

Formulario Termodinámica

1.- Equivalencias de Unidades

Magnitud	Nombre	Símbolo	Definición
presión	pascal	Pa	Nm^{-2}
presión	bar	bar	10^5 Nm^{-2}
presión	atmósfera	atm	$101\,325 \text{ N m}^{-2}$
presión	mmHg	mmHg	$(101\,325/760)\text{N m}^{-2}$
energía	kilovatio hora	kWh	$3,6 \times 10^6 \text{ J}$
energía	electronvoltio	Ev	$1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$
energía	caloría	cal	$4,184 \text{ J}$
potencia	caballo de vapor	cv	736 W
temp. Celsius(t)	grado Celsius	°C	$t/^{\circ}\text{C} = T/\text{K} - 273,15$
longitud	ångström	Å	10^{-10} m
fuerza	dina	din	10^{-5} N

2.- Constantes Físicas

Constante	Símbolo	Valor
número de Avogadro	N	$6,022045 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
constante de los gases	R	$8,3144 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} =$ $= 1,987 \text{ cal K}^{-1} \text{ mol}^{-1} = \dots$ $= 0,08206 \text{ atm l K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
volumen molar de un gas ideal en condiciones TPN		$2,24138 \times 10^{-2} \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}$
Aceleración de la Gravedad	g	9.81 m/s

3.- Prefijos SI

divisor	prefijo	símbolo	multiplicador	prefijo	símbolo
10^{-3}	mili	m	10^3	kilo	k
10^{-6}	micro	μ	10^6	mega	M
10^{-9}	nano	n	10^9	giga	G
10^{-12}	pico	p	10^{12}	tera	T

Tabla A.1: Factores de conversión

Magnitud	Conversión
Longitud	1 m = 100 cm = 3.28084 (ft) = 39.3701 (in)
Masa	1 kg = 10 ³ g = 2.20462 (lb.)
Fuerza	1 N = 1 kg m s ⁻² = 10 ⁵ (dina) = 0.224809 (lbf)
Presión	1 bar = 10 ⁵ kg m ⁻¹ s ⁻² = 10 ⁵ N m ⁻² = 10 ⁵ Pa = 10 ² kPa = 10 ⁶ (dina) cm ⁻² = 0.986923(atm) = 14.5038(psia) = 750.061(torr)
Volumen	1 m ³ = 10 ⁶ cm ³ = 35.3147(ft) ³ .
Densidad	1 g cm ⁻³ = 10 ³ kg m ⁻³ = 62.4278(lb _m)(ft) ⁻³
Energía	1 J = 1 kg m ² s ⁻² = 1 N m = 1 m ³ Pa = 10 ⁻⁶ m ³ bar = 10 cm ³ bar = 9.86923 cm ³ (atm) = 10 ⁷ (dina) cm = 10 ⁷ (erg) = 0.239006(cal) = 5.12197 X 10 ⁻³ (ft) ³ (psia) = 0.737562(ft)(lbf) = 9.47831 X 10 ⁻⁴ (Btu)
Potencia	1 kW = 10 ³ W = 10 ³ kg m ² s ⁻³ = 10 ³ J s ⁻¹ = 239.006(cal) s ⁻¹ = 737.562(ft)(lbf) s ⁻¹ = 0.947831(Btu) s ⁻¹ = 1.34102(hp)

Tabla A.2: Valores de la constante universal de los gases

$$\begin{aligned}
 R &= 8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} = 8.314 \text{ m}^3 \text{ Pa mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \\
 &= 83.14 \text{ cm}^3 \text{ bar mol}^{-1} \text{ K}^{-1} = 8.314 \text{ cm}^3 \text{ kPa mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \\
 &\bullet = 82.06 \text{ cm}^3 \text{ (atm) mol}^{-1} \text{ K}^{-1} = 62.356 \text{ cm}^3 \text{ (torr) mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \\
 &= 1.987 \text{ (cal) mol}^{-1} \text{ K}^{-1} = 1.986 \text{ (Btu)(lb mol}^{-1} \text{)(R)}^{-1} \\
 &= 0.7302 \text{ (ft)}^3 \text{ (atm)(lb mol}^{-1} \text{)(R)}^{-1} = 10.73 \text{ (ft)}^3 \text{ (psia)(lb mol}^{-1} \text{)(R)}^{-1} \\
 &= 1.545 \text{ (ft)(lbf)(lb mol}^{-1} \text{)(R)}^{-1}
 \end{aligned}$$

Tabla C.2: Capacidades caloríficas de sólidos[†]

Constantes para la ecuación $C_p/R = A + BT + DT^{-2}$
 T (kelvins) de 298 K a $T_{máx}$

Especie química	$T_{máx}$	A	$10^3 B$	$10^{-5} D$
CaO	2000	6.104	0.443	-1.047
CaCO ₃	1200	12.572	2.637	-3.120
Ca(OH) ₂	700	9.597	5.435	
CaC ₂	720	8.254	1.429	-1.042
CaCl ₂	1055	8.646	1.530	-0.302
C (grafito)	2000	1.771	0.771	-0.867
Cu	1357	2.677	0.815	0.035
CuO	1400	5.780	0.973	-0.874
Fe (α)	1043	-0.111	8.111	1.150
Fe ₂ O ₃	960	11.812	9.697	-1.976
Fe ₃ O ₄	850	9.594	27.112	0.409
FeS	411	2.612	13.286	
I ₂	386.8	6.481	1.502	
NH ₄ Cl	458	5.939	16.105	
Na	371	1.988	4.688	
NaCl	1073	5.526	1.963	
NaOH	566	0.121	16.316	1.948
NaHCO ₃	400	5.128	18.148	
S (rómico)	368.3	4.114	-1.728	-0.783
SiO ₂ (cuarzo)	847	4.871	5.365	-1.001

[†]Seleccionados de K. K. Kelley, *U. S. Bur. Mines Bull.* 584, 1960; L. B. Parkratz, *U. S. Bur. Mines Bull.* 672, 92.

Tabla C.3: Capacidades caloríficas de líquidos[†]

Constantes para la ecuación $C_p/R = A + BT + CT^2$
 T de 273.15 a 373.15 K

Especie química	A	$10^3 B$	$10^6 C$
Amoníaco	22.626	-100.75	192.71
Anilina	15.819	29.03	-15.80
Benceno	-0.747	67.96	-37.78
1,3-Butadieno	22.711	-87.96	205.79
Tetracloruro de carbono	21.155	-48.28	101.14
Clorobenceno	11.278	32.86	-31.80
Cloroformo	19.215	42.89	83.01
Ciclohexano	-9.048	141.38	-161.62
Etanol	33.866	-172.60	349.17
Óxido de etileno	21.039	-86.41	172.28
Metanol	13.431	-51.28	131.13
n-Propanol	41.653	-210.32	427.20
Trióxido de azufre	-2.930	137.08	-84.73
Tolueno	15.133	6.79	16.35
Agua	8.712	1.25	-0.18

[†]Basado en las correlaciones presentadas por J. W. Miller, Jr., G. R. Schorry C. L. Yaws, *Chem. Eng.*, vol. 83(23), p. 129, 1976.

TEMPERATURA

$$T(K) = T(^{\circ}C) + 273.15$$

$$T(R) = T(^{\circ}F) + 459.67$$

$$T(^{\circ}C) = \frac{(T(^{\circ}F) - 32)}{1.8}$$

$$T(^{\circ}F) = (1.8 \times T(^{\circ}C)) + 32$$

PRESIÓN

Presión Manométrica

$$P_G = \frac{F}{A} \quad F = \frac{m}{a}$$

Presión Hidrostática

$$P_G = \rho g z$$

Principio de Pascal

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

Presión Total

$$P = P_0 + P_G$$

Comportamiento del estado gaseoso

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

Ecuación del Gas Ideal

$$PV = nRT$$

Ley de Meyer
Cp-Cv = R

$$n = \frac{m}{PM}$$

Gas monoatómico

$$C_v = \frac{3}{2}R \quad C_p = \frac{5}{2}R$$

Gas diatómico

$$C_v = \frac{5}{2}R \quad C_p = \frac{7}{2}R$$

Mezclas de Gases

Ley de Dalton (Presiones Parciales)

$$P_T = P_a + P_b + P_c + \dots + P_n$$

$$P_T = \frac{(n_a + n_b + n_c + \dots + n_n)RT}{V}$$

$$x_a = \frac{n_a}{n_T}$$

$$P_a = x_a P_T$$

$$x_1 + x_2 + \dots + x_N = 1$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\rho = \frac{(P)(PM)}{RT}$$

$$\overline{PM} = PM_1 x_1 + PM_2 x_2 + \dots + PM_N x_N$$

Propiedades coligativas

Ebullioscopia:

$$\Delta T = K_B m_2$$

Constante ebullioscópica:

$$K_B = \frac{RT_o^2}{l_{vap}}$$

Crioscopia:

$$-\Delta T = K_F m_2$$

Constante crioscópica:

$$K_F = \frac{RT_o^2}{l_{fus}}$$

Gases reales

Ecuación de van der Waals:

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

$$T_c = \frac{8a}{27Rb} \quad ; \quad p_c = \frac{a}{27b^2} \quad ; \quad V_{mc} = 3b$$

Ec. de Clausius-Clapeyron:

Variación en la T y P de saturación

$$\ln \frac{P_2}{P_1} = \frac{\lambda}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

Primer Principio de la Termodinámica

Trabajo de expansión: $W_{exp} = \int p dv$

Sistemas cerrados: $Q = \Delta U + W$

Entalpía: $H \equiv U + pV$

Trabajo útil: $w_u = w + \Delta e_c + \Delta e_p$

Sistemas abiertos: $q = \Delta h + w_u$

Termoquímica

CALOR (Q)

$$\delta Q = mdC_p T$$

Calor Latente λ

$$Q = mC_p dT = m\lambda$$

$$q_v = - \Delta U$$

$$q_p = - \Delta H$$

$$\Delta H = \Delta U + RT\Delta n_{gas}$$

Ley de Hess:

$$\Delta H_r = \sum_j \lambda_j \Delta H_{r,j}$$

$$\Delta H_r^\circ = \Delta H_{f,P}^\circ - \Delta H_{f,R}^\circ$$

$$\Delta H_r^\circ = \sum_i \nu_i \Delta H_{f,i}^\circ$$

$$H_m^\circ = \Delta H_{f,298}^\circ + \int_{298,15K}^T C_p dT$$

$$\Delta H_r^\circ = -\sum_i \nu_i \Delta H_{c,i}^\circ$$

Segundo Principio de la Termodinámica

$$dS = \frac{\delta Q}{T} + \delta S_i$$

$\Delta S_{cf} = \frac{\Delta H_{cf}}{T_{cf}}$ Cambio de fase
$\Delta S_{sis} = \frac{Q}{T_0}$ Proceso isotérmico
$\Delta S = \int_{T_1}^{T_2} \frac{nC_p dT}{T}$ Presión Constante Gas ideal

$s_2 - s_1 = \int_1^2 C_p \frac{dT}{T} - R \ln \frac{P_2}{P_1}$ Cualquier gas proceso politrópico
$\Delta S_{univ} = \Delta S_{sis} + \Delta S_{alr}$
$\Delta S = \int_{T_1}^{T_2} \frac{nC_v dT}{T}$ Volumen Constante Gas ideal, sólidos y líquidos

Transformaciones reversibles:

$$w = -\int_1^2 v dP - \Delta e_c - \Delta e_p \quad \text{Trabajo isoentropico}$$

Isoterma:

$$W = nRT \ln \frac{V_2}{V_1} = nRT \ln \frac{P_1}{P_2}$$

Adiabática:

$$p_1 V_1^\kappa = p_2 V_2^\kappa \quad ; \quad \kappa \equiv \frac{C_p}{C_v}$$

Entropía:

$$S_2 - S_1 = nC_p \ln \frac{T_2}{T_1} - nR \ln \frac{P_2}{P_1}$$

EFICIENCIA

$$e = 1 - \frac{Q_{sumidero}}{Q_{fuente}} \quad e_c = 1 - \frac{T_{sumidero}}{T_{fuente}}$$

$$\eta_T = \frac{h_1 - h_{2r}}{h_1 - h_{2s}} \quad \eta_C = \frac{h_{2s} - h_1}{h_{2r} - h_1}$$

Eficiencia turbinas y compresores

Funciones termodinámicas

$$F \equiv U - TS$$

Ecuación fundamental del equilibrio:

$$G \equiv H - TS$$

$$dU + pdV - TdS \leq 0$$

Trabajo: $W = W_{exp} + W_u$

Relaciones entre funciones termodinámicas

$$W_T \leq -\Delta F$$

$$dU = TdS - pdV$$

$$W_{u(T,p)} \leq -\Delta G$$

$$dH = TdS + Vdp$$

$$W_{u(T,v)} \leq -\Delta F$$

$$dF = -SdT - pdV$$

$$dG = -SdT + Vdp$$

4.- Pesos atómicos

(¹²C:12,00)

<u>Elemento</u>	<u>Símbolo</u>	<u>Peso atómico</u>	<u>Elemento</u>	<u>Símbolo</u>	<u>Peso atómico</u>
Aluminio	Al	26,98	Iridio	Ir	192,22
Antimonio	Sb	121,75	Lantano	La	138,91
Argón	Ar	39,95	Litio	Li	6,94
Arsénico	As	74,92	Magnesio	Mg	24,31
Azufre	S	32,06	Manganeso	Mn	54,94
Bario	Ba	137,34	Mercurio	Hg	200,59
Berilio	Be	9,01	Molibdeno	Mo	95,94
Bismuto	Bi	208,98	Neón	En	20,18
Boro	B	10,81	Niobio	Nb	92,91
Bromo	Br	79,90	Níquel	Ni	58,71
Cadmio	Cd	112,40	Nitrógeno	N	14,01
Calcio	Ca	40,08	Oro	Au	196,97
Carbono	C	12,01	Osmio	Os	190,20
Cesio	Cs	132,91	Oxígeno	O	16,00
Cinc	Zn	65,37	Paladio	Pd	106,40
Circonio	Zr	91,22	Plata	Ag	107,87
Cloro	Cl	35,45	Platino	Pt	195,09
Cobalto	Co	58,93	Plomo	Pb	207,20
Cobre	Cu	63,55	Potasio	K	39,10
Criptón Kr		83,80	Radio Ra		226,03
Cromo	Cr	52,00	Rodio	Rh	102,91
Escandio	Sc	44,96	Rubidio	Rb	85,47
Estaño	Sn	118,69	Selenio	Se	78,96
Estroncio	Sr	87,62	Silicio	Si	28,09
Flúor	F	19,00	Sodio	Na	22,99
Fósforo	P	30,97	Titanio	Ti	47,90
Galio	Ga	69,72	Torio	Th	232,04
Germanio	Ge	72,59	Uranio	U	238,03
Helio	He	4,00	Vanadio	V	50,94
Hidrógeno	H	1,01	Wolframio	W	183,85
Hierro	Fe	55,85	Xenón	Xe	131,30
Indio	In	114,82	Yodo	I	126,91

Tabla B.I: Propiedades de especies puras

Tabla B.I: Propiedades de especies puras (Continuación)

	Masa molar	ω	T_c/K	P_c/bar	Z_c	$V_c/\text{cm}^3 \text{mol}^{-1}$	T_b/K
Metano	16.043	0.012	190.6	45.99	0.286	98.6	111.4
Etano	30.070	0.100	305.3	48.72	0.279	145.5	184.6
Propano	44.097	0.152	369.8	42.48	0.276	200.0	231.1
n-Butano	58.123	0.200	425.1	37.96	0.274	255.	272.7
n-Pentano	72.150	0.252	469.7	33.70	0.270	313.	309.2
n-Hexano	86.177	0.301	507.6	30.25	0.266	371.	341.9
n-Heptano	100.204	0.350	540.2	27.40	0.261	428.	371.6
n-Octano	114.231	0.400	568.7	24.90	0.256	486.	398.8
n-Nonano	128.258	0.444	594.6	22.90	0.252	544.	424.0
n-Decano	142.285	0.492	617.7	21.10	0.247	600.	447.3
Isobutano	58.123	0.181	408.1	36.48	0.282	262.7	261.4
Isocetano	114.231	0.302	544.0	25.68	0.266	468.	372.4
Ciclopentano	70.134	0.196	511.8	45.02	0.273	258.	322.4
Ciclohexano	84.161	0.210	553.6	40.73	0.273	308.	353.9
Metilciclopentano	84.161	0.230	532.8	37.85	0.272	319.	345.0
Metilciclohexano	98.188	0.235	572.2	34.71	0.269	368.	374.1
Etileno	28.054	0.087	282.3	50.40	0.281	131.	169.4
Propileno	42.081	0.140	365.6	46.65	0.289	188.4	225.5
l-Buteno	56.108	0.191	420.0	40.43	0.277	239.3	266.9
cis-2-Buteno	56.108	0.205	435.6	42.43	0.273	233.8	276.9
trans-2-Buteno	56.108	0.218	428.6	41.00	0.275	237.7	274.0
1-Hexeno	84.161	0.280	504.0	31.40	0.265	354.	336.3
Isobutileno	56.108	0.194	417.9	40.00	0.275	238.9	266.3
1,3-Butadieno	54.092	0.190	425.2	42.77	0.267	220.4	268.7
Ciclohexeno	82.145	0.212	560.4	43.50	0.272	291.	356.1
Acetileno	26.038	0.187	308.3	61.39	0.271	113.	189.4
Benceno	78.114	0.210	562.2	48.98	0.271	259.	353.2
Tolueno	92.141	0.262	591.8	41.06	0.264	316.	383.8
Etilbenceno	106.167	0.303	617.2	36.06	0.263	374.	409.4
Cumeno	120.194	0.326	631.1	32.09	0.261	427.	425.6
o-Xileno	106.167	0.310	630.3	37.34	0.263	369.	417.6
m-Xileno	106.167	0.326	617.1	35.36	0.259	376.	412.3
p-Xileno	106.167	0.322	616.2	35.11	0.260	379.	411.5
Estireno	104.152	0.297	636.0	38.40	0.256	352.	418.3
Naftaleno	128.174	0.302	748.4	40.51	0.269	413.	
Bifenilo	154.211	0.365	789.3	38.50	0.295	502.	528.2
Formaldehído	30.026	0.282	408.0	65.90	0.223	115.	154.1
Acetaldehído	44.053	0.291	466.0	55.50	0.221	154.	294.0
Acetato de metilo	74.079	0.331	506.6	47.50	0.257	228.	330.1
Acetato de etilo	88.106	0.366	523.3	38.80	0.255	286.	350.2
Acetona	58.080	0.307	508.2	47.01	0.233	209.	329.4
Metil etil cetona	72.107	0.323	535.5	41.50	0.249	267.	352.8
Éter dietílico	74.123	0.281	466.7	36.40	0.263	280.	307.6
Éter metil t-butílico	88.150	0.266	497.1	34.30	0.273	329.	328.4

	Masa molar	ω	T_c/K	P_c/bar	Z_c	$V_c/\text{cm}^3 \text{mol}^{-1}$	T_b/K
Metano1	32.042	0.564	512.6	80.97	0.224	118.	337.9
Etanol	46.069	0.645	513.9	61.48	0.240	167.	351.4
l-Propanol	60.096	0.622	536.8	51.75	0.254	219.	370.4
l-Butanol	74.123	0.594	563.1	44.23	0.260	275.	390.8
1-Hexanol	102.177	0.579	611.4	35.10	0.263	381.	430.6
2-Propanol	60.096	0.668	508.3	47.62	0.248	220.	355.4
Penol	94.113	0.444	694.3	61.30	0.243	229.	455.0
Etilenglicol	62.068	0.487	719.7	77.00	0.246	191.0	470.5
Ácido acético	60.053	0.467	592.0	57.86	0.211	179.7	391.1
Ácido n-butírico	88.106	0.681	615.7	40.64	0.232	291.7	436.4
Ácido benzoico	122.123	0.603	751.0	44.70	0.246	344.	522.4
Acetonitrilo	41.053	0.338	545.5	48.30	0.184	173.	354.8
Metilamina	31.057	0.281	430.1	74.60	0.321	154.	266.8
Etilamina	45.084	0.285	456.2	56.20	0.307	207.	289.7
Nitrometano	61.040	0.348	588.2	63.10	0.223	173.	374.4
Tetracloruro de carbono	153.822	0.193	556.4	45.60	0.272	276.	349.8
Cloroformo	119.377	0.222	536.4	54.72	0.293	239.	334.3
Diclorometano	84.932	0.199	510.0	60.80	0.265	185.	312.9
Cloruro de metilo	50.488	0.153	416.3	66.80	0.276	143.	249.1
Cloruro de etilo	64.514	0.190	460.4	52.70	0.275	200.	285.4
Clorobenceno	112.558	0.250	632.4	45.20	0.265	308.	404.9
Argón	39.948	0.000	150.9	48.98	0.291	74.6	87.3
Kriptón	83.800	0.000	209.4	55.02	0.288	91.2	119.8
Xenón	165.03	0.000	289.7	58.40	0.286	118.0	165.0
Helio 4	4.003	-0.390	5.2	2.28	0.302	57.3	4.2
Hidrógeno	2.016	-0.216	33.19	13.13	0.305	64.1	20.4
Oxígeno	31.999	0.022	154.6	50.43	0.288	73.4	90.2
Nitrógeno	28.014	0.038	126.2	34.00	0.289	89.2	77.3
Cloro	70.905	0.069	417.2	77.10	0.265	124.	239.1
Monóxido de carbono	28.010	0.048	132.9	34.99	0.299	93.4	81.7
Dióxido de carbono	44.010	0.224	304.2	73.83	0.274	94.0	
Disulfuro de carbono	76.143	0.111	552.0	79.00	0.275	160.	319.4
Sulfuro de hidrógeno	34.082	0.094	373.5	89.63	0.284	98.5	212.8
Dióxido de azufre	64.065	0.245	430.8	78.84	0.269	122.	263.1
Trisulfuro de azufre	80.064	0.424	490.9	82.10	0.255	127.	317.9
Oxido nítrico (NO)	30.006	0.583	180.2	64.80	0.251	58.0	121.4
Oxido nítrico (N ₂ O)	44.013	0.141	309.6	72.45	0.274	97.4	184.7
Cloruro de hidrógeno	36.461	0.132	324.7	83.10	0.249	81.	188.2
Cianuro de hidrógeno	27.026	0.410	456.7	53.90	0.197	139.	298.9
Agua	18.015	0.345	647.1	220.55	0.229	55.9	373.2
Amoniaco	17.031	0.253	405.7	112.80	0.242	72.5	239.7
Ácido nítrico	63.013	0.714	520.0	68.90	0.231	145.	356.2
Ácido sulfúrico	98.080	...	924.0	64.00	0.147	177.	610.0

Tabla C.I: Capacidades caloríficas de gases en estado de gas ideal*

Especie química	T_{max}	A	$10^3 B$	$10^5 C$	$10^{-5} D$
Parafinas:					
Metano	1500	1.702	9.081	-2.164	
Etano	1500	1.131	19.225	-5.581	
Propano	1500	1.213	28.785	-8.824	
n-Butano	1500	1.935	36.915	-11.402	
n-Pentano	1500	1.677	37.853	-11.945	
n-Hexano	1500	2.464	45.351	-14.111	
n-Heptano	1500	3.025	53.722	-16.791	
n-Octano	1500	3.570	62.127	-19.486	
n-Nonano	1500	8.163	70.567	-22.208	
Alquenos:					
Etileno	1500	1.424	14.394	-4.392	
Propileno	1500	1.637	22.706	-6.915	
l-Buteno	1500	1.967	31.630	-8.873	
l-Penteno	1500	2.691	39.753	-12.447	
1-Hexeno	1500	3.220	48.189	-15.157	
1-Hepteno	1500	3.768	56.588	-17.847	
1-Octeno	1500	4.324	64.960	-20.521	
Sustancias orgánicas misceláneas:					
Acetaldehído	1000	1.693	17.978	-6.158	-1.269
Acetileno	1500	1.952	19.225	-5.581	
Benceno	1500	-0.206	39.064	-13.301	
1,3-Butadieno	1500	2.734	26.766	-8.882	
Ciclohexano	1500	-3.876	63.249	-20.928	
Etiland	1500	3.518	20.001	-6.002	
Etilbenceno	1500	1.124	55.380	-18.476	
Oxido de etileno	1000	-0.385	23.463	-9.296	
Formaldehído	1500	2.264	7.022	-1.877	
Metanol	1500	2.211	12.216	-3.450	
Tolueno	1500	0.280	47.052	-15.716	
Estireno	1500	2.050	50.192	-16.662	
Sustancias inorgánicas misceláneas:					
Aire	2000	3.355	0.575	.....	-0.016
Amoniaco	1600	3.578	3.020	.....	-0.186
Bromo	3000	4.483	0.056	.....	-0.154
Monóxido de carbono	2500	3.376	0.557	.....	-0.031
Dióxido de carbono	2000	5.457	1.045	.....	-1.157
Disulfuro de carbono	1800	6.311	0.805	.....	4.906
Cloro	3000	4.442	0.089	.....	-0.344
Hidrógeno	3000	3.249	0.422	.....	0.083
Sulfuro de hidrógeno	2300	3.931	1.490	.....	-0.232
Cloruro de hidrógeno	2000	3.156	0.623	.....	0.151
Cianuro de hidrógeno	2500	4.736	1.359	.....	-0.725
Nitrógeno	2000	3.280	0.593	.....	0.040
Oxido nítrico	2000	5.328	1.214	.....	-0.528
Oxido nítrico	2000	3.387	0.629	.....	0.014
Dióxido de nitrógeno	2000	4.982	1.195	.....	-0.792
Tetraóxido de nitrógeno	2000	11.660	2.257	.....	-2.787
Oxígeno	2000	3.639	0.506	.....	-0.227
Dióxido de azufre	2000	5.699	0.801	.....	-1.015
Trisulfuro de azufre	2000	8.060	1.056	.....	-2.028
Agua	2000	3.470	1.450	.....	0.121

*Seleccionado de H. M. Spence, *Ind. Eng. Chem.*, vol. 40, pp. 2152-2154, 1948; K. K. Kelley, *U.S. Bur. Mines Bull.* 594, 1960; L. B. Pankratz, *U.S. Bur. Mines Bull.* 672, 1982.

CAPACIDAD CALORÍFICA SISTEMAS BIOLÓGICOS

Fórmula química y masa molar de algunos microorganismos

Microorganismo	Fórmula	Masa molar (g/mol)
A. aerógenes	CH _{1.78} O _{0.33} N _{0.24}	22.5
Bacterias en general	CH ₂ O _{0.25} N _{0.25}	25.5
Klebsiella	CH _{1.74} O _{0.43} N _{0.22}	23.7
C. utilis	CH _{1.82} O _{0.47} N _{0.19}	24.0
Levaduras en general	CH _{1.66} O _{0.4} N _{0.13}	23.5

Capacidades caloríficas atómicas

	Aporte (J/átomo. K)	
Elemento	Sólido	Líquido
C	7.524	11.704
H	9.614	17.974
O	16.720	25.080
P	22.572	30.932
S	-	30.932
Otros	25.916	33.440

C_P de una Mezcla C_{P,M}

$$C_{P,M} = X_A C_{P,A} + X_B C_{P,B} + \dots$$

Para un microorganismo de formula: C_aH_bO_yN_δ

$$C_P \text{ (J/mol K)} = \alpha(7.524) + \beta(9.614) + \gamma(16.720) + \delta(25.916)$$

$$C_{P,agua} = 4.18 \text{ J/g K}$$

Para alimentos o cualquier otro sistema biológico

Para carnes, pescados frutas y verduras con contenido en agua superior al 50%

$$C_p = 1.675 + 0.025 X_{H_2O}$$

Para cualquier sistema biológico de composición conocida
 $C_p = 1.424X_{HC} + 1.549X_P + 1.675X_{GR} + 0.847X_{CZ} + 4.187X_{H_2O}$
 (ambas en kJ/ kg °C)

Food	Water (%)	Protein (%)	Fat (%)	Carbohydrate (%)	Ash (%)
Apples, fresh	84.4	0.2	0.6	14.5	0.3
Apleasauce	88.5	0.2	0.2	10.8	0.6
Asparagus	91.7	2.5	0.2	5.0	0.6
Beans, lima	67.5	8.4	0.5	22.1	1.5
Beef, hamburger, raw	68.3	20.7	10.0	0.0	1.0
Bread, white	35.8	8.7	3.2	50.4	1.9
Butter	15.5	0.6	81.0	0.4	2.7
Cod	81.2	17.6	0.3	0.0	1.2
Corn, saweet, raw	72.7	3.5	1.0	22.1	0.7
Cream, half-and-half	79.7	3.2	11.0	4.6	0.6
Eggs	73.7	12.9	11.5	0.9	1.0
Garlic	61.3	6.2	0.2	30.8	1.5
Lettuce, iceberg	95.5	0.9	0.1	2.9	0.6
Milk, whole	87.4	3.5	3.5	4.9	0.7
Orange juice	88.3	0.7	0.2	10.4	0.4
Peaches	89.1	0.6	0.1	9.7	0.5
Peanuts, raw	5.6	26.0	47.5	18.6	2.3
Peas, raw	78.0	6.3	0.4	14.4	0.9
Pineapples, raw	85.3	0.4	0.2	13.7	0.4
Potato, raw	79.8	2.1	0.1	17.1	0.9
Rice, raw	12.0	6.7	0.4	80.4	0.5
Spinach	90.7	3.2	0.3	4.3	1.5
Tomatoes	93.5	1.1	0.2	4.7	0.5
Turkey	64.2	20.1	14.7	0.0	1.0
Turnips	91.5	1.0	0.2	6.6	0.7
Yoghurt, (whole milk)	88.0	3.0	3.4	4.9	0.7

A.2-9 Propiedades del vapor saturado y del agua (tablas de vapor)
Unidades SI

Temperatura (°C)	Presión de vapor (kPa)	Volumen específico (m ³ /kg)		Entalpía (kJ/kg)		Entropía (kJ/kg · K)	
		Líquido	Vapor saturado	Líquido	Vapor saturado	Líquido	Vapor saturado
0.01	0.6113	0.0010002	206.136	0.00	2501.4	0.0000	9.1562
3	0.7577	0.0010001	168.132	12.57	2506.9	0.0457	9.0773
6	0.9349	0.0010001	137.734	25.20	2512.4	0.0912	9.0003
9	1.1477	0.0010003	113.386	37.80	2517.9	0.1362	8.9253
12	1.4022	0.0010005	93.784	50.41	2523.4	0.1806	8.8524
15	1.7051	0.0010009	77.926	62.99	2528.9	0.2245	8.7814
18	2.0640	0.0010014	65.038	75.58	2534.4	0.2679	8.7123
21	2.487	0.0010020	54.514	88.14	2539.9	0.3109	8.6450
24	2.985	0.0010027	45.883	100.70	2545.4	0.3534	8.5794
25	3.169	0.0010029	43.360	140.89	2547.2	0.3674	8.5580
27	3.567	0.0010035	38.774	113.25	2550.8	0.3954	8.5156
30	4.246	0.0010043	32.894	125.79	2556.3	0.4369	8.4533
33	5.034	0.0010053	28.011	138.33	2561.7	0.4781	8.3927
36	5.947	0.0010063	23.940	150.86	2567.1	0.5188	8.3336
40	7.384	0.0010078	19.523	167.57	2574.3	0.5725	8.2570
45	9.593	0.0010099	15.258	188.45	2583.2	0.6387	8.1648
50	12.349	0.0010121	12.032	209.33	2592.1	0.7038	8.0763
55	15.758	0.0010146	9.568	230.23	2600.9	0.7679	7.9913
60	19.940	0.0010172	7.671	251.13	2609.6	0.8312	7.9096
65	25.03	0.0010199	6.197	272.06	2618.3	0.8935	7.8310
70	31.19	0.0010228	5.042	292.98	2626.8	0.9549	7.7553
75	38.58	0.0010259	4.131	313.93	2635.3	1.0155	7.6824
80	47.39	0.0010291	3.407	334.91	2643.7	1.0753	7.6122
85	57.83	0.0010325	2.828	355.90	2651.9	1.1343	7.5445
90	70.14	0.0010360	2.361	376.92	2660.1	1.1925	7.4791
95	84.55	0.0010397	1.9819	397.96	2668.1	1.2500	7.4159
100	101.35	0.0010435	1.6729	419.04	2676.1	1.3069	7.3549
105	120.82	0.0010475	1.4194	440.15	2683.8	1.3630	7.2958
110	143.27	0.0010516	1.2102	461.30	2691.5	1.4185	7.2387
115	169.06	0.0010559	1.0366	482.48	2699.0	1.4734	7.1833
120	198.53	0.0010603	0.8919	503.71	2706.3	1.5276	7.1296
125	232.1	0.0010649	0.7706	524.99	2713.5	1.5813	7.0775
130	270.1	0.0010697	0.6685	546.31	2720.5	1.6344	7.0269
135	313.0	0.0010746	0.5822	567.69	2727.3	1.6870	6.9777
140	316.3	0.0010797	0.5089	589.13	2733.9	1.7391	6.9299
145	415.4	0.0010850	0.4463	610.63	2740.3	1.7907	6.8833
150	475.8	0.0010905	0.3928	632.20	2746.5	1.8418	6.8379
155	543.1	0.0010961	0.3468	653.84	2752.4	1.8925	6.7935

Temperatura (°C)	Presión de vapor (kPa)	Volumen específico (m³/kg)		Entalpía (kJ/kg)		Entropía (kJ/kg · K)	
		Líquido	Vapor saturado	Líquido	Vapor saturado	Líquido	Vapor saturado
160	617.8	0.0011020	0.3071	675.55	2758.1	1.9427	6.7502
165	700.5	0.0011080	0.2727	697.34	2763.5	1.9925	6.7078
170	791.7	0.0011143	0.2428	719.21	2768.7	2.0419	6.6663
175	892.0	0.0011207	0.2168	741.17	2773.6	2.0909	6.6256
180	1002.1	0.0011274	0.19405	763.22	2778.2	2.1396	6.5857
190	1254.4	0.0011414	0.15654	807.62	2786.4	2.2359	6.5079
200	1553.8	0.0011565	0.12736	852.45	2793.2	2.3309	6.4323
225	2548	0.0011992	0.07849	966.78	2803.3	2.5639	6.2503
250	3973	0.0012512	0.05013	1085.36	2801.5	2.7927	6.0730
275	5942	0.0013168	0.03279	1210.07	2785.0	3.0208	5.8938
300	8581	0.0010436	0.02167	1344.0	2749.0	3.2534	5.7045

A.2-10 Propiedades del vapor sobrecalentado (tablas de vapor)

UNIDADES SI

(v, volumen específico, m³/kg; H, entalpía, kJ/kg; s, entropía, kJ/kg · K)

Presión absoluta kPa (Temp. Sat., °C)	Temperatura (°C)									
	100	150	200	250	300	360	420	500		
10 (45.81)	v 17.196	19.512	21.825	24.136	26.445	29.216	31.986	35.679		
	H 2687.5	2783.0	2879.5	2977.3	3076.5	3197.6	3320.9	3489.1		
	s 8.4479	8.6882	8.9038	9.1002	9.2813	9.4821	9.6682	9.8978		
50 (81.33)	v 3.418	3.889	4.356	4.820	5.284	5.839	6.394	7.134		
	H 2682.5	2780.1	2877.7	2976.0	3075.5	3196.8	3320.4	3488.7		
	s 7.6947	7.9401	8.1580	8.3556	8.5373	8.7385	8.9249	9.1546		
75 (91.78)	v 2.270	2.587	2.900	3.211	3.520	3.891	4.262	4.755		
	H 2679.4	2778.2	2876.5	2975.2	3074.9	3196.4	3320.0	3488.4		
	s 7.5009	7.7496	7.9690	8.1673	8.3493	8.5508	8.7374	8.9672		
100 (99.63)	v 1.6958	1.9364	2.172	2.406	2.639	2.917	3.195	3.565		
	H 2672.2	2776.4	2875.3	2974.3	3074.3	3195.9	3319.6	3488.1		
	s 7.3614	7.6134	7.8343	8.0333	8.2158	8.4175	8.6042	8.8342		
150 (111.37)	v 1.2853	1.4443	1.6012	1.7570	1.9432	2.129	2.376	2.736		
	H 2772.6	2872.9	2972.7	3073.1	3195.0	3318.09	3487.6	3846.6		
	s 7.4193	7.6433	7.8438	8.0720	8.2293	8.4163	8.6466	9.0893		
400 (143.63)	v 0.4708	0.5342	0.5951	0.6548	0.7257	0.7960	0.8893	1.0113		
	H 2752.8	2860.5	2964.2	3066.8	3190.3	3315.3	3484.9	3849.9		
	s 6.9299	7.1706	7.3789	7.5662	7.7712	7.9598	8.1913	8.4700		
700 (164.97)	v 0.2999	0.3363	0.3714	0.4126	0.4533	0.5070	0.5700	0.6417		
	H 2844.8	2953.6	3059.1	3184.7	3310.9	3481.7	3841.7	4354.1		
	s 6.4546	6.6940	6.9247	7.1229	7.3349	7.5275	7.7622	8.0398		
1000 (179.91)	v 0.2060	0.2327	0.2579	0.2873	0.3162	0.3541	0.4013	0.4568		
	H 2827.9	2942.6	3051.2	3178.9	3306.5	3478.5	3842.1	4354.1		
	s 6.4546	6.6940	6.9247	7.1229	7.3349	7.5275	7.7622	8.0398		
1500 (198.32)	v 0.13248	0.15195	0.16966	0.18988	0.2095	0.2352	0.2698	0.3134		
	H 2796.8	2923.3	3037.6	31692	3299.1	3473.1	3842.1	4354.1		
	s 6.4546	6.7090	6.9179	7.1363	7.3323	7.5698	7.8421	8.1619		
2000 (212.42)	v 0.11144	0.12547	0.14113	0.15616	0.17568	0.19998	0.2298	0.2656		
	H 2902.5	3023.5	3159.3	3291.6	3467.6	3621.1	3842.1	4354.1		
	s 6.4546	6.7664	6.9917	7.1915	7.4317	7.6998	8.003	8.3234		
2500 (223.99)	v 0.08700	0.09890	0.11186	0.12414	0.13998	0.15616	0.17568	0.19998		
	H 2880.1	3008.8	3149.1	3284.0	3462.1	3621.1	3842.1	4354.1		
	s 6.4085	6.6438	6.8767	7.0803	7.2603	7.4317	7.5998	7.7622		
3000 (233.90)	v 0.07058	0.08114	0.09233	0.10279	0.11619	0.13248	0.15195	0.17568		
	H 2855.8	2993.5	3138.7	3276.3	3456.5	3621.1	3842.1	4354.1		
	s 6.2872	6.5390	6.7801	6.9878	7.2338	7.4317	7.5998	7.7622		

$$Y = \frac{Y}{m} = y_f + x y_{fg}$$

Y = Propiedad extensiva
y = Propiedad específica
y_f = Propiedad del líquido saturado
y_g = Propiedad del vapor saturado
y_{fg} = Cambio de la propiedad en el cambio de fase
x = calidad del vapor m = masa de la sustancia (kg)

Interpolación

$$b = \frac{(a - a_1)}{(a_2 - a_1)}(b_2 - b_1) + b_1$$

FACTOR DE COMPRESIBILIDAD

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

$$P_R = \frac{P}{P_C}$$

$$v'_R = \frac{v}{v'_R} = \left(\frac{RT_C}{PC} \right)$$



