

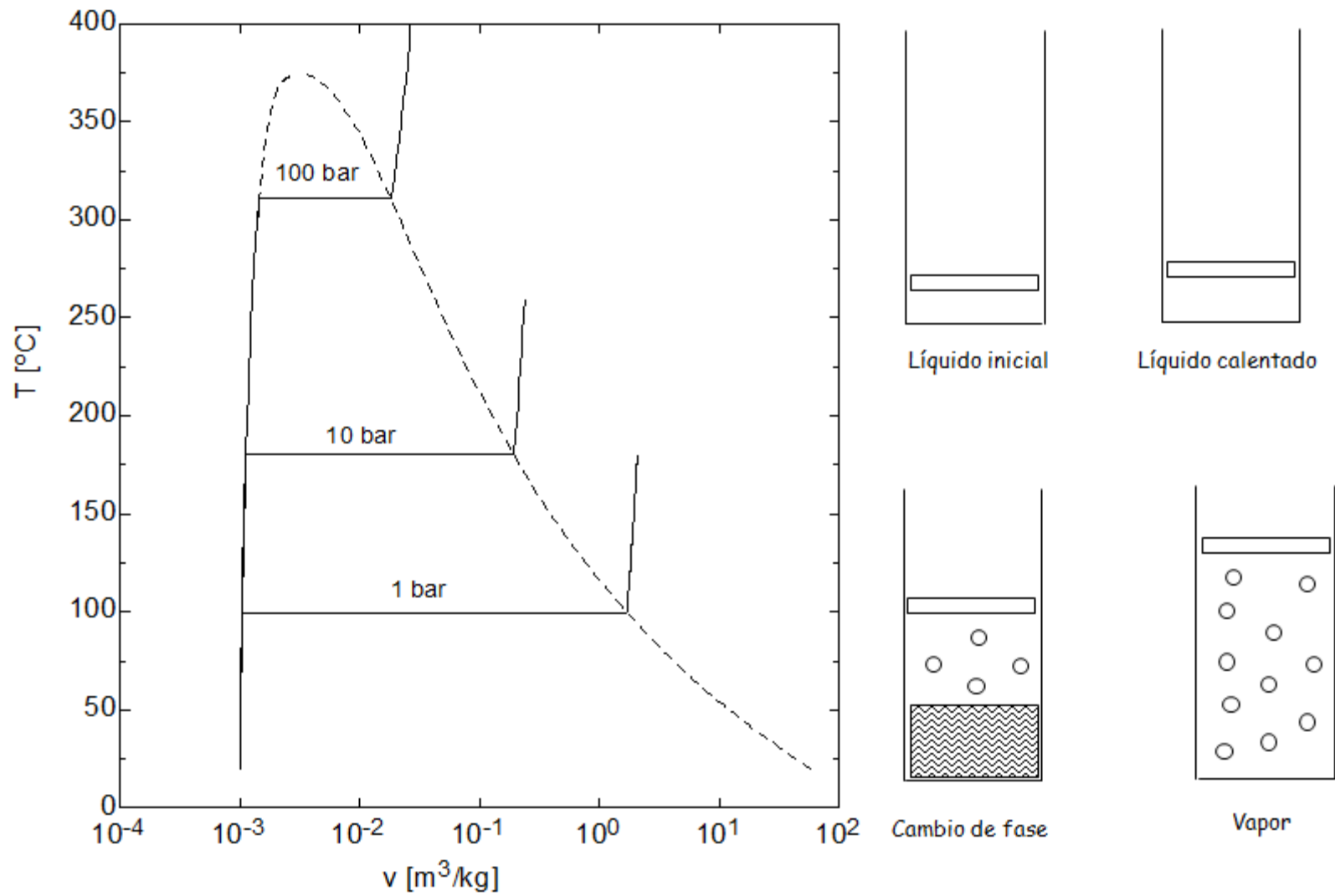
Tema 2.- PROPIEDADES DE LAS SUSTANCIAS PURAS

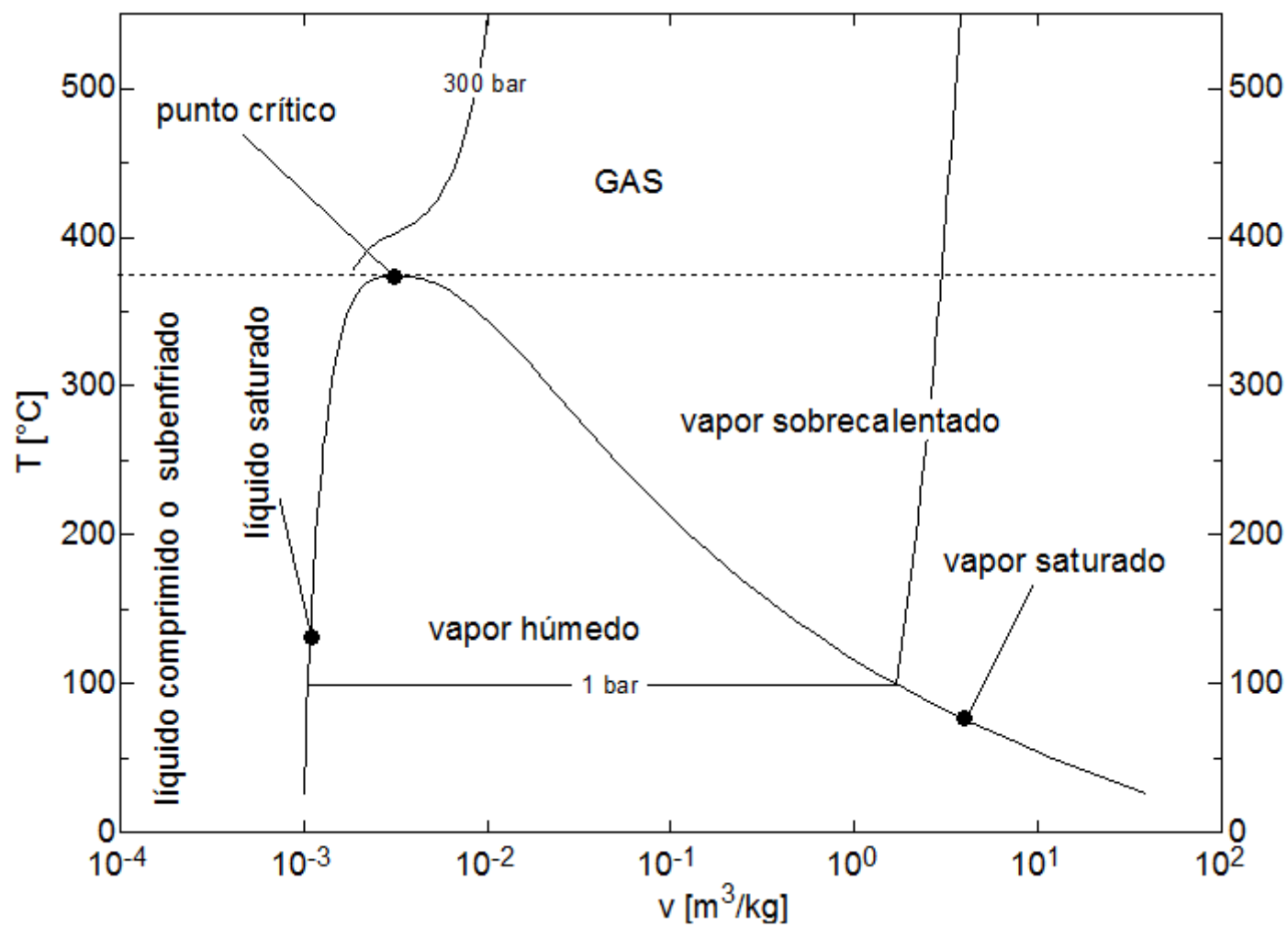
2.1. INTRODUCCIÓN

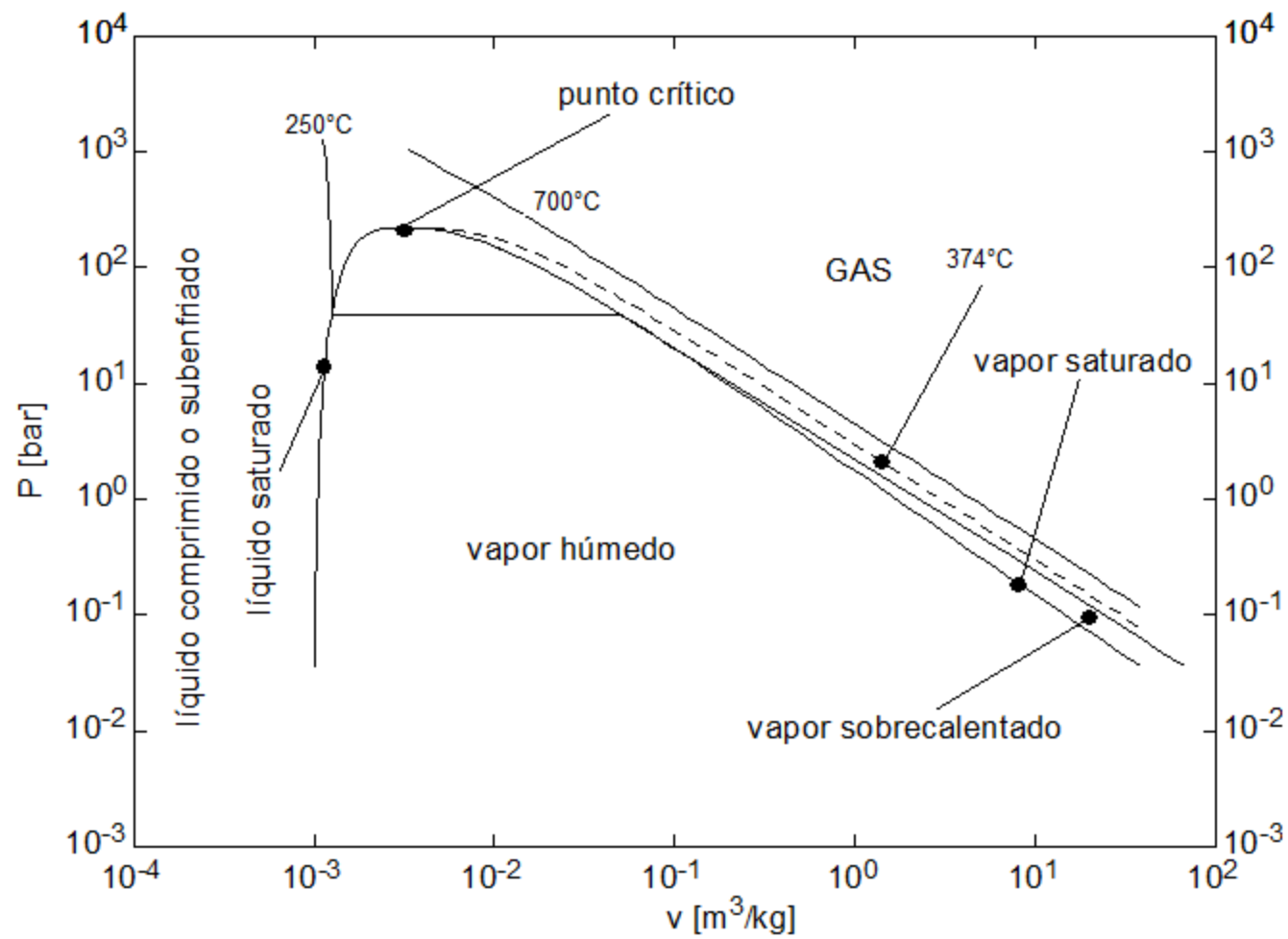
- La aplicación del Primer y Segundo Principio se ha de hacer sobre sustancias
- En este tema:
 - variables de estado “de medida”: p , v , T
 - funciones de estado para el Primer Principio: u , h
- En el tema 6: entropía (s)
- Descripción fenomenológica de los cambios de fase
- Descripción del comportamiento de una sustancia:
 - exacta: sustancia pura (tablas de 2 variables y diagramas)
 - aproximada: aproximación numérica a ciertas regiones de las tablas
 - modelos: ecuaciones basadas en un modelo microscópico

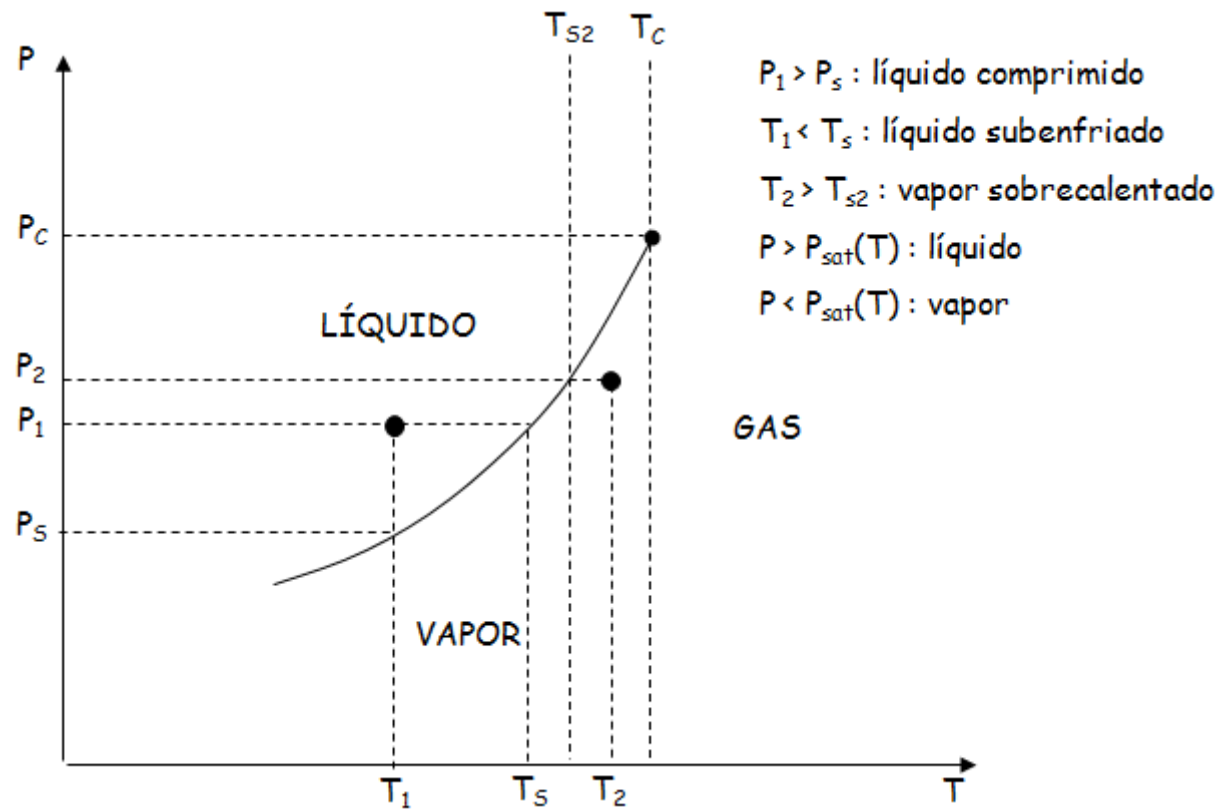
2.2. FASE Y SUSTANCIA PURA

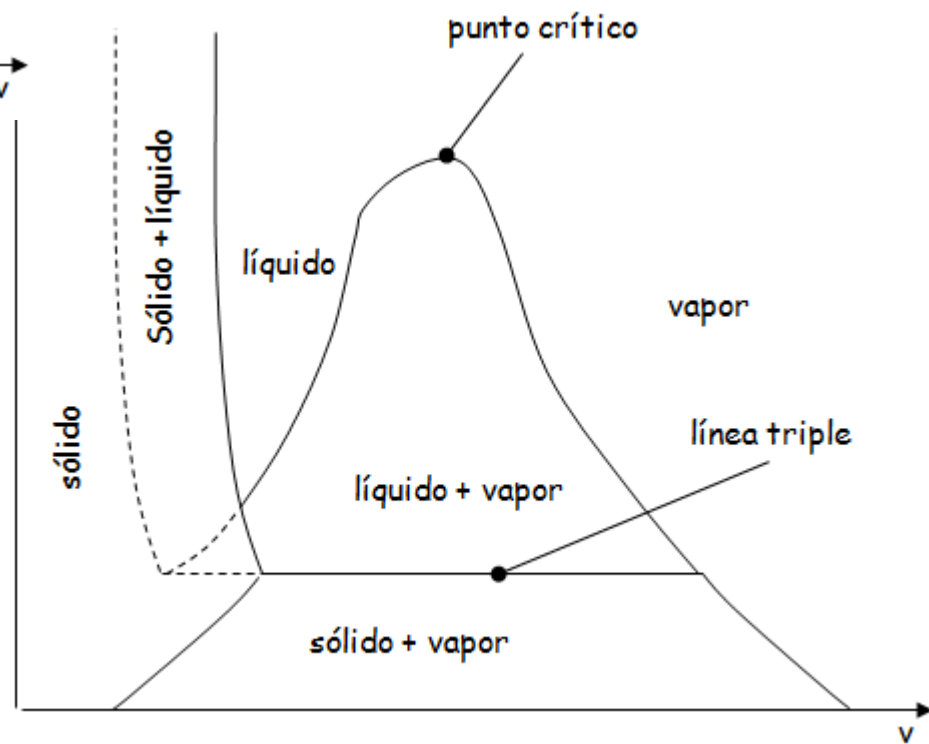
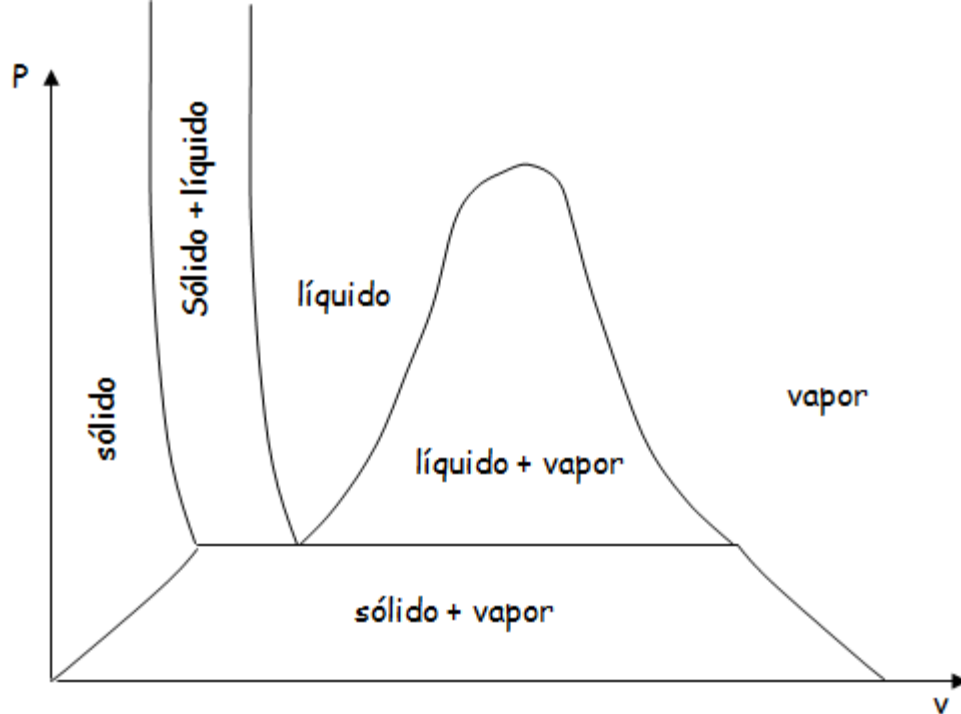
- Sustancia pura: sistema homogéneo en estructura química. Moléculas y mezclas homogéneas
- Fase: sistema homogéneo en estructura física y química
 - sólida: estructura muy ordenada, poca movilidad. Subfases atendiendo a sistemas cristalinos
 - líquida: menor restricciones que el sólido, mayor volumen específico (salvo el agua)
 - gaseosa: apenas hay restricciones al movimiento molecular, gran volumen específico
 - cambios de fase: superación de las fuerzas intermoleculares: se requiere energía latente para ello
- Tipos de cambios de fase:
 - sólido a líquido: fusión
 - líquido a sólido: solidificación (congelación)
 - líquido a gas: evaporación o ebullición
 - gas a líquido: condensación
 - sólido a gas: sublimación











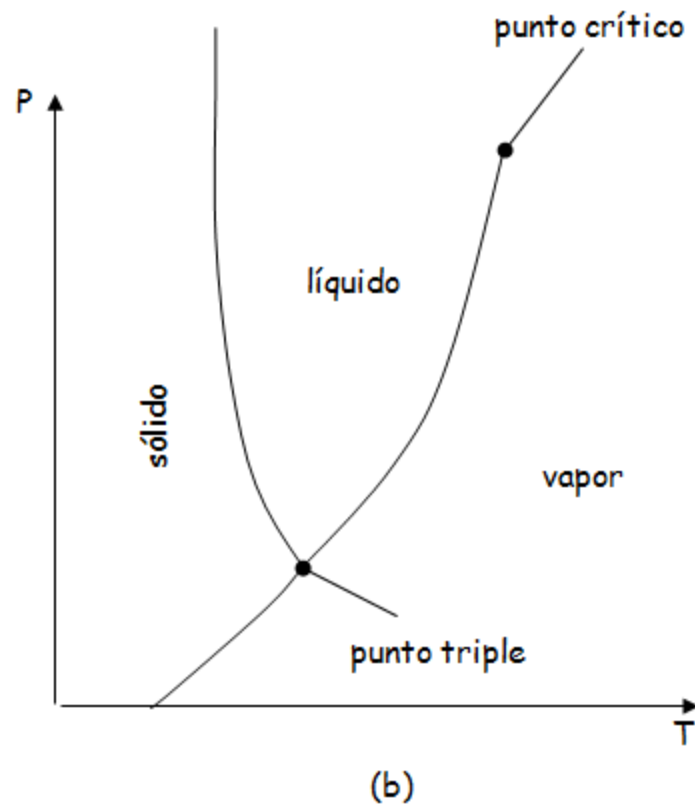
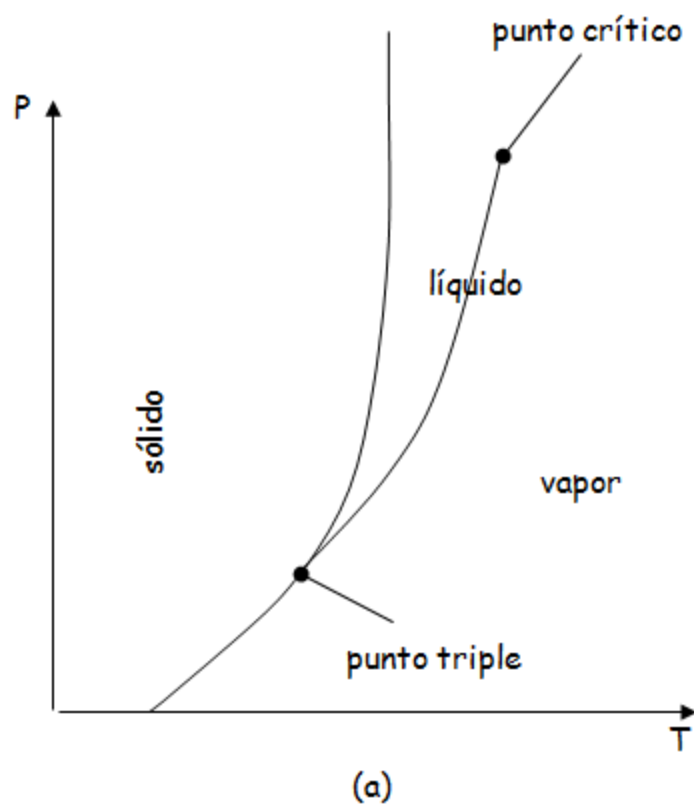
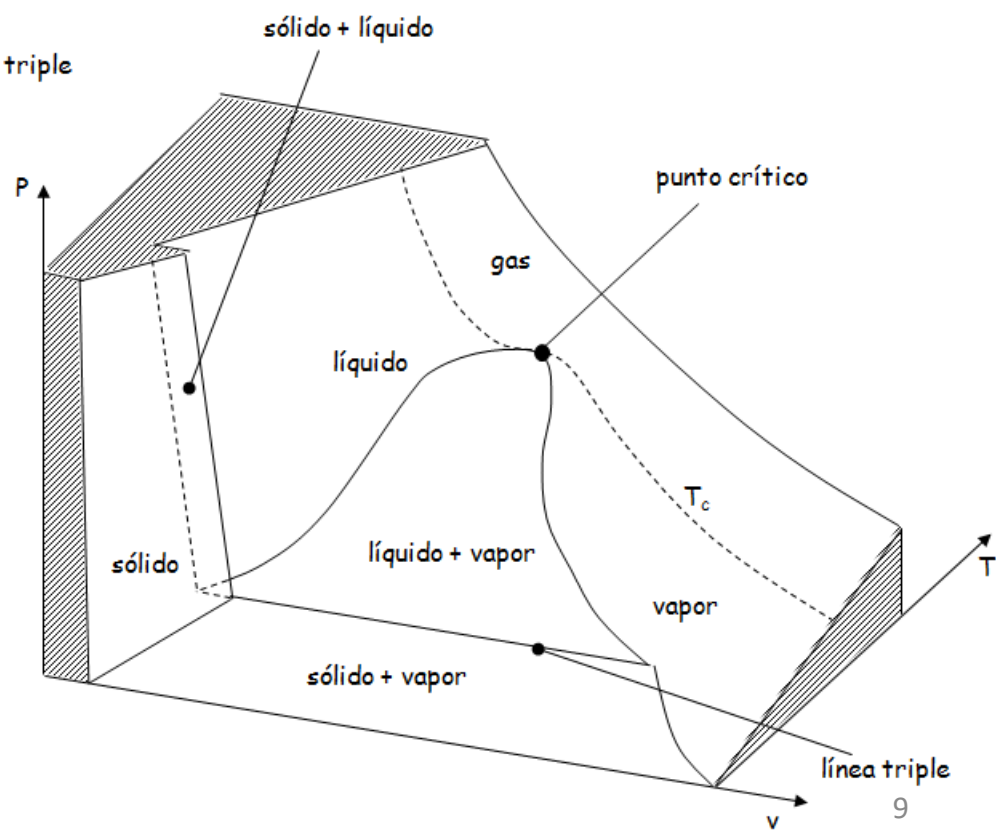
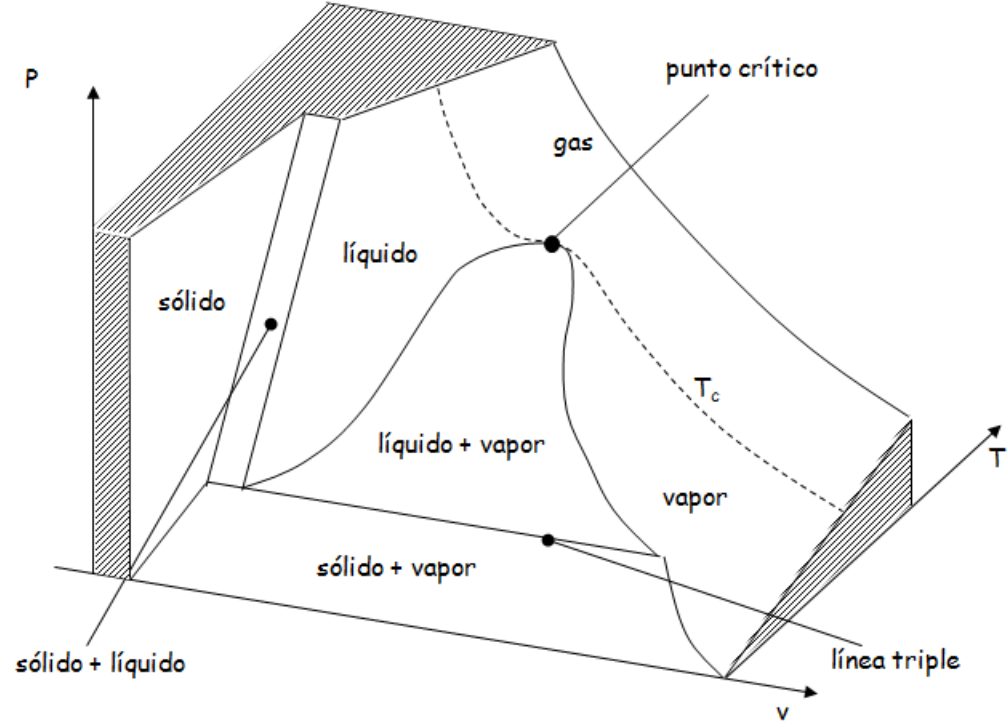
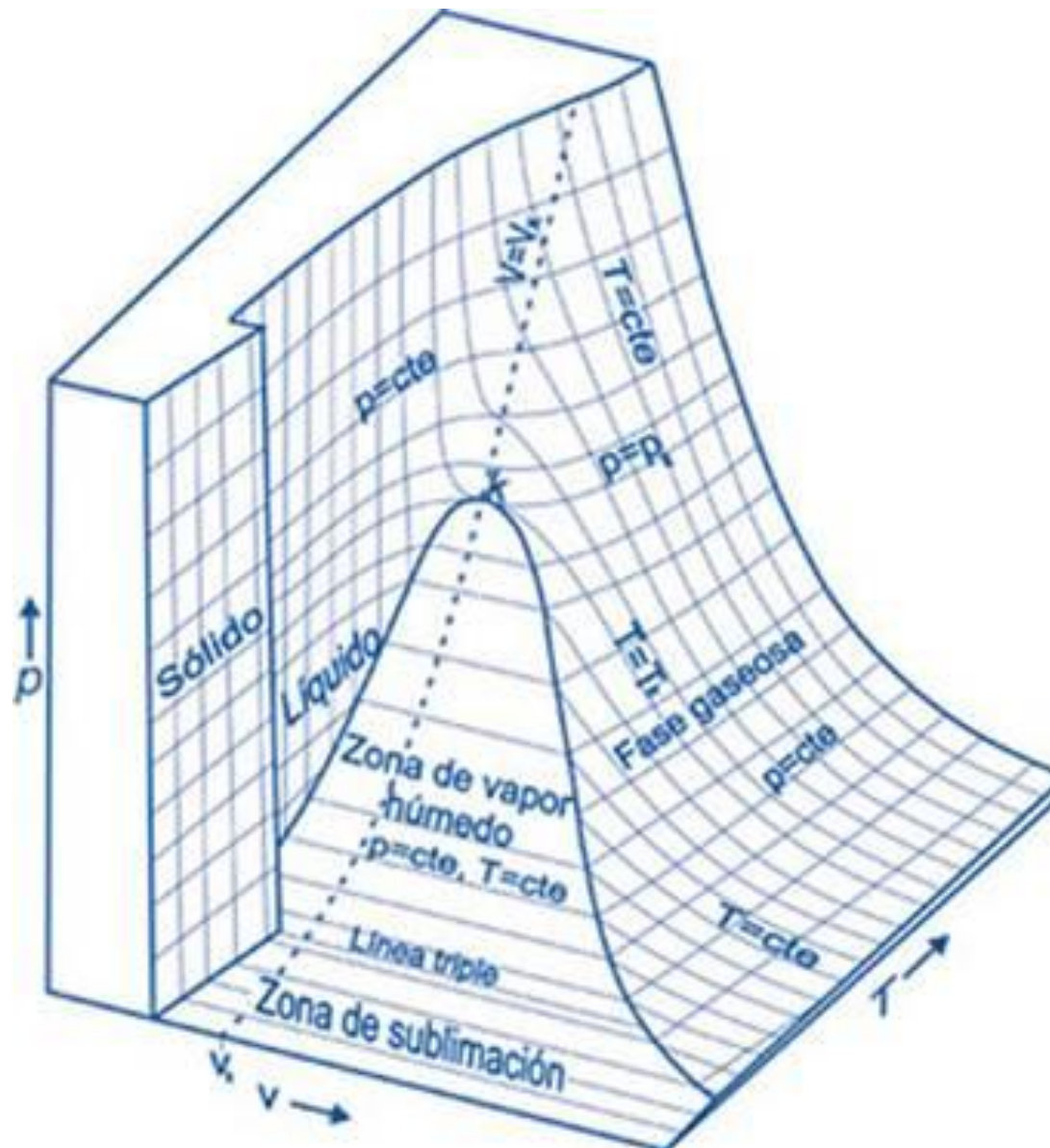


Diagrama P-T de una sustancia genérica: (a) se contrae al solidificarse; (b) se expande al solidificarse





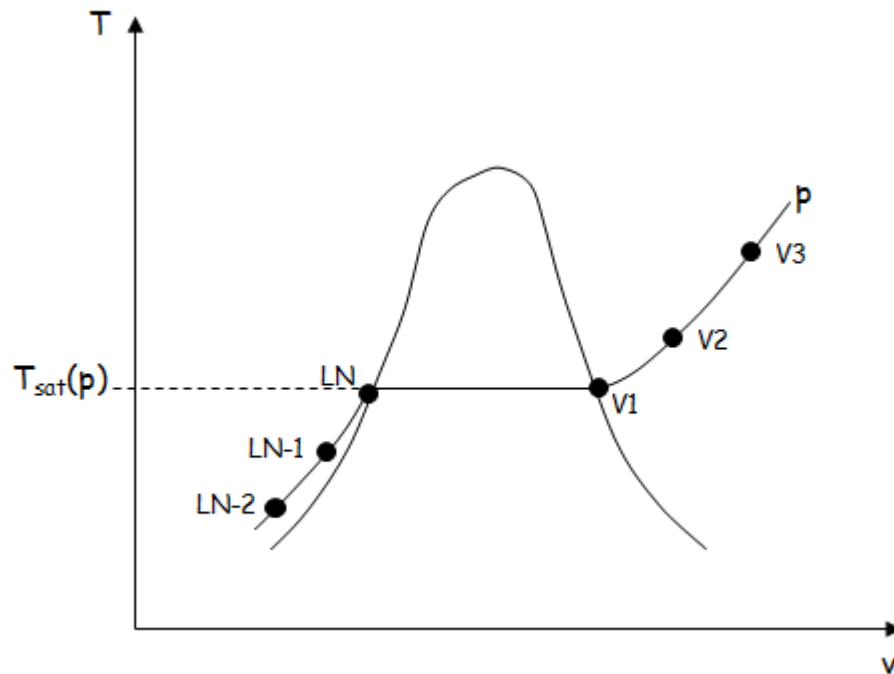
[http://168.176.239.58/cursos/ingenieria/2017279/html/unidad_4/u_4_cont_5.html]

2.4. TABLAS DE PROPIEDADES

Comportamiento como sustancia pura

2.4.1. Regiones monofásicas

$$H = U + pV \quad [\text{kJ}]$$



Propiedades del agua como vapor sobrecalentado a 100 bar.

$p = 100 \text{ bar } (T_{sat} = 311,1^\circ\text{C})$				
T	v	u	h	s
[°C]	[m ³ /kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg-K]
sat	0,01803	2545,2	2725,5	5,6160
320	0,01927	2590,1	2782,8	5,7134
360	0,02332	2729,4	2962,7	6,0075
400	0,02644	2833,1	3097,5	6,2141
440	0,02914	2923,2	3214,6	6,3833
480	0,03163	3006,7	3323,0	6,5311
520	0,03397	3086,7	3426,4	6,6649
560	0,03621	3164,8	3526,9	6,7886
600	0,03838	3242,0	3625,8	6,9045
640	0,0405	3318,8	3723,7	7,0142
680	0,04257	3395,6	3821,3	7,1187

Propiedades del agua como líquido comprimido a 100 bar.

$p = 100 \text{ bar } (T_{sat} = 311,1^\circ\text{C})$				
T	v	u	h	s
[°C]	[m ³ /kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg-K]
110	0,001046	458,15	468,61	1,4106
130	0,001064	542,36	553,00	1,6253
150	0,001084	627,27	638,11	1,8314
170	0,001107	713,11	724,19	2,0301
190	0,001134	800,20	811,53	2,2229
210	0,001164	888,90	900,54	2,4110
230	0,001199	979,72	991,72	2,5959
250	0,001241	1073,39	1085,80	2,7792
270	0,001292	1171,00	1183,92	2,9633
290	0,001357	1274,41	1287,99	3,1514
sat	0,001452	1393,3	1407,8	3,3603

2.4.2. Regiones bifásicas

$$x = \frac{m_v}{m_l + m_v}$$

$$a(p, x) = a_f(p) + x \underbrace{[a_g(p) - a_f(p)]}_{a_{fg}(p)}$$

$$a(T, x) = a_f(T) + x \underbrace{[a_g(T) - a_f(T)]}_{a_{fg}(T)}$$

Tabla 2.3: Propiedades de saturación del agua como (líquido-vapor). Tabla de temperaturas.

T [°C]	p [bar]	$v_f \cdot 10^3$ [m ³ /kg]	v_g [m ³ /kg]	u_f [kJ/kg]	u_g [kJ/kg]	h_f [kJ/kg]	h_g [kJ/kg]
0,01	0,00611	1,0002	206,136	0,00	2375,3	0,01	2501,4
5	0,00873	1,0001	147,031	21,02	2381,8	21,02	2510,1
10	0,01228	1,0003	106,319	42,02	2388,7	42,02	2519,2
15	0,01706	1,0009	77,885	62,98	2395,5	62,98	2528,3
20	0,02339	1,0018	57,762	83,91	2402,3	83,91	2537,4
25	0,03170	1,0030	43,340	104,83	2409,1	104,83	2546,5
330	128,6	1,5604	0,012979	1505,7	2499,2	1525,8	2666,0
340	146,0	1,6377	0,010783	1570,7	2464,5	1594,6	2622,0
350	165,3	1,7407	0,008806	1642,4	2418,3	1671,2	2563,9
360	186,7	1,8950	0,006950	1726,2	2351,9	1761,5	2481,6
370	210,4	2,2172	0,004953	1844,5	2230,1	1891,2	2334,3
374,14	220,9	3,155	0,003155	2029,6	2029,6	2099,3	2099,3

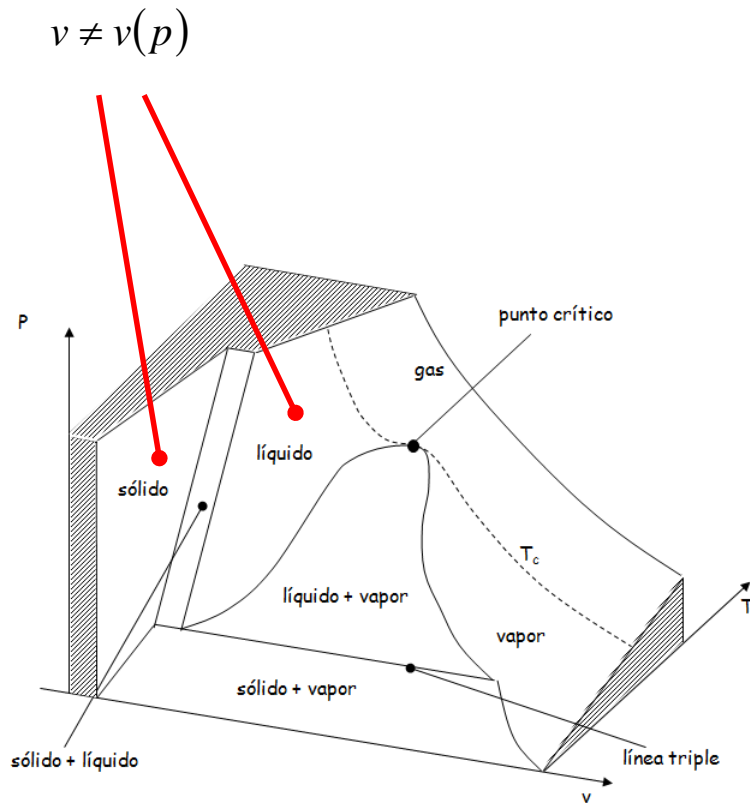
Tabla 2.4: Propiedades de saturación del agua como (líquido-vapor). Tabla de presiones.

P [bar]	T [°C]	$v_f \cdot 10^3$ [m ³ /kg]	v_g [m ³ /kg]	u_f [kJ/kg]	u_g [kJ/kg]	h_f [kJ/kg]	h_g [kJ/kg]
0,00611	0,01	1,002	206,136	0,00	2375,3	0,01	2501,4
0,04000	28,96	1,0041	34,791383	121,39	2414,5	121,39	2553,7
0,06000	36,16	1,0065	23,733353	151,47	2424,2	151,48	2566,6
0,08000	41,51	1,0085	18,098670	173,83	2431,4	173,84	2576,2
1,00000	99,61	1,0432	1,694127	417,40	2505,6	417,51	2675,0
1,50000	111,3	1,0527	1,159424	466,97	2519,2	467,13	2693,1
160,0	347,4	1,7100	0,009312	1622,6	2432,0	1649,9	2581,0
170,0	352,3	1,7700	0,008374	1660,2	2405,4	1690,3	2547,7
180,0	357	1,8402	0,007504	1699,1	2375,0	1732,2	2510,0
190,0	361,5	1,9258	0,006677	1740,3	2339,2	1776,9	2466,0
200,0	365,7	2,0378	0,005862	1785,8	2294,8	1826,6	2412,1
220,9	374,14	3,155	0,003155	2029,6	2029,6	2099,3	2099,3

Ejemplo: Realizar el Problema 2.1 del texto

2.5. APROXIMACIONES Y MODELOS

2.5.1. Aproximación a sólidos y líquidos



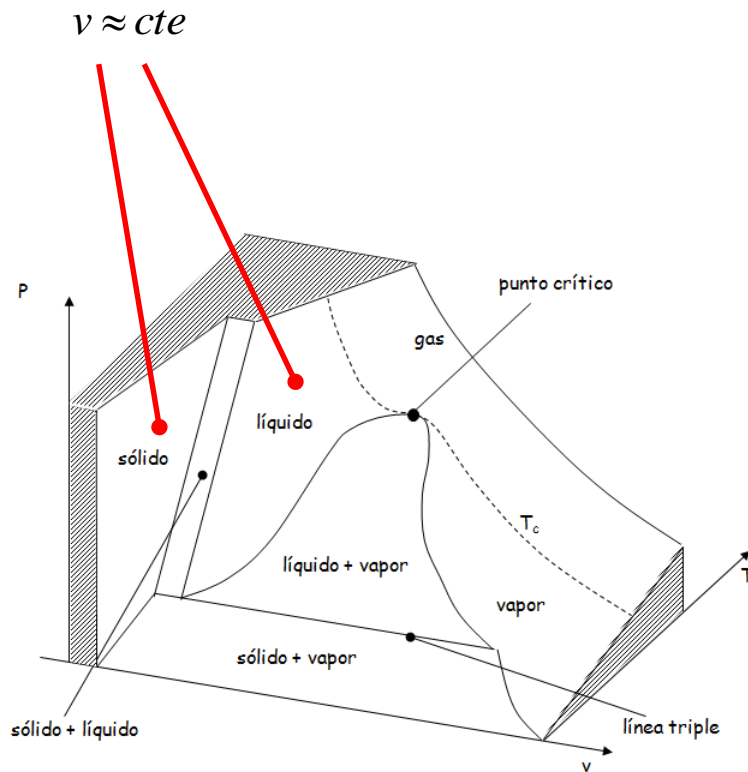
$$v(p, T) \approx v_f(T)$$

$$u(p, T) \approx u_f(T)$$

$$h(p, T) \approx \begin{cases} h_f(T) \\ h_f(T) + v_f(T)[p - p_{sat}(T)] \end{cases}$$

2.5.2. Modelo incompresible

$$v(p, T) = cte$$



La energía interna y la entalpía se verán en el Tema 3, con la definición de los calores específicos

2.5.3. Modelo gas ideal

$$pV = mRT$$

$$pv = RT$$

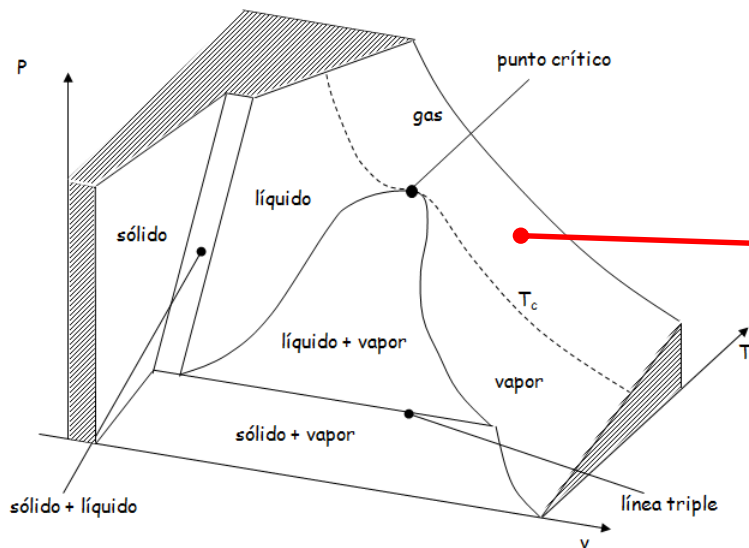
$$\bar{R} = 8,314 \text{ kJ} / \text{kmol} - \text{K}$$

$$pV = n\bar{R}T$$

$$p\bar{v} = \bar{R}T$$

$$R = \frac{\bar{R}}{M} \quad \text{kJ/kg-K}$$

La energía interna y la entalpía se verán en el Tema 3, con la definición de los calores específicos



Aproximadamente hiperboloide

Factor de compresibilidad

$$z = \frac{v}{v_{gi}}$$

Ley de los estados correspondientes

$$p_R = \frac{p}{p_c}$$

$$T_R = \frac{T}{T_c}$$

$$v'_R = \frac{v}{RT_c / p_c}$$

