

UNIDAD 1-C

PROPIEDADES DE LAS SUSTANCIAS PURAS

1

CONTENIDOS:

1.C. Concepto de sustancia pura y de fase. Propiedades P-v-T de una sustancia pura. Fases de equilibrio: vapor-líquido-sólido. Diagramas T-v ; P-T y P-v Ecuaciones para una mezcla saturada líquido vapor. Postulado de estado. Superficie de estado P-v-T. Tablas de propiedades termodinámicas

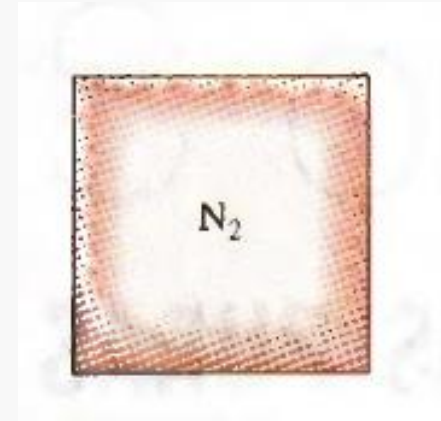
BIBLIOGRAFÍA:

• Cengel, Yunus A. ; Boles, Michael A.
TERMODINÁMICA . Edit. Mc. Graw Hill

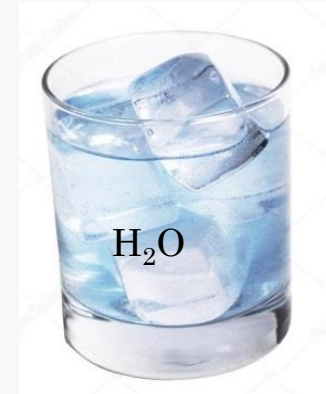
• Calderón, Lisando H. Apuntes de
Termodinámica . Capítulo 1

SUSTANCIA PURA:

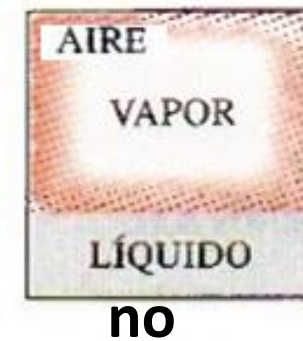
➤ Tiene una composición química fija.
Ej.: AGUA ; NITRÓGENO ; HELIO



➤ Si existe en más de una fase: Debe tener igual composición en todas las fases
Ej.: AGUA CON HIELO

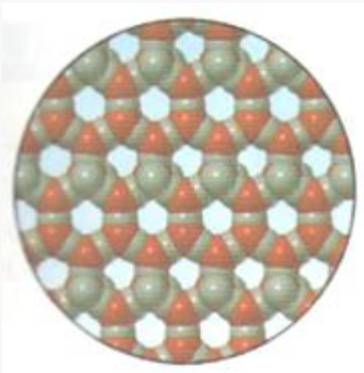


❖ **Caso particular: AIRE**

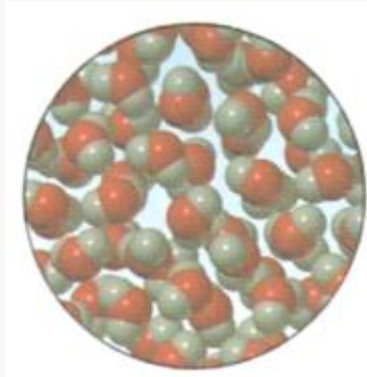


ESTADO DE AGREGACIÓN DE LA MATERIA:

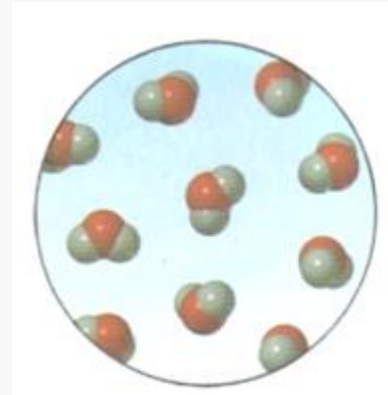
➤ Considerando el estado físico, la materia puede encontrarse como sólido, líquido o gas, en los cuales la disposición de las moléculas es diferente



Sólido: Las moléculas están en posiciones relativamente fijas. Distancias intermoleculares pequeñas. Fuerzas de atracción grandes



Líquido: Los grupos de moléculas pueden apartarse entre sí. Fuerzas de atracción y distancias intermoleculares intermedias.
Excepción: H_2O



Gas: Las moléculas se mueven al azar, no hay orden molecular. Distancias intermoleculares grandes. Fuerzas de atracción pequeñas

FASE:

- Cualquier región de la materia con composición química y estado de agregación uniformes.
- Las propiedades intensivas tienen el mismo valor en cualquier punto.
- Las fases se separan entre sí por superficies perfectamente identificables (interfase)



Dos fases en equilibrio

SUSTANCIAS SIMPLES COMPRESIBLES:

- Carecen de efectos significativos de superficie, efectos magnéticos y eléctricos. **Cambian significativamente su volumen por variaciones de P o T .**
- **Pueden intercambiar trabajo cuasiestático fundamentalmente gracias a un cambio de volumen.**



PROPIEDADES P v T

IMPORTANCIA DE LAS PROPIEDADES P - v - T :

- Propiedades directamente mensurables, que servirán de base para conocer el valor de otras propiedades no mensurables directamente como U, H ó S.
- Herramienta indispensable para el estudio de los ciclos que se llevan a cabo con fluidos condensables

CAMBIOS DE FASE EN SUSTANCIAS PURAS

EQUILIBRIO VAPOR - LÍQUIDO

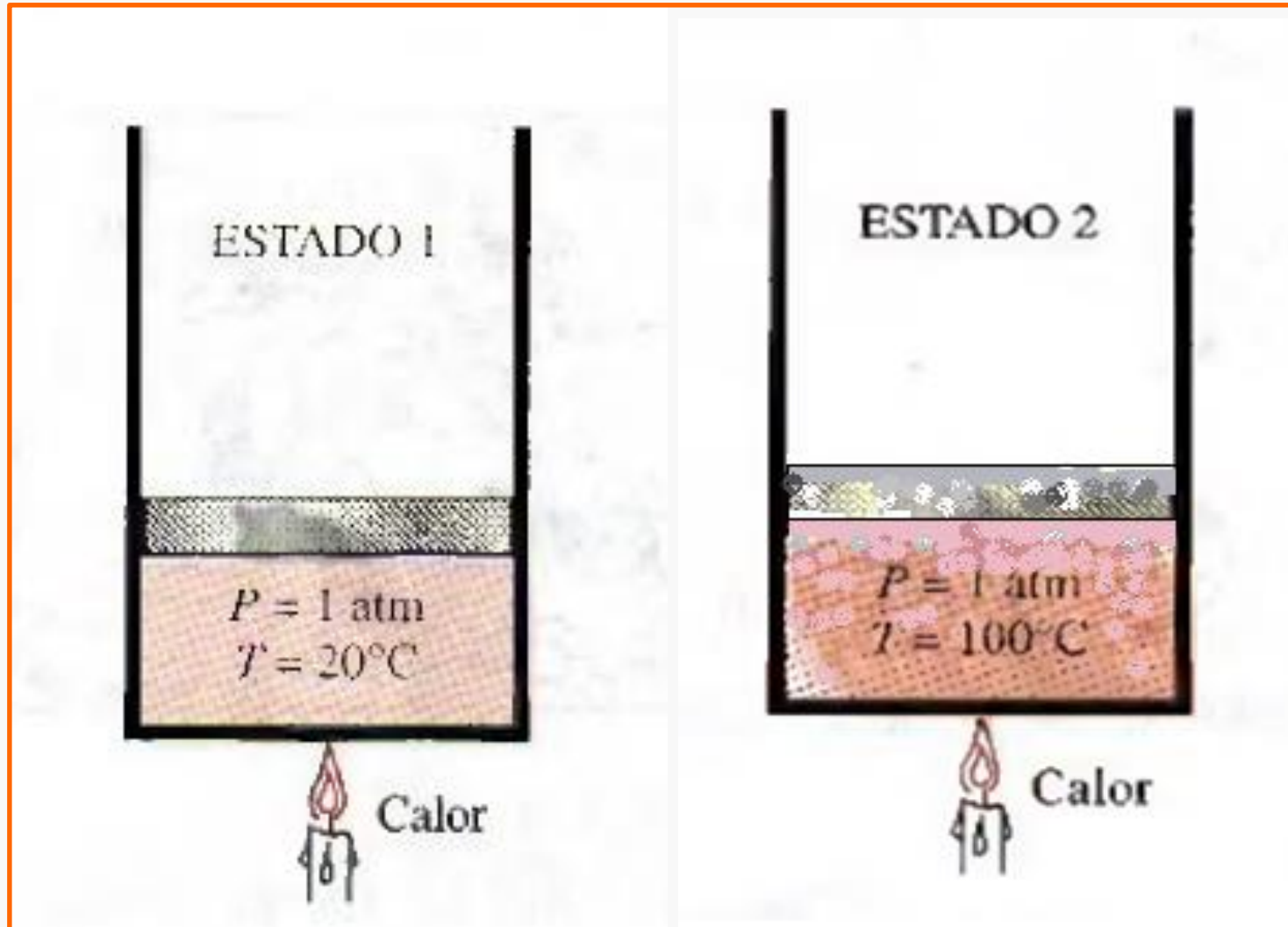
SUSTANCIA PURA: AGUA

Agua en dispositivo cilindro – pistón,
a 1 atm y 20 °C

Se suministra Q a presión constante
(1atm)



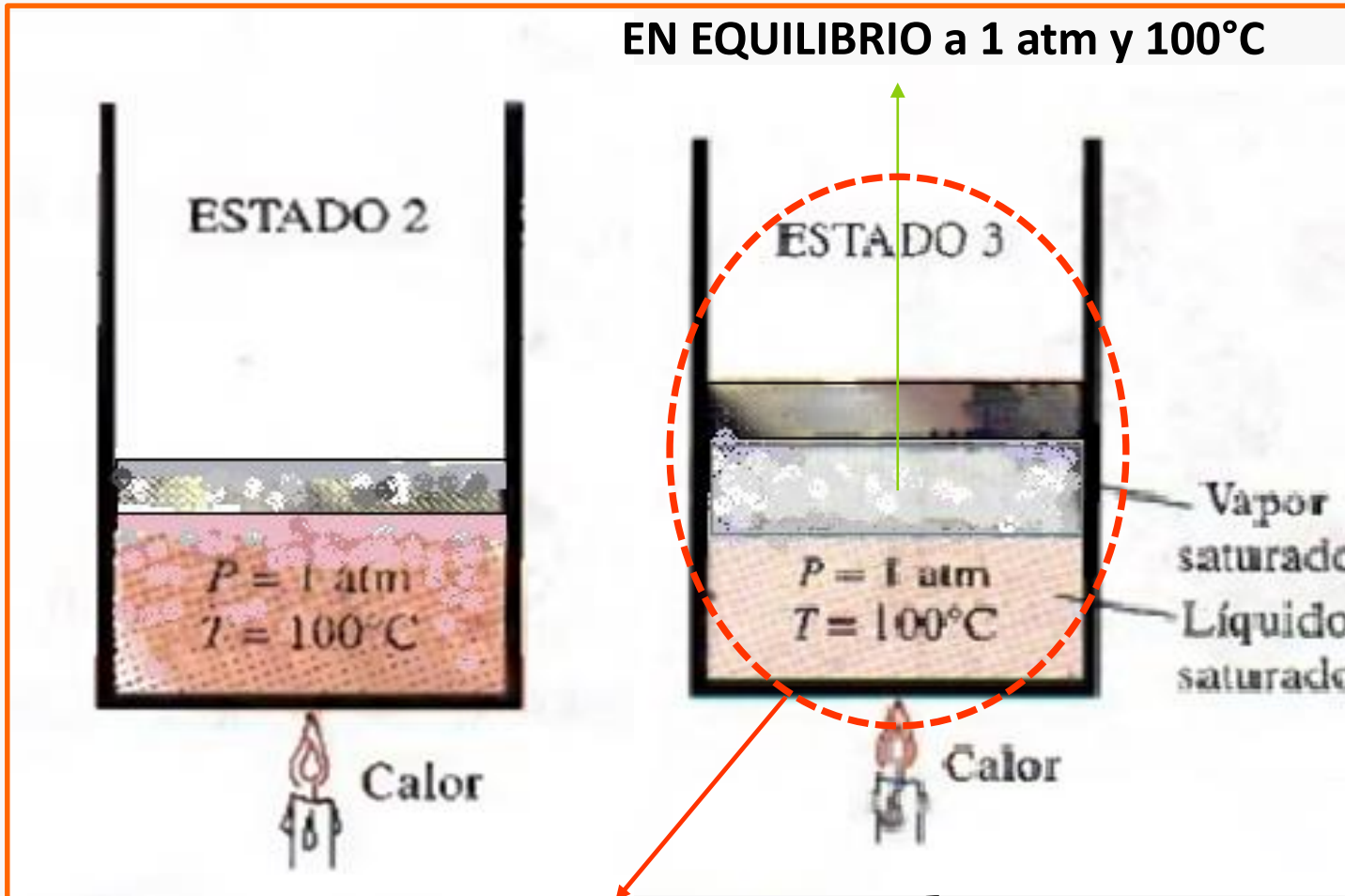
SE SUMINISTRA Q A PRESIÓN CONSTANTE DE 1 ATM:



Se calienta el agua, a 1 atm, desde 20°C hasta 100°C (Leve aumento de volumen)

SE SUMINISTRA Q A PRESIÓN CONSTANTE DE 1 ATM:

COEXISTEN LÍQUIDO Y VAPOR
EN EQUILIBRIO a 1 atm y 100°C



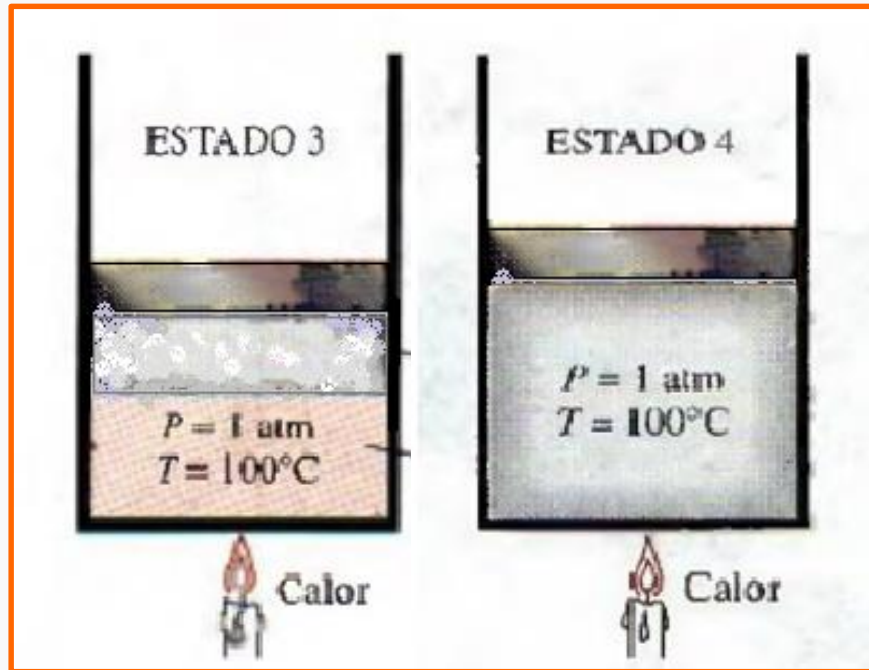
A partir de 100°C, la temperatura ya no sube sino que comienza a evaporarse el líquido, tanto a **P** como a **T** constantes y “v” aumenta considerablemente

- T: Temp. de saturación
- P: Presión de saturación

VAPOR HUMEDO ó
MEZCLA SATURADA
LÍQUIDO-VAPOR

Fase vapor: Vapor saturado
Fase Líquido: Líquido saturado

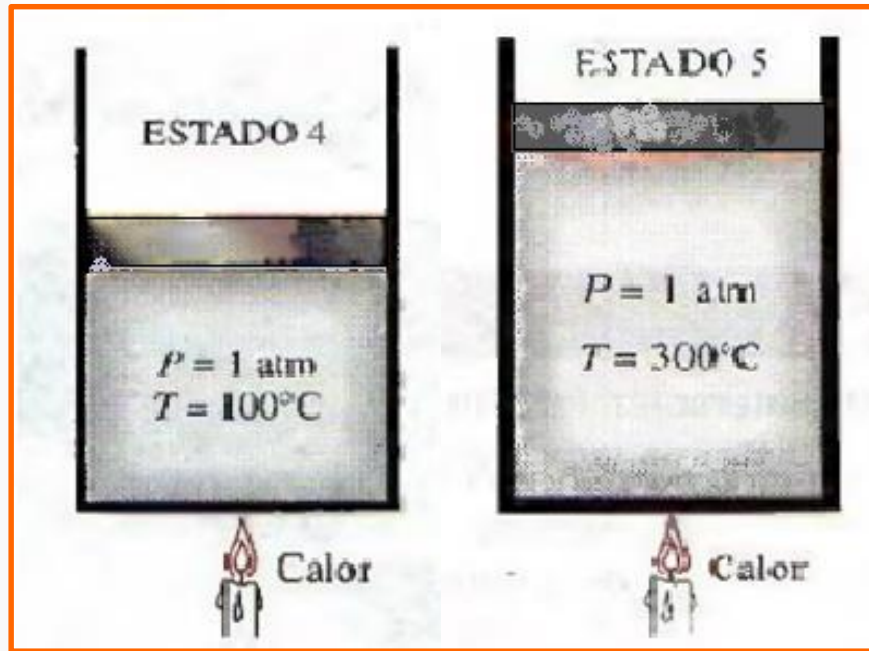
SE SUMINISTRA Q A PRESIÓN CONSTANTE DE 1 ATM:



La evaporación a P y T constantes continúa hasta que se ha vaporizado todo el líquido



VAPOR SATURADO SECO



Cuando ya se ha evaporado todo el líquido y se encuentra como vapor, comienza a subir la temperatura del vapor y continúa el aumento de volumen



VAPOR SOBRECALENTADO

SI RECORDAMOS EL ESTADO 1

El líquido está a una temperatura menor que la T_{sat} a esa presión ($T < 100^{\circ}\text{C}$)



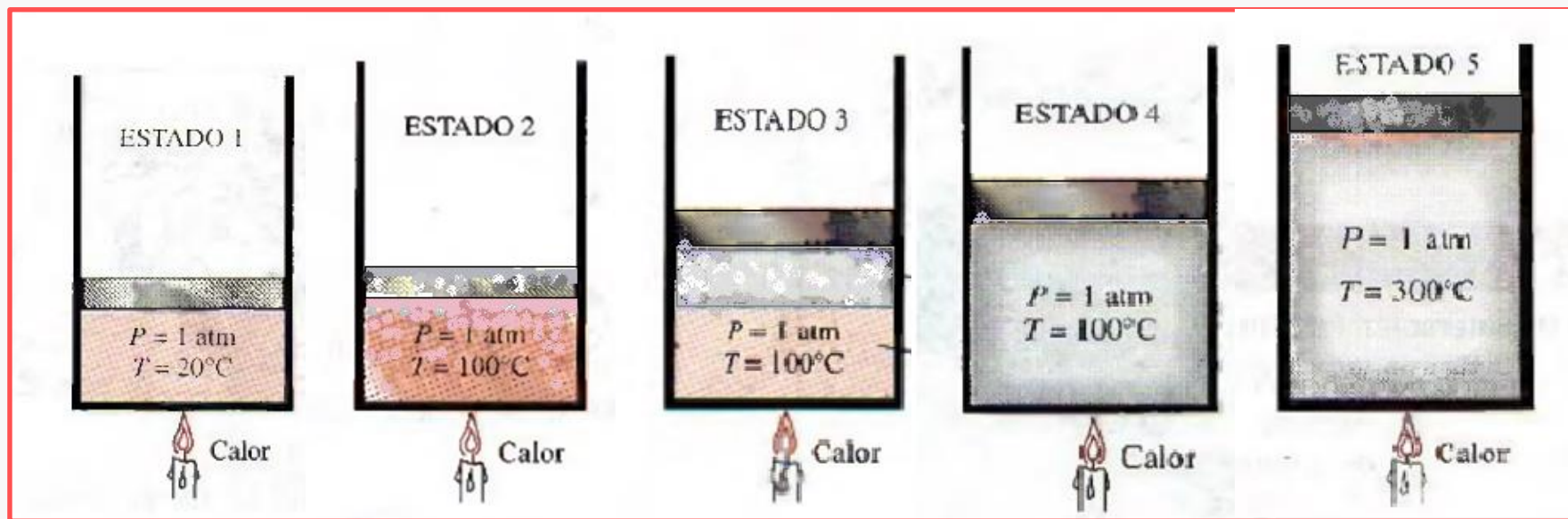
**LIQUIDO
SUBENFRIADO**

Como también está a una presión mayor que la de saturación a esa temperatura ($P > 0,0234 \text{ bar}$)



**LIQUIDO
COMPRESIDO**





Cambio de fase desde líquido subenfriado hasta vapor sobrecalentado del agua, a 1 atm.

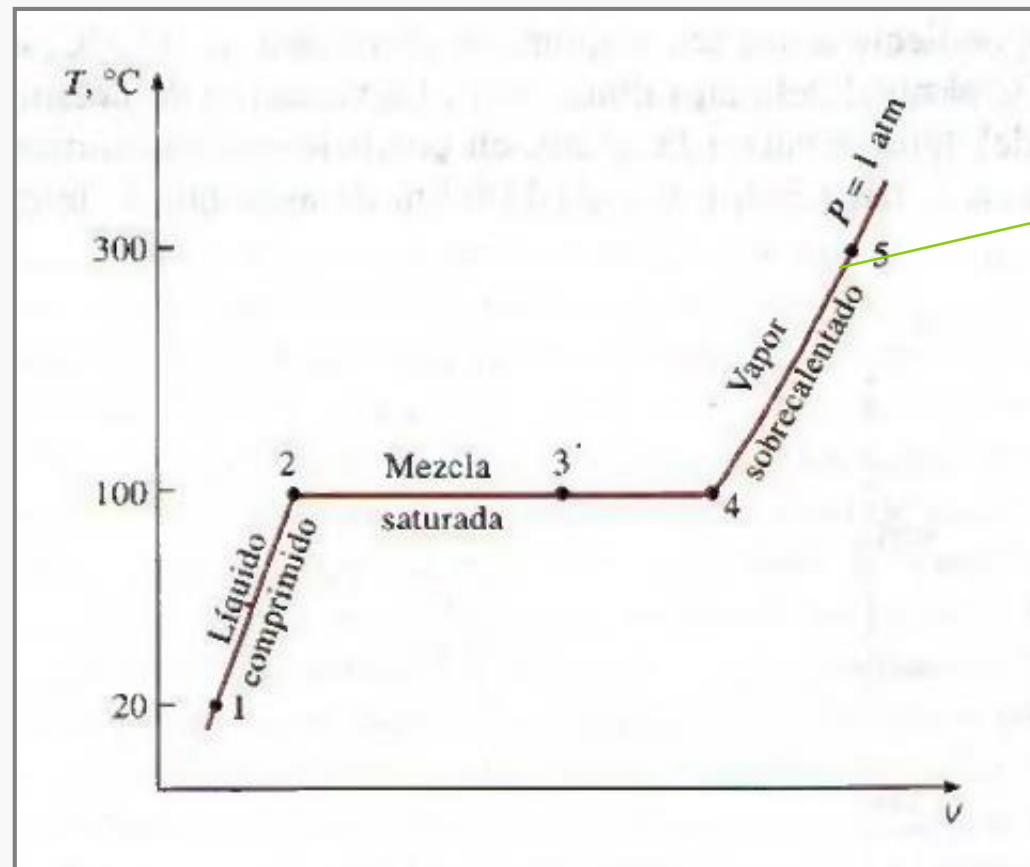
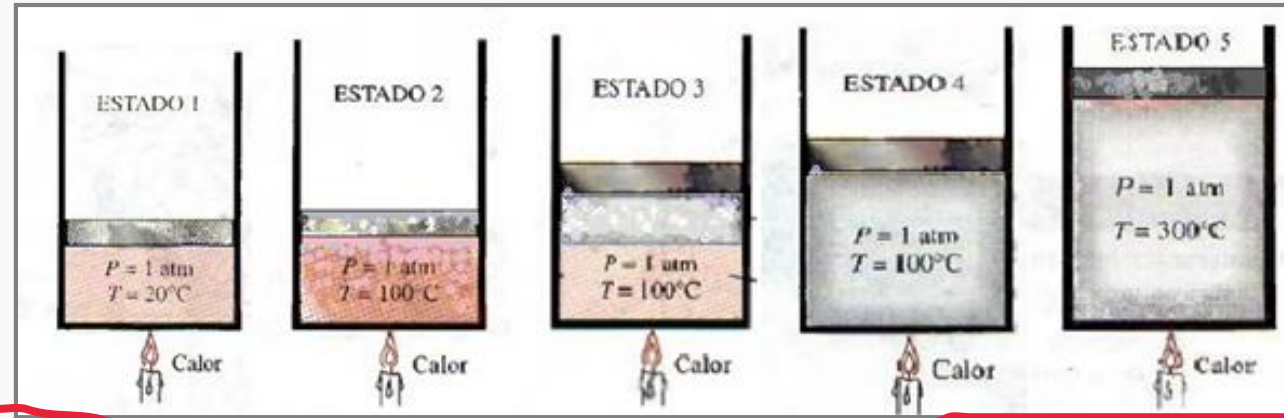
1)- Líquido subenfriado ; 2)-Líquido saturado;

3)-Vapor húmedo o Mezcla saturada líq-vap ;

4)-Vapor saturado (“seco”)

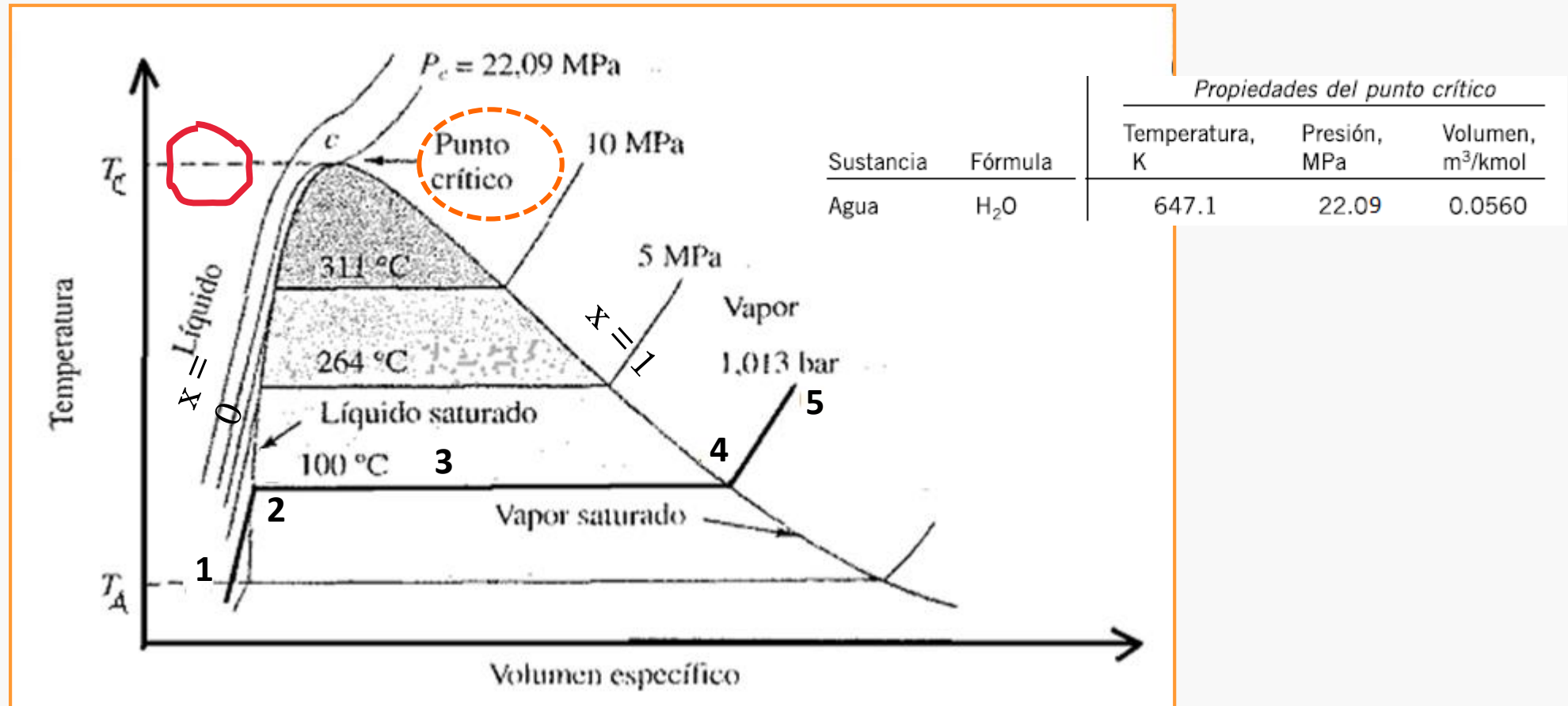
5)-Vapor sobrecalentado

Diagrama Temperatura – Volumen específico



ISOBARA

Diagrama Temperatura – Volumen específico para sustancias puras



En $\overline{2-4}$:
$$x = \frac{\text{masa de vapor}}{\text{masa de vapor} + \text{masa de líquido}}$$

x : Título o calidad del vapor húmedo (propiedad intensiva)

Diagrama Temperatura – Volumen específico para sustancias puras

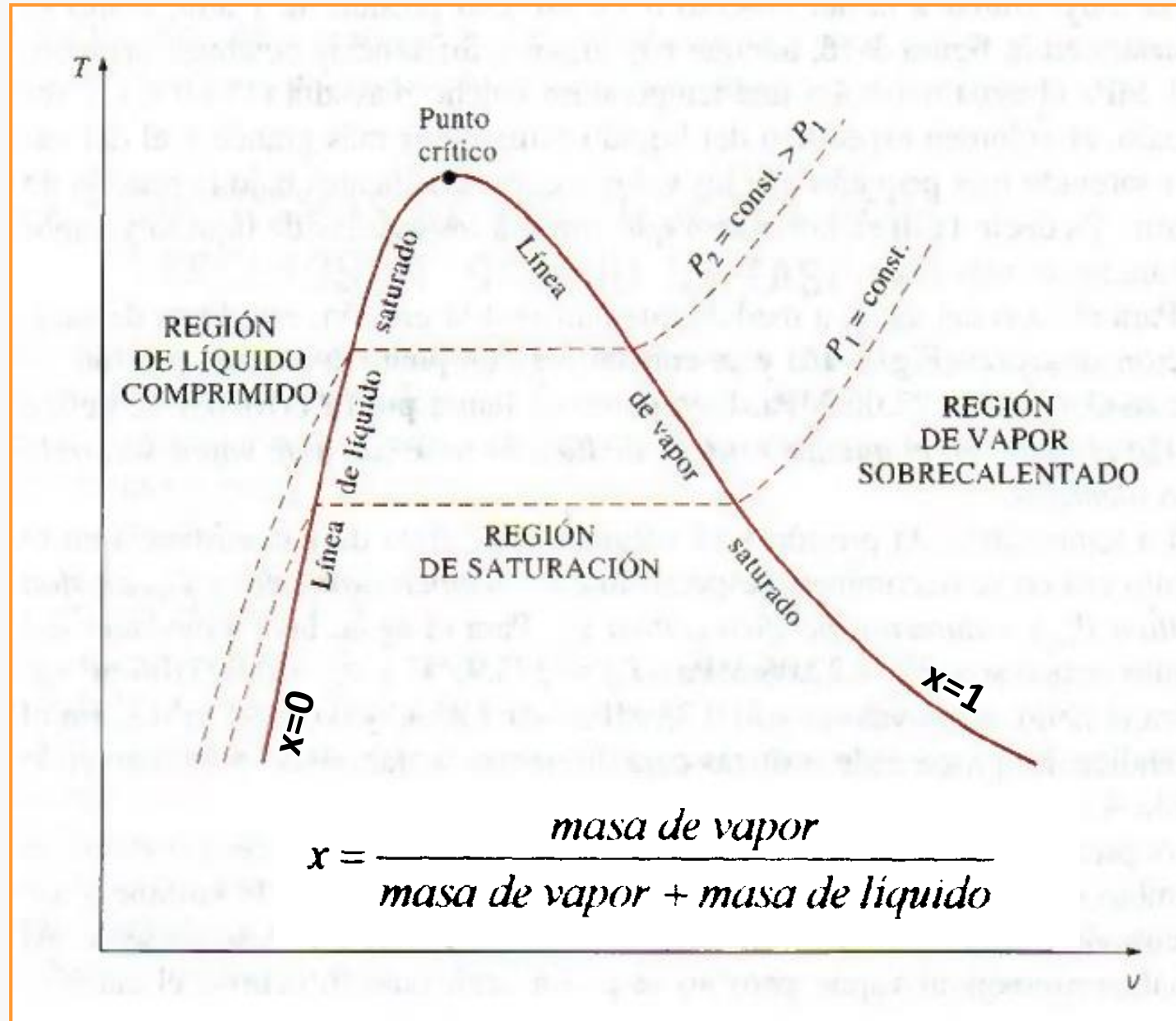


Diagrama Temperatura – Volumen específico para sustancias puras

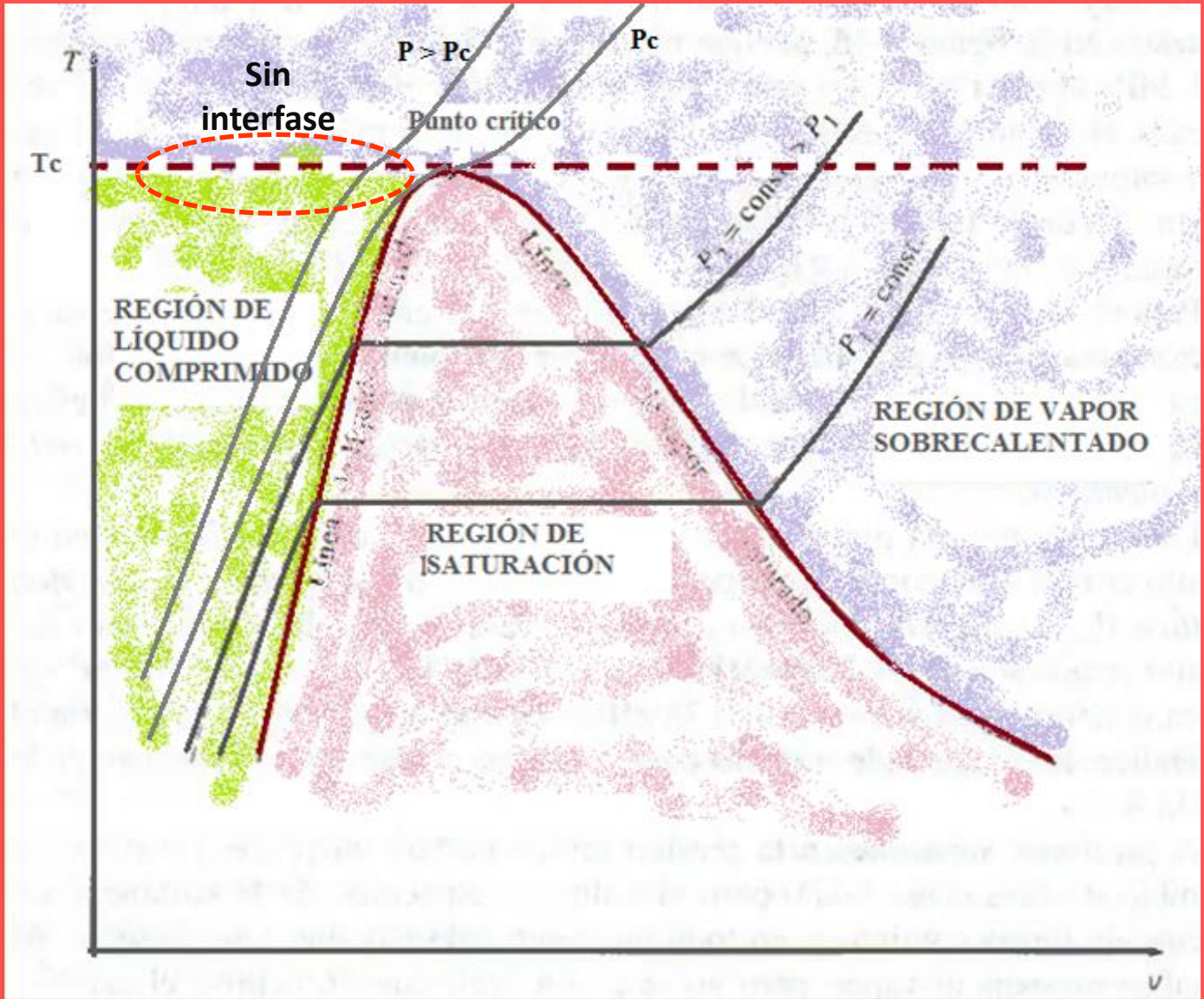
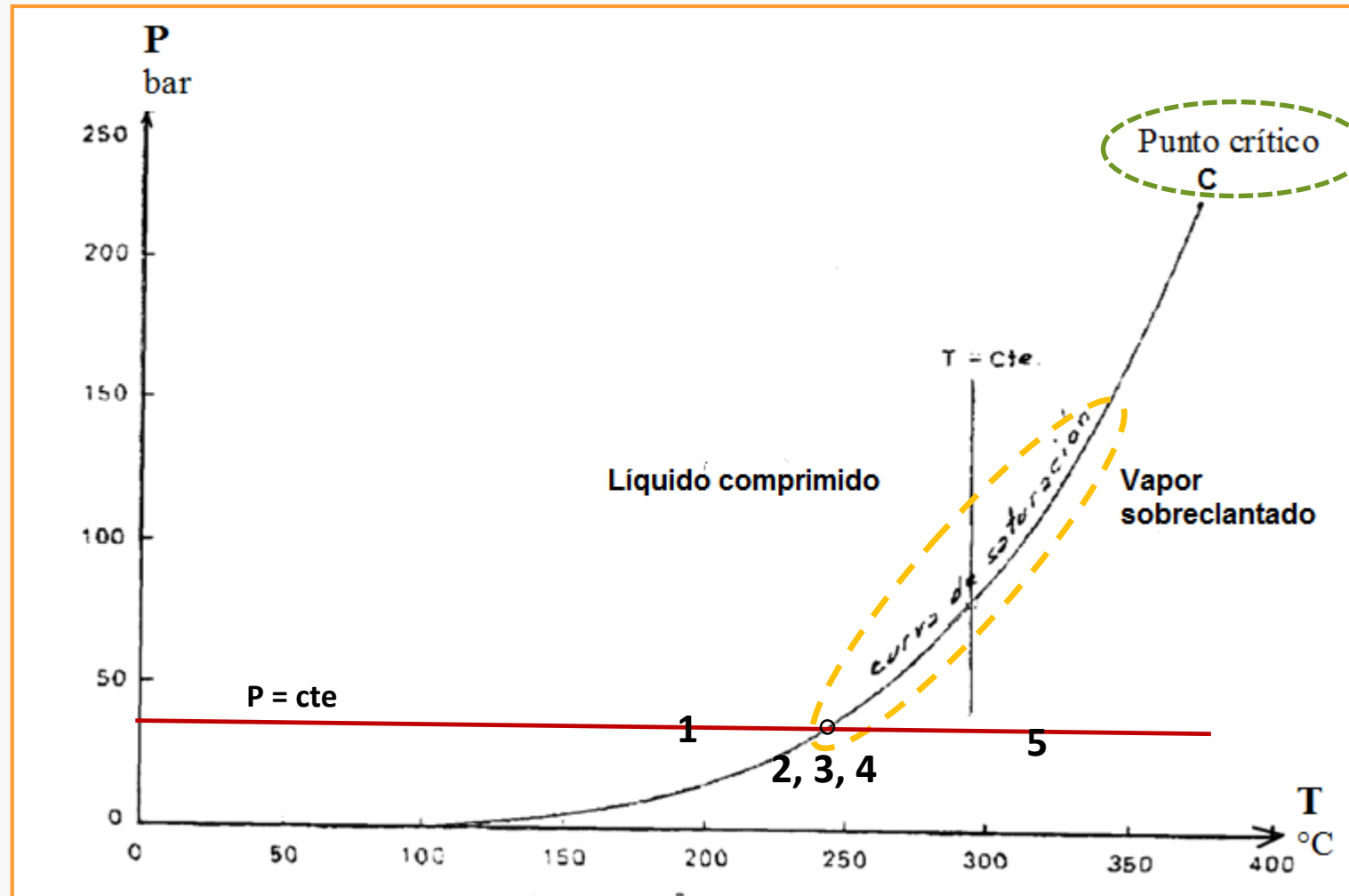


Diagrama Presión – Temperatura para sustancias puras

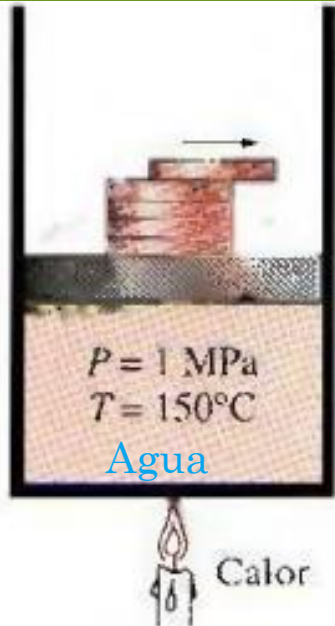
(Ej.: agua)



$$P_{\text{sat}} = f(T_{\text{sat}})$$

Diagrama Presión – Volumen específico

Se busca mantener $T = \text{cte}$



Para $T = 150^\circ\text{C}$
 $P_{\text{sat}} = 476,16 \text{ kPa}$
 $= 0,476 \text{ MPa}$

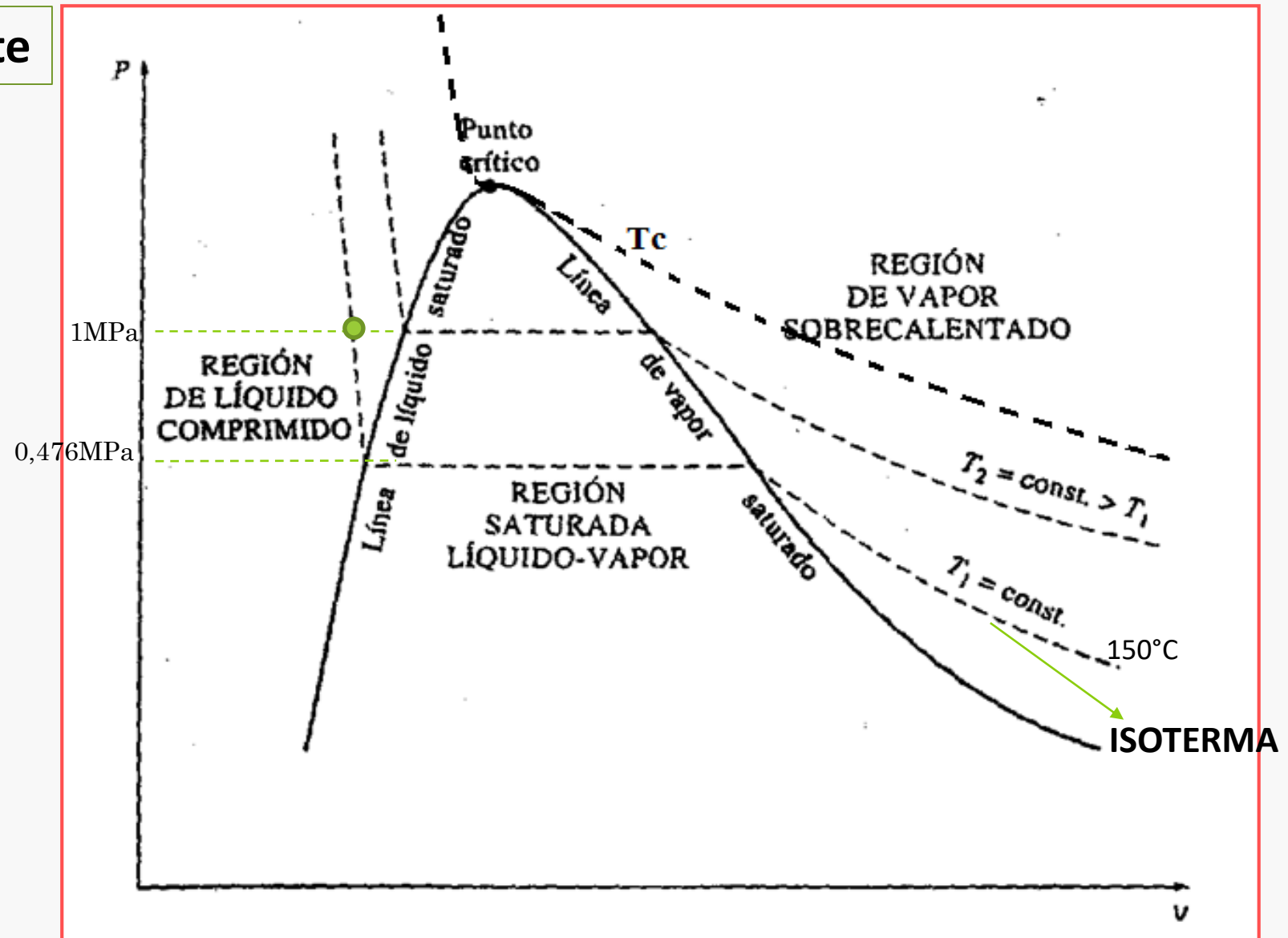
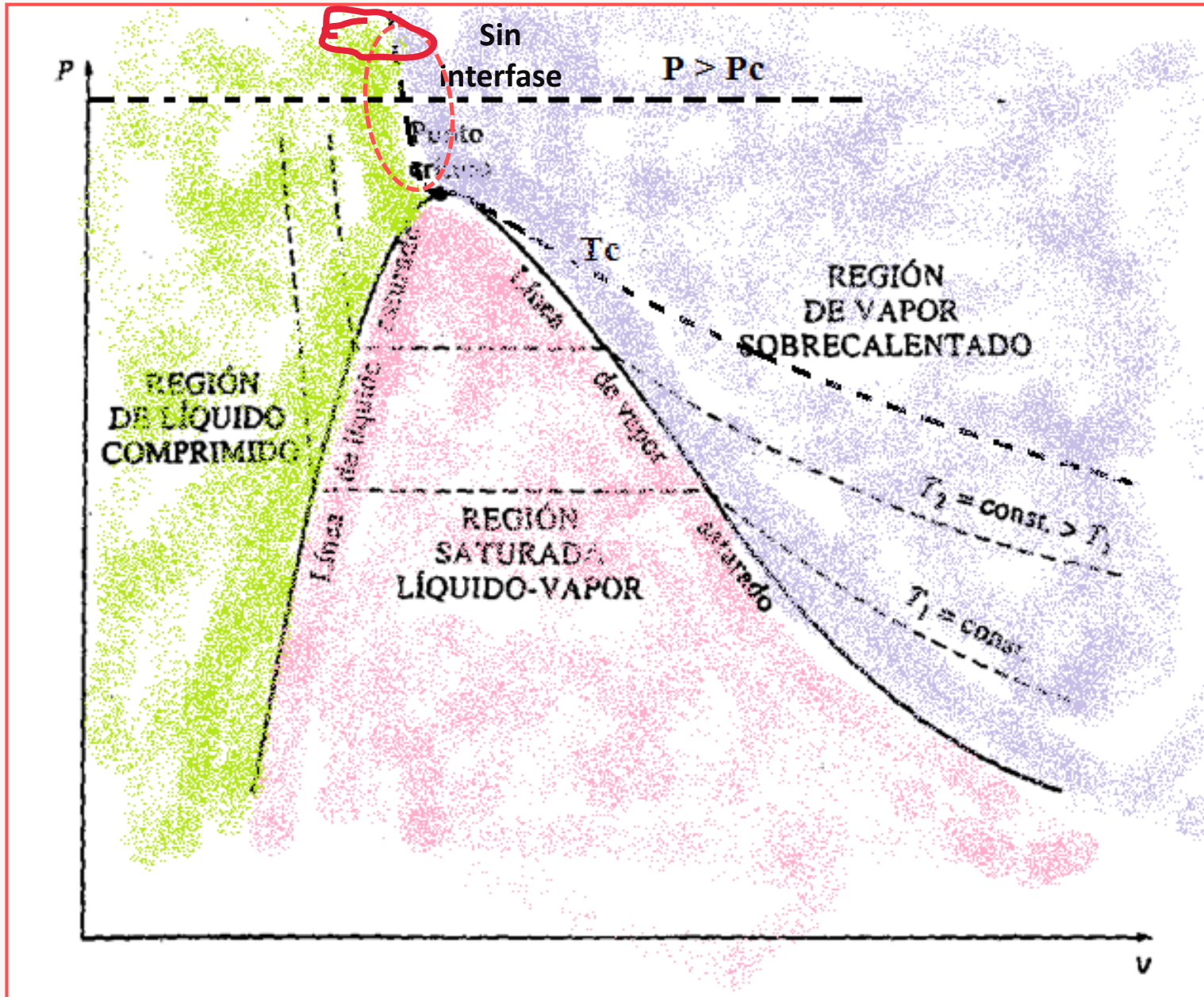


Diagrama Presión – Volumen específico para sustancias puras



Mezcla saturada líquido vapor



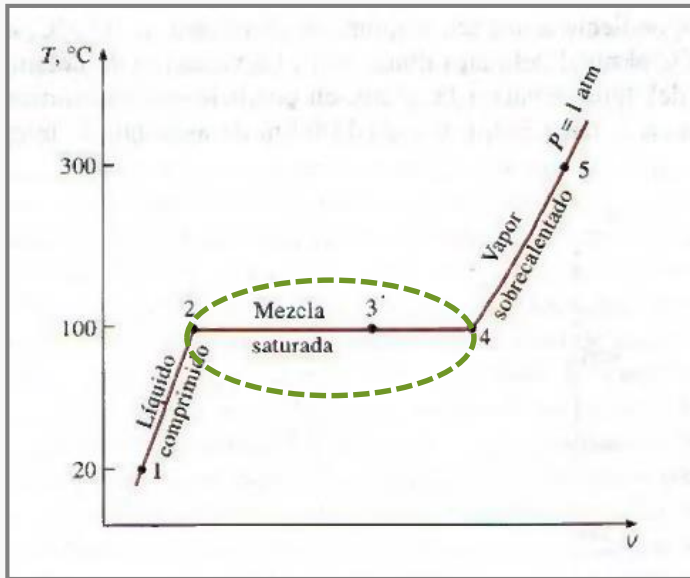
VAPOR HÚMEDO



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

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

Mezcla saturada líquido vapor



$$V = V_f + V_g$$

$$\boxed{V = m_t V} \longrightarrow m_t V_{\text{prom}} = m_f V_f + m_g V_g$$

$$m_f = m_t - m_g \longrightarrow m V_{\text{prom}} = (m_t - m_g) V_f + m_g V_g$$

Dividiendo por m_t

$$v_{\text{prom}} = (1 - x) v_f + x v_g$$

O también

$$v_{\text{prom}} = v_f + x v_{fg} \quad (\text{m}^3/\text{kg})$$

Donde $v_{fg} = v_g - v_f$

Mezcla saturada líquido vapor

$$v_{\text{prom}} = v_f + x v_{fg} \quad (\text{m}^3/\text{kg})$$

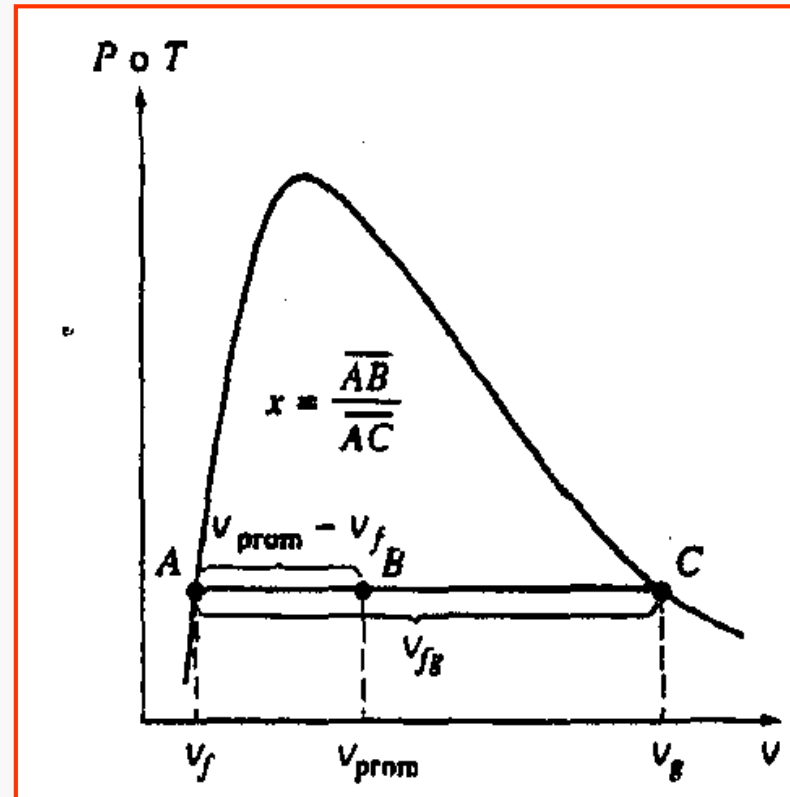
Si se despeja "x" :

$$x = \frac{v_{\text{prom}} - v_f}{v_{fg}}$$

O también:

$$v_{\text{prom}} = (1 - x)v_f + x v_g$$

$$x = \frac{(v - v_f)}{(v_g - v_f)}$$



$$x = \frac{v_{\text{prom}} - v_f}{v_{fg}}$$

Curvas de Título constante

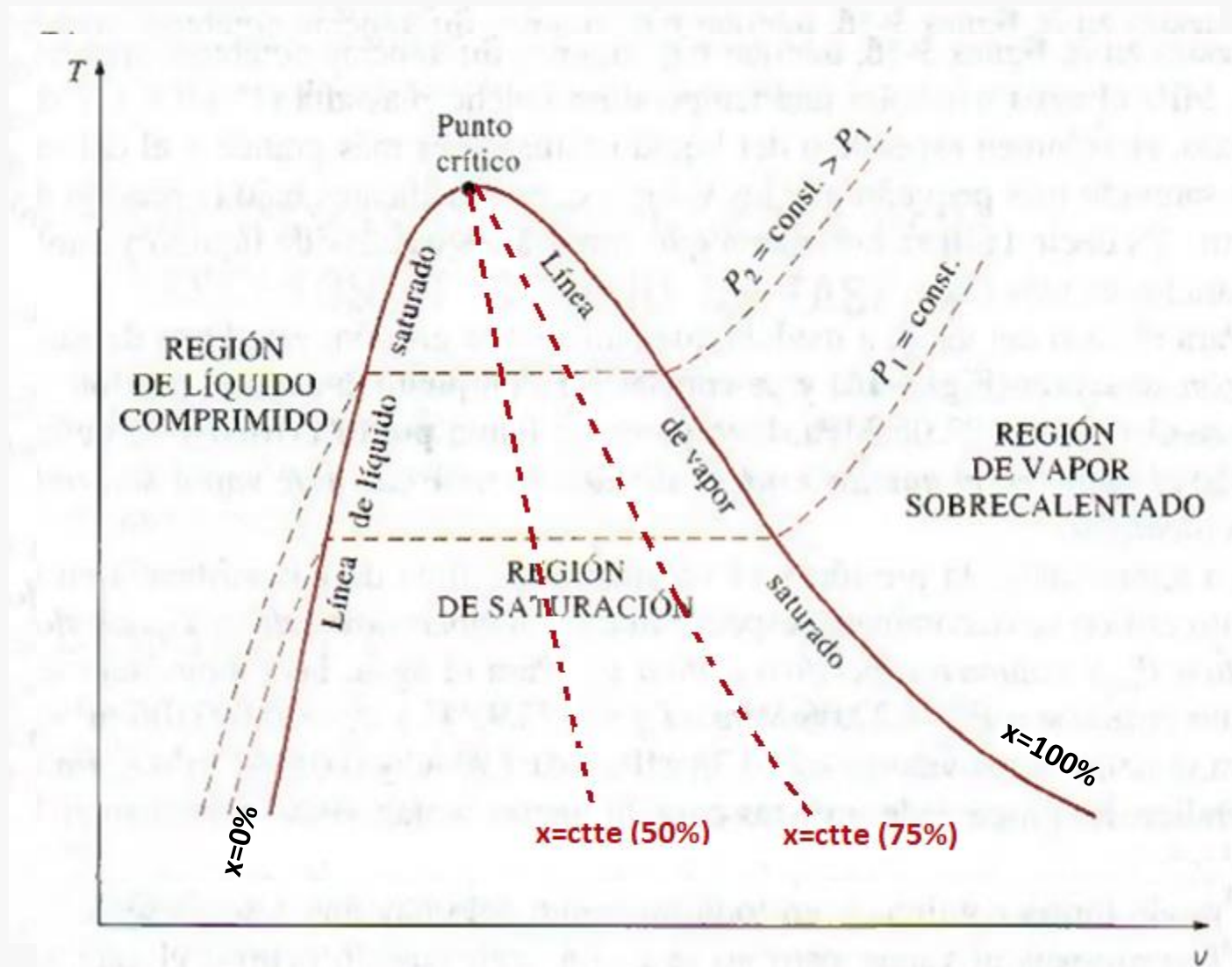
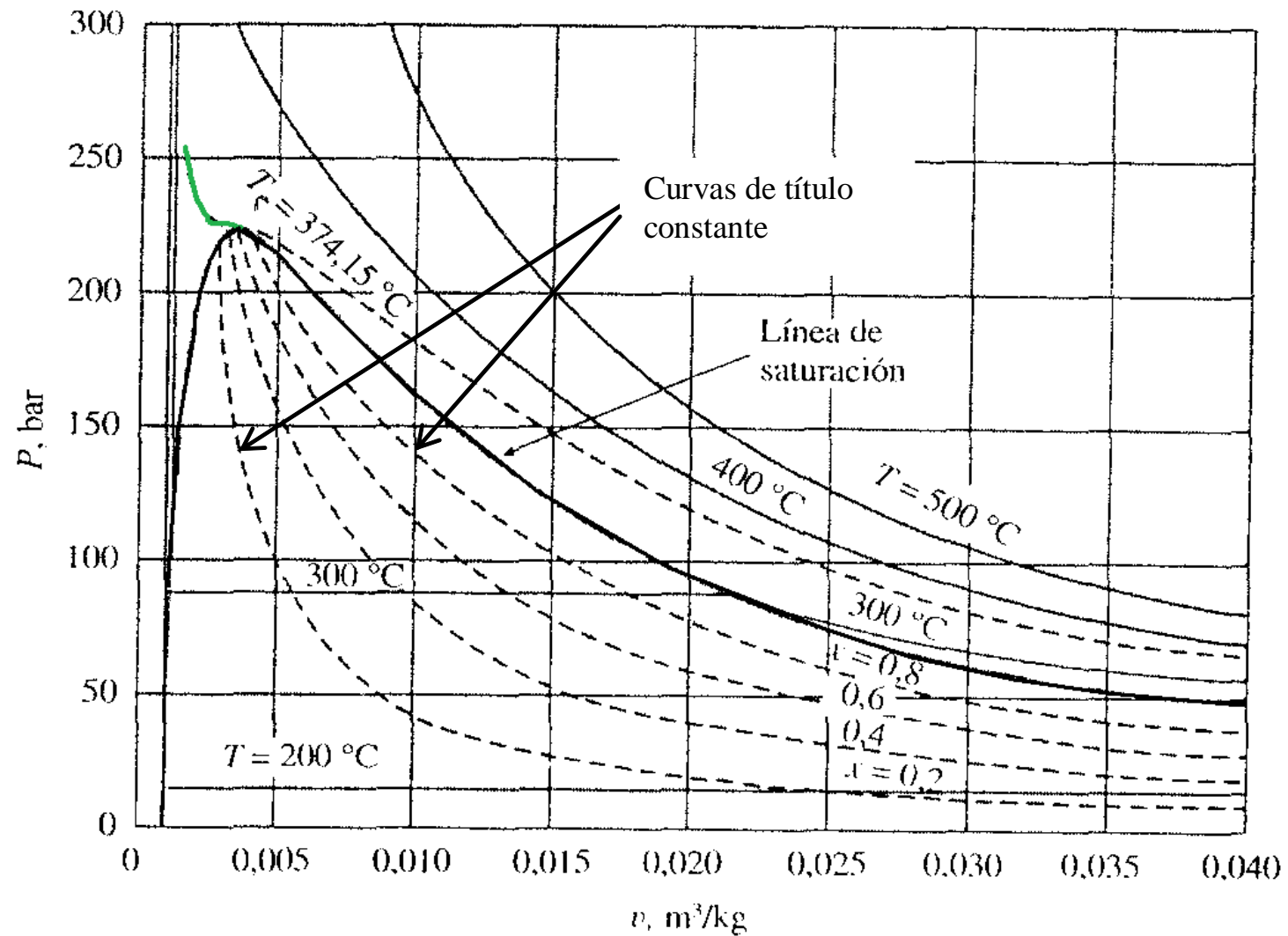
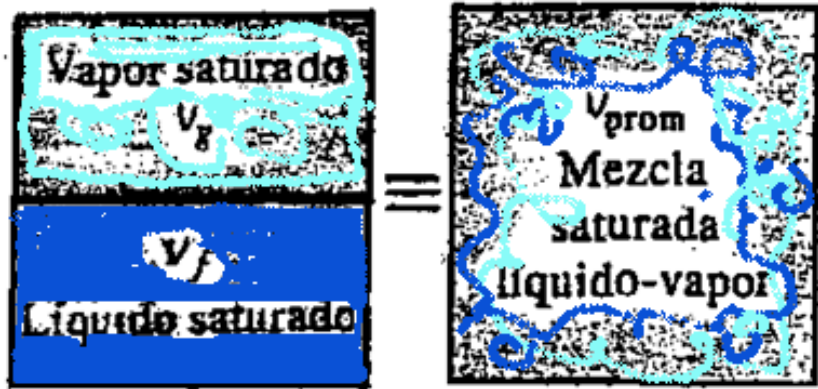


Diagrama P-v para el AGUA



Mezcla saturada líquido vapor

En un vapor húmedo, la expresión para calcular el volumen específico “promedio” en una mezcla



$$v_{\text{prom}} = (1 - x)v_f + xv_g$$

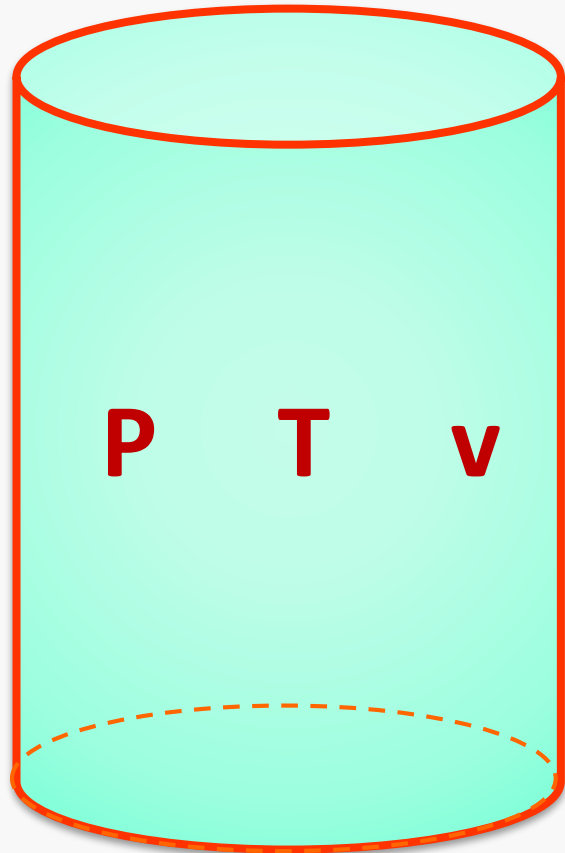
$$v_{\text{prom}} = v_f + xv_{fg} \quad (\text{Donde } v_{fg} = v_g - v_f)$$

Es válida para otras propiedades extensivas:

$$u_{\text{prom}} = u_f + xu_{fg}$$

$$h_{\text{prom}} = h_f + xh_{fg}$$

Estados de equilibrio de un sistema simple compresible

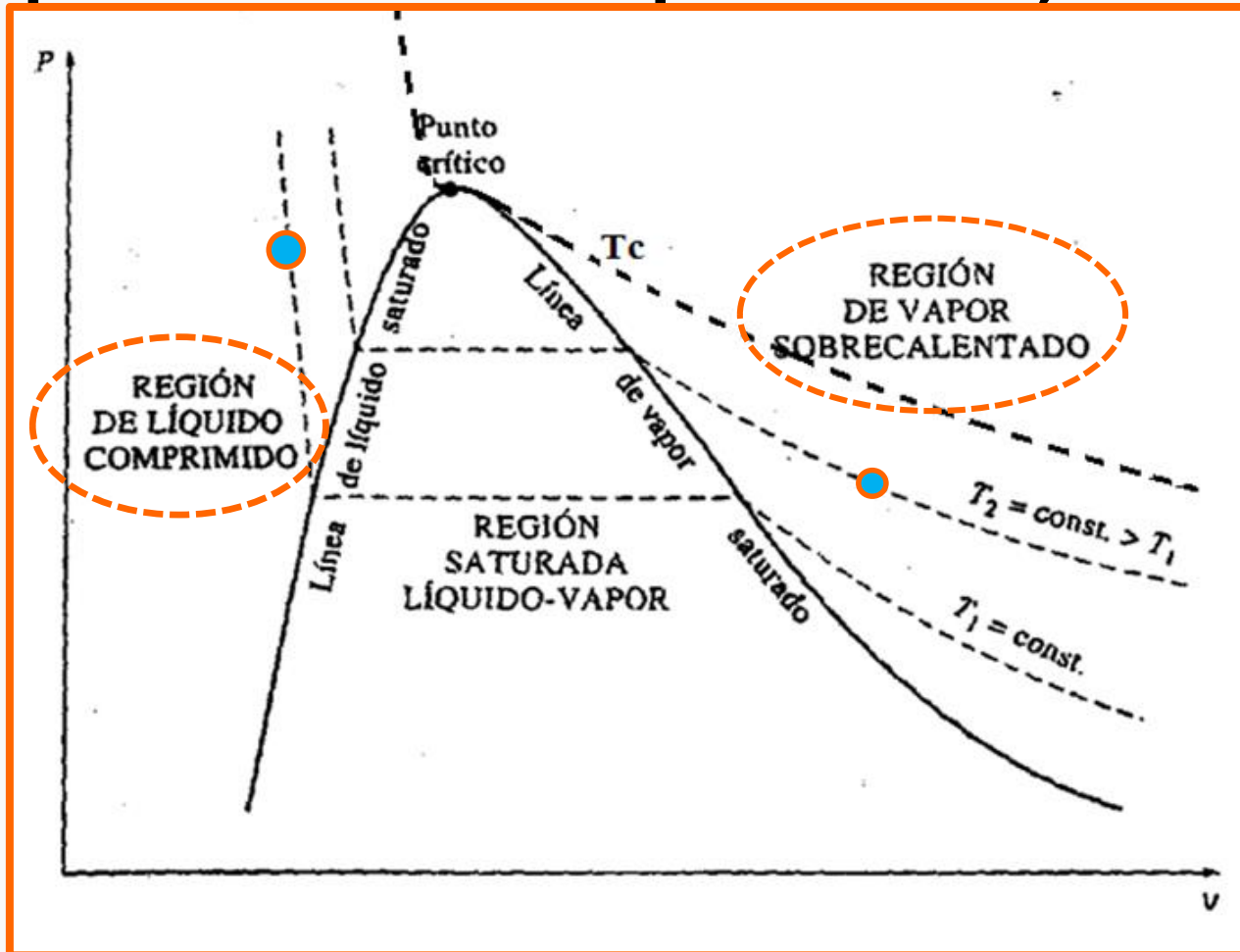


Recipiente con un gas o vapor
en equilibrio

- Para caracterizar el estado en que se encuentra el sistema, se utilizan las propiedades intensivas P , T y v
- Para que P , T y v sean representativas del estado del sistema, es necesario que su valor sea UNIFORME, o sea con el mismo valor en cualquier punto (Equilibrio interno)
- En un diagrama $T - v$; $P - v$ o $P - T$ cada estado de equilibrio de todo el sistema se representa con UN PUNTO

Propiedades independientes de una sustancia pura (sistema simple compresible)

➤ Si la sustancia está, en equilibrio, en una sola fase ➔ Dos propiedades son independientes, el resto queda fijado.



UNA
FASE

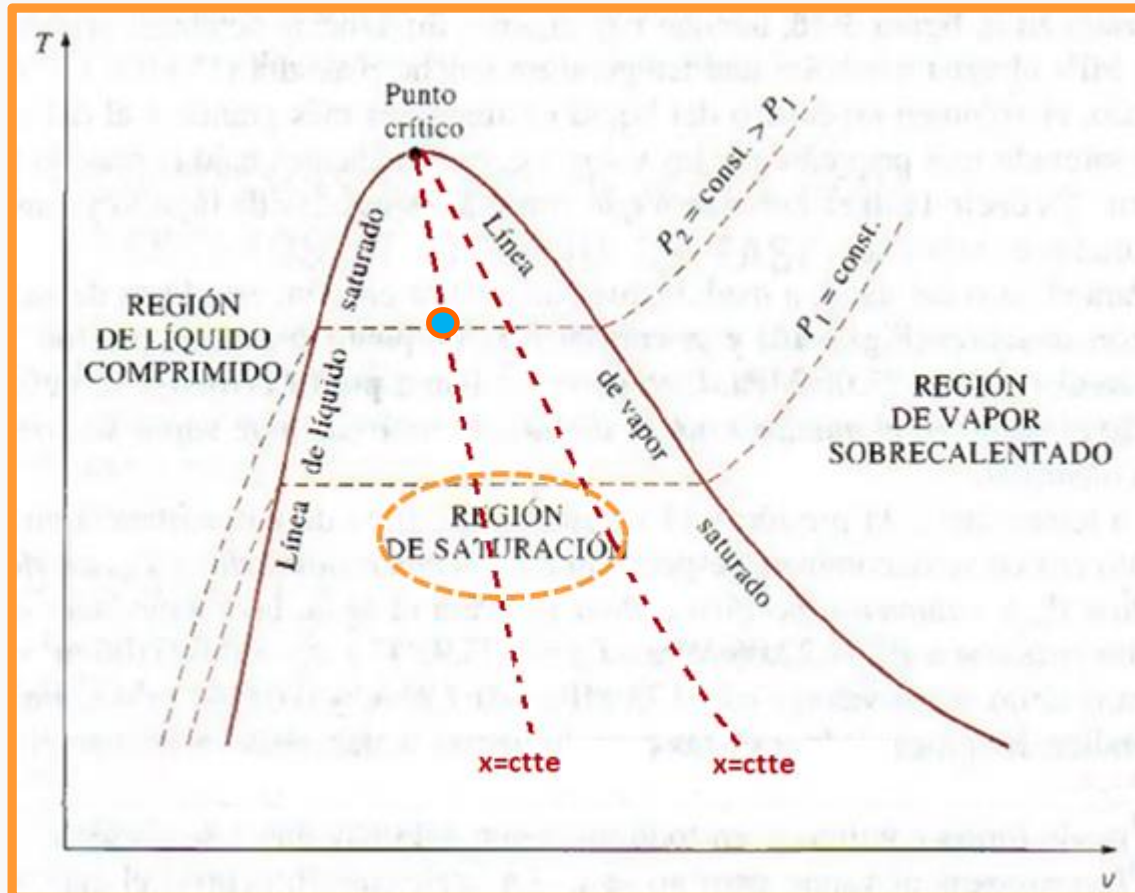
➤ T y P

➤ P y v

➤ T y v

Propiedades independientes de una sustancia pura

➤ Si la sustancia está en dos fases (vapor húmedo) ➡ T y P no son independientes ya que $T_{\text{sat}} = f(P_{\text{sat}})$. Además de T ó P debe fijarse “ x ” ó “ v ”.



DOS
FASES

➤ T/P y v

➤ T/P y x

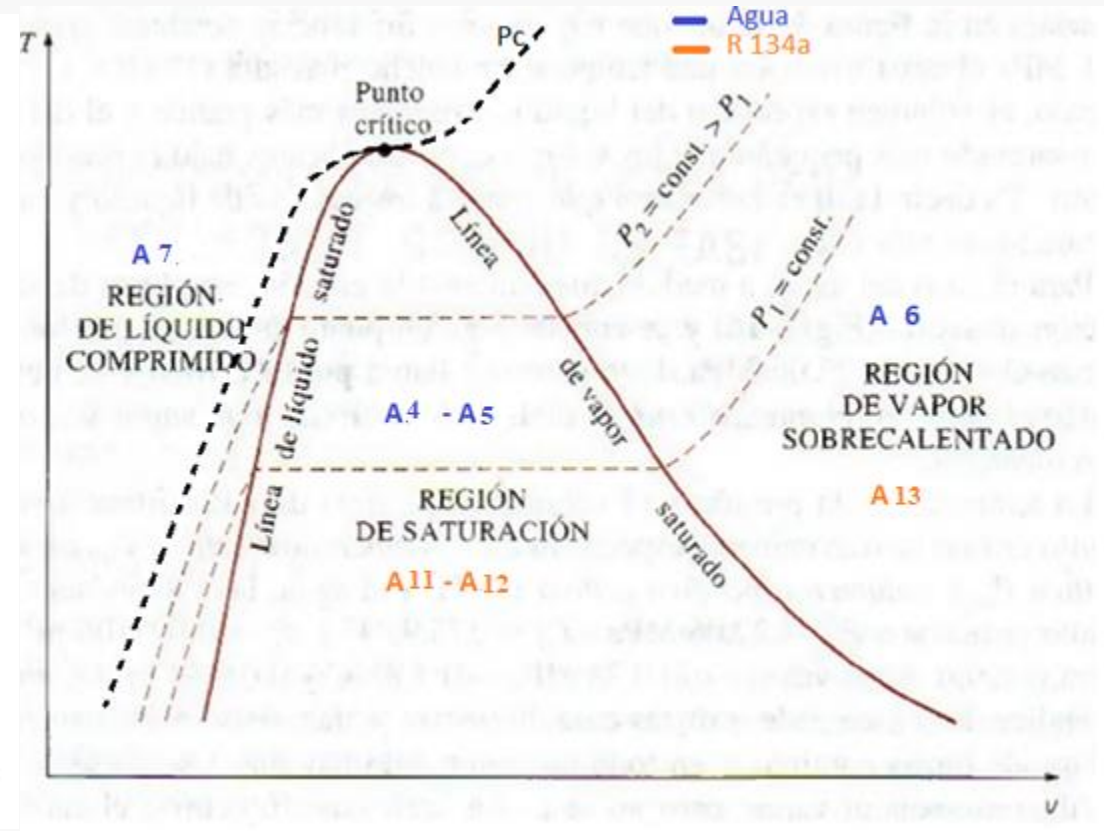
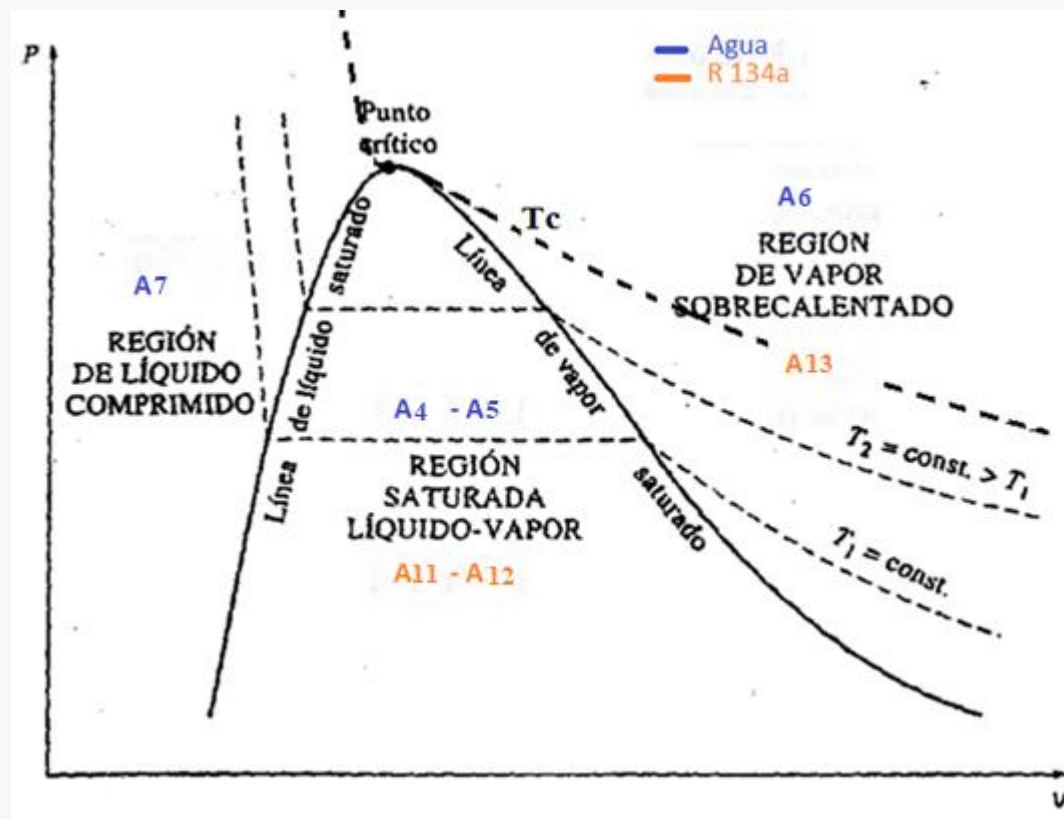
POSTULADO DE ESTADO:

El estado de equilibrio de un sistema compresible simple se especifica por completo mediante dos propiedades intensivas independientes

USO DE TABLAS DE PROPIEDADES DE CENGEL

Agua: A4, A5, A6, A7

R134a: A11, A12, A13



TABLAS DE PROPIEDADES P - v - T para el agua. (CENGEL)

ESTADO DE REFERENCIA PARA EL AGUA: Liq. Sat. en el pto. Triple (0,01°C)

TABLAS DE PROPIEDADES, FIGURAS Y DIAGRAMAS (UNIDADES SI)												
TABLA A-4												
Agua saturada. Tabla de temperaturas												
Temp., T °C	Pres. sat., P_{sat} kPa	Volumen específico, m^3/kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, $kJ/kg \cdot K$		
		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

TABLAS DE PROPIEDADES P – V - T para el agua (WARK)

516

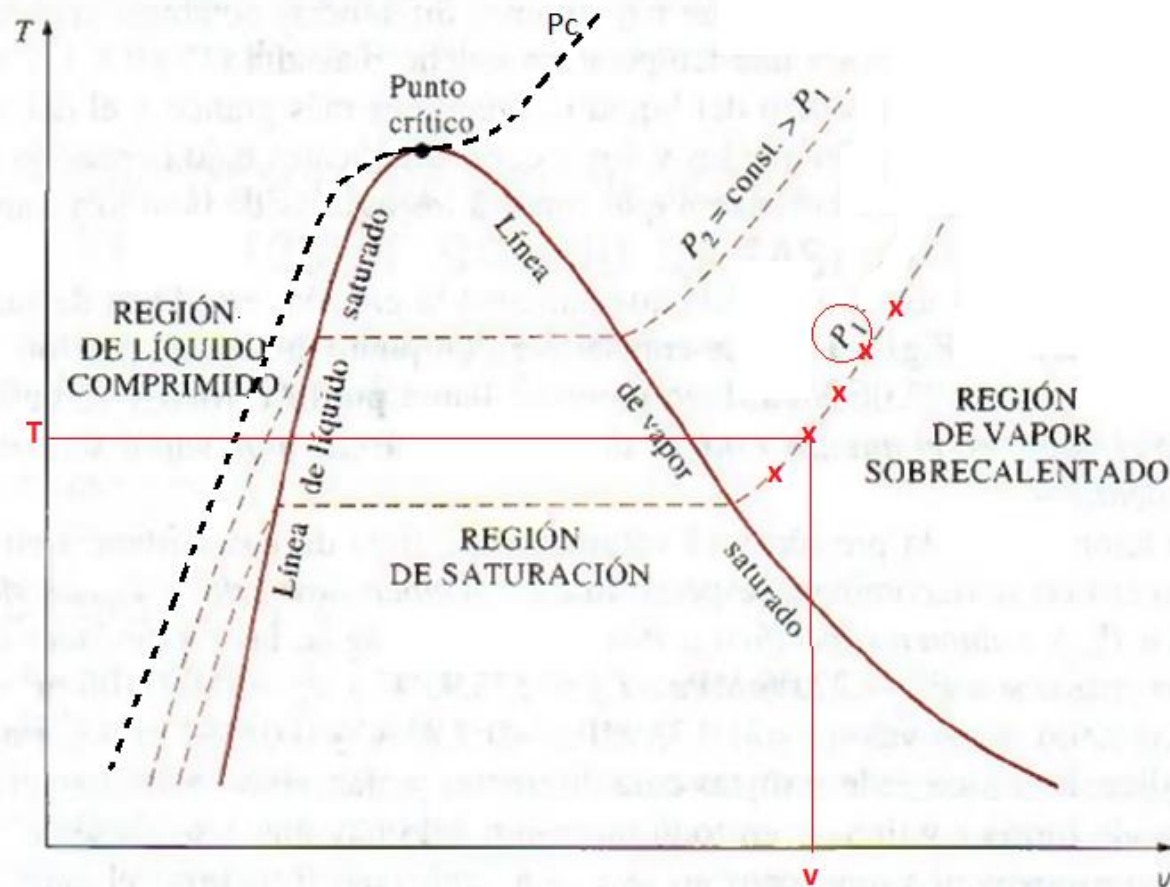
TABLAS DE PROPIEDADES, FIGURAS Y DIAGRAMAS (UNIDADES SI)

TABLA A-5

Agua saturada. Tabla de presiones

Pres., <i>P</i> kPa	Temp. sat., <i>T</i> _{sat} °C	Volumen específico, <i>m</i> ³ /kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, kJ/kg · K		
		Liq. sat., <i>v</i> _f	Vapor sat., <i>v</i> _g	Liq. sat., <i>u</i> _f	Evap., <i>u</i> _{fg}	Vapor sat., <i>u</i> _g	Liq. sat., <i>h</i> _f	Evap., <i>h</i> _{fg}	Vapor sat., <i>h</i> _g	Liq. sat., <i>s</i> _f	Evap., <i>s</i> _{fg}	Vapor sat., <i>s</i> _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

TABLAS DE PROPIEDADES P – V - T para el agua (CENGEL)



TABLAS DE PROPIEDADES, FIGURAS Y DIAGRAMAS (UNIDADES SI)

TABLA A-6

Vapor de agua sobrecalentado

T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K
$P = 0.01 \text{ MPa (45.81°C)*}$					$P = 0.05 \text{ MPa (81.32°C)}$			
Sat. ¹	14.670	2437.2	2583.9	8.1488	3.2403	2483.2	2645.2	7.5931
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
150	19.513	2587.9	2783.0	8.6893	3.8897	2585.7	2780.2	7.9413
200	21.826	2661.4	2879.6	8.9049	4.3562	2660.0	2877.8	8.1592
250	24.136	2736.1	2977.5	9.1015	4.8206	2735.1	2976.2	8.3568
300	26.446	2812.3	3076.7	9.2827	5.2841	2811.6	3075.8	8.5387
400	31.063	2969.3	3280.0	9.6094	6.2094	2968.9	3279.3	8.8659
500	35.680	3132.9	3489.7	9.8998	7.1338	3132.6	3489.3	9.1566
600	40.296	3303.3	3706.3	10.1631	8.0577	3303.1	3706.0	9.4201
700	44.911	3480.8	3929.9	10.4056	8.9813	3480.6	3929.7	9.6626
800	49.527	3665.4	4160.6	10.6312	9.9047	3665.2	4160.4	9.8883
900	54.143	3856.9	4398.3	10.8429	10.8280	3856.8	4398.2	10.1000
1000	58.758	4055.3	4642.8	11.0429	11.7513	4055.2	4642.7	10.3000
1100	63.373	4260.0	4893.8	11.2326	12.6745	4259.9	4893.7	10.4897
1200	67.989	4470.9	5150.8	11.4132	13.5977	4470.8	5150.7	10.6704
1300	72.604	4687.4	5413.4	11.5857	14.5209	4687.3	5413.3	10.8429
$P = 0.20 \text{ MPa (120.21°C)}$					$P = 0.30 \text{ MPa (133.52°C)}$			
Sat.	0.88578	2529.1	2706.3	7.1270	0.60582	2543.2	2724.9	6.9917
150	0.95986	2577.1	2769.1	7.2810	0.63402	2571.0	2761.2	7.0792
200	1.08049	2654.6	2870.7	7.5081	0.71643	2651.0	2865.9	7.3132
250	1.19890	2731.4	2971.2	7.7100	0.79645	2728.9	2967.9	7.5180
300	1.31623	2808.8	3072.1	7.8941	0.87535	2807.0	3069.6	7.7037
400	1.54934	2967.2	3277.0	8.2236	1.03155	2966.0	3275.5	8.0347
500	1.78142	3131.4	3487.7	8.5153	1.18672	3130.6	3486.6	8.3271
600	2.01302	3302.2	3704.8	8.7793	1.34139	3301.6	3704.0	8.5915
700	2.24434	3479.9	3928.8	9.0221	1.49580	3479.5	3928.2	8.8345
800	2.47550	3664.7	4159.8	9.2479	1.65004	3664.3	4159.3	9.0605
900	2.70656	3856.3	4397.7	9.4598	1.80417	3856.0	4397.3	9.2725
1000	2.93755	4054.8	4642.3	9.6599	1.95824	4054.5	4642.0	9.4726
1100	3.16848	4259.6	4893.3	9.8497	2.11226	4259.4	4893.1	9.6624
1200	3.39938	4470.5	5150.4	10.0304	2.26624	4470.3	5150.2	9.8431
1300	3.63026	4687.1	5413.1	10.2029	2.42019	4686.9	5413.0	10.0157

TABLAS DE PROPIEDADES P – V - T para el agua (CENGEL)

TABLAS DE PROPIEDADES, FIGURAS Y DIAGRAMAS (UNIDADES SI)									
TABLA A-7									
Agua líquida comprimida									
<i>T</i> °C	<i>v</i> m³/kg	<i>u</i> kJ/kg	<i>h</i> kJ/kg	<i>s</i> kJ/kg · K	<i>v</i> m³/kg	<i>u</i> kJ/kg	<i>h</i> kJ/kg	<i>s</i> kJ/kg · K	
<i>P</i> = 5 MPa (263.94 °C)					<i>P</i> = 10 MPa (311.00 °C)				
Sat.	0.0012862	1148.1	1154.5	2.9207	0.0014522	1393.3	1407.9	3.3603	
0	0.0009977	0.04	5.03	0.0001	0.0009952	0.12	10.07	0.0003	
20	0.0009996	83.61	88.61	0.2954	0.0009973	83.31	93.28	0.2943	
40	0.0010057	166.92	171.95	0.5705	0.0010035	166.33	176.37	0.5685	
60	0.0010149	250.29	255.36	0.8287	0.0010127	249.43	259.55	0.8260	
80	0.0010267	333.82	338.96	1.0723	0.0010244	332.69	342.94	1.0691	
100	0.0010410	417.65	422.85	1.3034	0.0010385	416.23	426.62	1.2996	
120	0.0010576	501.91	507.19	1.5236	0.0010549	500.18	510.73	1.5191	
140	0.0010769	586.80	592.18	1.7344	0.0010738	584.72	595.45	1.7293	
160	0.0010988	672.55	678.04	1.9374	0.0010954	670.06	681.01	1.9316	
180	0.0011240	759.47	765.09	2.1338	0.0011200	756.48	767.68	2.1271	
200	0.0011531	847.92	853.68	2.3251	0.0011482	844.32	855.80	2.3174	
220	0.0011868	938.39	944.32	2.5127	0.0011809	934.01	945.82	2.5037	
240	0.0012268	1031.6	1037.7	2.6983	0.0012192	1026.2	1038.3	2.6876	
260	0.0012755	1128.5	1134.9	2.8841	0.0012653	1121.6	1134.3	2.8710	
280					0.0013226	1221.8	1235.0	3.0565	
300					0.0013980	1329.4	1343.3	3.2488	
320									
340									
<i>P</i> = 20 MPa (365.75 °C)					<i>P</i> = 30 MPa				
Sat.	0.0020378	1785.8	1826.6	4.0146	0.0009857	0.29	29.86	0.0003	
0	0.0009904	0.23	20.03	0.0005	0.0009886	82.11	111.77	0.2897	
20	0.0009929	82.71	102.57	0.2921	0.0009951	164.05	193.90	0.5607	
40	0.0009992	165.17	185.16	0.5646	0.0010042	246.14	276.26	0.8156	
60	0.0010084	247.75	267.92	0.8208	0.0010155	328.40	358.86	1.0564	
80	0.0010199	330.50	350.90	1.0627	0.0010290	410.87	441.74	1.2847	
100	0.0010337	413.50	434.17	1.2920	0.0010445	493.66	525.00	1.5020	
120	0.0010496	496.85	517.84	1.5105	0.0010623	576.90	608.76	1.7098	
140	0.0010679	580.71	602.07	1.7194	0.0010823	660.74	693.21	1.9094	
160	0.0010886	665.28	687.05	1.9203	0.0011049	745.40	778.55	2.1020	
180	0.0011122	750.78	773.02	2.1143	0.0011304	831.11	865.02	2.2888	
200	0.0011390	837.49	860.27	2.3027	0.0011595	918.15	952.93	2.4707	
220	0.0011697	925.77	949.16	2.4867	0.0011927	1006.9	1042.7	2.6491	
240	0.0012053	1016.1	1040.2	2.6676	0.0012314	1097.8	1134.7	2.8250	
260	0.0012472	1109.0	1134.0	2.8469	0.0012770	1191.5	1229.8	3.0001	
280	0.0012978	1205.6	1231.5	3.0265	0.0013322	1288.9	1328.9	3.1761	
300	0.0013611	1307.2	1334.4	3.2091	0.0014014	1391.7	1433.7	3.3558	
320	0.0014450	1416.6	1445.5	3.3996					

DIAGRAMA P – v incluyendo la fase sólida

Sustancia que se contrae al pasar de líquido a sólido

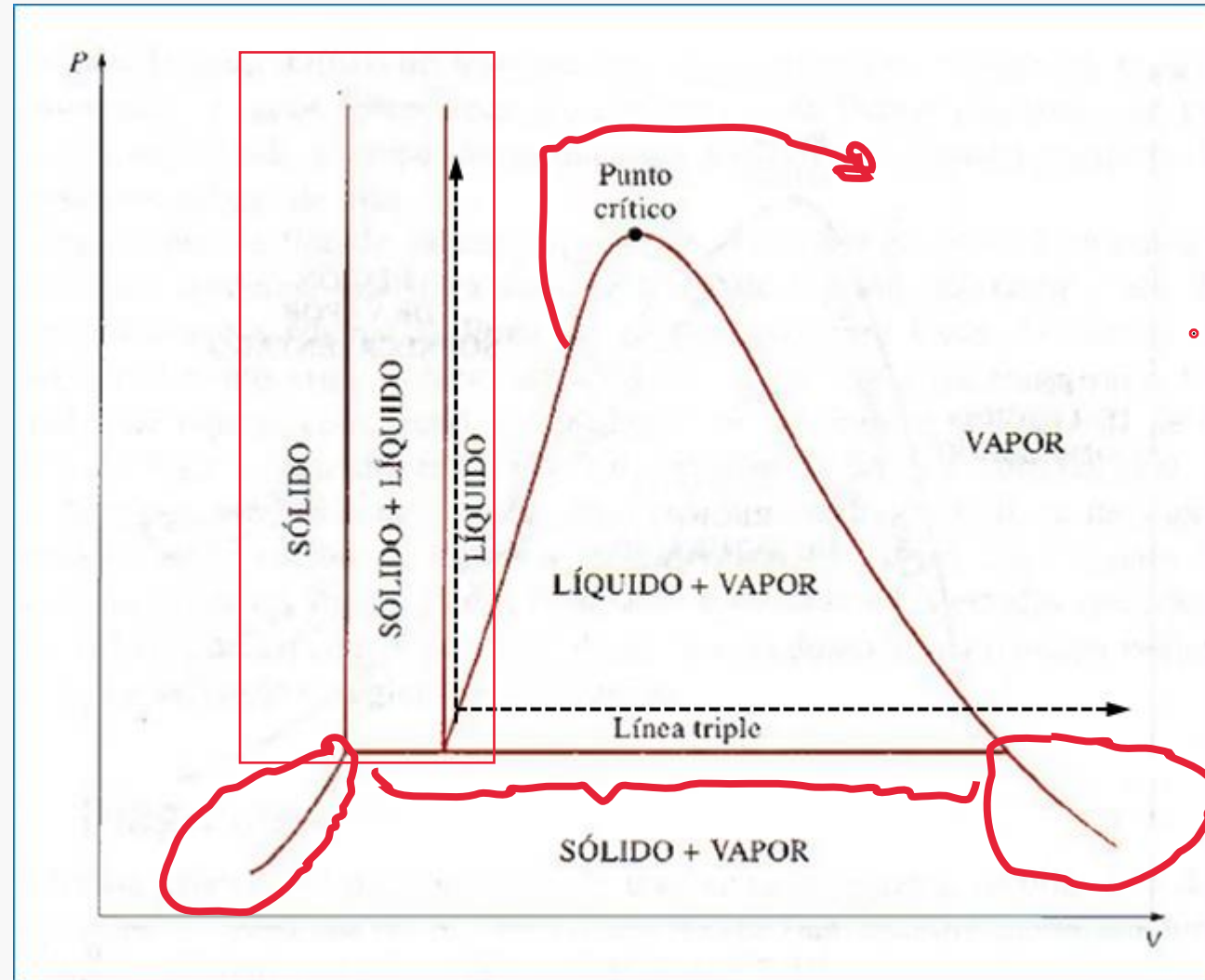
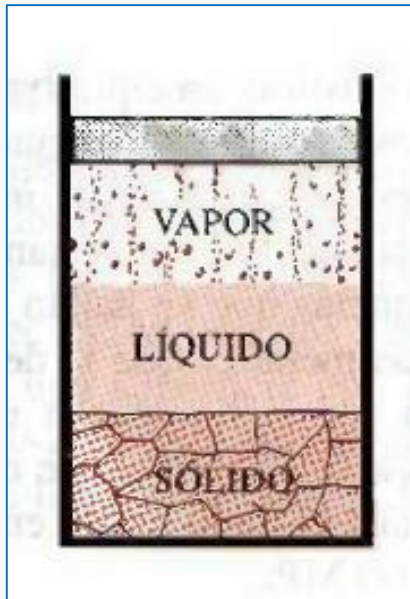


DIAGRAMA DE FASES (P – T)

Sustancia que se contrae al pasar de líquido a sólido



A la P y T del punto triple, la sustancia existe en tres fases en equilibrio

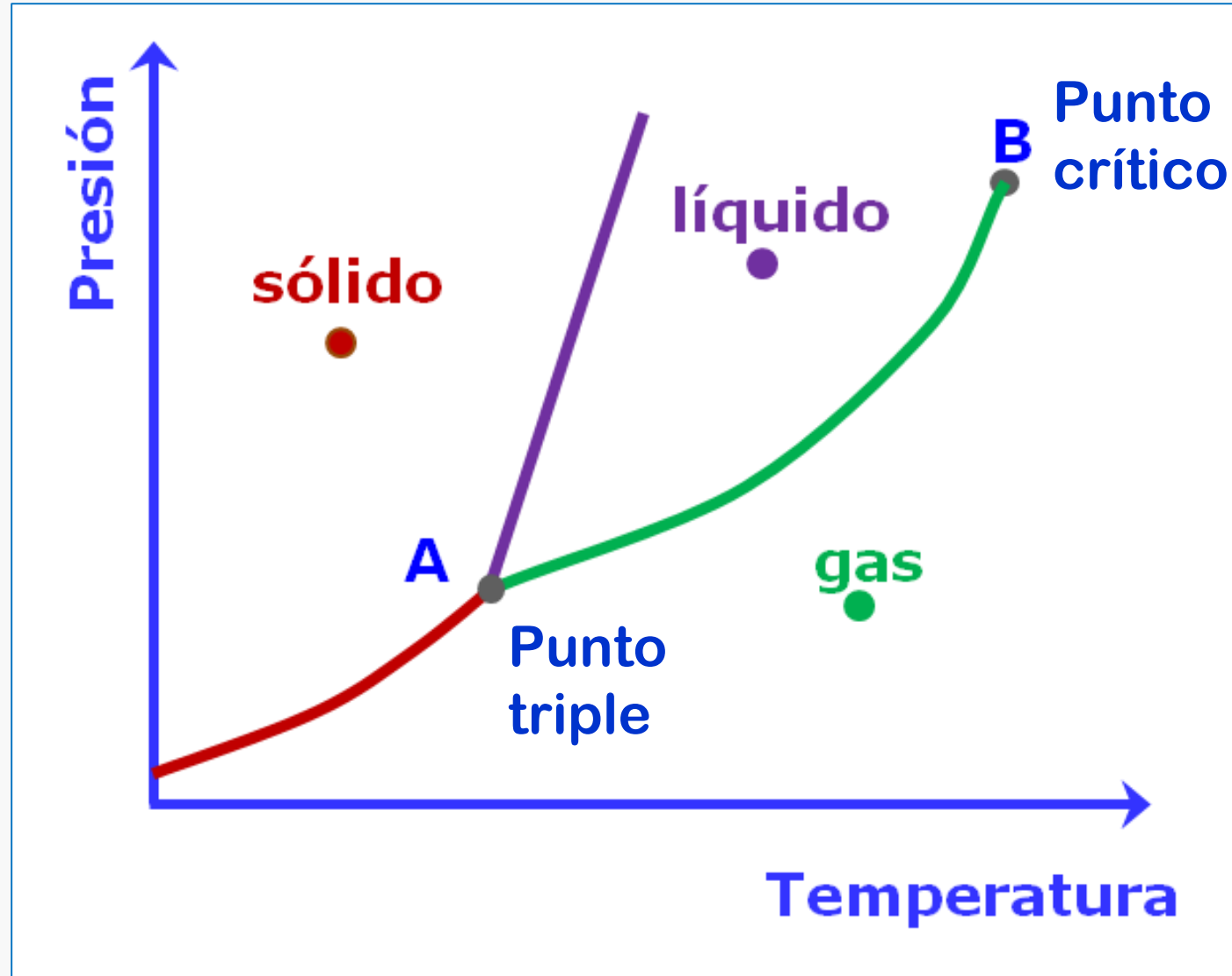
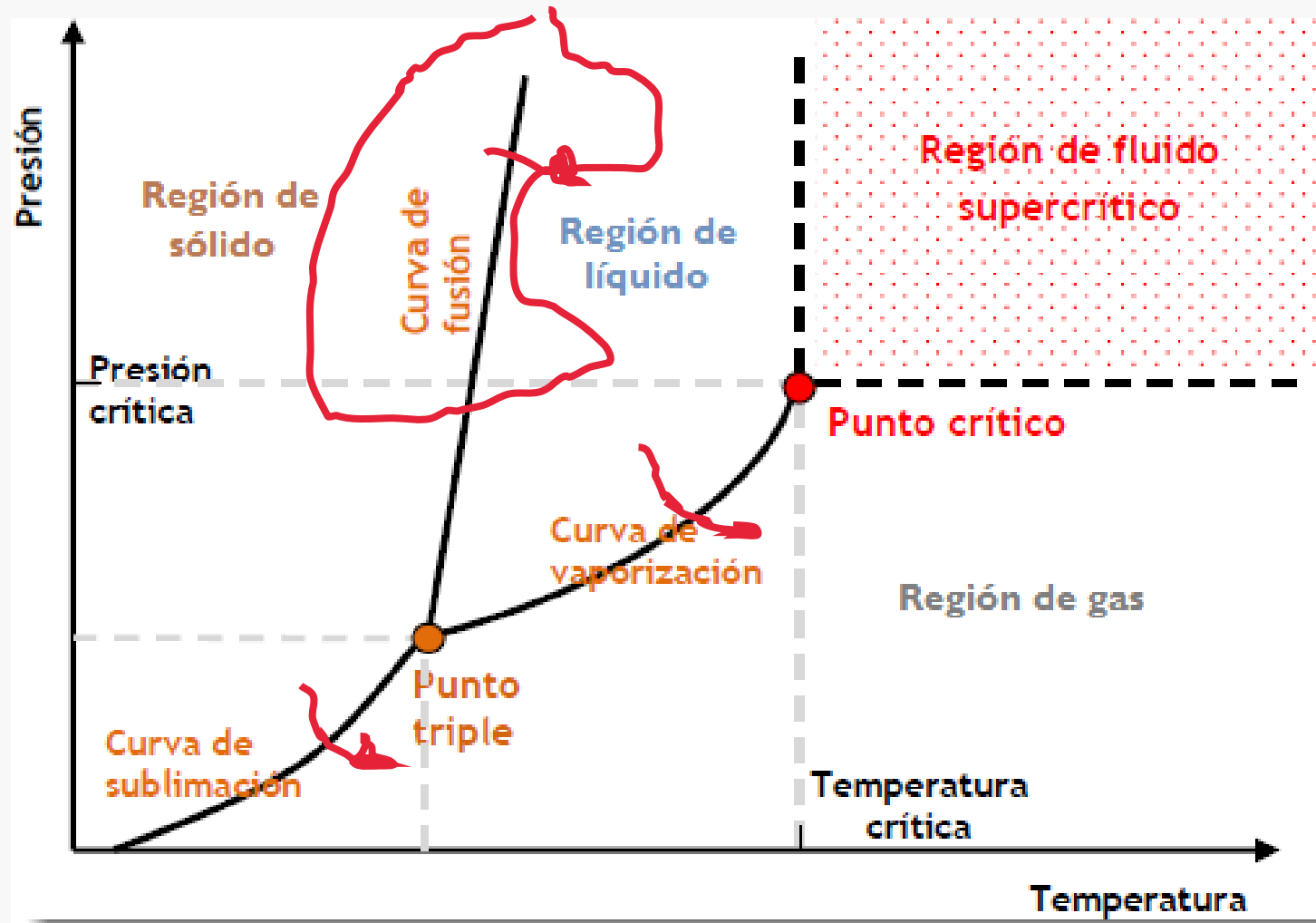


DIAGRAMA DE FASES (P – T)

Fluido supercrítico



CASO PARTICULAR: CAMBIO DE FASE SÓLIDO LÍQUIDO PARA EL AGUA

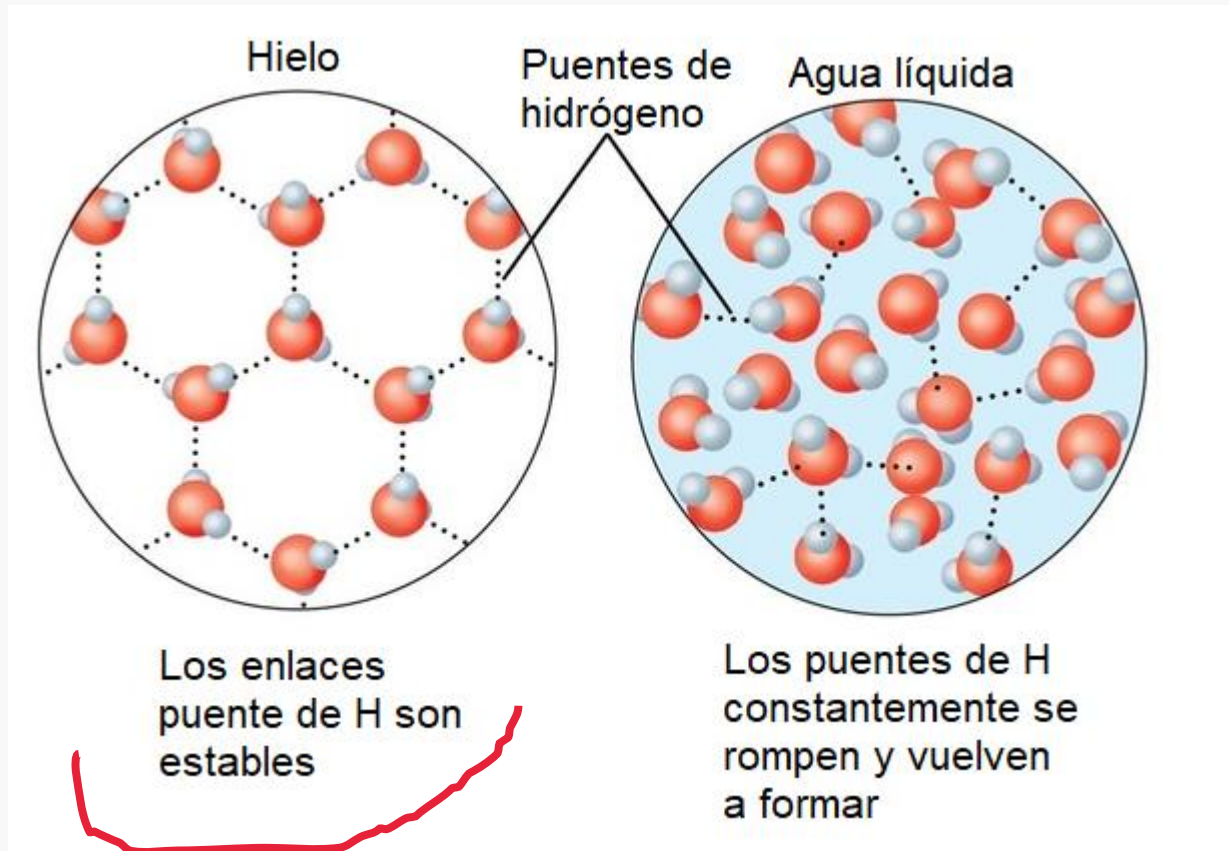


DIAGRAMA P – v incluyendo la fase sólida

Sustancia que se expande al pasar de líquido a sólido (Ej: agua)

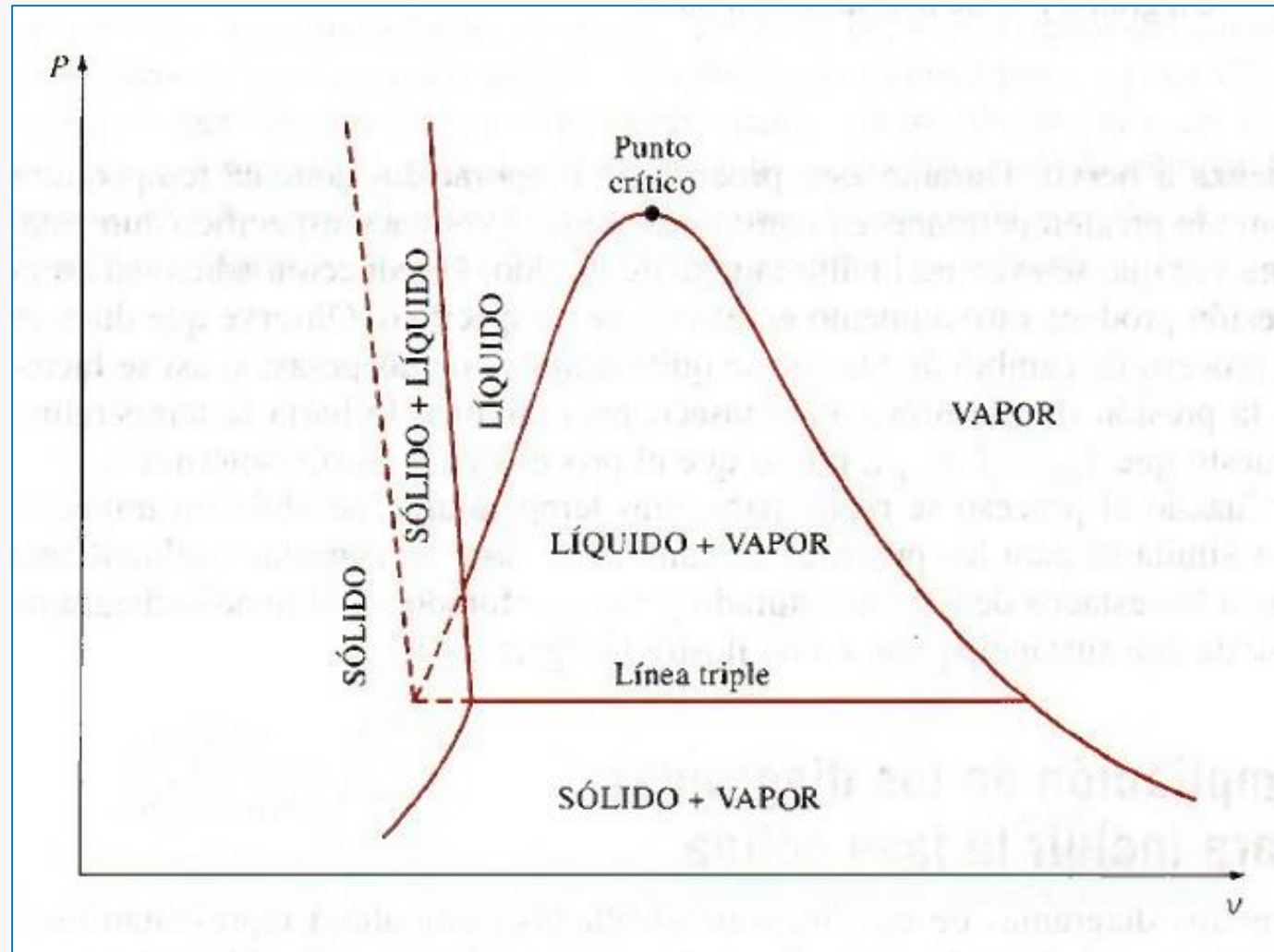
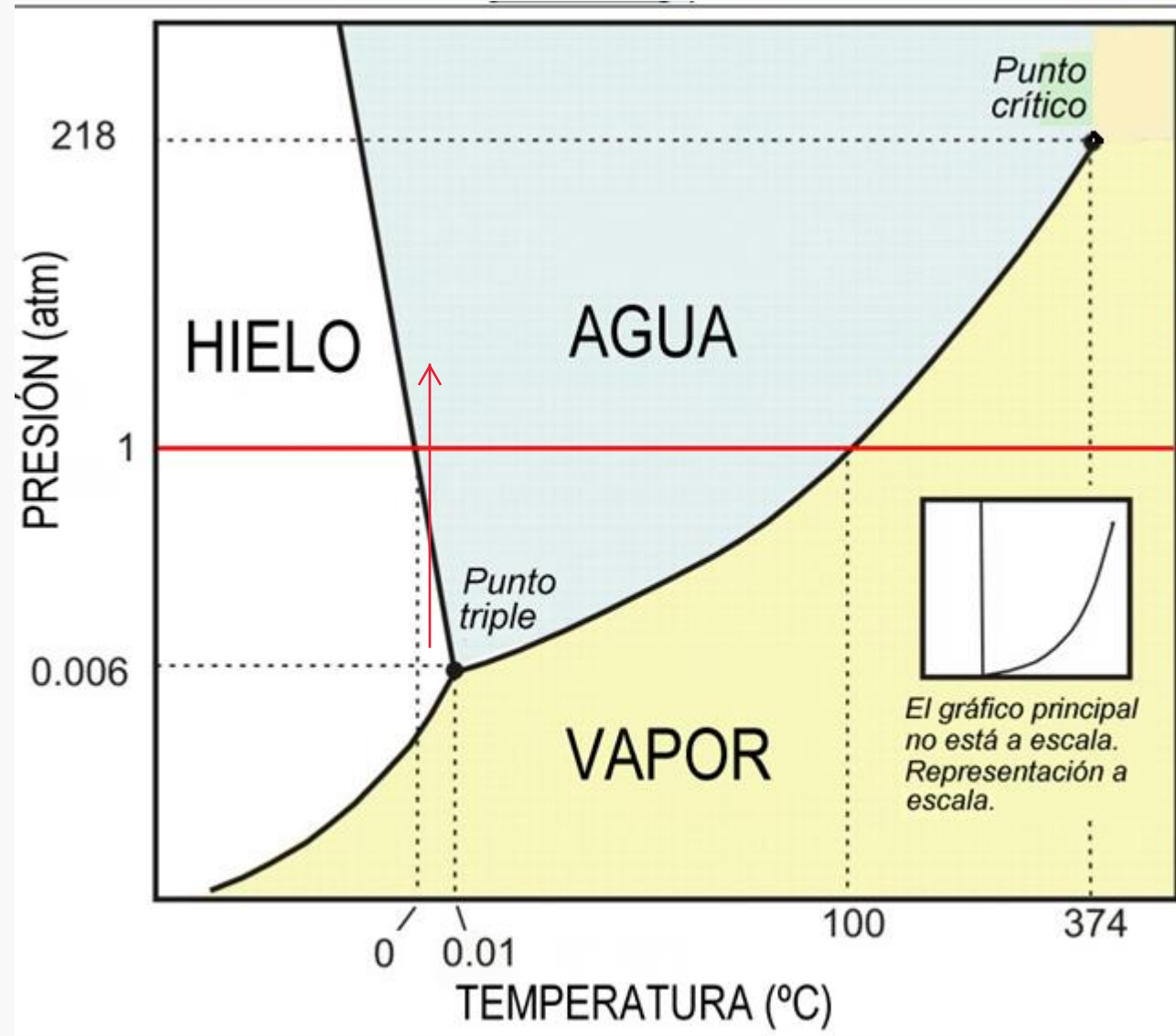


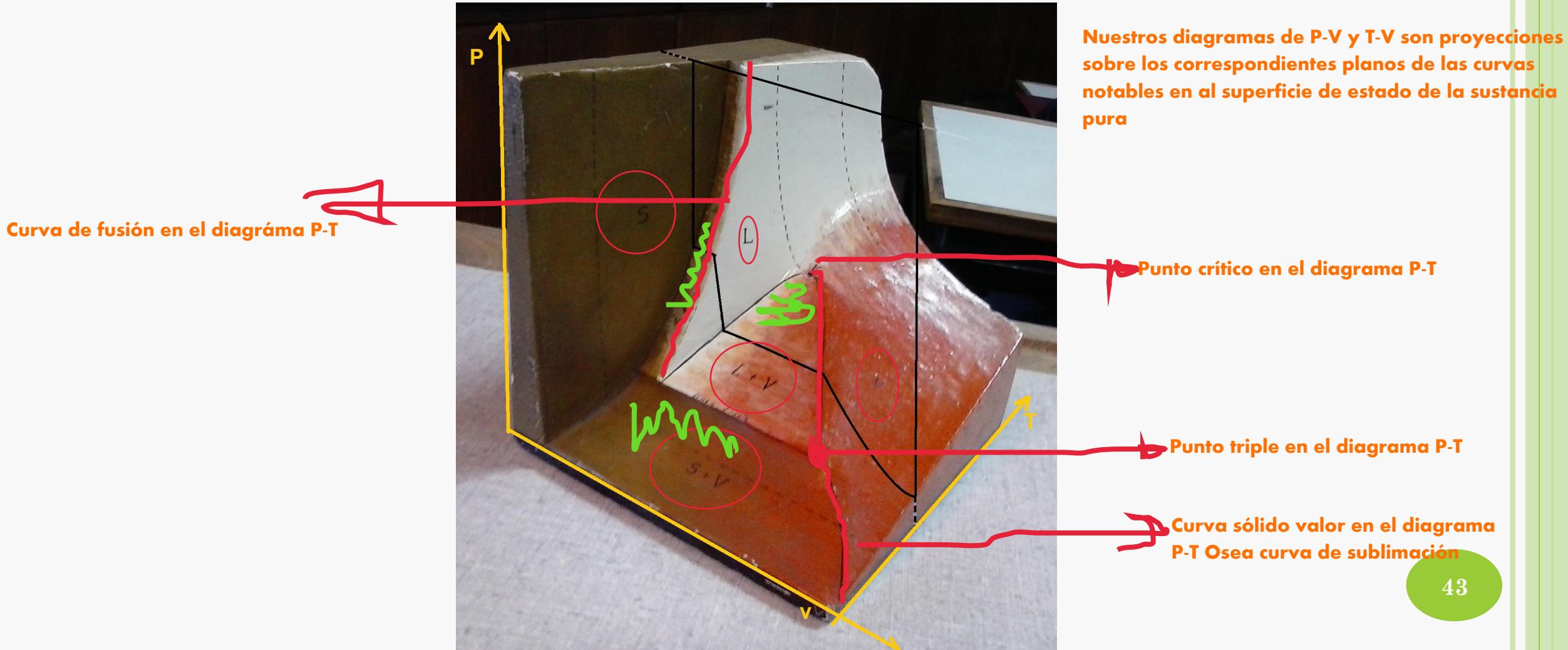
DIAGRAMA DE FASES (P – T)

Sustancia que se expande al pasar de líquido a sólido



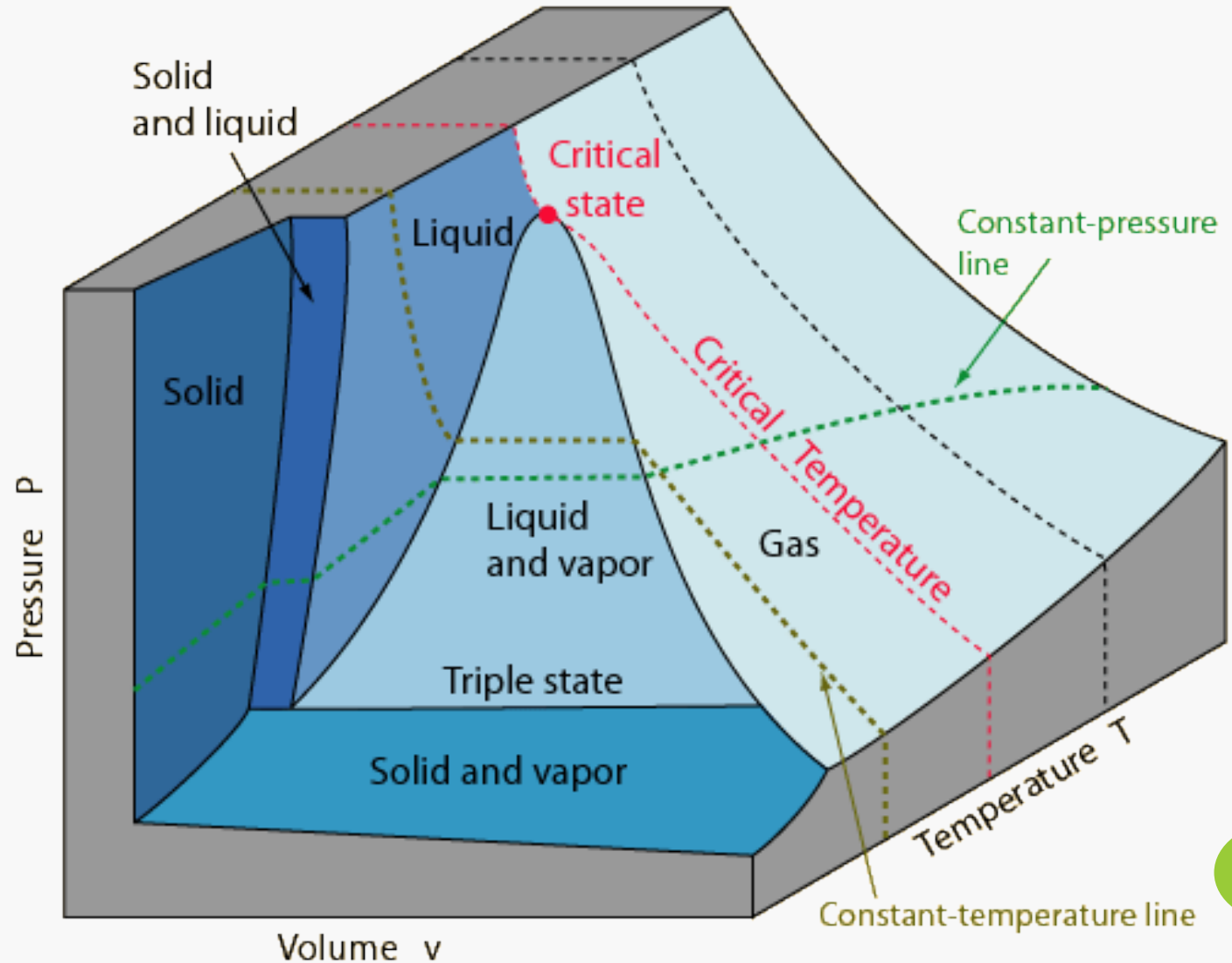
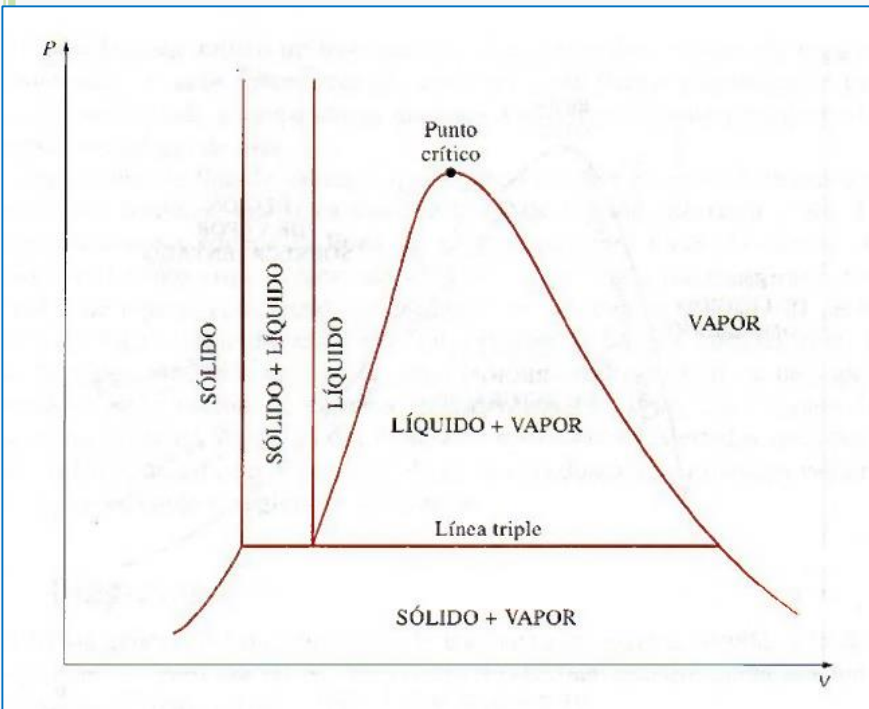
SUPERFICIE DE ESTADO DE UNA SUSTANCIA PURA

(Se contrae al pasar de líquido a sólido)



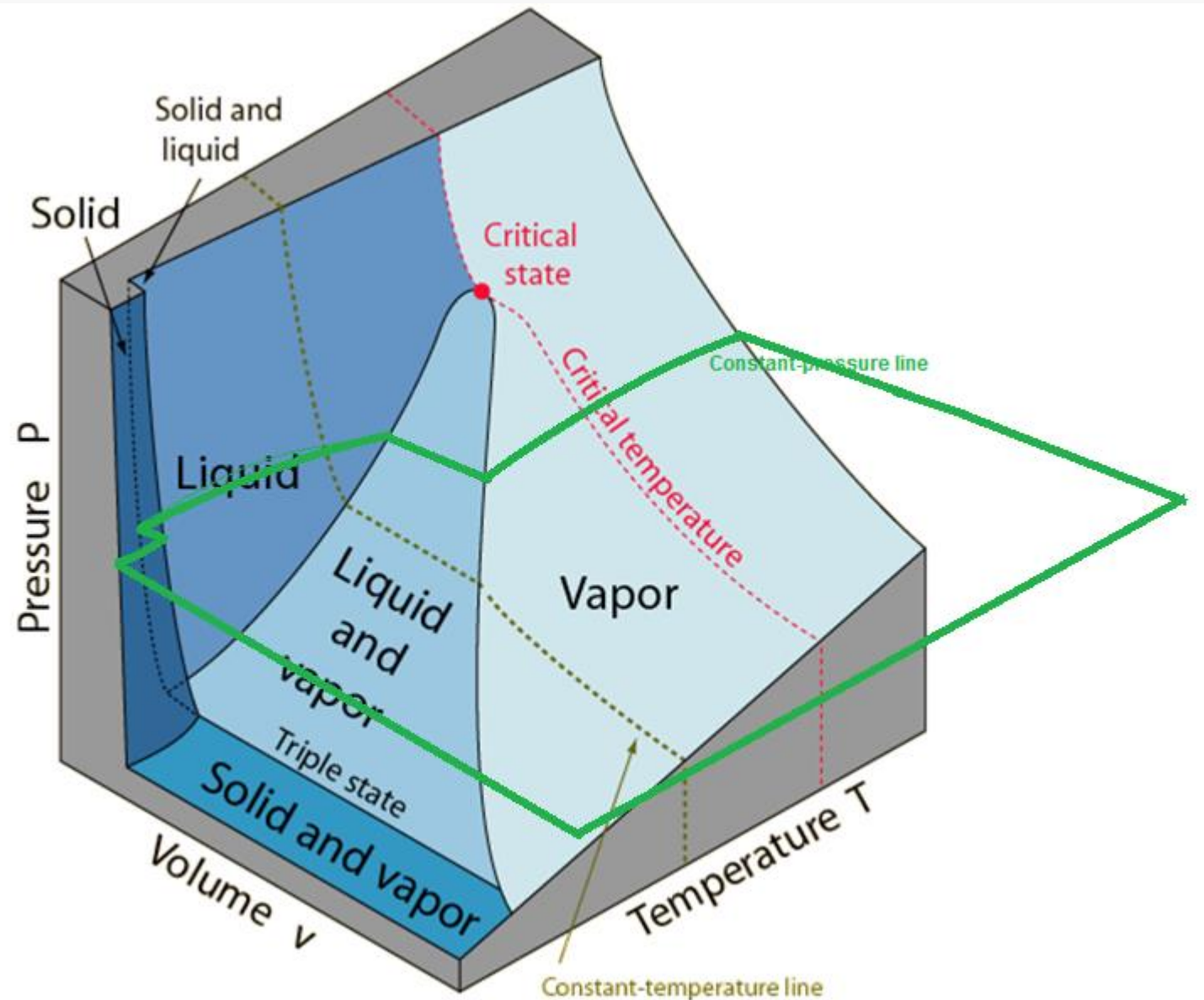
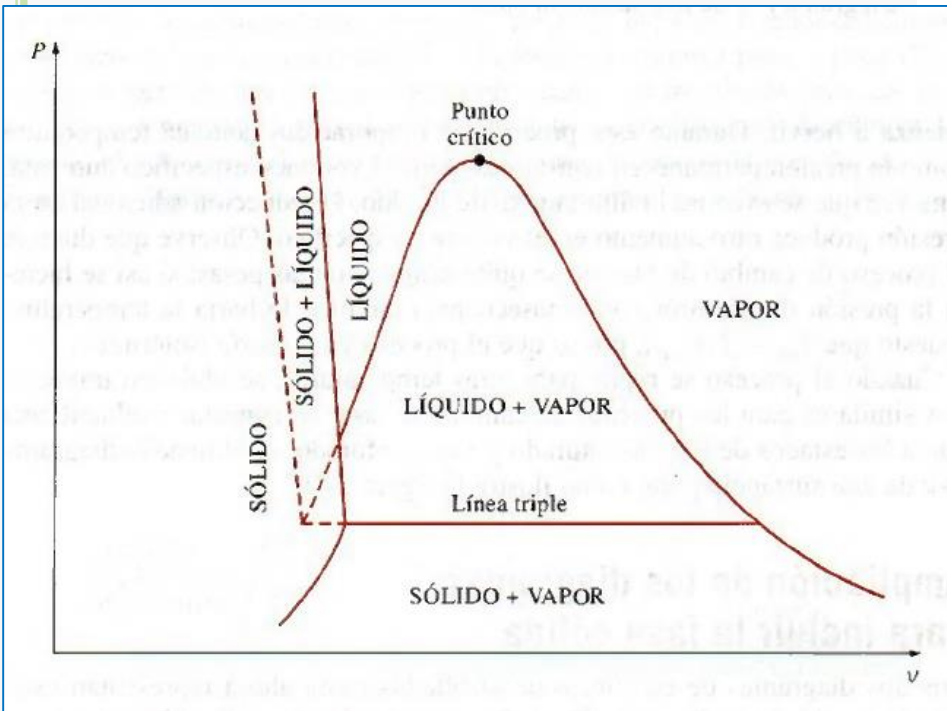
SUPERFICIE DE ESTADO DE UNA SUSTANCIA PURA

(Se contrae al pasar de líquido a sólido)



SUPERFICIE DE ESTADO DE UNA SUSTANCIA PURA

(Se dilata al pasar de líquido a sólido)



SUPERFICIE DE ESTADO DE UNA SUSTANCIA PURA

(Se dilata al pasar de líquido a sólido)

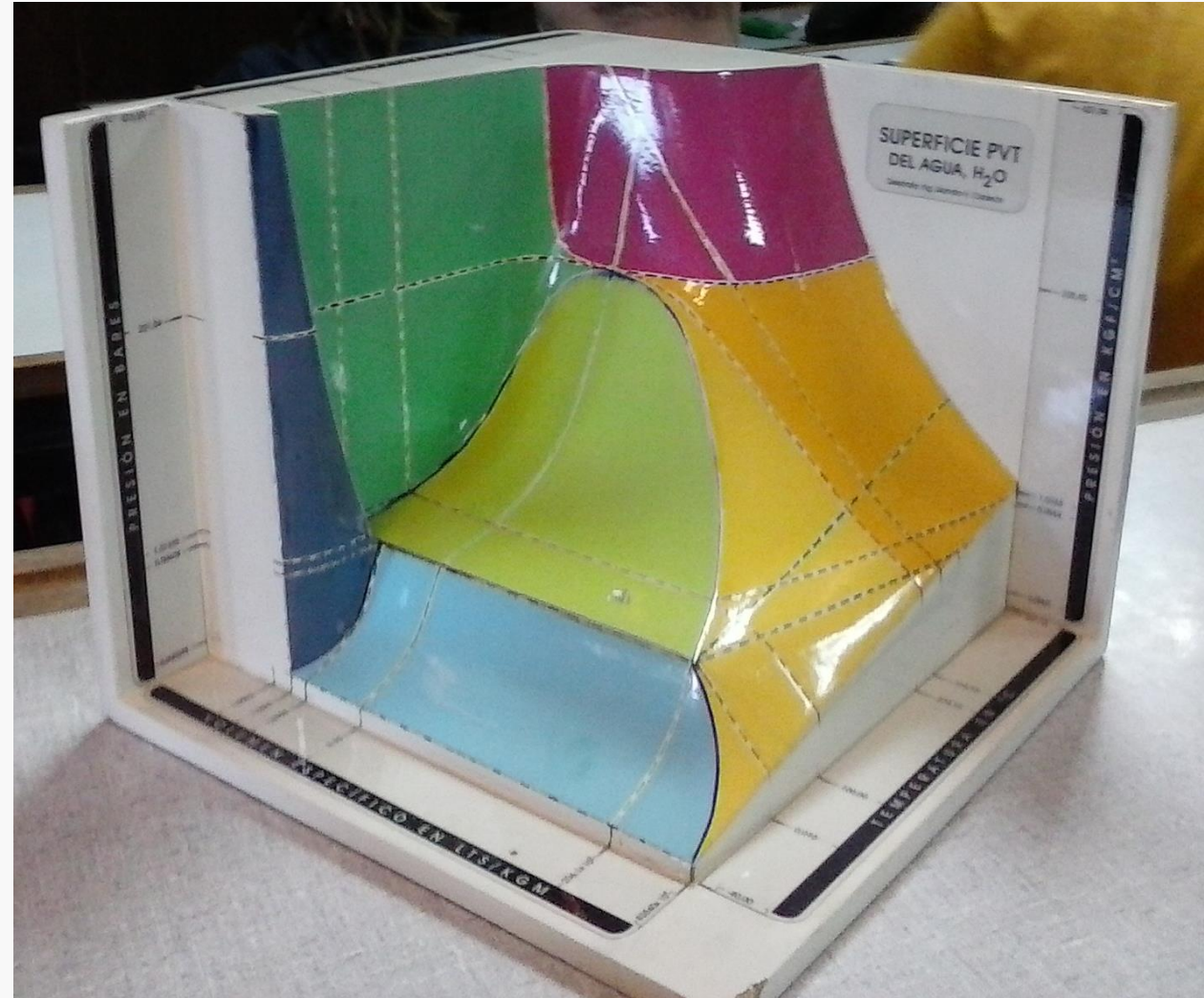
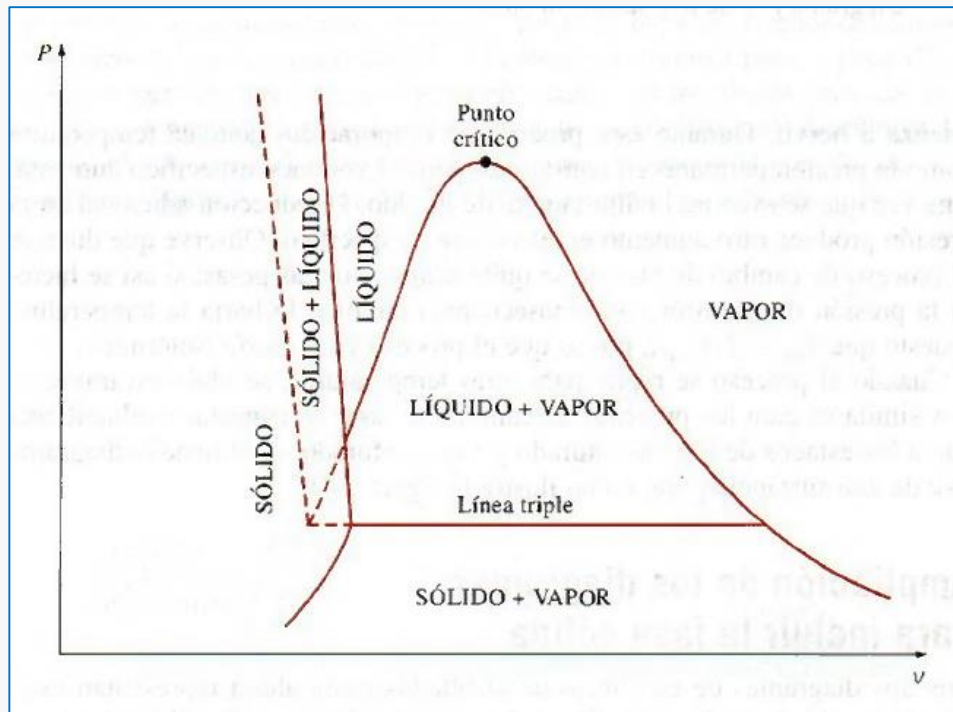


DIAGRAMA P – v incluyendo la fase sólida

Sustancia que se expande al pasar de líquido a sólido (Ej: agua)

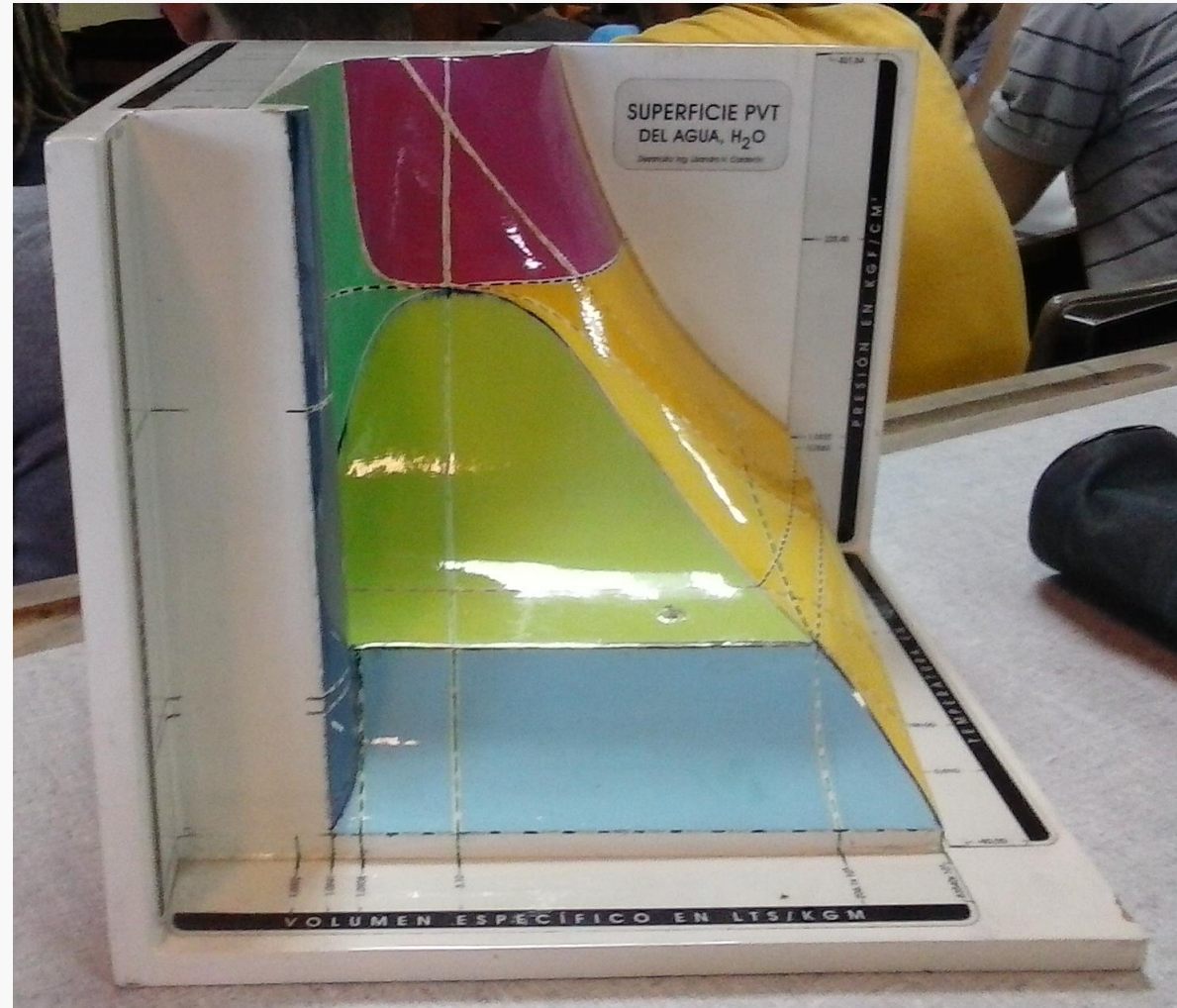
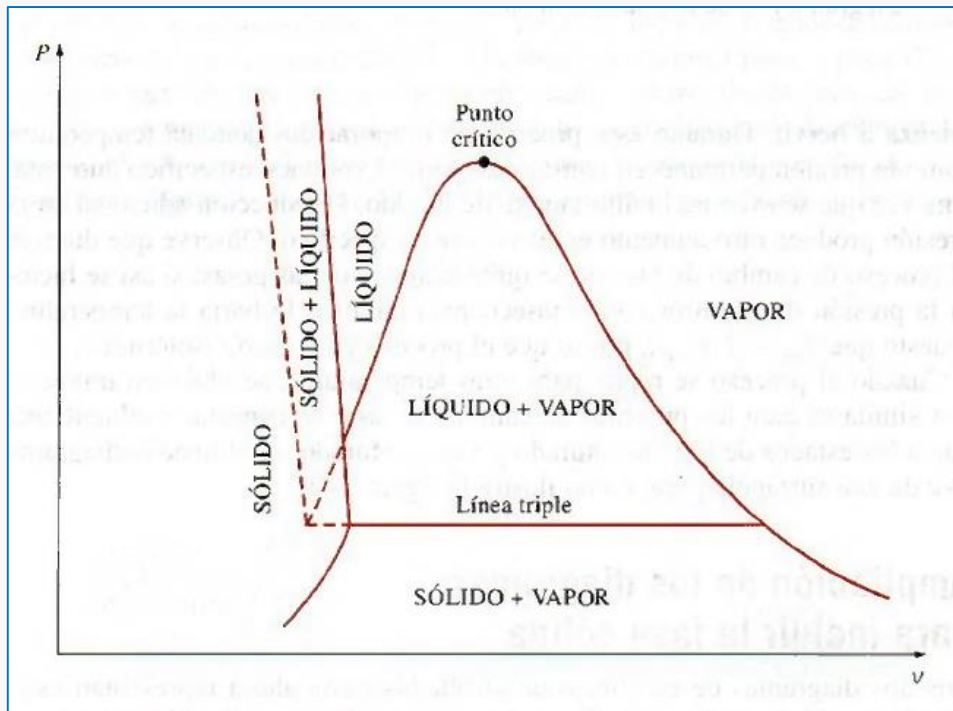
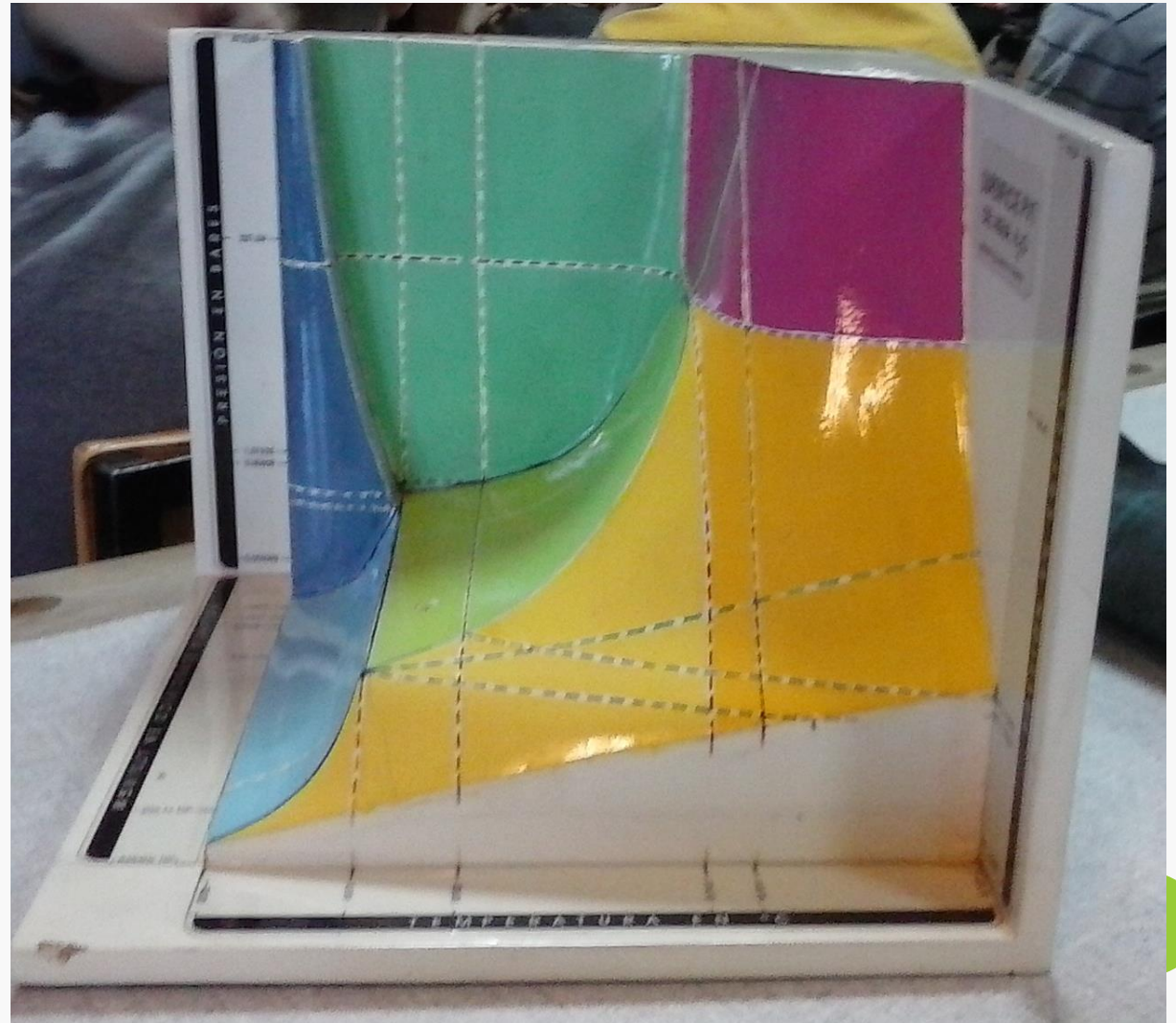
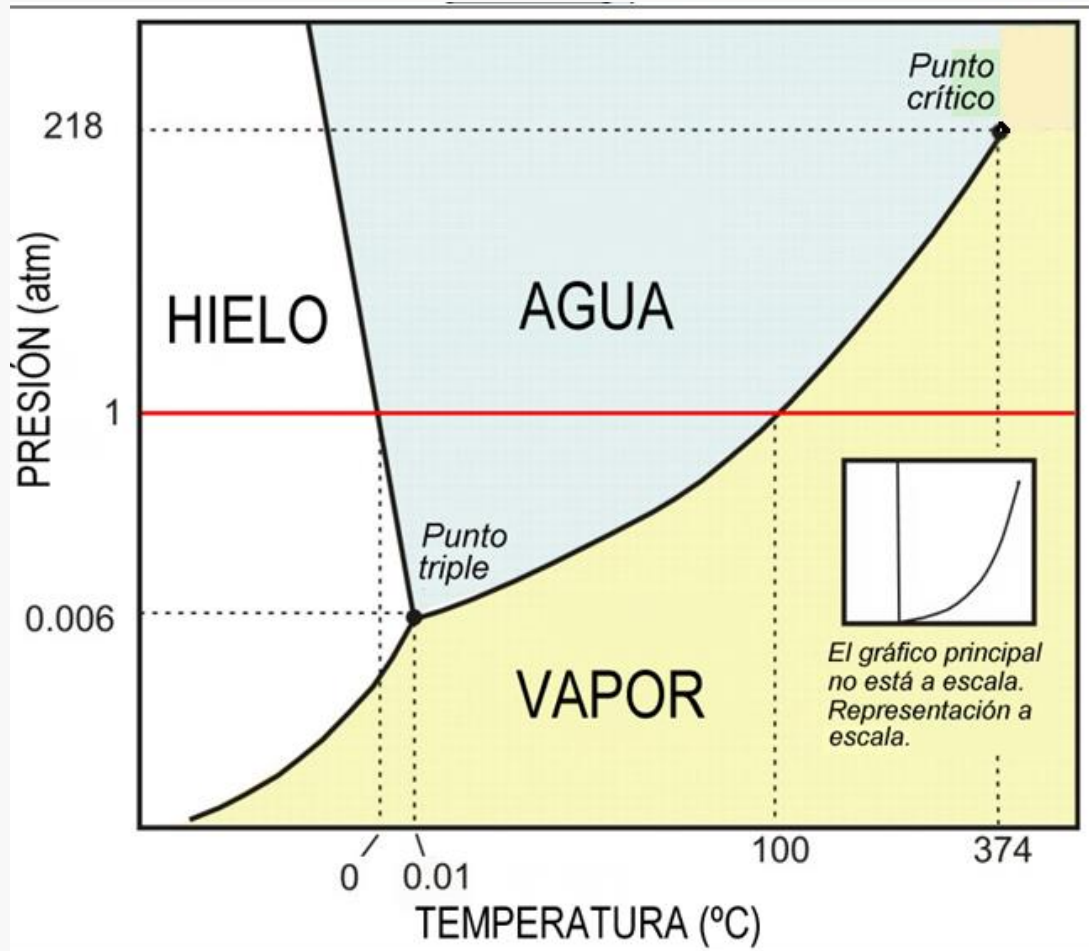


DIAGRAMA DE FASES (P – T)

Sustancia que se expande al pasar de líquido a sólido



FIN