



TEMA 3.

Propiedades termodinámicas de sustancias puras

1



Índice



- 3.1. Fases de una sustancia pura
- 3.2. Superficies y diagramas de fase
- 3.3. Ecuaciones de estado para gases
- 3.4. Determinación de propiedades mediante ecuaciones

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

- 3.1. Fases de una sustancia pura
- 3.2. Superficies y diagramas de fase
- 3.3. Ecuaciones de estado para gases
- 3.4. Determinación de propiedades mediante ecuaciones
- 3.5. Tablas de propiedades
- 3.6. Transformaciones habituales

Ü 3.1. Fases de una sustancia pura



- Sustancia pura: aquella que posee composición química fija y homogénea.
- Agua: sistema puro, compresible y de composición química uniforme . Es uno de los fluidos más utilizados en la industria.
- Definiciones básicas:
 - Temperatura de saturación.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

- Vapor sobrecalentado.

Cartagena99

- 3.1. Fases de una sustancia pura
- 3.2. Superficies y diagramas de fase
- 3.3. Ecuaciones de estado para gases
- 3.4. Determinación de propiedades mediante ecuaciones
- 3.5. Tablas de propiedades
- 3.6. Transformaciones habituales

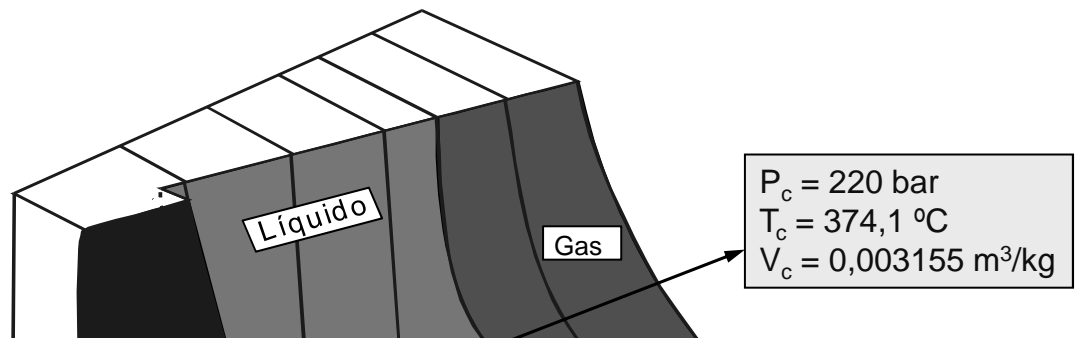
Ü 3.2. Superficies y diagramas de fase

3.2.1. Relación P-v-T

Agua como sistema simple, puro y compresible



Estado:



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

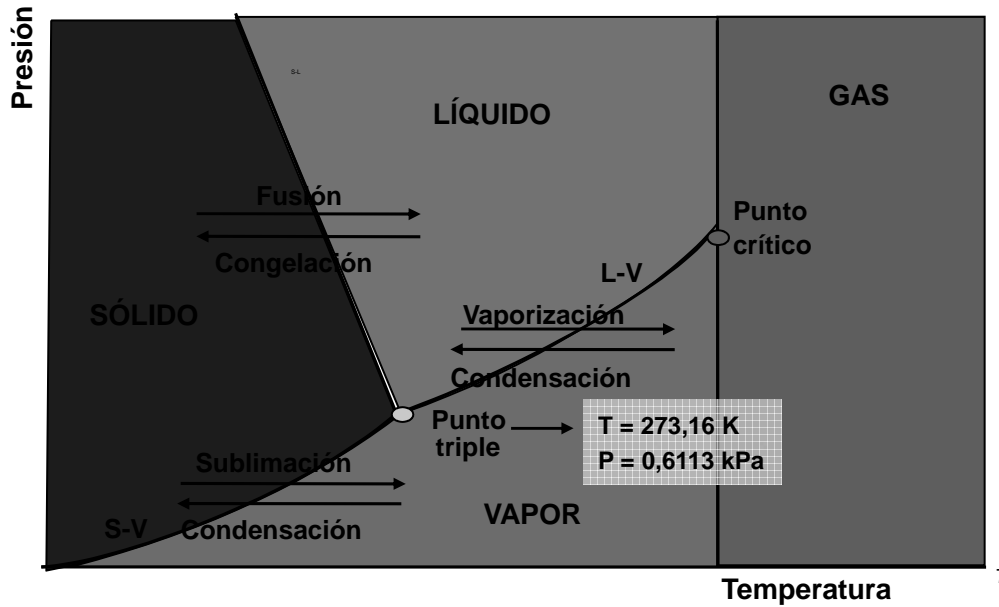


3.2. Superficies y diagramas de fase



3.2.2. Proyecciones de la superficie P-v-T

- Proyección P-T (diagrama de fases)



7

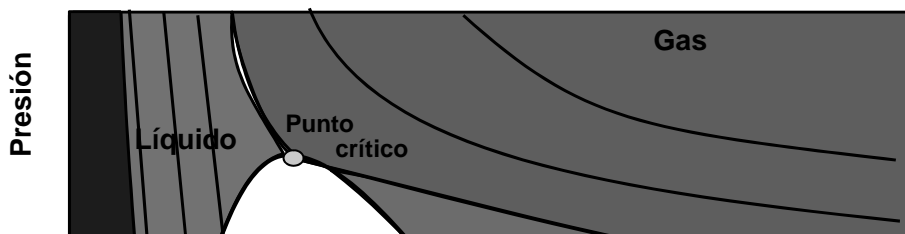


3.2. Superficies y diagramas de fase



3.2.2. Proyecciones de la superficie P-v-T

- Proyección P-v



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Volumen específico

8

Cartagena99



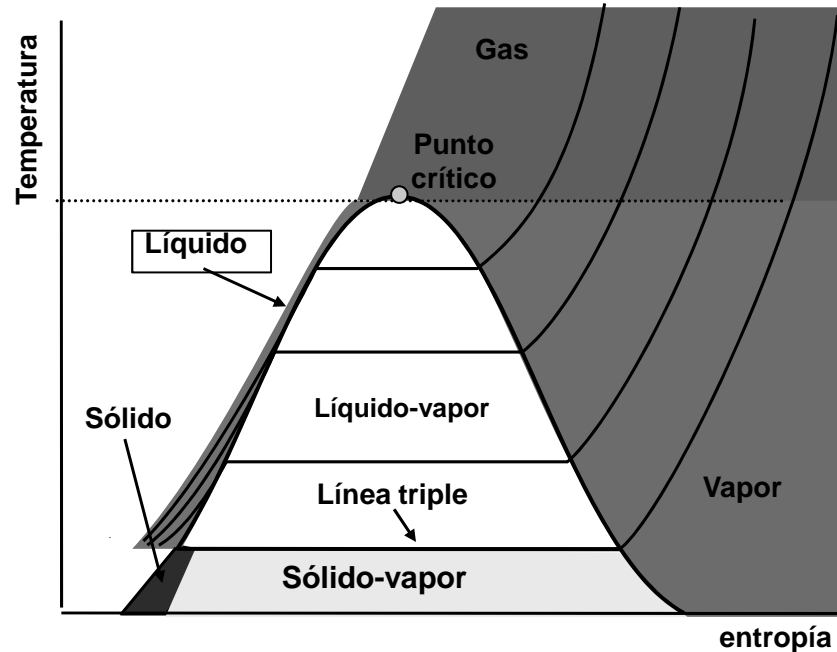
3.2. Superficies y diagramas de fase



3.2.2. Proyecciones de la superficie P-v-T

- Proyección T-s (T-v)

$$dQ = T ds$$



9



Índice



- 3.1. Fases de una sustancia pura
- 3.2. Superficies y diagramas de fase
- 3.3. Ecuaciones de estado para gases
- 3.4. Determinación de propiedades mediante ecuaciones

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



3.3. Ecuaciones de estado para gases



Ecuación de estado de gas ideal

- 1662 (Robert Boyle): la presión de los gases es inversamente proporcional a su volumen.
- 1802 (J. Charles y J. Gay-Lussac): el volumen de un gas es directamente proporcional a su temperatura.

$$P \cdot v = R \cdot T \quad \text{Siendo:} \quad R = \frac{R_u}{M}$$

Siendo R la constante de gas y R_u la constante de gas universal

$$\left. \begin{array}{l} m = M \cdot N \\ V = m \cdot v \end{array} \right\} \Rightarrow P \cdot V = N \cdot R_u \cdot T$$

Para una masa fija de gas ideal:

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2}$$

Siendo m la masa de un sistema, M , su masa o peso molecular y N el número de moles



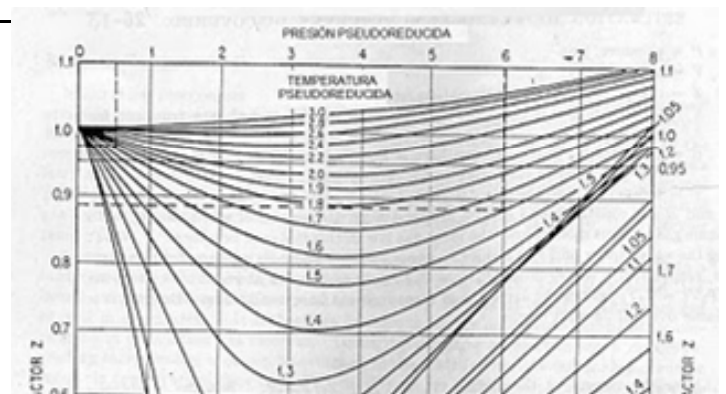
3.3. Ecuaciones de estado para gases



Factor de compresibilidad

$$Z = \frac{P \cdot v}{R \cdot T} = \frac{v_{real}}{v_{ideal}}$$

Siendo:



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



$$P_R = \frac{P}{P_{CB}}$$

$$T_R = \frac{T}{T_{CB}}$$



3.3. Ecuaciones de estado para gases



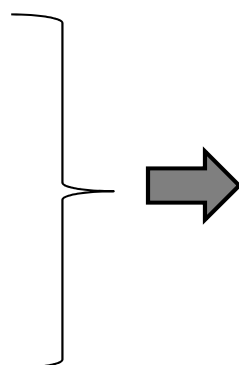
Ecuación de van der Waals (1873)

$$\left(P + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = RT$$

Siendo:

$$\left(\frac{\partial P}{\partial v}\right)_{T=T_{CR}=CTE} = 0$$

$$\left(\frac{\partial^2 P}{\partial v^2}\right)_{T=T_{CR}=CTE} = 0$$



$$a = \frac{27R^2T_{CR}^2}{64P_{CR}}$$

$$b = \frac{RT_{CR}}{8P_{CR}}$$

13



3.3. Ecuaciones de estado para gases



Ecuación de Beattie-Bridgeman (1928)

$$P = \frac{R_u T}{v} \left(1 - \frac{c}{vT^3}\right) \left(\frac{v}{v_0} + B\right) - \frac{A}{v^2}$$

Siendo:

$$A = A_0 \left(1 - \frac{a}{v}\right)$$

$$B = B_0 \left(1 - \frac{b}{v}\right)$$

Aplicable para $\rho > 0,8 \rho_{CR}$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Aplicable para $\rho > 2,5 \rho_{CR}$

14





3.3. Ecuaciones de estado para gases



Ecuación de estado virial

$$P = \frac{RT}{v} + \frac{a(T)}{v^2} + \frac{b(T)}{v^3} + \frac{c(T)}{v^4} + \dots$$

Siendo $a(T)$, $b(T)$, $c(T)$, etc., los **coeficientes viriales**



Índice



- 3.1. Fases de una sustancia pura
- 3.2. Superficies y diagramas de fase
- 3.3. Ecuaciones de estado para gases
- 3.4. Determinación de propiedades mediante ecuaciones

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



3.4. Determinación de propiedades mediante ecuaciones



3.4.1. Líquido subenfriado

a) Volumen específico

Simplificación: fluido incompresible respecto a la presión



Incongruencia: transformación isoterma

$$\epsilon \approx 0 \quad ; \text{ si } T_1 = T_2 \quad \Rightarrow \quad W_{12} = \int_{v_1}^{v_2} P \, dv = 0 \quad [3.1]$$



3.4. Determinación de propiedades mediante ecuaciones



3.4.1. Líquido subenfriado

b) Capacidad calorífica

Para sustancias puras y compresibles:

Simplificación 1:

Simplificación 2: Agua líquida incompresible

$$c_p = \left(\frac{\partial u}{\partial T} \right)_{p, z}$$

$$c_p \approx c_p(T)$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70





3.4. Determinación de propiedades mediante ecuaciones



3.4.1. Líquido subenfriado

c) Calor

Calor intercambiado en una transformación isobara:

$$q = \int_1^2 c_p(T) dT = \int_1^2 (a_1 + a_2 T + \dots + a_n T^{n-1}) dT = \left[a_1 T + \frac{a_2 T^2}{2} + \dots + \frac{a_n T^n}{n} \right]_1^2 = h_2 - h_1 \quad [3.5]$$

d) Entropía

Variación de entropía en una transformación reversible:

$$ds = \frac{dq}{T} \Rightarrow \left[s_2 - s_1 = \int_1^2 \frac{dq}{T} = \int_1^2 c_p \frac{dT}{T} = \left[a_1 \ln T + a_2 T + a_3 \frac{T^2}{2} + \dots + a_n \frac{T^{n-1}}{n-1} \right]_1^2 \right. \quad [3.6]$$

19



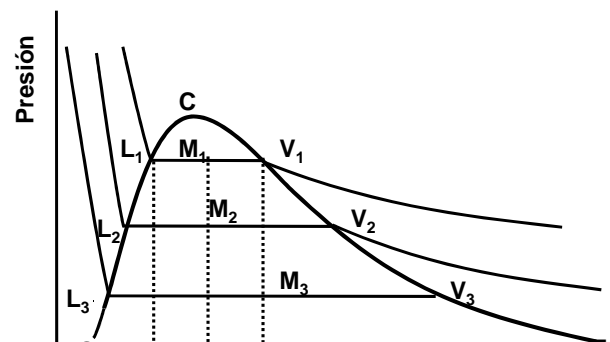
3.4. Determinación de propiedades mediante ecuaciones



3.4.2. Vapor húmedo

a) Título o calidad

$$x = \frac{\text{kg de vapor saturado seco}}{\text{kg de vapor húmedo}} \quad [3.7]$$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

$$x = \frac{L_2(T - x) + v_2 \sqrt{s^2}}{L_2(T - x) + v_2 \sqrt{s^2}} \quad [3.8]$$

20

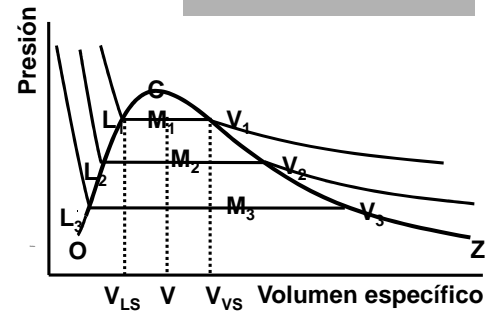


3.4. Determinación de propiedades mediante ecuaciones



3.4.2. Vapor húmedo

c) Calor de evaporación



$$\lambda = \int_{L_1}^{V_1} dq = \int_{L_1}^{V_1} dh = \int_{L_1}^{V_1} du + \int_{L_1}^{V_1} P dv = \rho + P_s(v_{VS} - v_{LS}) = h_{VS} - h_{LS} \quad [3.9]$$

Evaporación parcial:

$$\lambda_x = \lambda x \quad [3.10]$$

d) Entropía de vaporización

$$s_{L_1-V_1} = \int_{L_1}^{V_1} \frac{dq}{T_s} = \int_{L_1}^{V_1} \frac{d\lambda}{T_s} = \frac{\lambda}{T_s} \quad [3.11]$$

Evaporación parcial: $s_x = \frac{\lambda x}{T_s} \quad [3.12]$



3.4. Determinación de propiedades mediante ecuaciones



3.4.3. Vapor sobrecalentado

a) Volumen específico

Ecuaciones de estado experimentales

$$v = f(T, P)$$

Ej. Ecuación de Eichelberg:

$$Pv = RT - \frac{2P}{\left(\frac{T}{T_c}\right)^{2/3}} - \frac{1900 \left(\frac{P}{10000}\right)^3}{\left(\frac{T}{T_c}\right)^{14}}$$

P: kg/cm²

T: K

V: m³/kg

R: 47.07 kam/ka K

[3.13]

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Ej. Ecuación de Eichelberg: $20,33$ $C_p = \text{kcal/kg K}$ $[3.14]$

- 3.1. Fases de una sustancia pura
- 3.2. Superficies y diagramas de fase
- 3.3. Ecuaciones de estado para gases
- 3.4. Determinación de propiedades mediante ecuaciones
- 3.5. Tablas de propiedades
- 3.6. Transformaciones habituales

Ü 3.5. Tablas de propiedades



3.5.1 Propiedades del agua

A. Descripción de las tablas



- ✓ Tabla de presiones: A-1
- ✓ Tabla de temperaturas: A-2
- ✓ Vapor recalentado: A-3
- ✓ Líquido subenfriado: A-4
- ✓ Sólido-vapor: A-5

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

$$v(T,P) \approx v_g(T)$$

$$u(T,P) \approx u_g(T)$$

$$h(T,P) \approx h_g(T) + p v_g(T)$$





3.5. Tablas de propiedades



Tabla A-1. Propiedades del agua saturada: líquido – vapor. Tabla de Presiones

P (kPa)	T (°C)	v (m ³ /kg)		u (kJ/kg)		h (kJ/kg)		s (kJ/kg K)		
P _s	T _s	Líquido saturado v _{ls} x 10 ³	Vapor saturado v _{vs}	Líquido saturado u _{ls}	Vapor saturado u _{vs}	Líquido saturado h _{ls}	Vaporización λ	Vapor saturado h _{vs}	Líquido saturado s _{ls}	Vapor saturado s _{vs}
0,611	0,01	1,0002	206,136	0,00	2375,3	0,01	2501,3	2501,4	0,0000	9,1562
1	6,98	1,0000	129,21	29,3	2385,0	29,30	2484,9	2514,2	0,1059	8,9756
2	17,50	1,0010	67,000	73,48	2399,5	73,48	2460,0	2533,5	0,2607	8,7237
4	28,96	1,0040	34,800	121,45	2415,2	121,46	2432,9	2554,4	0,4226	8,4746
6	36,16	1,0064	23,739	151,53	2425,0	151,53	2415,9	2567,4	0,5210	8,3304
8	41,51	1,0084	18,103	173,87	2432,2	173,88	2403,1	2577,0	0,5926	8,2287
10	45,81	1,0102	14,674	191,82	2437,9	191,83	2392,8	2584,7	0,6493	8,1502
20	60,06	1,0172	7,649	251,38	2456,7	251,40	2358,3	2609,7	0,8320	7,9085
30	69,10	1,0223	5,229	289,20	2468,4	289,23	2336,1	2625,3	0,9439	7,7686
40	75,87	1,0265	3,993	317,53	2477,0	317,58	2319,2	2636,8	1,0259	7,6700
50	81,33	1,0300	3,240	340,44	2483,9	340,49	2305,4	2645,9	1,0910	7,5939
60	85,94	1,0331	2,732	359,79	2489,6	359,86	2293,6	2653,5	1,1453	7,5320
70	89,95	1,0360	2,365	376,63	2494,5	376,70	2283,3	2660,0	1,1919	7,4797
80	93,50	1,0380	2,087	391,58	2498,8	391,66	2274,1	2665,8	1,2329	7,4346
90	96,71	1,0410	1,869	405,06	2502,6	405,15	2265,7	2670,9	1,2695	7,3949
100	99,63	1,0432	1,694	417,36	2506,1	417,46	2258,0	2675,5	1,3026	7,3594
150	111,4	1,0528	1,159	466,94	2519,7	467,11	2226,5	2693,6	1,4336	7,2233
200	120,2	1,0605	0,8857	504,49	2529,5	504,70	2201,9	2706,7	1,5301	7,1271
250	127,4	1,0672	0,7187	535,10	2537,2	535,37	2181,5	2716,9	1,6072	7,0527
300	133,6	1,0732	0,6058	561,15	2543,6	561,47	2163,8	2725,3	1,6718	6,9919
350	138,9	1,0786	0,5243	583,95	2546,9	584,33	2148,1	2732,4	1,7275	6,9405
400	143,6	1,0836	0,4625	604,31	2553,6	604,74	2133,8	2738,6	1,7766	6,8959
450	147,9	1,0882	0,4140	622,25	2557,6	623,25	2120,7	2743,9	1,8207	6,8565
500	151,9	1,0926	0,3749	639,68	2561,2	640,23	2108,5	2748,7	1,8607	6,8212
600	158,9	1,1006	0,3157	669,90	2567,4	670,56	2086,3	2756,8	1,9312	6,7600



3.5. Tablas de propiedades



Tabla A-2. Propiedades del agua saturada: líquido – vapor. Tabla de Temperaturas

T (°C)	P (kPa)	v (m ³ /kg)		u (kJ/kg)		h (kJ/kg)		s (kJ/kg K)		
T _s	P _s	Líquido saturado v _{ls} x 10 ³	Vapor saturado v _{vs}	Líquido saturado u _{ls}	Vapor saturado u _{vs}	Líquido saturado h _{ls}	Vaporización λ	Vapor saturado h _{vs}	Líquido saturado s _{ls}	Vapor saturado s _{vs}
0,01	0,6110	1,0002	206,136	0,00	2375,3	0,01	2501,3	2501,4	0,0000	9,1562
4	0,8130	1,0001	157,232	16,77	2380,9	16,78	2491,9	2508,7	0,0610	9,0514
5	0,8720	1,0001	147,120	20,97	2382,3	20,98	2489,6	2510,6	0,0761	9,0257
6	0,9350	1,0001	137,734	25,19	2383,6	25,20	2487,2	2512,4	0,0912	9,0003
8	1,0720	1,0002	120,917	33,59	2386,4	33,60	2482,5	2516,1	0,1212	8,9501
10	1,2280	1,0004	106,379	42,00	2389,2	42,01	2477,7	2519,8	0,1510	8,9008
11	1,3120	1,0004	99,857	46,20	2390,5	46,20	2475,4	2521,6	0,1658	8,8765

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

23 2,0100 1,0024 48,574 96,51 2407,0 96,52 2447,0 2543,5 0,3393 8,6011

24 2,9850 1,0027 45,883 100,70 2408,4 100,70 2444,7 2545,4 0,3534 8,5794

25 3,1690 1,0029 43,360 104,88 2409,8 104,89 2442,3 2547,2 0,3674 8,5580

26 3,3630 1,0032 40,994 109,06 2411,1 109,07 2439,9 2549,0 0,3814 8,5361

27 3,5670 1,0035 38,774 113,25 2412,5 113,25 2437,6 2550,8 0,3954 8,5156



3.5. Tablas de propiedades



TABLA A-3. Propiedades del agua saturada: vapor 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 = 6 kPa; T _{sat} = 36,2°C				P = 35 kPa; T _{sat} = 72,7°C				
Sat.	23,739	2425,0	2567,4	8,3304	4,526	2473,0	2631,4	7,7158
80	27,132	2487,3	2650,1	8,5804	4,625	2483,7	2645,6	7,7564
120	30,219	2544,7	2726,0	8,7840	5,163	2542,4	2723,1	7,9644
160	33,302	2602,7	2802,5	8,9693	5,696	2601,2	2800,6	8,1519
200	36,383	2661,4	2879,7	9,1398	6,228	2660,4	2878,4	8,3237
240	39,462	2721,0	2957,8	9,2982	6,758	2720,3	2956,8	8,4828
280	42,540	2781,5	3036,8	9,4464	7,287	2780,9	3036,0	8,6314
320	45,618	2843,0	3116,7	9,5859	7,815	2842,5	3116,1	8,7712
360	48,696	2905,5	3197,7	9,7180	8,344	2905,1	3197,1	8,9034
400	51,774	2969,0	3279,6	9,8435	8,872	2968,6	3279,2	9,0291
440	54,851	3033,5	3362,6	9,9633	9,400	3033,2	3362,2	9,1490
500	59,467	3132,3	3489,1	10,1336	10,192	3132,1	3488,8	9,3194
P = 70 kPa; T _{sat} = 89,9°C				P = 100 kPa; T _{sat} = 99,6°C				
Sat.	2,365	2494,5	2660,0	7,4797	1,694	2506,1	2675,5	7,3594
100	2,434	2509,7	2680,0	7,5341	1,696	2506,7	2676,2	7,3614
120	2,571	2539,7	2719,6	7,6375	1,793	2537,3	2716,6	7,4668
160	2,841	2599,4	2798,2	7,8279	1,984	2597,8	2796,2	7,6597
200	3,108	2659,1	2876,7	8,0012	2,172	2658,1	2875,3	7,8343
240	3,374	2719,3	2955,5	8,1611	2,359	2718,5	2954,5	7,9949
280	3,640	2780,2	3035,0	8,3162	2,546	2779,6	3034,2	8,1445
320	3,905	2842,0	3115,3	8,4504	2,732	2841,5	3114,6	8,2849
360	4,170	2904,6	3196,5	8,5828	2,917	2904,2	3195,9	8,4175
400	4,434	2968,2	3278,6	8,7086	3,103	2967,9	3278,2	8,5435



3.5. Tablas de propiedades



TABLA A-4. Tabla del agua saturada: líquido subenfriado

T °C	v 10 ³ m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg K	v 10 ³ m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg K
P = 2500 kPa; T _{sat} = 223,99°C				P = 5000 kPa; T _{sat} = 263,99°C				
20	1,0006	83,80	96,30	0,2961	0,9995	83,65	88,65	0,2956
40	1,0067	167,25	169,77	0,5715	1,0056	166,95	171,97	0,5705
90	1,0280	334,29	336,86	1,0737	1,0268	333,72	338,85	1,0720
100	1,0423	418,24	420,85	1,3050	1,0410	417,52	422,72	1,3030
140	1,0784	587,82	590,52	1,7369	1,0768	586,76	592,15	1,7343
180	1,1261	761,16	763,97	2,1375	1,1240	759,63	765,25	2,1341

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

180 1,1219 759,13 766,55 2,1308 1,1199 756,65 767,84 2,1275
220 1,1835 936,20 945,10 2,5083 1,1805 934,10 945,90 2,5039



3.5. Tablas de propiedades



3.5.2 Propiedades del aire como gas ideal

Ecuaciones de partida

- Ley de Gases Ideales

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad [3.15]$$

- Proceso Adiabático

Proceso adiabático + reversible = isoentrópico

$$P \cdot V^\gamma = cte \quad [3.16]$$

Siendo

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} \quad [3.17]$$

29



3.5. Tablas de propiedades



3.5.2 Propiedades del aire como gas ideal

Ecuaciones de partida



Entalpía

$$h(T) = \int_0^T c_p(T) \cdot dT$$

Valores de referencia :

$h = 0$ y $U = 0$ para $T = 0K$

Energía interna

$$u(T) = h - pv = h - RT$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

20

3.5.2 Propiedades del aire como gas ideal

Ecuaciones de partida



Transformación isoentrópica

$$s(T_2, p_2) - s(T_1, p_1) = 0 = s^0(T_2) - s^0(T_1) - R \cdot \ln \frac{p_2}{p_1}$$

Presión relativa (p_r)

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{\exp[s^0(T_2)/R]}{\exp[s^0(T_1)/R]} = \frac{p_r(T_2)}{p_r(T_1)}$$

Compresión o expansión ($s_1 = s_2$) $\Rightarrow p_2 = p_1 \frac{p_r(T_2)}{p_r(T_1)}$

Ley de gases ideales \Rightarrow

$$\frac{v_2}{v_1} = \left(\frac{R \cdot T_2}{p_2} \right) \cdot \left(\frac{p_1}{R \cdot T_1} \right)$$

Volumen relativo (v_r)

$$\frac{v_2}{v_1} = \left(\frac{R \cdot T_2}{p_r(T_2)} \right) \left(\frac{p_r(T_1)}{R \cdot T_1} \right) = \frac{v_r(T_2)}{v_r(T_1)}$$



3.5.2 Propiedades del aire como gas ideal

LA C-1: Propiedades del aire como gas ideal

h, h_f y u (kJ/kg), s (kJ/kgK)

h	p_r	u	v_r	s^0	T	h	p_r	u	v_r	s^0
199,97	0,3363	142,56	1707,0	1,29559	550	554,74	11,86	396,86	133,1	2,31809
209,97	0,3987	149,69	1512,0	1,34444	560	565,17	12,66	404,42	127,0	2,33685
219,97	0,4690	156,82	1346,0	1,39105	570	575,59	13,50	411,97	121,2	2,35531
230,02	0,5477	164,00	1205,0	1,43557	580	586,04	14,38	419,55	115,7	2,37348
240,02	0,6355	171,13	1084,0	1,47824	590	596,52	15,31	427,15	110,6	2,39140
250,05	0,7329	178,28	979,0	1,51917	600	607,02	16,28	434,78	105,8	2,40902
260,09	0,8405	185,45	887,8	1,55848	610	617,53	17,30	442,42	101,2	2,42644
270,11	0,9590	192,60	808,0	1,59634	620	628,07	18,36	450,09	96,92	2,44356
280,13	1,0889	199,75	738,0	1,63279	630	638,63	19,44	457,78	92,84	2,46048
285,14	1,1584	203,33	706,1	1,65055	640	649,22	20,64	465,50	88,99	2,47716

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

350,49 2,379 250,02 422,2 1,85708 750 767,29 37,35 551,99 57,63 2,64737

360,58 2,626 257,24 393,4 1,88543 760 778,18 39,27 560,01 55,54 2,66176

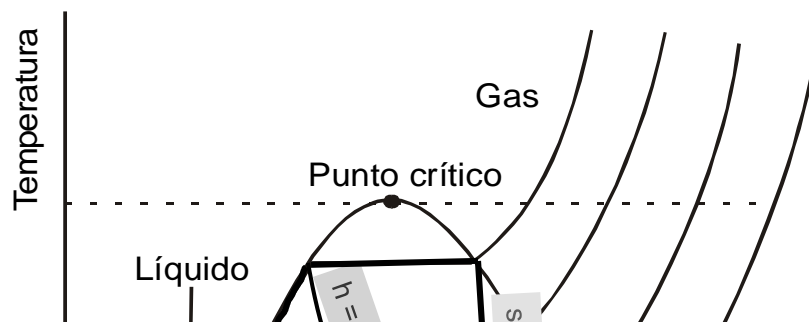
370,67 2,892 264,51 321,5 1,91383 770 789,15 41,27 568,12 53,51 2,67643

380,88 3,181 271,83 241,1 1,94233 780 800,25 43,35 576,27 51,48 2,69133

390,88 3,481 279,21 161,1 1,97093 790 811,48 45,55 584,55 49,44 2,70649



- 3.1. Fases de una sustancia pura
- 3.2. Superficies y diagramas de fase
- 3.3. Ecuaciones de estado para gases
- 3.4. Determinación de propiedades mediante ecuaciones
- 3.5. Tablas de propiedades
- 3.6. Transformaciones habituales



**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

entropía



1.- Termodinámica. Y. A. Cengel y M. A. Boles. Editorial McGraw-Hill, Mexico, 2000-2001.

2.- Fundamentos de termodinámica técnica. M. J. Morán y H. N. Shapiro. Editorial Reverté, Barcelona, 1998-1999.

3.- Termotecnia básica para ingenieros químicos. A. de Lucas. Ediciones de la Universidad de Castilla La Mancha, 2004-2007



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70