



UC | Chile

Termodinámica (FIS1523)

Tablas termodinámicas (cont.)

Felipe Isaule
felipe.isaule@uc.cl

Miércoles 9 de Abril de 2025

Resumen clase anterior

- Revisamos los distintos tipos de **diagramas de propiedades**.
- Comenzamos a revisar las **tablas termodinámicas** para **líquidos y vapores saturados**.

Clase 11: Tablas termodinámicas (cont.)

- Mezclas saturadas.
- Vapores sobrecalentados y líquidos comprimidos.
- Valores de referencia.

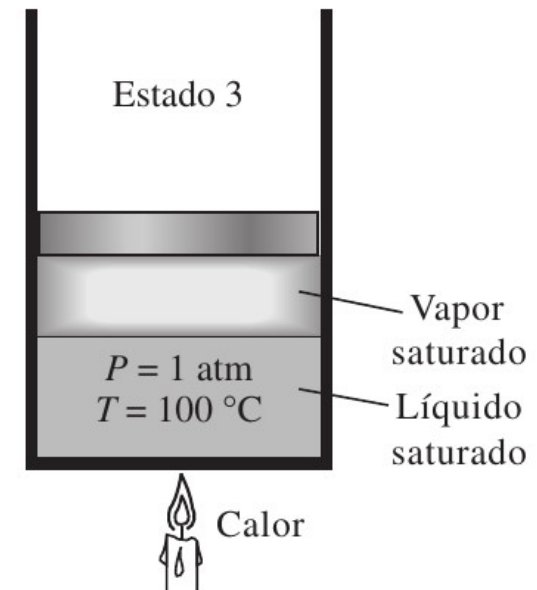
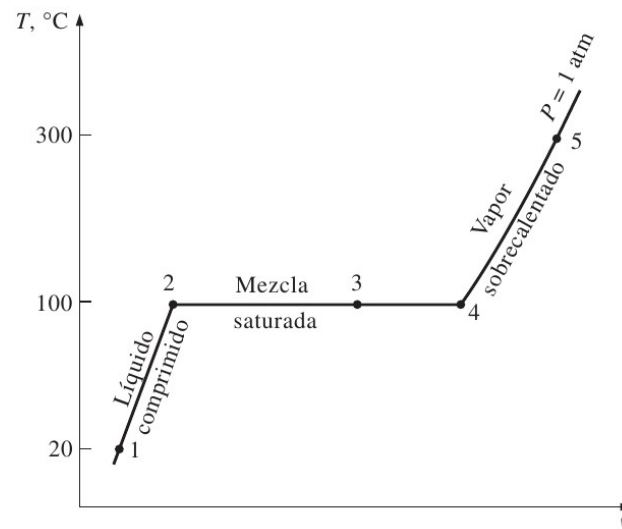
- Bibliografía recomendada:
 - Cengel (3.5).

Clase 11: Tablas termodinámicas (cont.)

- **Mezclas saturadas.**
- Vapores sobrecalentados y líquidos comprimidos.
- Valores de referencia.

Mezcla saturada de líquido-vapor

- Como hemos visto en clases pasadas, **durante** el proceso de **vaporación** existe una **mezcla saturada líquido-vapor**.
- Por lo tanto, para describir tal mezcla necesitamos saber la **proporción** de la mezcla **en cada fase**.



Calidad de una mezcla líquido-vapor

- La **calidad** o título corresponde a la cantidad de vapor con relación a la cantidad total de materia

$$x = \frac{m_{\text{vapor}}}{m_{\text{total}}},$$

donde

$$m_{\text{total}} = m_{\text{vapor}} + m_{\text{liquido}} = m_f + m_g.$$

- La calidad toma **valores entre cero y uno**, describiendo un **vapor húmedo**.
 - $x=1$: Vapor saturado.
 - $x=0$: Líquido saturado.
- El nombre calidad viene de la observación de que las máquinas de vapor funcionan mejor con mayor proporción de vapor que de líquido.

Calidad de una mezcla líquido-vapor

- Ahora examinemos el **volumen** de una mezcla:

Volumen total: $V = V_f + V_g$

$$\longrightarrow m_t \nu_{\text{prom}} = m_f \nu_f + m_g \nu_g$$

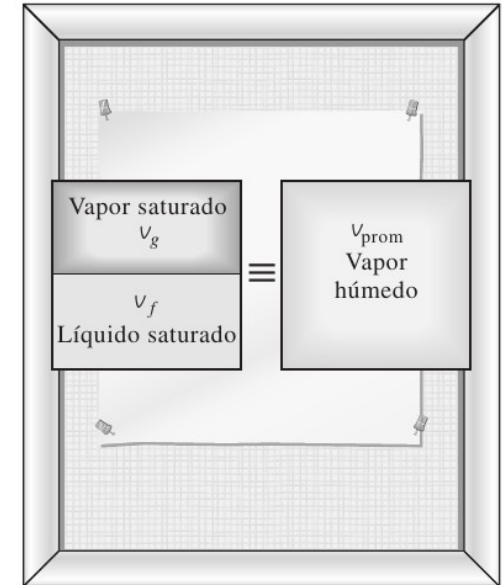
$$m_t \nu_{\text{prom}} = (m_t - m_g) \nu_f + m_g \nu_g$$

donde $m_t = m_{\text{total}}$. Al dividir por m_t ,

$$\longrightarrow \nu_{\text{prom}} = (1 - x) \nu_f + x \nu_g = \nu_f + x \nu_{fg},$$

donde $\nu_{fg} = \nu_g - \nu_f$. Al despejar la **calidad**:

$$x = \frac{\nu_{\text{prom}} - \nu_f}{\nu_{fg}}.$$



Calidad de una mezcla líquido-vapor

- La **calidad** se puede relacionar con las **distancias horizontales** en los diagramas $P-\nu$ y $T-\nu$.

$$x = \frac{\nu_{\text{prom}} - \nu_f}{\nu_{fg}}.$$

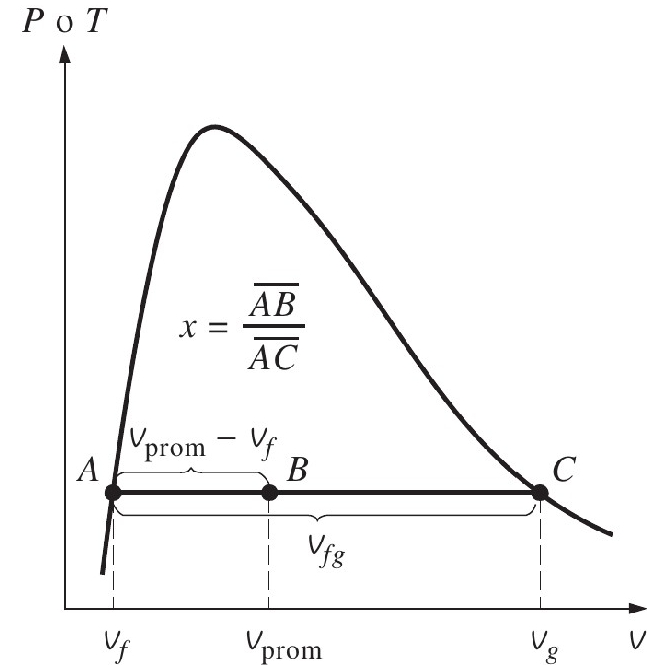
- Podemos escribir otras cantidades de la misma forma:

$$u_{\text{prom}} = u_f + xu_{fg}, \quad h_{\text{prom}} = h_f + xh_{fg}.$$

- De manera general, podemos escribir, para una propiedad y ,

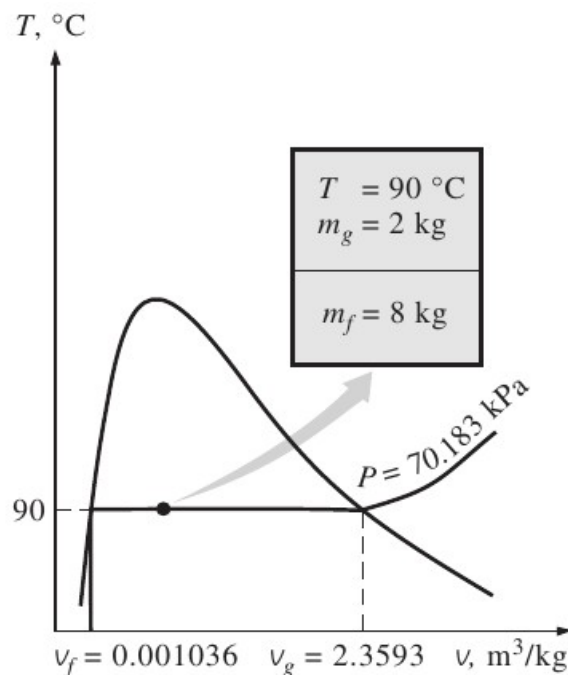
$$y_{\text{prom}} = y_f + xy_{fg},$$

donde los datos y_f e y_{fg} son obtenidos de las **tablas** para **líquidos y vapores saturados**.



Ejemplo 1:

- Un recipiente rígido contiene **10 kg** de **agua** a **90 °C**. Si **8 kg** del agua están en **forma líquida** y el **resto como vapor**, determine la **presión** y el **volumen** del recipiente.

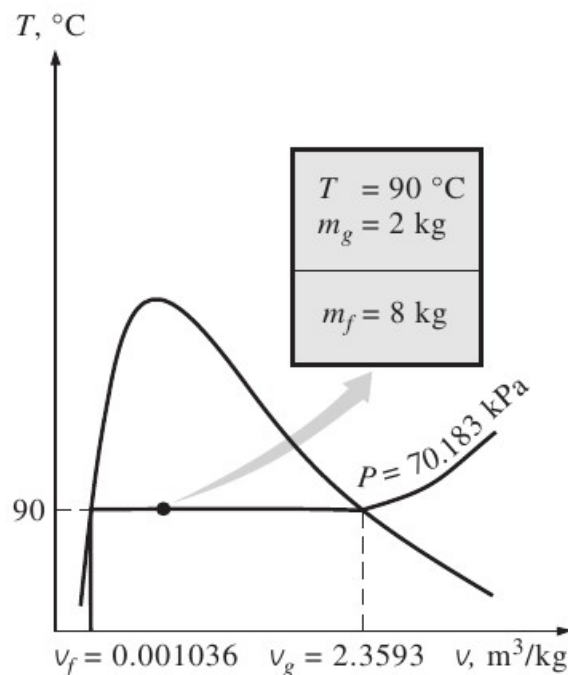


Ejemplo 1:

- Un recipiente rígido contiene **10 kg** de **agua** a **90 °C**. Si **8 kg** del agua están en **forma líquida** y el **resto como vapor**, determine la **presión** y el **volumen** del recipiente.

De la figura de inmediato tenemos que la presión es

$$P = 70.183 \text{ kPa}$$



Para calcular el volumen, primero notamos que:

$$\nu_f = 0.001036, \quad \nu_g = 2.3593.$$

Entonces:

$$V = m_f \nu_f + m_g \nu_g$$

$$= 8 \text{ kg } 0.001036 + 2 \text{ kg } 2.3593$$

$$\rightarrow V = 4.73 \text{ m}^3.$$

$$m_g = m_t - m_f$$

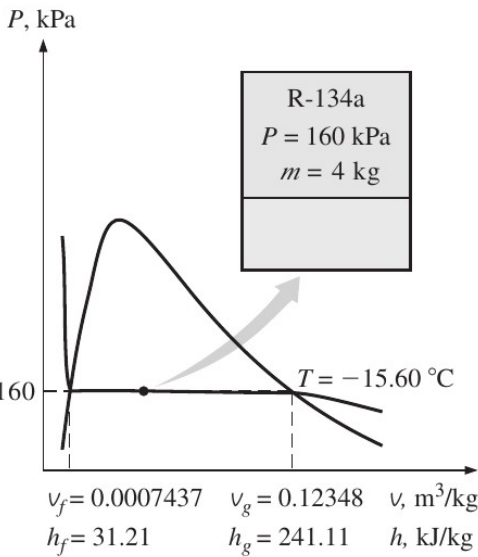
Tarea: Obtener el volumen utilizando calidad.

Ejemplo 2:

- Un recipiente de **80 L** contiene **4 kg** de “refrigerante 134a” a una **presión de 160 kPa**. Determine
 - La **temperatura**, la **calidad**, y la **entalpía** del refrigerante.
 - El **volumen** que ocupa la **fase de vapor**.

Refrigerante 134a saturado. Datos de presión

Pres. P_{sat} , kPa	Energía específica, kJ/kg				Energía interna, kJ/kg				Energía kJ/kg · K			
	Líquido		Vapor		Líquido		Vapor		Líquido		Vapor	
T_{sat} , °C	u_f	u_g	u_f	u_g	u_f	u_g	u_f	u_g	u_f	u_g	u_f	u_g
40	-36.99	0.000708	0.3111	3.786	205.32	209.12	3.841	223.93	227.79	0.0163	0.9407	0.9641
70	-18.07	0.000704	0.3005	7.600	202.00	210.80	7.700	220.00	229.70	0.0247	0.9275	0.9542
80	-16.63	0.000723	0.21263	14.31	199.37	218.69	14.37	228.05	233.00	0.0303	0.9419	0.9627
100	-10.07	0.000719	0.10564	17.31	197.90	215.19	17.32	225.10	228.66	0.0390	0.9390	0.9584
120	-2.24	0.000724	0.16232	22.40	195.11	212.51	22.49	214.48	226.97	0.0575	0.9303	0.94779
140	-18.07	0.000734	0.16514	26.97	192.57	209.21	26.97	211.90	223.91	0.1289	0.9189	0.9446
160	-16.63	0.000747	0.12248	31.09	190.27	207.35	31.21	209.90	221.11	0.1893	0.9148	0.94160
180	-12.23	0.000743	0.11051	35.80	188.10	205.79	35.87	207.90	219.66	0.2529	0.9105	0.93851
200	-10.09	0.000731	0.099667	39.28	186.21	204.48	39.43	206.03	218.46	0.3167	0.9010	0.93773
240	-4.36	0.000702	0.089097	44.46	182.47	201.14	44.66	202.62	214.78	0.3774	0.8964	0.93495
260	-1.25	0.000709	0.072502	49.97	179.90	200.46	50.18	199.34	213.52	0.3929	0.71861	0.93210
320	2.46	0.000777	0.048064	54.93	174.61	201.52	55.10	194.17	211.88	0.2147	0.71809	0.93006
360	5.82	0.000761	0.045738	59.44	172.94	200.28	59.72	194.28	210.81	0.2270	0.6966	0.93006
400	8.91	0.000767	0.051201	63.62	171.49	200.07	63.96	193.42	210.63	0.2474	0.67929	0.93091
450	12.46	0.000766	0.046515	68.45	168.64	207.00	68.80	188.71	207.33	0.2646	0.66009	0.93035
500	16.71	0.000801	0.041118	73.10	165.40	206.75	73.26	185.38	206.20	0.2802	0.64077	0.93000
550	19.17	0.000813	0.037106	77.32	163.00	206.70	77.48	183.00	206.20	0.2941	0.62161	0.92978
600	21.16	0.000819	0.034496	81.02	160.81	204.81	81.16	180.95	202.40	0.30799	0.61174	0.92977
650	24.00	0.000826	0.031646	85.72	158.48	204.20	85.86	178.51	202.77	0.32051	0.60109	0.92981
700	26.89	0.000831	0.027961	89.24	156.26	204.48	89.42	176.21	203.00	0.33230	0.58763	0.91994
750	29.90	0.000835	0.023731	91.70	154.08	204.67	92.22	173.88	203.20	0.34361	0.57367	0.91912
800	31.31	0.000848	0.020761	94.79	152.00	204.79	95.47	171.82	203.29	0.35404	0.56411	0.91810
850	33.41	0.000861	0.018406	97.67	149.98	204.70	98.64	169.17	203.11	0.36412	0.55109	0.91742
900	35.11	0.000880	0.016368	100.83	148.01	204.81	101.41	167.66	203.26	0.37377	0.54115	0.91692
950	37.19	0.000881	0.014148	104.10	146.10	204.79	104.11	165.44	203.15	0.38261	0.53251	0.91624
1000	39.37	0.000870	0.012011	106.45	144.23	204.68	107.32	163.67	203.09	0.39189	0.52388	0.91558
1050	41.29	0.000868	0.010171	108.10	142.11	204.51	109.77	161.80	202.87	0.40161	0.51583	0.91493
1100	42.86	0.000866	0.008547	109.54	139.87	204.27	112.32	160.00	202.52	0.41176	0.50719	0.91437
1150	44.07	0.000868	0.007122	110.61	137.60	203.87	114.01	158.10	202.00	0.42131	0.49781	0.91384
1200	45.87	0.000868	0.005909	111.34	135.40	203.47	115.81	156.10	201.37	0.43026	0.48765	0.91336
1250	47.44	0.000868	0.004908	111.79	133.21	203.11	117.79	154.10	200.69	0.43859	0.47679	0.91284
1300	47.98	0.000868	0.004096	111.98	131.07	202.79	119.80	152.10	200.00	0.44631	0.46524	0.91236
1350	47.18	0.000868	0.003427	111.94	129.00	202.50	121.80	150.10	199.29	0.45351	0.45310	0.91184
1400	46.16	0.000868	0.002875	111.64	127.00	202.20	123.80	148.10	198.50	0.46019	0.44049	0.91136



Ejemplo 2:

- Un recipiente de **80 L** contiene **4 kg** de “refrigerante 134a” a una **presión de 160 kPa**. Determine
 - La **temperatura**, la **calidad**, y la **entalpía** del refrigerante.

		Volumen específico, m³/kg				Entalpía, kJ/kg	
		Líquido		Vapor			
Pres., P kPa	Temp. sat., T _{sat} °C	Líquido, v _f	Vapor, v _g	Líquido, h _f	Vapor, h _g	Evap., h _{fg}	Vapor, h _g
160	-15.60	0.0007437	0.12348	31.21	241.11	209.90	241.11

Primero verifiquemos que tenemos una mezcla saturada. El Volumen específico es:

$$\nu = \frac{V}{m} = \frac{0.08 \text{ m}^3}{4 \text{ kg}} = 0.02 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

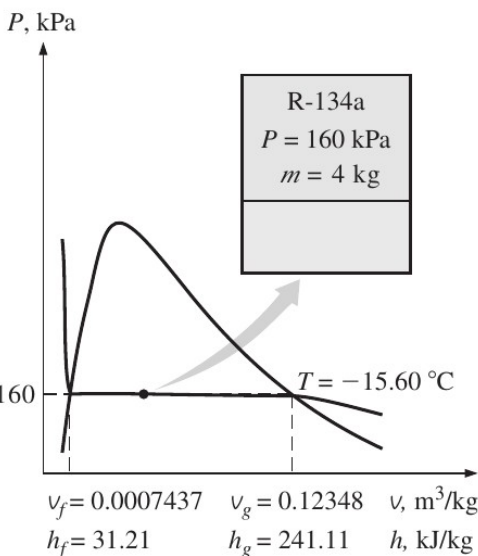
Por otra parte, de la tabla y figura tenemos que:

$$\nu_f = 0.0007437 \text{ m}^3/\text{kg}, \quad \nu_g = 0.12348 \text{ m}^3/\text{kg} \quad \longrightarrow \quad \nu_f < \nu < \nu_g.$$

Sí es una mezcla saturada

Por tanto, de la tabla y figura:

$$T = -15.6^\circ\text{C}$$



Ejemplo 2:

- Un recipiente de **80 L** contiene **4 kg** de “refrigerante 134a” a una **presión de 160 kPa**. Determine
 - La **temperatura**, la **calidad**, y la **entalpía** del refrigerante.

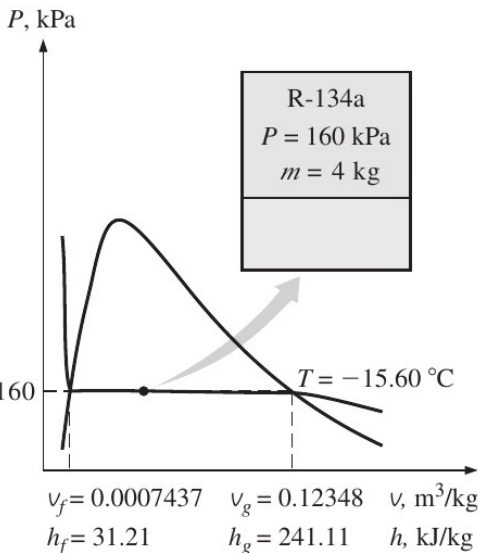
Pres., <i>P</i> kPa	Temp. sat., <i>T</i> _{sat} °C	Volumen específico, <i>m</i> ³ /kg		Entalpía, kJ/kg		
		Líqu. sat., <i>v</i> _f	Vapor sat., <i>v</i> _g	Líqu. sat., <i>h</i> _f	Evap., <i>h</i> _{fg}	Vapor sat., <i>h</i> _g
160	-15.60	0.0007437	0.12348	31.21	209.90	241.11

Ahora calculamos la calidad:

$$x = \frac{v_g}{v_t} = \frac{v - v_f}{v_g - v_f} = \frac{0.02 - 0.0007437}{0.12348 - 0.0007437}$$

→

$x = 0.157$



Ejemplo 2:

- Un recipiente de **80 L** contiene **4 kg** de “refrigerante 134a” a una **presión de 160 kPa**. Determine

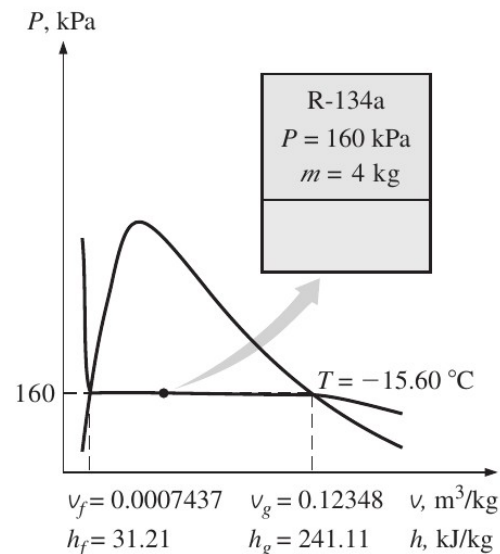
→ La **temperatura**, la **calidad**, y la **entalpía** del refrigerante.

Pres., P kPa	Temp. sat., T_{sat} °C	Volumen específico, m^3/kg		Entalpía, kJ/kg		
		Líqu. sat., ν_f	Vapor sat., ν_g	Líqu. sat., h_f	Evap., h_{fg}	Vapor sat., h_g
160	-15.60	0.0007437	0.12348	31.21	209.90	241.11

Finalmente, para calcular la entalpía recordamos que:

$$h = h_f + x h_{fg} = (31.21 + 0.157 \times 209.9) \text{ kJ/kg}$$

$$\longrightarrow h = 64.2 \text{ kJ/kg}$$



Ejemplo 2:

- Un recipiente de **80 L** contiene **4 kg** de “refrigerante 134a” a una **presión de 160 kPa**. Determine

→ El volumen que ocupa la fase de vapor.

Pres., <i>P</i> kPa	Temp. sat., <i>T</i> _{sat} °C	Volumen específico, <i>m</i> ³ /kg		Entalpía, kJ/kg		
		Líqu. sat., <i>v</i> _f	Vapor sat., <i>v</i> _g	Líqu. sat., <i>h</i> _f	Evap., <i>h</i> _{fg}	Vapor sat., <i>h</i> _g
160	-15.60	0.0007437	0.12348	31.21	209.90	241.11

Ya tenemos el volumen específico, calidad, y masa total. Con esto podemos calcular el volumen del vapor.

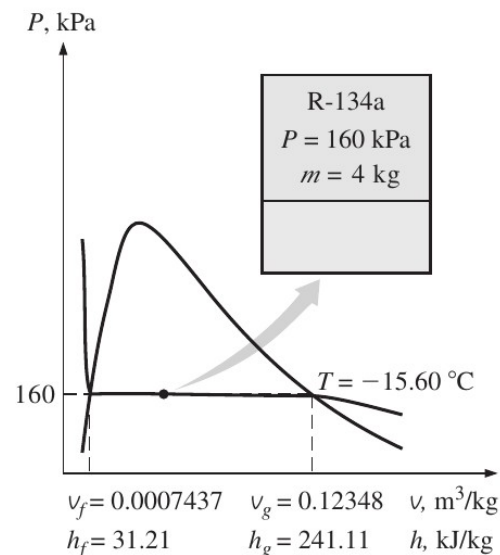
Primero, la masa del vapor:

$$m_g = x m_t = 0.157 \times 4 \text{ kg} = 0.628 \text{ kg}$$

Entonces, el volumen del vapor:

$$V_g = m_g v_g = 0.628 \text{ kg } 0.12346 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\longrightarrow V_g = 0.077 \text{ m}^3$$



Clase 11: Tablas termodinámicas (cont.)

- Mezclas saturadas.
- **Vapores sobrecalentados y líquidos comprimidos.**
- Valores de referencia.

Vapor sobrecalentado

- En la región sobrecalentada existe **una sola fase**.
- La presión y temperatura ya no son dependientes.
 - Las **propiedades se tabulan** para una **presión o temperatura determinada**.

$T, ^\circ\text{C}$	v	u	h
	m^3/kg	kJ/kg	kJ/kg
$P = 0.1 \text{ MPa} (99.61 ^\circ\text{C})$			
Sat.	1.6941	2 505.6	2 675.0
100	1.6959	2 506.2	2 675.8
150	1.9367	2 582.9	2 776.6
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
1 300	7.2605	4 687.2	5 413.3
$P = 0.5 \text{ MPa} (151.83 ^\circ\text{C})$			
Sat.	0.37483	2 560.7	2 748.1
200	0.42503	2 643.3	2 855.8
250	0.47443	2 723.8	2 961.0

Vapor sobrecalentado

- En comparación con un vapor saturado, un vapor sobrecalentado tiene:
 - Menor presión $P < P_{\text{sat}}$ a temperatura fija.
 - Mayor temperatura $T > T_{\text{sat}}$ a presión fija.
 - Mayor volumen específico $\nu > \nu_{\text{sat}}$ a temperatura o presión fija.
 - Mayor energía interna $u > u_{\text{sat}}$ a temperatura o presión fija.
 - Mayor entalpía $h > h_{\text{sat}}$ a temperatura o presión fija.

Líquido comprimido

- Las tablas para líquidos comprimidos son similares a las de vapores sobrecalentados debido a que, nuevamente, la **temperatura y presión no son dependientes**.
- Estas tablas no son muy comunes.
 - La **variación de las propiedades con cambios de presión es muy pequeña**.
- Por lo anterior, podemos **aproximar las propiedades** de un **líquido comprimido** por las de un **líquido saturado** a la **misma temperatura**:

$$\nu_{\text{compr.},T} \approx \nu_{\text{sat.},T}, \quad h_{\text{comp.},T} \approx h_{\text{sat.},T}, \quad u_{\text{comp.},T} \approx u_{\text{sat.},T}.$$

donde $f_{\text{sat.},T}$ es el valor de la propiedad f saturada a una temperatura T .

Líquido comprimido

- La **excepción a la aproximación** anterior es la **entalpía**, ya que tiene una dependencia mayor con la presión.
- Sin embargo, podemos usar la siguiente aproximación:

$$h_{\text{compr.},T} \approx h_{\text{sat.},T} + \nu_{\text{sat.},T} (P - P_{\text{sat.},T}) .$$

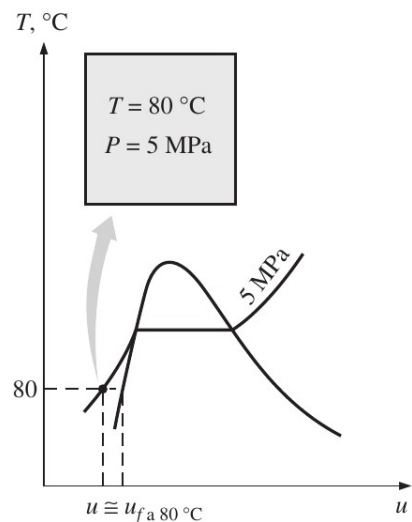
- Sin embargo, para obtener valores realistas de la entalpía es mejor consultar una tabla.

Líquido comprimido

- En comparación con un líquido saturado, un líquido comprimido tiene:
 - **Mayor presión** $P > P_{\text{sat}}$ a temperatura fija.
 - **Menor temperatura** $T < T_{\text{sat}}$ a presión fija.
 - **Menor volumen específico** $\nu < \nu_{\text{sat}}$ a temperatura o presión fija.
 - **Menor energía interna** $u < u_{\text{sat}}$ a temperatura o presión fija.
 - **Menor entalpía** $h < h_{\text{sat}}$ a temperatura o presión fija.
- Sin embargo, como se indicó, sólo la entalpía muestra cambios significativos con respecto a sus valores saturados.

Ejemplo 3:

- Determine la **energía interna** del **agua líquida comprimida** a **80 °C** y **5 MPa** con
 - Datos de la tabla para líquido comprimido.
 - Datos para líquido saturado. ¿Cuál es el error?



Ejemplo 3:

- Determine la **energía interna** del **agua líquida comprimida** a **80 °C** y **5 MPa** con

→ Datos de la tabla para líquido comprimido.

Agua líquida comprimida

T °C	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K
14	0.0010002	14.02	14.02	0.0000
16	0.0010004	16.04	16.04	0.0000
18	0.0010006	18.06	18.06	0.0000
20	0.0010008	20.08	20.08	0.0000
22	0.0010010	22.10	22.10	0.0000
24	0.0010012	24.12	24.12	0.0000
26	0.0010014	26.14	26.14	0.0000
28	0.0010016	28.16	28.16	0.0000
30	0.0010018	30.18	30.18	0.0000
32	0.0010020	32.20	32.20	0.0000
34	0.0010022	34.22	34.22	0.0000
36	0.0010024	36.24	36.24	0.0000
38	0.0010026	38.26	38.26	0.0000
40	0.0010028	40.28	40.28	0.0000
42	0.0010030	42.30	42.30	0.0000
44	0.0010032	44.32	44.32	0.0000
46	0.0010034	46.34	46.34	0.0000
48	0.0010036	48.36	48.36	0.0000
50	0.0010038	50.38	50.38	0.0000
52	0.0010040	52.40	52.40	0.0000
54	0.0010042	54.42	54.42	0.0000
56	0.0010044	56.44	56.44	0.0000
58	0.0010046	58.46	58.46	0.0000
60	0.0010048	60.48	60.48	0.0000
62	0.0010050	62.50	62.50	0.0000
64	0.0010052	64.52	64.52	0.0000
66	0.0010054	66.54	66.54	0.0000
68	0.0010056	68.56	68.56	0.0000
70	0.0010058	70.58	70.58	0.0000
72	0.0010060	72.60	72.60	0.0000
74	0.0010062	74.62	74.62	0.0000
76	0.0010064	76.64	76.64	0.0000
78	0.0010066	78.66	78.66	0.0000
80	0.0010068	80.68	80.68	0.0000
82	0.0010070	82.70	82.70	0.0000
84	0.0010072	84.72	84.72	0.0000
86	0.0010074	86.74	86.74	0.0000
88	0.0010076	88.76	88.76	0.0000
90	0.0010078	90.78	90.78	0.0000
92	0.0010080	92.80	92.80	0.0000
94	0.0010082	94.82	94.82	0.0000
96	0.0010084	96.84	96.84	0.0000
98	0.0010086	98.86	98.86	0.0000
100	0.0010088	100.88	100.88	0.0000
102	0.0010090	102.90	102.90	0.0000
104	0.0010092	104.92	104.92	0.0000
106	0.0010094	106.94	106.94	0.0000
108	0.0010096	108.96	108.96	0.0000
110	0.0010098	110.98	110.98	0.0000
112	0.0010100	112.00	112.00	0.0000
114	0.0010102	114.02	114.02	0.0000
116	0.0010104	116.04	116.04	0.0000
118	0.0010106	118.06	118.06	0.0000
120	0.0010108	120.08	120.08	0.0000
122	0.0010110	122.10	122.10	0.0000
124	0.0010112	124.12	124.12	0.0000
126	0.0010114	126.14	126.14	0.0000
128	0.0010116	128.16	128.16	0.0000
130	0.0010118	130.18	130.18	0.0000
132	0.0010120	132.20	132.20	0.0000
134	0.0010122	134.22	134.22	0.0000
136	0.0010124	136.24	136.24	0.0000
138	0.0010126	138.26	138.26	0.0000
140	0.0010128	140.28	140.28	0.0000
142	0.0010130	142.30	142.30	0.0000
144	0.0010132	144.32	144.32	0.0000
146	0.0010134	146.34	146.34	0.0000
148	0.0010136	148.36	148.36	0.0000
150	0.0010138	150.38	150.38	0.0000
152	0.0010140	152.40	152.40	0.0000
154	0.0010142	154.42	154.42	0.0000
156	0.0010144	156.44	156.44	0.0000
158	0.0010146	158.46	158.46	0.0000
160	0.0010148	160.48	160.48	0.0000
162	0.0010150	162.50	162.50	0.0000
164	0.0010152	164.52	164.52	0.0000
166	0.0010154	166.54	166.54	0.0000
168	0.0010156	168.56	168.56	0.0000
170	0.0010158	170.58	170.58	0.0000
172	0.0010160	172.60	172.60	0.0000
174	0.0010162	174.62	174.62	0.0000
176	0.0010164	176.64	176.64	0.0000
178	0.0010166	178.66	178.66	0.0000
180	0.0010168	180.68	180.68	0.0000
182	0.0010170	182.70	182.70	0.0000
184	0.0010172	184.72	184.72	0.0000
186	0.0010174	186.74	186.74	0.0000
188	0.0010176	188.76	188.76	0.0000
190	0.0010178	190.78	190.78	0.0000
192	0.0010180	192.80	192.80	0.0000
194	0.0010182	194.82	194.82	0.0000
196	0.0010184	196.84	196.84	0.0000
198	0.0010186	198.86	198.86	0.0000
200	0.0010188	200.88	200.88	0.0000
202	0.0010190	202.90	202.90	0.0000
204	0.0010192	204.92	204.92	0.0000
206	0.0010194	206.94	206.94	0.0000
208	0.0010196	208.96	208.96	0.0000
210	0.0010198	210.98	210.98	0.0000
212	0.0010200	212.00	212.00	0.0000
214	0.0010202	214.02	214.02	0.0000
216	0.0010204	216.04	216.04	0.0000
218	0.0010206	218.06	218.06	0.0000
220	0.0010208	220.08	220.08	0.0000
222	0.0010210	222.10	222.10	0.0000
224	0.0010212	224.12	224.12	0.0000
226	0.0010214	226.14	226.14	0.0000
228	0.0010216	228.16	228.16	0.0000
230	0.0010218	230.18	230.18	0.0000
232	0.0010220	232.20	232.20	0.0000
234	0.0010222	234.22	234.22	0.0000
236	0.0010224	236.24	236.24	0.0000
238	0.0010226	238.26	238.26	0.0000
240	0.0010228	240.28	240.28	0.0000
242	0.0010230	242.30	242.30	0.0000
244	0.0010232	244.32	244.32	0.0000
246	0.0010234	246.34	246.34	0.0000
248	0.0010236	248.36	248.36	0.0000
250	0.0010238	250.38	250.38	0.0000
252	0.0010240	252.40	252.40	0.0000
254	0.0010242	254.42	254.42	0.0000
256	0.0010244	256.44	256.44	0.0000
258	0.0010246	258.46	258.46	0.0000
260	0.0010248	260.48	260.48	0.0000
262	0.0010250	262.50	262.50	0.0000
264	0.0010252	264.52	264.52	0.0000
266	0.0010254	266.54	266.54	0.0000
268	0.0010256	268.56	268.56	0.0000
270	0.0010258	270.58	270.58	0.0000
272	0.0010260	272.60	272.60	0.0000
274	0.0010262	274.62	274.62	0.0000
276	0.0010264	276.64	276.64	0.0000
278	0.0010266	278.66	278.66	0.0000
280	0.0010268	280.68	280.68	0.0000
282	0.0010270	282.70	282.70	0.0000
284	0.0010272	284.72	284.72	0.0000
286	0.0010274	286.74	286.74	0.0000
288	0.0010276	288.76	288.76	0.0000
290	0.0010278	290.78	290.78	0.0000
292	0.0010280	292.80	292.80	0.0000
294	0.0010282	294.82	294.82	0.0000
296	0.0010284	296.84	296.84	0.0000
298	0.0010286	298.86	298.86	0.0000
300	0.0010288	300.88	300.88	0.0000
302	0.0010290	302.90	302.90	0.0000
304	0.0010292	304.92	304.92	0.0000
306	0.0010294	306.94	306.94	0.0000
308	0.0010296	308.96	308.96	0.0000
310	0.0010298	310.98	310.98	0.0000
312	0.0010300	312.00	312.00	0.0000
314	0.0010302	314.02	314.02	0.0000
316	0.0010304	316.04	316.04	0.0000
318	0.0010306	318.06	318.06	0.0000
320	0.0010308	320.08	320.08	0.0000
322	0.0010310	322.10	322.10	0.0000
324	0.0010312	324.12	324.12	0.0000
326	0.0010314	326.14	326.14	0.0000
328	0.0010316	328.16	328.16	0.0000
330	0.0010318	330.18	330.18	0.0000
332	0.0010320	332.20	332.20	0.0000
334	0.0010322	334.22	334.22	0.0000
336	0.0010324	336.24	336.24	0.0000
338	0.0010326	338.26	338.26	0.0000
340	0.0010328	340.28	340.28	0.0000
342	0.0010330	342.30	342.30	0.0000
344	0.0010332	344.32	344.32	0.0000
346	0.0010334	346.34	346.34	0.0000
348	0.0010336	348.36	348.36	0.0000
350	0.0010338	350.38	350.38	0.0000
352	0.0010340	352.40	352.40	0.0000
354	0.0010342	354.42	354.42	0.0000
356	0.0010344	356.44	356.44	0.0000
358	0.0010346	358.46	358.46	0.0000
360	0.0010348	360.48	360.48	0.0000
362	0.0010350	362.50	362.50	0.0000
364	0.0010352	364.52	364.52	0.0000
366	0.0010354	366.54	366.54	0.0000
368	0.0010356	368.56	368.56	0.0000
370	0.0010358	370.58	370.58	0.0000
372	0.0010360	372.60	372.60	0.0000
374	0.0010362	374.62	374.62	0.0000
376	0.0010364	376.64	376.64	0.0000
378	0.0010366	378.66	378.66	0.0000
380	0.0010368	380.68	380.68	0.0000
382	0.0010370	382.70	382.70	0.0000
384	0.0010372	384.72	384.72	0.0000
386	0.0010374	386.74	386.74	0.0000
388	0.0010376	388.76	388.76	0.0000
390	0.0010378	390.78	390.78	0.0000
392	0.0010380	392.80	392.80	0.0000
394	0.0010382	394.82	394.82	0.0000
396	0.0010384	396.84	396.84	0.0000
398	0.0010386	398.86	398.86	0.0000
400	0.0010388	400.88	400.88	0.0000
402	0.0010390	402.90	402.90	0.0000
404	0.0010392	404.92	404.92	0.0000
406	0.0010394	406.94	406.94	0.0000
408	0.0010396	408.96	408.96	0.0000
410	0.0010398	410.98	410.98	0.0000
412	0.0010400	412.00	412.00	0.0000
414	0.0010402	414.02	414.02	0.0000
416	0.0010404	416.04	416.04	0.0000
418	0.0010406	418.06	418.06	0.0000
420	0.0010408	420.08	420.08	0

Ejemplo 3:

- Determine la **energía interna** del **agua líquida comprimida** a **80 °C** y **5 MPa** con

→ Datos para líquido saturado. ¿Cuál es el error?

Agua saturada. Tabla de presiones

Presión MPa	Propiedades del líquido saturado				Propiedades del vapor saturado			
	Temperatura °C	Densidad kg/m³	Energía interna kJ/kg	Entalpía kJ/kg	Temperatura °C	Densidad kg/m³	Energía interna kJ/kg	Entalpía kJ/kg
0.01	6.97	999.8	0.01	0.01	170.4	0.0008	2391.8	2600.7
0.1	99.6	958.3	418.9	431.0	179.9	0.0010	2402.3	2609.7
1	183.0	958.3	761.6	781.1	183.0	0.0010	2402.3	2609.7
10	311.0	958.3	1114.7	1151.9	311.0	0.0010	2402.3	2609.7
100	504.0	958.3	1676.3	1763.5	504.0	0.0010	2402.3	2609.7
1000	800.0	958.3	2335.7	2454.1	800.0	0.0010	2402.3	2609.7

Agua saturada. Tabla de presiones

Energía interna,
kJ/kg

Temp., T °C	Líquido saturado, u _f	Evaporación, u _{fg}	Vapor saturado, u _g
80	334.97	2146.6	2481.6

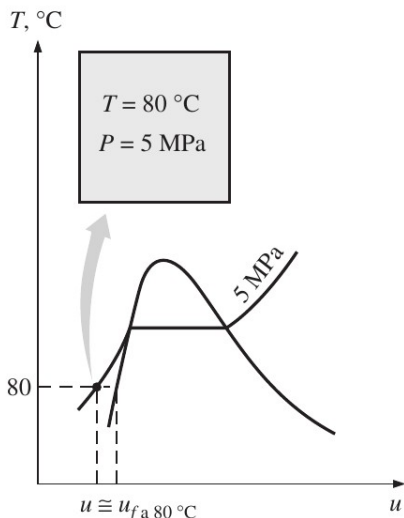
De la tabla de líquido saturado:

$$u_{\text{sat.}} = 334.97 \text{ kJ/kg}$$

Para calcular el error comparamos el valor real con el saturado:

$$\text{error} = \frac{u_{\text{sat.}} - u}{u} \times 100 = \frac{334.97 - 333.82}{333.82} \times 100$$

$$\text{error} = 0.34\%$$



Clase 11: Tablas termodinámicas (cont.)

- Mezclas saturadas.
- Vapores sobrecalentados y líquidos comprimidos.
- **Valores de referencia.**

Valores de referencia

- Los valores de u , h y s no se pueden medir directamente.
- En la práctica **se miden los cambios** de estas propiedades.
- Por tanto, es necesario fijar **valores de referencia**. Es decir, **asignar un valor cero**.
- Ejemplo: Para el agua se suele tomar el líquido saturado a 0.01°C como valor de referencia.
- En ocasiones, tablas pueden mostrar valores distintos debido a que usan distintos valores de referencia.

Ejemplo 4:

- Para el agua, determine las **propiedades faltantes** y las descripciones de **fase** en la siguiente tabla:

	$T, \text{ }^{\circ}\text{C}$	$P, \text{ kPa}$	$u, \text{ kJ/kg}$	x	Descripción de fase
a)		200		0.6	
b)	125		1 600		

Ejemplo 4:

- Para el agua, determine las **propiedades faltantes** y las descripciones de **fase** en la siguiente tabla:

	$T, ^\circ\text{C}$	P, kPa	$u, \text{kJ/kg}$	x	Descripción de fase
a)		200		0.6	
b)	125		1 600		

- a) Primero, debido a que la calidad es distinta a 0 y 1, entonces tenemos una **mezcla saturada**.

Ahora vamos a la tabla de agua saturada.

Agua saturada. Tabla de presiones

Pres., $P \text{ kPa}$	Temp. sat., $T_{\text{sat}} ^\circ\text{C}$	Energía interna, kJ/kg		
		Líqu. sat., u_f	Evap., u_{fg}	Vapor sat., u_g
200	120.21	504.50	2024.6	2529.1

De la tabla, la temperatura:

$$T = 120.21^\circ\text{C}$$

La energía interna:

$$u = u_f + xu_{fg}$$

$$= (504.5 + 0.6 \times 2024.6) \text{ kJ/kg}$$

$$\longrightarrow u = 1719.26 \text{ kJ/kg}$$

Ejemplo 4:

- Para el agua, determine las **propiedades faltantes** y las descripciones de **fase** en la siguiente tabla:

	$T, ^\circ\text{C}$	P, kPa	$u, \text{kJ/kg}$	x	Descripción de fase
a)	120.21	200	1719.26	0.6	Mezcla saturada
b)	125		1 600		

- a) Primero, debido a que la calidad es distinta a 0 y 1, entonces tenemos una **mezcla saturada**.

Ahora vamos a la tabla de agua saturada.

Agua saturada. Tabla de presiones

Pres., $P \text{ kPa}$	Temp. sat., $T_{\text{sat}} ^\circ\text{C}$	Energía interna, kJ/kg		
		Líqu. sat., u_f	Evap., u_{fg}	Vapor sat., u_g
200	120.21	504.50	2024.6	2529.1

De la tabla, la temperatura:

$$T = 120.21^\circ\text{C}$$

La energía interna:

$$u = u_f + xu_{fg}$$

$$= (504.5 + 0.6 \times 2024.6) \text{ kJ/kg}$$

$$\longrightarrow u = 1719.26 \text{ kJ/kg}$$

Ejemplo 4:

- Para el agua, determine las **propiedades faltantes** y las descripciones de **fase** en la siguiente tabla:

	$T, ^\circ\text{C}$	P, kPa	$u, \text{kJ/kg}$	x	Descripción de fase
a)	120.21	200	1719.26	0.6	Mezcla saturada
b)	125		1 600		

- b) **En principio** desconocemos la fase, y por tanto **no sabemos qué tabla utilizar**.

Para identificar la fase, recordamos que, con temperatura constante, la energía interna aumenta al pasar de líquido, a mezcla, a gas.

Al revisar las tablas para $T=125^\circ\text{C}$ nos damos cuenta que tenemos una **mezcla**, ya que:

$$u_f < u < u_g$$

$$u_f = 524.82 \text{ kJ/kg}, \quad u_g = 2534.3 \text{ kJ/kg}.$$

Agua saturada. Tabla de temperaturas

Temp., $T ^\circ\text{C}$	Pres. sat., $P_{\text{sat}} \text{ kPa}$	Energía interna, kJ/kg		
		Líqu. sat., u_f	Evap., u_{fg}	Vapor sat., u_g
125	232.23	524.83	2009.5	2534.3

De la tabla, la presión:

$$P = 232.23 \text{ kPa}$$

Finalmente, la calidad:

$$u = u_f + xu_{fg} \quad \longrightarrow \quad x = \frac{u - u_f}{u_{fg}}$$

$$x = \frac{1600 - 524.83}{2009.5} \quad \longrightarrow \quad x = 0.535$$

Ejemplo 4:

- Para el agua, determine las **propiedades faltantes** y las descripciones de **fase** en la siguiente tabla:

	$T, \text{ } ^\circ\text{C}$	$P, \text{ kPa}$	$u, \text{ kJ/kg}$	x	Descripción de fase
a)	120.21	200	1719.26	0.6	Mezcla saturada
b)	125	232.23	1 600	0.535	Mezcla saturada

- b) **En principio** desconocemos la fase, y por tanto **no sabemos qué tabla utilizar**.

Para identificar la fase, recordamos que, con temperatura constante, la energía interna aumenta al pasar de líquido, a mezcla, a gas.

Al revisar las tablas para $T=125^\circ\text{C}$ nos damos cuenta que tenemos una **mezcla**, ya que:

$$u_f < u < u_g$$

$$u_f = 524.82 \text{ kJ/kg}, \quad u_g = 2534.3 \text{ kJ/kg}.$$

Agua saturada. Tabla de temperaturas

Temp., $T \text{ } ^\circ\text{C}$	Pres. sat., $P_{\text{sat}} \text{ kPa}$	Energía interna, kJ/kg		
		Líqu. sat., u_f	Evap., u_{fg}	Vapor sat., u_g
125	232.23	524.83	2009.5	2534.3

De la tabla, la presión:

$$P = 232.23 \text{ kPa}$$

Finalmente, la calidad:

$$u = u_f + xu_{fg} \quad \longrightarrow \quad x = \frac{u - u_f}{u_{fg}}$$

$$x = \frac{1600 - 524.83}{2009.5} \quad \longrightarrow \quad x = 0.535$$

Resumen

- Hemos definido la **calidad** para mezclas saturadas.
- Revisamos el uso de tablas para **gases sobrecalentados y líquidos comprimidos**.
- Próxima clase:
 - Gases ideales.