}{v_1} = \frac{1(\text{m}) \cdot 1(\text{m}^2)}{0.02889 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right)} = 34.61 \text{ kg}$$

1 pt



(c) Obtenemos la nueva temp. reducida:

$$\left\{ \begin{array}{l} T_{R2} = \frac{T_2}{T_c} = \frac{444}{370} = 1.2 \\ P_R = 0.5 \end{array} \right. \quad (2)$$

De la carta, se lee

$$Z_2 = 0.9$$

El volumen específico final

$$v_2 = \frac{Z_2 \cdot R \cdot T_2}{M_p \cdot P} = \frac{0.9 \cdot 8.314 \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}} \right) \cdot 444 (\text{K})}{44.097 \left( \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \right) \cdot 2129.93 (\text{kPa})}$$

$$v_2 = 0.03537 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\Rightarrow V_2 = m \cdot v_2 = 34.61 \cdot 0.03537 = 1.224 \text{ m}^3$$

El cambio de altura:

$$\Delta z = z_2 - z_1 = \frac{V_2 - V_1}{A} = \frac{1.224 (\text{m}^3) - 1 (\text{m}^3)}{1 (\text{m}^2)} = 0.224 \text{ m} = 22.4 \text{ cm}$$

(1 pt)

$$(d) \quad q = \int_{T_1}^{T_2} \bar{C}_p dT = a(T_2 - T_1) + \frac{b}{2}(T_2^2 - T_1^2) + \frac{c}{3}(T_2^3 - T_1^3) + \frac{d}{4}(T_2^4 - T_1^4)$$

$$= 5430.9 \text{ J/mol}$$

(1 pt)

$$Q = \frac{m \cdot q}{M_p} = \frac{34.61 \text{ kg}}{44.097 (\text{kg}/\text{kmol})} \cdot 5430.9 \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}} \right) = 4262.5 \text{ kJ}$$

$$(e) \Delta U = Q - W$$

(2)

$$W = P \cdot (V_2 - V_1) = 2129.93 \text{ (kPa)} \cdot (1.224 - 1) \text{ (m}^3\text{)} \\ (P = \text{cte}) = 477.1 \text{ kJ}$$

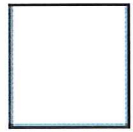
$$\Delta U = 4262.5 \text{ kJ} - 477.1 \text{ kJ} = 3785.4 \text{ kJ}$$

(1.5 pt)

(f) El proceso es a  $P = \text{cte}$ :

$$\Delta H = Q = 4262.5 \text{ kJ} \quad (1 \text{ pt})$$

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



## Problema 4

*Cada uno vale un (1,0) punto.*

Importante

Marque con una cruz (X) sólo la alternativa correcta.

	a	b	c	d	e
1		X			
2		X			
3				X	
4					X
5			X		
6		X			

1 Con el aumento de la presión

- (a) la temperatura de saturación de agua aumenta y entalpía de evaporación aumenta
- ✓ (b) la temperatura de saturación de agua aumenta y entalpía de evaporación disminuye
- (c) la temperatura de saturación de agua disminuye y la entalpía de evaporación aumenta
- (d) la temperatura de saturación de agua disminuye y la entalpía de evaporación disminuye
- (e) ninguna de las anteriores.

2 Cómo cambia el volumen específico del agua cuando se calienta desde 0 °C, a presión atmosférica

- (a) primero aumenta y luego disminuye
- ✓ (b) primero disminuye y luego aumenta
- (c) aumenta de manera constante
- (d) disminuye constantemente
- (e) ninguna de las anteriores.

3 La energía interna de un gas ideal depende de

- (a) la temperatura, el calor específico y la presión
- (b) la temperatura, el calor específico y la entalpía
- (c) la temperatura y el volumen
- ✓ (d) la temperatura solamente.
- (e) ninguna de las anteriores.

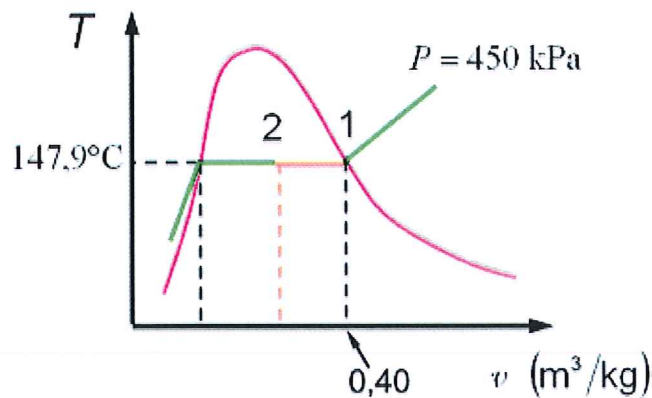
4 En un proceso isotérmico, para un gas ideal

- (a) la temperatura aumenta gradualmente
- (b) volumen permanece constante
- (c) presión permanece constante
- (d) cambio de entalpía es máxima
- ✓(e) cambio de energía interna es cero.

**Anulada**

5 Un cilindro con un pistón sin roce, que opera a presión constante, contiene 0.25 kg de vapor de agua saturado a 450 kPa. Luego el sistema intercambia calor con el medio, hasta que agua líquida ocupa 40% del volumen original, como muestra la figura (grafico T-v) Cuál de los siguientes es el trabajo realizado en el proceso?

- (a) -108 kJ
- (b) 108 kJ
- ✓(c) -27 kJ
- (d) 27 kJ
- (e) ninguna de las anteriores.



6 Cuál de las siguientes alternativas es la que más se aproxima a la cantidad de energía transferida a 400 gr de agua líquida saturada para cambiar totalmente a vapor a presión constante de 250 kPa.

- (a) 87.248 kJ
- ✓(b) 872.48 kJ
- (c) 872480 kJ
- (d) 2181.2 kJ
- (e) ninguna de las anteriores.