

## Qué es una sustancia pura?

Una sustancia pura es un material homogéneo que siempre tiene la misma composición fija e invariable y cuyas propiedades físicas y químicas son siempre las mismas. Algunas pueden descomponerse mediante procesos químicos en otras sustancias más simples.

---

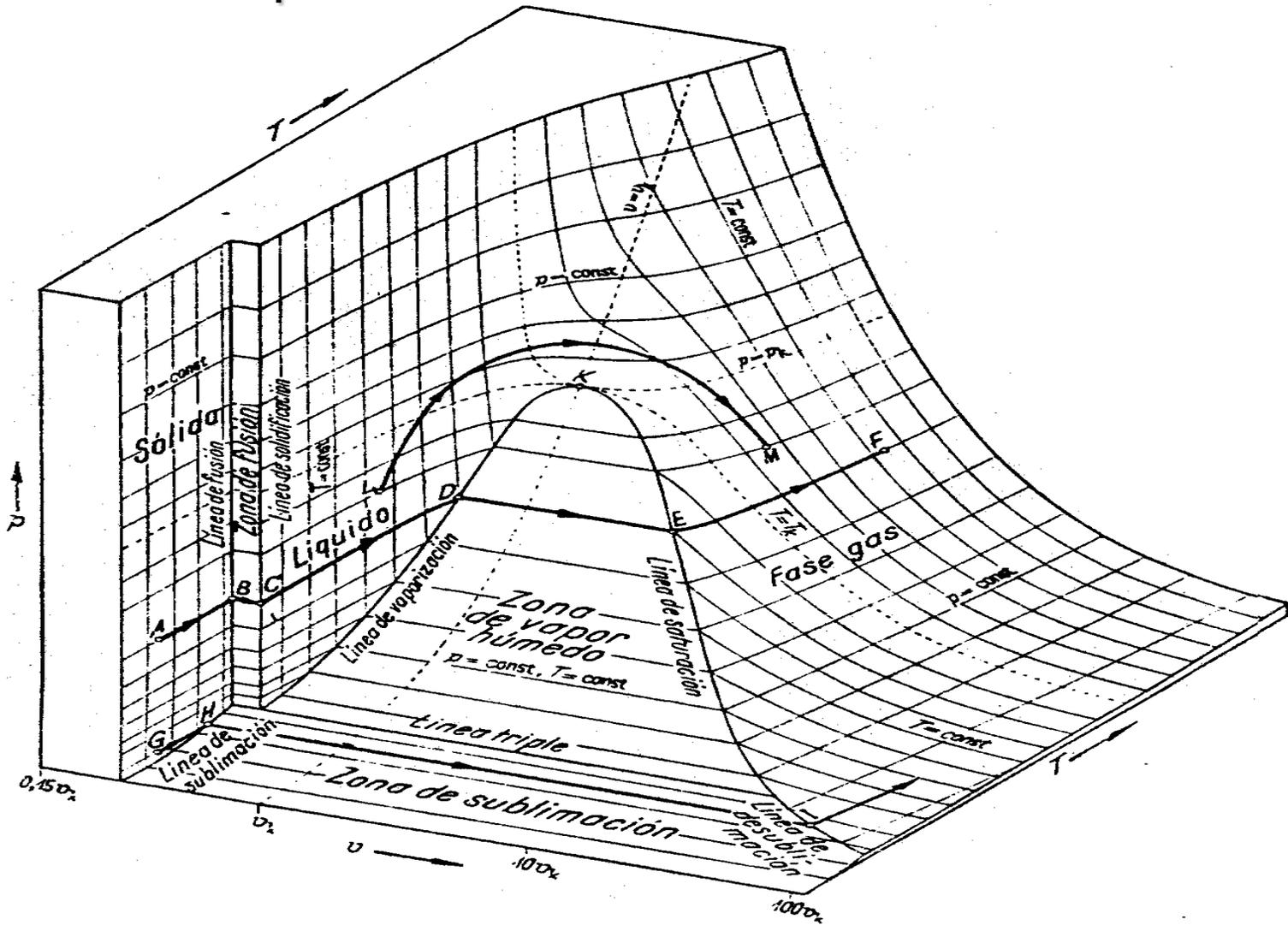
## ***Vapor.***

Es un fluido que se encuentre a una temperatura menor que la *crítica*.

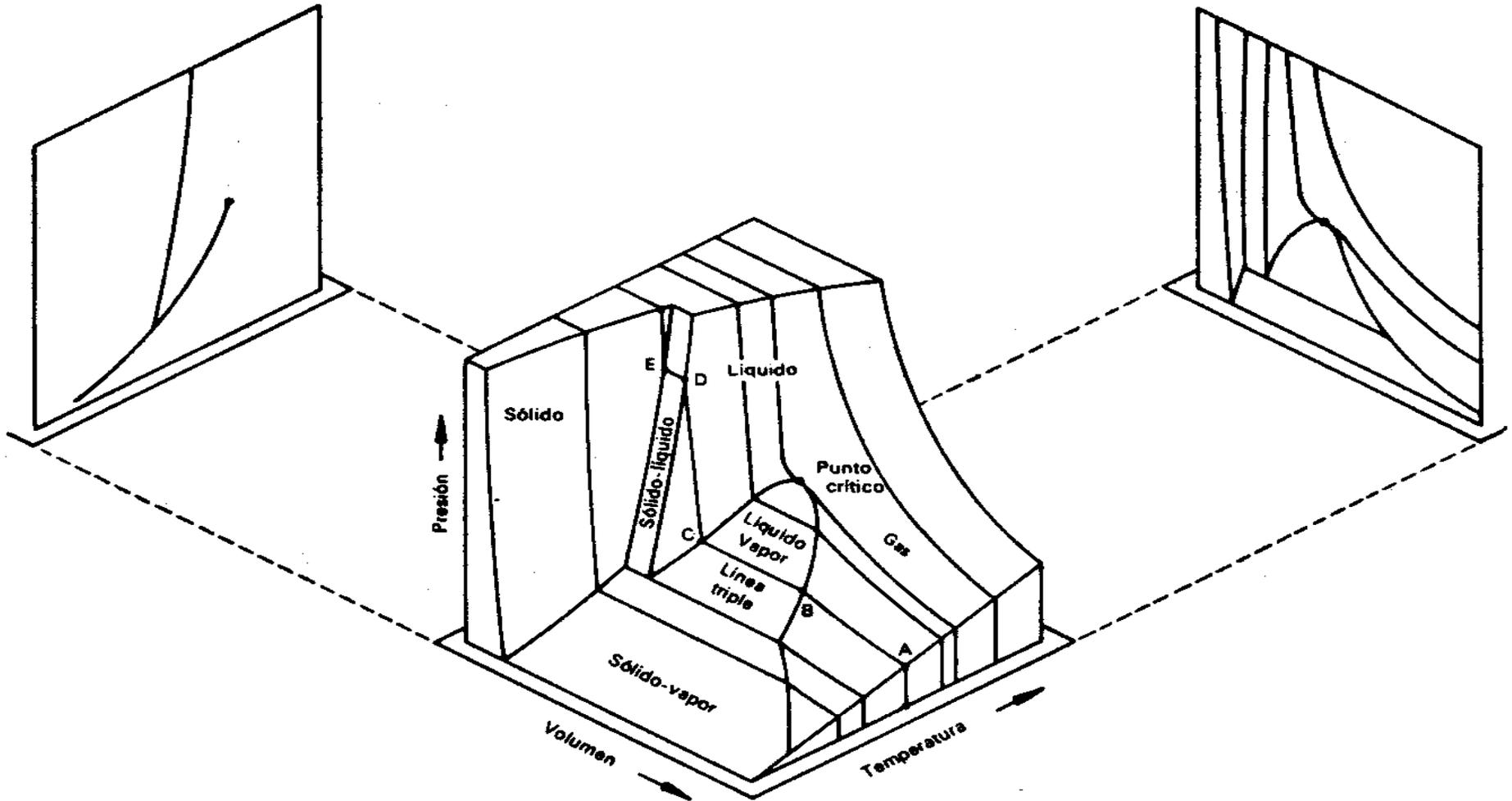
## ***Gas.***

Es fluido que se encuentra arriba de su *punto crítico* o se usa para el vapor que permanece a una presión muy baja, o se ha separado bastante del estado de saturación.

# Superficie P-v-T de sustancia normal

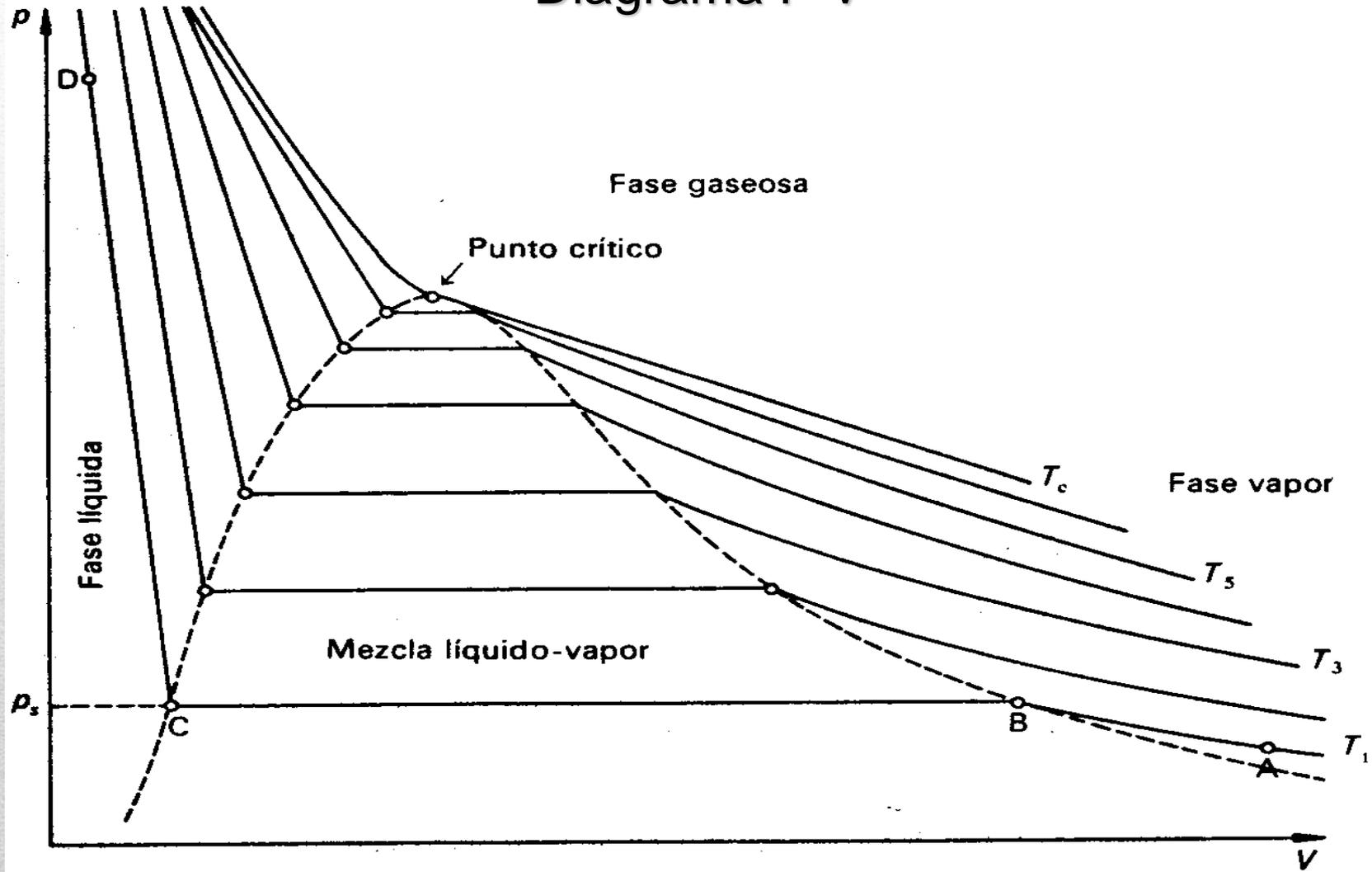


# Proyecciones: P-T y P-v

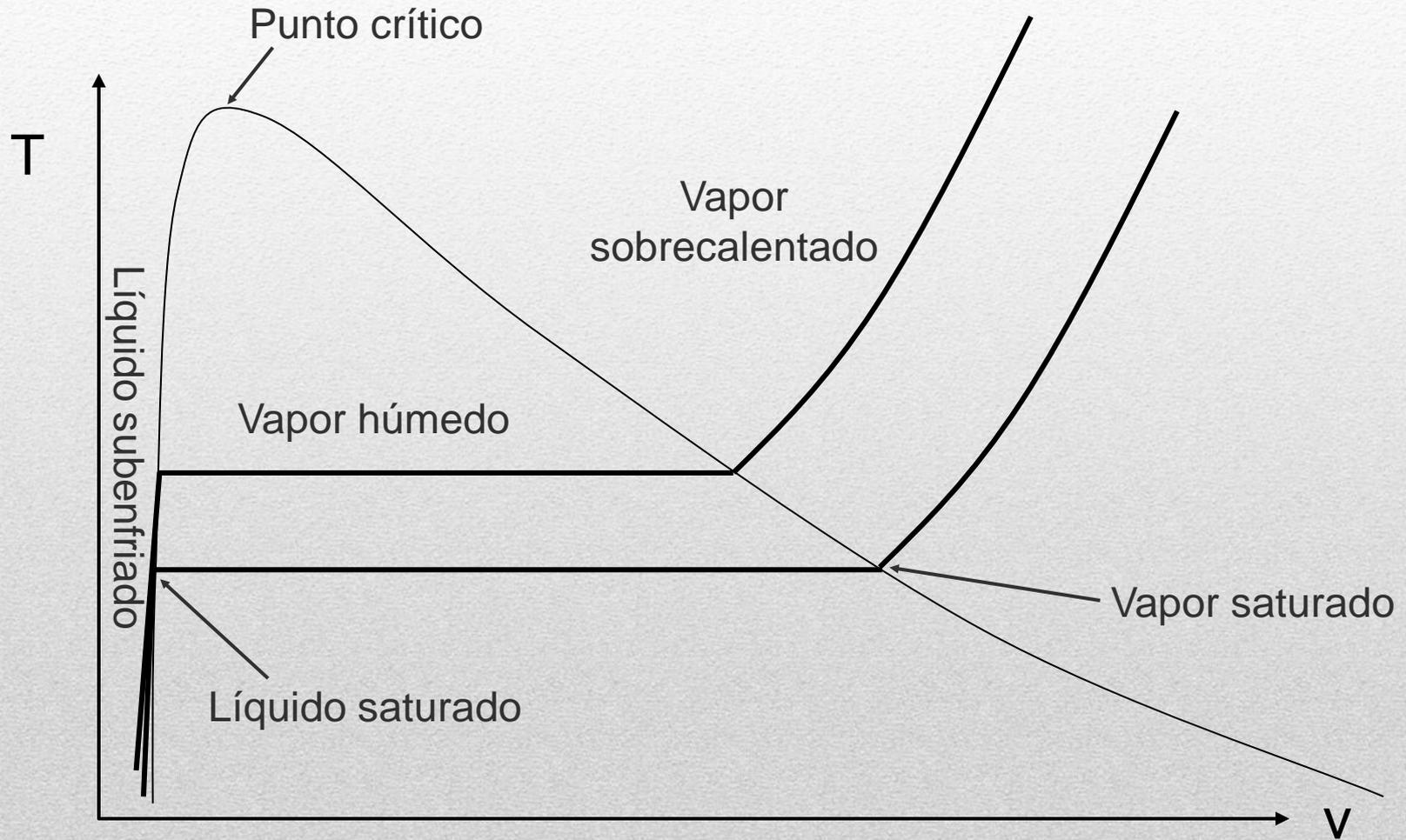




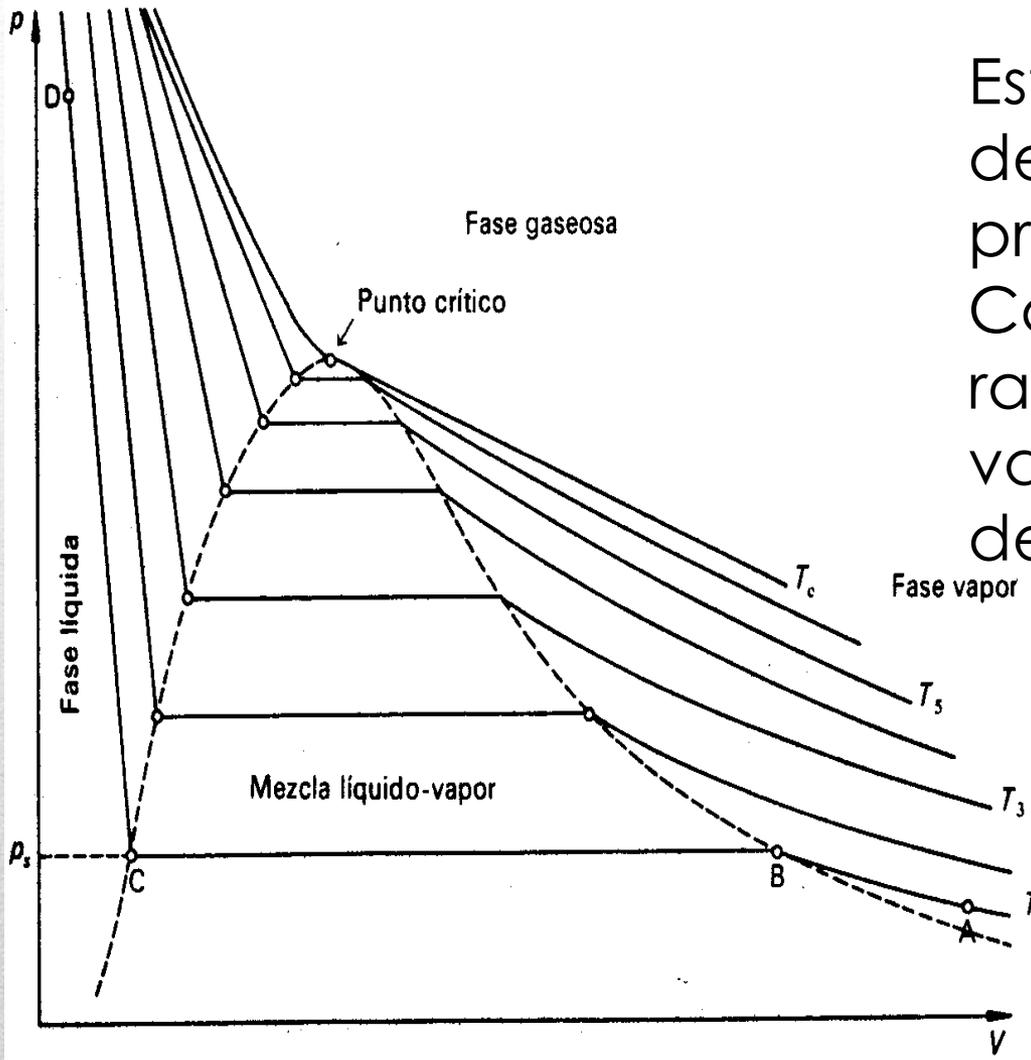
# Diagrama P-v



# Diagrama T-v



## MEZCLA SATURADA DE LIQUIDO-VAPOR



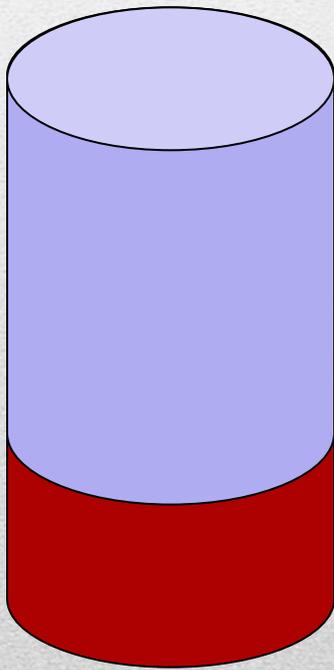
Esto se obtiene al definir una nueva propiedad llamada la Calidad  $X$  como la razón entre la masa de vapor y la masa total de la mezcla.

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

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

La calidad tiene significado solo para mezcla saturada de liq-vapor.

Considere un tanque que contiene una mezcla saturada de líquido – vapor. El volumen ocupado por el líquido saturado es  $V_f$  y el volumen que tiene el vapor saturado es  $V_g$ . El volumen total es la suma de ambos, es decir:



$$I) V = V_f + V_g, \quad II) V = m \cdot \hat{V} \quad III) V_f = m_f \cdot \hat{V}_f \quad IV) V_g = m_g \cdot \hat{V}_g$$

$$m \cdot \hat{V} = (m - m_g) \cdot V_f + m_g \cdot V_g$$

$$\hat{V} = \hat{V}_f + x \cdot \hat{V}_{fg}$$

El análisis acaba de exponerse también es válido para la demás propiedades como: energía interna y la entalpía entre otras. Podemos expresar en una forma general

$$\hat{Z} = \hat{Z}_f + x^* \hat{Z}_{fg}$$

Donde Z es cualquier propiedad dentro del domo

---

# Regla de las fases de Gibbs

$$L = C + 2 - F$$

- $L$  = Número de grados de libertad o varianza
- $F$  = Número de fases
- $C$  = Número de componentes
  
- $C=1$  (sust. pura),  $F=1$  (una fase)  $\Rightarrow L=2$  (Dos Variab. indep.)
- $C=1$  (sust. pura),  $F=2$  (2 fases)  $\Rightarrow L=1$  (Una Variab.)
- $C=1$  (sust. pura),  $F=3$  (3 fases)  $\Rightarrow L=0$  (punto triple)

Cuando en el sistema puede ocurrir una o varias reacciones  $\xi$

$$L = C + 2 - F - \xi$$

---

# Tablas de propiedades termodinámicas

La tabla incluye las propiedades de los líquidos saturados, vapores saturados y mezclas de ambos (región bifásica). Esta ordenada para valores crecientes de temperatura, hasta llegar al punto crítico. Para cada temperatura, se indica la presión de saturación correspondiente y las propiedades ( $v$ ,  $h$ ,  $u$  y  $s$ ) del líquido y vapor saturados (subíndices  $f$  y  $g$  respectivamente)

Agua saturada. Tabla de temperaturas (conclusión)

Temp., $T$ °C	Pres. sat., $P_{sat}$ kPa	Volumen específico, $m^3/kg$		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, kJ/kg · 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., $s_g$
205	1724.3	0.001164	0.11508	872.86	1723.5	2596.4	874.87	1920.0	2794.8	2.3776	4.0154	6.3930
210	1907.7	0.001173	0.10429	895.38	1702.9	2598.3	897.61	1899.7	2797.3	2.4245	3.9318	6.3563
215	2105.9	0.001181	0.094680	918.02	1681.9	2599.9	920.50	1878.8	2799.3	2.4712	3.8489	6.3200
220	2319.6	0.001190	0.086094	940.79	1660.5	2601.3	943.55	1857.4	2801.0	2.5176	3.7664	6.2840
225	2549.7	0.001199	0.078405	963.70	1638.6	2602.3	966.76	1835.4	2802.2	2.5639	3.6844	6.2483
230	2797.1	0.001209	0.071505	986.76	1616.1	2602.9	990.14	1812.8	2802.9	2.6100	3.6028	6.2128
235	3062.6	0.001219	0.065300	1010.0	1593.2	2603.2	1013.7	1789.5	2803.2	2.6560	3.5216	6.1775
240	3347.0	0.001229	0.059707	1033.4	1569.8	2603.1	1037.5	1765.5	2803.0	2.7018	3.4405	6.1424
245	3651.2	0.001240	0.054656	1056.9	1545.7	2602.7	1061.5	1740.8	2802.2	2.7475	3.3595	6.1072

### Agua líquida comprimida

$T$ °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
$P = 5 \text{ MPa (263.94}^\circ\text{C)}$					$P = 10 \text{ MPa (311.00}^\circ\text{C)}$				$P = 15 \text{ MPa (342.16}^\circ\text{C)}$			
Sat.	0.0012862	1148.1	1154.5	2.9207	0.0014522	1393.3	1407.9	3.3603	0.0016572	1585.5	1610.3	3.6848
0	0.0009977	0.04	5.03	0.0001	0.0009952	0.12	10.07	0.0003	0.0009928	0.18	15.07	0.0004
20	0.0009996	83.61	88.61	0.2954	0.0009973	83.31	93.28	0.2943	0.0009951	83.01	97.93	0.2932
40	0.0010057	166.92	171.95	0.5705	0.0010035	166.33	176.37	0.5685	0.0010013	165.75	180.77	0.5666
60	0.0010149	250.29	255.36	0.8287	0.0010127	249.43	259.55	0.8260	0.0010105	248.58	263.74	0.8234
80	0.0010267	333.82	338.96	1.0723	0.0010244	332.69	342.94	1.0691	0.0010221	331.59	346.92	1.0659
100	0.0010410	417.65	422.85	1.3034	0.0010385	416.23	426.62	1.2996	0.0010361	414.85	430.39	1.2958
120	0.0010576	501.91	507.19	1.5236	0.0010549	500.18	510.73	1.5191	0.0010522	498.50	514.28	1.5148
140	0.0010769	586.80	592.18	1.7344	0.0010738	584.72	595.45	1.7293	0.0010708	582.69	598.75	1.7243
160	0.0010988	672.55	678.04	1.9374	0.0010954	670.06	681.01	1.9316	0.0010920	667.63	684.01	1.9259
180	0.0011240	759.47	765.09	2.1338	0.0011200	756.48	767.68	2.1271	0.0011160	753.58	770.32	2.1206
200	0.0011531	847.92	853.68	2.3251	0.0011482	844.32	855.80	2.3174	0.0011435	840.84	858.00	2.3100
220	0.0011868	938.39	944.32	2.5127	0.0011809	934.01	945.82	2.5037	0.0011752	929.81	947.43	2.4951
240	0.0012268	1031.6	1037.7	2.6983	0.0012192	1026.2	1038.3	2.6876	0.0012121	1021.0	1039.2	2.6774

**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, $kJ/kg \cdot K$		
		Líquido sat., $v_f$	Vapor sat., $v_g$	Líquido sat., $u_f$	Evapor., $u_{fg}$	Vapor sat., $u_g$	Líquido sat., $h_f$	Evapor., $h_{fg}$	Vapor sat., $h_g$	Líquido sat., $s_f$	Evapor., $s_{fg}$	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										0.0763	8.9487	9.0249
10										0.1511	8.7488	8.8999
15										0.2245	8.5559	8.7804
20										0.2965	8.3696	8.6631
25										0.3672	8.1895	8.5567
30										0.4368	8.0152	8.4520
35										0.5051	7.8466	8.3511
40										0.5724	7.6832	8.2541
45										0.6386	7.5247	8.1611
50										0.7038	7.3710	8.0721
55										0.7680	7.2218	7.9871
60										0.8313	7.0769	7.9051
65										0.8937	6.9360	7.8261
70										0.9551	6.7989	7.7501
75	38.597	0.001026	4.1291	313.99	2161.3	2475.3	314.03	2320.6	2634.6	1.0158	6.6655	7.6813
80	47.416	0.001029	3.4053	334.97	2146.6	2481.6	335.02	2308.0	2643.0	1.0756	6.5355	7.6101
85	57.868	0.001032	2.8261	355.96	2131.9	2487.8	356.02	2295.3	2651.4	1.1346	6.4089	7.5441
90	70.183	0.001036	2.3593	376.97	2117.0	2494.0	377.04	2282.5	2659.6	1.1929	6.2853	7.4821
95	84.609	0.001040	1.9808	398.00	2102.0	2500.1	398.09	2269.6	2667.6	1.2504	6.1647	7.4241
100	101.42	0.001043	1.6720	419.06	2087.0	2506.0	419.17	2256.4	2675.6	1.3072	6.0470	7.3701
105	120.90	0.001047	1.4186	440.15	2071.8	2511.9	440.28	2243.1	2683.4	1.3634	5.9319	7.3201
110	143.38	0.001052	1.2094	461.27	2056.4	2517.7	461.42	2229.7	2691.1	1.4188	5.8193	7.2731
115	169.18	0.001056	1.0360	482.42	2040.9	2523.3	482.59	2216.0	2698.6	1.4737	5.7092	7.1881
120	198.67	0.001060	0.89133	503.60	2025.3	2528.9	503.81	2202.1	2706.0	1.5279	5.6013	7.1201
125	232.23	0.001065	0.77012	524.83	2009.5	2534.3	525.07	2188.1	2713.1	1.5816	5.4956	7.0701
130	270.28	0.001070	0.66808	546.10	1993.4	2539.5	546.38	2173.7	2720.1	1.6346	5.3919	7.0201
135	313.22	0.001075	0.58179	567.41	1977.3	2544.7	567.75	2159.1	2726.9	1.6872	5.2901	6.9701
140	361.53	0.001080	0.50850	588.77	1960.9	2549.6	589.16	2144.3	2733.5	1.7392	5.1901	6.9201
145	415.68	0.001085	0.44600	610.19	1944.2	2554.4	610.64	2129.2	2739.8	1.7908	5.0919	6.8801
150	476.16	0.001091	0.39248	631.66	1927.4	2559.1	632.18	2113.8	2745.9	1.8418	4.9953	6.8301
155	543.49	0.001096	0.34648	653.19	1910.3	2563.5	653.79	2098.0	2751.8	1.8924	4.9002	6.7901
160	618.23	0.001102	0.30680	674.79	1893.0	2567.8	675.47	2082.0	2757.5	1.9426	4.8066	6.7401
165	700.93	0.001108	0.27244	696.46	1875.4	2571.9	697.24	2065.6	2762.8	1.9923	4.7143	6.7001
170	792.18	0.001114	0.24260	718.20	1857.5	2575.7	719.08	2048.8	2767.9	2.0417	4.6233	6.6601
175	892.60	0.001121	0.21659	740.02	1839.4	2579.4	741.02	2031.7	2772.7	2.0906	4.5335	6.6201
180	1002.8	0.001127	0.19384	761.92	1820.9	2582.8	763.05	2014.2	2777.2	2.1392	4.4448	6.5801
185	1123.5	0.001134	0.17390	783.91	1802.1	2586.0	785.19	1996.2	2781.4	2.1875	4.3572	6.5401
190	1255.2	0.001141	0.15636	806.00	1783.0	2589.0	807.43	1977.9	2785.3	2.2355	4.2705	6.5001
195	1398.8	0.001149	0.14089	828.18	1763.6	2591.7	829.78	1959.0	2788.8	2.2831	4.1847	6.4601
200	1554.9	0.001157	0.12721	850.46	1743.7	2594.2	852.26	1939.8	2792.0	2.3305	4.0997	6.4201

En un recipiente contiene Liquido saturado (agua) a:

- 160 C.
- 172 C

Determine: Presión, Volumen Y entalpía

**TABLA A-6**

**Vapor de agua sobrecalentado**

$T$ °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	
<b><math>P = 0.01</math> MPa (45.81°C)*</b>					<b><math>P = 0.05</math> MPa (81.32°C)</b>					<b><math>P = 0.10</math> MPa (99.61°C)</b>			
Sat. <sup>†</sup>	14.670	2437.2	2583.9	8.1488	3.2403	2483.2	2645.2	7.5931	1.6941	2505.6	2675.0	7.358	
50	14.867	2443.3	2592.0	8.1741									
100	17.196	2515.5	2687.5	8.4489	3.4187	2511.5	2682.4	7.6953	1.6959	2506.2	2675.8	7.36	
150	19.513	2587.9	2783.0	8.6893	3.8897	2585.7	2780.2	7.9413	1.9367	2582.9	2776.6	7.614	
200	21.826	2661.4	2879.6	8.9049	4.3562	2660.0	2877.8	8.1592	2.1724	2658.2	2875.5	7.835	
250	24.136	2736.1	2977.5	9.1015	4.8206	2735.1	2976.2	8.3568	2.4062	2733.9	2974.5	8.034	
300	26.446	2812.3	3076.7	9.2827	5.2841	2811.6	3075.8	8.5387	2.6389	2810.7	3074.5	8.217	
400	31.063	2969.3	3280.0	9.6094	6.2094	2968.9	3279.3	8.8659	3.1027	2968.3	3278.6	8.545	
500	35.680	3132.9	3489.7	9.8998	7.1338	3132.6	3489.3	9.1566	3.5655	3132.2	3488.7	8.836	
600	40.296	3303.3	3706.3	10.1631	8.0577	3303.1	3706.0	9.4201	4.0279	3302.8	3705.6	9.095	
700	44.911	3480.8	3929.9	10.4056	8.9813	3480.6	3929.7	9.6626	4.4900	3480.4	3929.4	9.342	
800	49.527	3665.4	4160.6	10.6312	9.9047	3665.2	4160.4	9.8883	4.9519	3665.0	4160.2	9.568	
900	54.143	3856.9	4398.3	10.8429	10.8280	3856.8	4398.2	10.1000	5.4137	3856.7	4398.0	9.780	
1000	58.758	4055.3	4642.8	11.0429	11.7513	4055.2	4642.7	10.3000	5.8755	4055.0	4642.6	9.980	
1100	63.373	4260.0	4893.8	11.2326	12.6745	4259.9	4893.7	10.4897	6.3372	4259.8	4893.6	10.165	
1200	67.989	4470.9	5150.8	11.4132	13.5977	4470.8	5150.7	10.6704	6.7988	4470.7	5150.6	10.350	
1300	72.604											10.522	
<b><math>P = 0.20</math> MPa (120.06°C)</b>					<b><math>P = 0.30</math> MPa (133.05°C)</b>					<b><math>P = 0.40</math> MPa (143.61°C)</b>			
Sat.	0.88578	4259.8	4893.8	11.4132	2.1122	4259.8	4893.8	11.4132	1.1070	4259.8	4893.8	11.4132	
150	0.95986											6.895	
200	1.08049											7.174	
250	1.19890											7.380	
300	1.31623											7.561	
400	1.54934											7.900	
500	1.78142											8.193	
600	2.01302											8.454	
700	2.24434											8.700	
800	2.47550											8.922	
900	2.70656											9.131	
1000	2.93755											9.331	
1100	3.16848											9.521	
1200	3.39938	4470.5	5150.4	10.0304	2.26624	4470.3	5150.2	9.8431	1.69966	4470.2	5150.0	9.711	
1300	3.63026	4687.1	5413.1	10.2029	2.42019	4686.9	5413.0	10.0157	1.81516	4686.7	5412.8	9.881	
<b><math>P = 0.50</math> MPa (151.83°C)</b>					<b><math>P = 0.60</math> MPa (158.83°C)</b>					<b><math>P = 0.80</math> MPa (170.41°C)</b>			
Sat.	0.37483	2560.7	2748.1	6.8207	0.31560	2566.8	2756.2	6.7593	0.24035	2576.0	2768.3	6.66	
200	0.42503	2643.3	2855.8	7.0610	0.35212	2639.4	2850.6	6.9683	0.26088	2631.1	2839.8	6.81	
250	0.47443	2723.8	2961.0	7.2725	0.39390	2721.2	2957.6	7.1833	0.29321	2715.9	2950.4	7.04	
300	0.52261	2803.3	3064.6	7.4614	0.43442	2801.4	3062.0	7.3740	0.32416	2797.5	3056.9	7.23	
350	0.57015	2883.0	3168.1	7.6346	0.47428	2881.6	3166.1	7.5481	0.35442	2878.6	3162.2	7.41	
400	0.61731	2963.7	3272.4	7.7956	0.51374	2962.5	3270.8	7.7097	0.38429	2960.2	3267.7	7.57	
500	0.71095	3129.0	3484.5	8.0893	0.59200	3128.2	3483.4	8.0041	0.44332	3126.6	3481.3	7.86	
600	0.80409	3300.4	3702.5	8.3544	0.66976	3299.8	3701.7	8.2695	0.50186	3298.7	3700.1	8.13	
700	0.89696	3478.6	3927.0	8.5978	0.74725	3478.1	3926.4	8.5132	0.56011	3477.2	3925.3	8.37	
800	0.98966	3663.6	4158.4	8.8240	0.82457	3663.2	4157.9	8.7395	0.61820	3662.5	4157.0	8.60	
900	1.08227	3855.4	4396.6	9.0362	0.90179	3855.1	4396.2	8.9518	0.67619	3854.5	4395.5	8.81	
1000	1.17480	4054.0	4641.4	9.2364	0.97893	4053.8	4641.1	9.1521	0.73411	4053.3	4640.5	9.01	
1100	1.26728	4259.0	4892.6	9.4263	1.05603	4258.8	4892.4	9.3420	0.79197	4258.3	4891.9	9.20	
1200	1.35972	4470.0	5149.8	9.6071	1.13309	4469.8	5149.6	9.5229	0.84980	4469.4	5149.3	9.38	
1300	1.45214	4686.6	5412.6	9.7797	1.21012	4686.4	5412.5	9.6955	0.90761	4686.1	5412.2	9.56	

En un recipiente contiene Vapor sobrecalentado (agua) a:

- 200 C y 50 kpa.
- 620 C y 530 kpa

Determine: Presión, Volumen y entalpía

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