

APUNTES DE MÁQUINAS Y EQUIPOS TÉRMICOS

(Curso 2011-2012)

Calorimetría

Departamento de Mantenimiento y Servicios a la
Producción

Ies Estelas de Cantabria

Apuntes del alumno: _____

CONCEPTOS GENERALES APLICADOS A FLUIDOS

1

MATEMÁTICAS APLICADAS

3

1. MATEMÁTICAS APLICADAS A CÁLCULOS DE FLUIDOS

En este apartado se recogen fórmulas y datos que son precisos aplicar en cálculos mecánicos, eléctricos, fluidos y física en general.

La no realización de cálculos de forma habitual, lleva al técnico a un cierto olvido de operaciones y fórmulas matemáticas que son necesarios aplicar en un momento dado, cuando se trata de calcular un elemento de máquina, las prestaciones de un motor y otros muchos cálculos que con frecuencia se presentan.

La información que aquí se recoge pretende ayudar a facilitar el cálculo matemático del problema a resolver.

1.1. Múltiplos y submúltiplos

Factor multiplicador de la unidad	Prefijo y símbolo	Factor multiplicador de la unidad	Prefijo y símbolo
1.000.000.000.000.000.000 = 10^{18}	exa = E	0,1 = 10^{-1}	deci = d
1.000.000.000.000.000 = 10^{15}	peta = P	0,01 = 10^{-2}	centi = c
1.000.000.000.000 = 10^{12}	tera = T	0,001 = 10^{-3}	mili = m
1.000.000.000 = 10^9	giga = G	0,000.001 = 10^{-6}	micro = μ
1.000.000 = 10^6	mega = M	0,000.000.001 = 10^{-9}	nano = n
1.000 = 10^3	kilo = k	0,000.000.000.001 = 10^{-12}	pico = p
100 = 10^2	hecto = h	0,000.000.000.000.001 = 10^{-15}	femto = f
10 = 10^1	deca = da	0,000.000.000.000.000.001 = 10^{-18}	atto = a

1.2. Operaciones con fracciones

a) Suma: $\frac{a}{b} + \frac{c}{d} = \frac{a \cdot d + b \cdot c}{b \cdot d}$; $\frac{a}{b} + \frac{c}{d} + \frac{e}{f} = \frac{a \cdot d \cdot f + c \cdot b \cdot f + e \cdot b \cdot d}{b \cdot d \cdot f}$

b) Resta: $\frac{a}{b} - \frac{c}{d} = \frac{a \cdot d - b \cdot c}{b \cdot d}$

c) Multiplicación: $\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{a \cdot c}{b \cdot d}$ ($\rightarrow$)

d) División: $\frac{a}{b} : \frac{c}{d} = \frac{a \cdot d}{b \cdot c}$ ($\rightarrow$)

$$\frac{a}{\frac{b}{c}} = a : \frac{b}{c} = \frac{a \cdot c}{b} ; \quad \frac{\frac{a}{b}}{\frac{c}{d}} = \frac{a}{b} : \frac{c}{d} = \frac{a \cdot d}{b \cdot c} ; \quad \frac{1}{\frac{a}{b}} = 1 : \frac{a}{b} = \frac{b}{a}$$

1.3. Operaciones algebraicas

a) Media aritmética

$$ma = \frac{a + b}{2}$$

b) Media geométrica

$$mg = \sqrt{a \cdot b}$$

c) Binomio de Newton

$$(a + b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$$

$$(a + b)^3 = a^3 + 3a^2b + 3ab^2 + b^3$$

$$(a + b) \cdot (a - b) = a^2 - b^2$$

$$(a + b)^4 = a^4 + 4a^3b + 6a^2b^2 + 4ab^3 + b^4$$

$$(a - b)^2 = a^2 - 2ab + b^2$$

1	CONCEPTOS GENERALES APLICADOS A FLUIDOS									
4	MATEMÁTICAS APLICADAS									
1.4. Ecuaciones de primer grado										
a)	$x + a = b$		;	$x = b - a$						
b)	$x - a = b$		;	$x = b + a$						
c)	$ax = b$		;	$x = \frac{b}{a}$						
d)	$\frac{a}{x} = b$		;	$x = \frac{a}{b}$						
e)	$\frac{x}{a} = b$		;	$x = a \cdot b$						
f)	$\frac{b}{c} x = a$		;	$x = \frac{a \cdot c}{b}$						
g)	$ax + b = c$		;	$x = \frac{c - b}{a}$						
1.5. Ecuaciones de segundo grado										
a)	$x^2 = a$		;	$x = \pm \sqrt{a}$						
b)	$ax^2 + b - c = 0$		;	$x = \pm \sqrt{\frac{c - b}{a}}$						
c)	$ax^2 + bx + c = 0$		;	$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$						
1.6. Potencias y raíces										
Para el cálculo utilizar tablas o calculadora										
a)	$a^n = \text{antilogaritmo} (\log a \cdot n)$									
Ejemplo: $15^n = \text{antilogaritmo} (\log 15 \cdot n) =$										
$15^{1,3} = \text{antilogaritmo} (\log 15 \cdot 1,3) = 33,8$										
b)	$\sqrt[n]{a} = \text{antilogaritmo} (\log a : n)$									
Ejemplo: $\sqrt[5]{15} = \text{antilogaritmo} (\log 15 : 5) = 1,71877$										
$\sqrt[1,3]{15} = \text{antilogaritmo} (\log 15 : 1,3) = 8,02944$										
1.7. Números romanos										
	I	V	X	L	C	M	$\bar{L}$	$\bar{L}$		
	1	5	10	50	100	1.000	50.000	50.000.000		
1.8. Alfabeto griego										
A	α Alfa	E	ϵ Epsilon	I	ι Iota	N	ν Nu	P	ρ Rho	ϕ φ Phi
B	β Beta	Z	ζ Zeta	K	κ Kappa	Ξ ξ Xi	Σ σ Sigma	X	χ Chi	
Γ	γ Gamma	H	η Eta	Λ λ Lambda		O	$\omicron$ Omicron	T	τ Tau	Ψ ψ Psi
Δ	δ Delta	Θ θ Theta		M	μ Mu	Π π Pi	Y	υ Upsilon	Ω ω Omega	
1.9. Principales signos utilizados en cálculos										
+	Más	=	Igual	$\geq$	Mayor o igual que					
-	Menos	$\neq$	No igual		Paralelo					
$\pm$	Más o menos	$\sim$	Equivalente a	$\perp$	Perpendicular					
$\times$ o $\cdot$	Multiplicado por	$\approx$	Aproximadamente igual	a^2	Potencia de exponente 2					
:	Dividido por	$<$	Menor que	a^n	Potencia de exponente n					
%	Tanto por ciento	$>$	Mayor que	$\sqrt{a}$	Raíz cuadrada					
‰	Tanto por mil	$\leq$	Menor o igual que	$\sqrt[3]{a}$	Raíz cúbica					

CONCEPTOS GENERALES APLICADOS A FLUIDOS			1
FÓRMULAS PARA CÁLCULOS MECÁNICOS			5
2. FÓRMULAS ÚTILES PARA CÁLCULOS MECÁNICOS			
Magnitudes	Sistema técnico	Sistema internacional	
2.1. Tiempo de arranque o de frenado En función de una aceleración o deceleración, de un momento de arrancada o frenada.	$t = \frac{Gd^2 \cdot n}{375 \cdot M} \text{ (s)}$ $t = \frac{v}{a} \text{ (s)}$ $t = \frac{J \cdot \omega}{M} \text{ (s)}$		
2.2. <u>Velocidad lineal</u> En movimiento lineal uniforme.	$v = \frac{e}{t} \text{ (m/s)}$		
2.3. <u>Velocidad de rotación</u> En movimiento rotativo.	$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60} = \frac{d \cdot n}{19,1} \text{ (m/s)}$	$v = \omega \cdot r \text{ (m/s)}$	
2.4. Velocidad angular	$n = \frac{60 \cdot v}{\pi \cdot d} = \frac{19,1 \cdot v}{d} \text{ (rpm)}$	$\omega = \frac{v}{r} \text{ (rad/s)}$	
2.5. <u>Aceleración o deceleración</u> En función de un tiempo de arrancada o de frenada.	$a = \frac{v}{t} \text{ (m/s}^2\text{)}$		
2.6. Aceleración o deceleración angular En función de un tiempo de arrancada o de freno, de un momento de arrancada o frenada.	$\alpha = \frac{n}{9,55 \cdot t} \text{ (rad/s}^2\text{)}$ $\alpha = \frac{39,2 \cdot M}{Gd^2} \text{ (rad/s}^2\text{)}$	$\alpha = \frac{\omega}{t} \text{ (rad/s}^2\text{)}$ $\alpha = \frac{M}{J} \text{ (rad/s}^2\text{)}$	
2.7. Espacio De arrancada o de frenada, en función de una aceleración o deceleración de una velocidad final o inicial.	$e = \frac{a \cdot t^2}{2} \text{ (m)}$ $e = \frac{v \cdot t}{2} \text{ (m)}$		
2.8. Ángulo De parada o de frenada, en función de una aceleración angular, de una velocidad angular final o inicial.	$\varphi = \frac{n \cdot t}{19,1} \text{ (rad)}$ $\varphi = \frac{\alpha \cdot t^2}{2} \text{ (rad)}$ $\varphi = \frac{\omega \cdot t}{2} \text{ (rad)}$		
2.9. <u>Masa</u>	$m = \frac{G}{g} \text{ (kgfs}^2\text{/m)}$	m, es la unidad de masa (kg)	
2.10. <u>Peso</u> Peso fuerza.	G, es la unidad de peso Peso fuerza (kgf)	$G = m \cdot g \text{ (N)}$	
2.11. Fuerza En el momento de translación vertical (elevación) horizontal, inclinado. μ = Coeficiente de rozamiento. φ = Ángulo de inclinación.	$F = G \text{ (kgf)}$ $F = \mu \cdot G \text{ (kgf)}$ $F = G (\mu \cdot \cos \varphi + \sin \varphi) \text{ (kgf)}$	$F = m \cdot g \text{ (N)}$ $F = \mu \cdot g \cdot m \text{ (N)}$ $F = m \cdot g (\mu \cdot \cos \varphi + \sin \varphi) \text{ (N)}$	
2.12. Momento dinámico Gd^2 Momento de inercia J Debido a un movimiento de translación (numéricamente $J = Gd^2/4$).	$Gd^2 = \frac{365 \cdot G \cdot v^2}{n^2} \text{ (kgfm}^2\text{)}$	$J = \frac{m \cdot v^2}{\omega^2} \text{ (kgm}^2\text{)}$	

1	CONCEPTOS GENERALES APLICADOS A FLUIDOS		
6	FÓRMULAS PARA CÁLCULOS MECÁNICOS		
Magnitudes	Sistema técnico	Sistema internacional	
2.13. Momento torsor En función de una fuerza, de un momento dinámico	$M = \frac{F \cdot d}{2} \text{ (kgfm)}$	$M = F \cdot r \text{ (Nm)}$	

1	CONCEPTOS GENERALES APLICADOS A FLUIDOS	
6	FÓRMULAS PARA CÁLCULOS MECÁNICOS	
Magnitudes	Sistema técnico	Sistema internacional
2.13. Momento torsor En función de una fuerza, de un momento dinámico o de inercia, de una potencia.	$M = \frac{F \cdot d}{2} \text{ (kgfm)}$ $M = \frac{G d^2 \cdot n}{375 \cdot t} \text{ (kgfm)}$ $M = \frac{716 \cdot P}{n} \text{ (kgfm)}$	$M = F \cdot r \text{ (Nm)}$ $M = \frac{J \cdot \omega}{t} \text{ (Nm)}$ $M = \frac{P}{\omega} \text{ (Nm)}$
2.14. Trabajo, energía En los movimientos de translación y rotación.	$W = \frac{G \cdot v^2}{19,6} \text{ (kgfm)}$ $W = \frac{G d^2 \cdot n^2}{7.160} \text{ (kgfm)}$	$W = \frac{m \cdot v^2}{2} \text{ (J)}$ $W = \frac{J \cdot \omega^2}{2} \text{ (J)}$
2.15. Potencia En los movimientos de translación y rotación.	$P = \frac{F \cdot v}{75} \text{ (CV)}$ $P = \frac{M \cdot n}{716} \text{ (CV)}$	$P = F \cdot v \text{ (W)}$ $P = M \cdot \omega \text{ (W)}$
2.16. Fórmulas para calcular el par	$M = \frac{9.550 \cdot P}{n} \text{ (Nm)}$ $M = \frac{7.160 \cdot P_1}{n} \text{ (Nm)}$	P - En kW n - En rpm P ₁ - En CV n - En rpm
2.17. Fórmulas para calcular la potencia	$P = \frac{M \cdot n}{9.550} \text{ (kW)}$ $P_1 = \frac{M \cdot n}{7.160} \text{ (CV)}$	
Unidades utilizadas en este formulario:		
Tiempo	t →	Segundos..... s
Velocidad lineal	v →	Metro/segundo..... m/s
Velocidad de rotación	v →	Metro/segundo..... m/s
Velocidad angular	n →	Radiaciones/segundo rad/s
Aceleración	a →	Metro/segundo cuadrado..... m/s ²
Espacio	e →	Metro..... m
Ángulo	φ →	Radianes rad
Masa	m →	Kilogramos..... kg
Peso	G →	Newton..... N
Fuerza	F →	Newton..... N
Momento dinámico	Gd ² →	Kilogramo/metro cuadrado..... kg/m ²
Momento torsor	M →	Newton metro..... Nm
Trabajo	W →	Julio..... J
Potencia	P →	Vatio..... W

CONCEPTOS GENERALES APLICADOS A FLUIDOS			1
UNIDADES FÍSICAS UTILIZADAS EN CÁLCULOS			7
3. UNIDADES FÍSICAS UTILIZADAS EN LOS CÁLCULOS PARA FLUIDOS			
En esta tabla se relacionan las unidades más utilizadas en cálculos sobre fluidos en el sistema métrico (SI) y el sistema anglosajón.			
	Símbolo	Nombre	Unidades suplementarias
Energía	J	Julios	(1 J = 1 Nm)
Flujo	dm ³ /s	decímetros (cúbicos) por segundo	(1 dm ³ /s = 1 l/s = 2,1186 SCFM)
	l/s	litros por segundo	
	SCFM	pies cúbicos estándar por minuto	(1 SCFM = 0,47193 dm ³ /s)
Fuerza	kN	kilonewton	(1 kN = 1.000 N)
	N	Newton	
	ozf	fuerza por onza	(1 ozf = 0,278 N)
Frecuencia	Hz	Hercios	(1 Hz = 1 ciclo por segundo)
Longitud	m	metros	
	cm	centímetros	(1 m = 100 cm = 1.000 mm)
	mm	milímetros	
	µm	micrómetro	(1 mm = 1.000 µm)
	ft	pies	(1 ft = 30,5 cm = 304,8 mm)
Masa	in	pulgada ("")	(1 in = 2,54 cm = 25,4 mm)
	kg	kilogramos	(1 kg = 1.000 g)
	g	gramos	(1 g = 0,0353 oz)
	lb	libras	(1 lb = 454 g)
	oz	onzas	(16 oz = 1 lb)
Potencia	W	Vatios	(1 W = 1 J/s = 1 Nm/s)
	kW	kilovatios	(1 kW = 1.000 W)
	CV	caballos de vapor	(1 hp = 746 W) (1 CV = 736 W)
Presión	bar	bar	(1 bar = 0,1 mPa)
	mbar	milibar	(1 bar = 1.000 mb)
	psi	libras por pulgada cuadrada	(1 bar = 14,5 psi)
	Torr	Vacío	(1 torr = 1 mm Hg)
Temperatura	°C	Centígrados	$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} - 32)$
	°F	Fahrenheit	$^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} (^{\circ}\text{C} + 32)$
Tiempo	h	hora	(1 h = 60 min)
	s	segundos	(1 s = 1.000 ms) (1 min = 60 s)
	ms	mili-segundo	
Par de Apriete	Nm	Newton por metro	(1 Nm = 0,738 ft.lbf)
	ft.lbf	libras por pie de fuerza	
	in.lbf	libras por pulgada de fuerza	
Velocidad	ms	metros por segundos	(1 m/s = 3,28 ft/s)
Volumen	m ³	metros cúbicos	(1 m ³ = 1.000 l)
	l	litros	(1 l = 0,035 ft ³)
	cc	centímetros cúbicos	(1 l = 1.000 cc)
	fl.oz	onzas de líquido	(1 fl.oz = 28,4 cc)

CONCEPTOS GENERALES APLICADOS A FLUIDOS

1

SECCIÓN-VOLUMEN-PESO

9

5. SECCIÓN-VOLUMEN-PESO

5.1. Superficie (sección)

	cm ²	m ²	a	ha	km ²	in ²	ft ²	yd ²
1 cm ² =	1	10 ⁻⁴	—	—	—	0,155	—	—
1 m ² =	10 ⁴	1	0,01	10 ⁻⁴	10 ⁻⁶	1.550	10,76	1,196
1 a =	—	100	1	0,01	10 ⁻⁴	—	1.076	119,6
1 ha =	—	10 ⁴	100	1	0,01	—	—	—
1 km ² =	—	10 ⁶	10 ⁻⁴	100	1	—	—	—
1 pulgada cuadrada =	6,452	—	—	—	—	1	—	—
1 pie cuadrado =	929	0,0929	—	—	—	144	1	0,1111
1 yarda cuadrada =	8.361	0,8361	—	—	—	1.296	9	1
1 milla cuadrada =	—	—	—	259	2,59	—	—	—
1 acre =	—	4.047	40,47	0,4047	—	—	43.560	4.840

1. Cálculo de sección circular 2. Sección cuadrada 3. Sección rectangular 4. Sección triangular

$$S = \pi \cdot r^2$$

$$S = \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 \quad S = 0,785 \cdot d^2$$

$$S = l \cdot l = l^2$$

$$S = a \cdot b$$

$$S = \frac{a \cdot b}{2}$$

5.2. Volumen

	cm ³	dm ³	m ³	in ³	ft ³	yd ³	gal (EE.UU.)	gal (GB)
1 cm ³ =	1	10 ⁻³	10 ⁻⁶	0,061	—	—	—	—
1 dm ³ =	10 ³	1	10 ⁻³	61,02	0,0353	—	0,2642	0,22
1 m ³ =	10 ⁶	10 ³	1	61.023	35,31	1,308	264,2	220
1 pulgada cúbica =	16,39	0,0164	—	1	—	—	—	—
1 pie cúbico =	—	28,32	0,0283	1.728	1	0,037	7,481	6,232
1 yarda cúbica =	—	746,6	0,7646	46.656	27	1	202	168,2
1 galón (EE.UU.) =	3.785	3,785	—	231	0,1337	—	1	0,8327
1 galón imperial (GB) =	4.546	4,546	—	277,4	0,1605	—	1,201	1

Cálculo de volumen

$$V = S \cdot l$$

S - Sección ; l - Longitud o altura

5.3. Peso

	g	kg	t	oz	lb	stone
1 g =	1	10 ⁻³	10 ⁻⁶	0,0353	—	—
1 kg =	10 ³	1	10 ⁻³	35,27	2,205	0,157
1 tm =	10 ⁶	10 ³	1	—	2.205	157,5
1 onza (oz) =	28,35	0,0284	—	1	0,0625	0,0044
1 libra (lb) =	453,6	0,4536	—	16	1	0,0714
1 stone =	6.350	6,350	—	224	14	1

$$P = V \cdot d$$

V - Volumen ; d - Peso específico o densidad

Peso específico de algunos materiales en kg/m³

Arcilla seca.....	2.000 a 2.250
Arena fina y seca.....	1.400 a 1.650
Arena gruesa.....	1.350 a 1.500
Asfalto	1.100 a 1.330
Bronce	8.450 a 9.200
Cemento.....	1.400 a 1.700
Fundición de hierro.....	7.000 a 7.500
Grava.....	1.500 a 1.800
Gres.....	2.500 a 2.600
Hormigón.....	2.000 a 2.500

Latón.....	8.400 a 8.700
Mármol.....	2.700 a 2.800
Mortero	1.650 a 1.850
Muros de ladrillo hueco	1.050 a 1.100
Muros de piedra.....	2.250 a 2.450
Tierra de grava.....	1.400 a 1.700
Tierra arcillosa	1.700 a 2.000
Tierra silíceas	1.300 a 1.400
Turba comprimida	500 a 600
Vidrio	2.400 a 2.600

1	CONCEPTOS GENERALES APLICADOS A FLUIDOS					
10	PRESIÓN					
6. CONCEPTOS SOBRE PRESIÓN						
6.1. Fuerza						
Fuerza es el resultado del producto de la masa por aceleración.						
$F = m \cdot a$						
$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \frac{1 \text{ m}}{\text{s}^2} \quad \left(\frac{1 \text{ kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \right)$						
$1 \text{ Kp} = 9,81 \text{ N}$						
$1 \text{ Kp} \approx 10 \text{ N} \approx 1 \text{ daN}$						
<i>Kpondio = kg.</i>						
6.2. Presión						
Presión es la fuerza ejercida por unidad de superficie.						
$p = \frac{F}{S} \text{ (bar)}$				p - Presión en bar.		
				F - Fuerza en daN.		
				S - Superficie en cm².		
$1 \text{ bar} = 10 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} = 1 \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2}$						
$1 \frac{\text{Kp}}{\text{cm}^2} = 0,981 \approx 1 \text{ bar}$						
Según el sistema SI, la unidad de presión es el Pascal (Pa), que corresponde a:						
$1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$						
$1 \text{ bar} = 100.000 \text{ Pa} = 10^5 \text{ Pa}$						
Otras unidades utilizadas son:						
$1 \text{ bar} = 14,5 \text{ psi}$				psi - Pound-force par square inch		
$10 \text{ m de columna de agua (cda)} = 1 \text{ bar}$						
$1 \text{ m de cda} = 0,0944 \text{ bar}$						
$1 \text{ mm de Hg} = 0,0013 \text{ bar}$						
$1 \text{ bar} = 738,7714 \text{ mm de cd/Hg a } 0 \text{ }^\circ\text{C}$						
$1 \text{ bar} = 10,0528 \text{ m de cda a } 4 \text{ }^\circ\text{C}$						
Equivalencias entre diferentes unidades de presión						
Unidad	bar	Pa	Kp/cm² (atm)	mm Hg (Torr)	psi	In H₂O
bar	1	10⁵	1,02	750	14,50	401,5
Pa	10⁵	1	1,02 · 10⁻⁵	7,5 · 10⁻³	0,145 · 10³	4,015 · 10⁻³
Kp/cm² (atm)	0,981	9,81 · 10⁴	1	736	14,22	393,7
mm Hg (Torr)	1,333 · 10⁻³	133,32	1,36 · 10⁻³	1	1,934 · 10⁻²	0,535
psi	6,895 · 10⁻²	6.895	7,031 · 10⁻²	51,70	1	27,88
in H₂O	2,491 · 10⁻³	249,1	2,54 · 10⁻³	1,668	3,613 · 10⁻²	1

1 ceta	1 ciga	1 mega	1 mili	1 nano	1 pecto	1 peta	1 yotta	1 zeta	1 etta	1 feta	1 giga	1 heta	1 ita	1 jeta	1 keta	1 leta	1 meta	1 neta	1 ota	1 pta	1 rta	1 sda	1 tda	1 uda	1 vda	1 wda	1 xda	1 yda	1 zda
10^{12}	10^9	10^6	10^4	10^3	10^2	10	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}	10^{-15}	10^{-18}														

Va de 10 en 10.

METROS CUADRADOS

$$\text{Km}^2 \quad \text{Hm}^2 \quad \text{Dm}^2 \quad \text{m}^2 \quad \text{dm}^2 \quad \text{cm}^2 \quad \text{mm}^2$$

Van de 100 en 100.

$$\text{Ejemplo: } 1\text{m}^2 = 100\text{ dm}^2 = 10000\text{ cm}^2 = 1000000\text{ mm}^2 \quad \text{o} = 0,01\text{Dm}^2 = 0,0001\text{Hm}^2$$

METROS CUBICOS

$$\text{Km}^3 \quad \text{Hm}^3 \quad \text{Dm}^3 \quad \text{m}^3 \quad \text{dm}^3 \quad \text{cm}^3 \quad \text{mm}^3$$

Van de 1000 en 1000.

$$\text{Ejemplo: } 1\text{m}^3 = 1.000\text{ dm}^3 = 1.000.000\text{ cm}^3 = 1000.000.000\text{ mm}^3 \quad \text{o} = 0,001\text{ Dm}^3 = 0.000001\text{ Hm}^3$$

MEDIDAS INGLESAS

$$1 \text{ Pulgada} = 25,4 \text{ mm}$$

$$1 \text{ Pie} = 12 \text{ pulgadas} = 12 \times 25,4 = 304,8 \text{ mm} = 0,3048 \text{ m}$$

$$1 \text{ Yarda} = 3 \text{ pies} = 3 \times 304,8 = 914,4 \text{ mm} = 0,9144 \text{ m}$$

MEDIDAS INGLESAS CUADRADAS

$$1 \text{ Pulgada cuadrada} = 25,4 \times 25,4 = 645,16 \text{ mm}^2 = 6,45 \text{ cm}^2$$

$$1 \text{ Pie cuadrado} = 304,8 \times 304,8 = 92.903 \text{ mm}^2 =$$

$$1 \text{ Yarda cuadrada} = 0,9144 \times 0,9144 = 0,836 \text{ m}^2$$

$$= 0,0929 \text{ m}^2$$

MEDIDAS INGLESAS CUBICAS

$$1 \text{ Pulgada cúbica} = 25,4 \times 25,4 \times 25,4 = 16.387 \text{ mm}^3 = 16,387 \text{ cm}^3$$

$$1 \text{ Pie cúbico} = 304,8 \times 304,8 \times 304,8 = 28.316846 \text{ mm}^3 = 28316 \text{ cm}^3 = 0,0283 \text{ m}^3$$

$$1 \text{ Yarda cúbica} = 0,9144 \times 0,9144 \times 0,9144 = 0,7645 \text{ m}^3$$

$$1 \text{ galón} = 4,546 \text{ litros} /// \text{ Pinta} = 0,47,32 \text{ litros} /// \text{ Onza} = 31,11 \text{ gramos} /// \text{ libra} = 453,6 \text{ gramos} // \text{ kilate} = 0,2 \text{ gramos}$$

$$1 \text{ Milla Terrestre} = 1.610,31 \text{ m}$$

$$1 \text{ Milla náutica} = 1.851,85 \text{ m}$$

$$1 \text{ Nudo} = 1 \text{ milla náutica por hora}$$

CALORIMETRÍA

INTRODUCCIÓN

La técnica frigorífica está basada en ciertas propiedades físicas que debemos conocer. ¿Por qué no utilizamos agua para obtener temperaturas de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$? ¿Cómo es posible modificar la temperatura de ebullición de una sustancia?

Para el estudio de la refrigeración y climatización, es importante conocer algunos principios fundamentales de la física y la termodinámica, que veremos a lo largo de esta unidad. Date cuenta de que por ejemplo, para reparar una avería, instalar un componente en una máquina o interpretar un catálogo tendrás que medir y/o interpretar una serie de parámetros, como la temperatura, la presión, así como conocer en qué unidades puede expresarse. Asimismo necesitarás saber cómo se transfiere el calor, ya que tu trabajo está relacionado con hacer funcionar correctamente los aparatos que modifican la temperatura del ambiente.

CONCEPTOS GENERALES DE TERMODINÁMICA

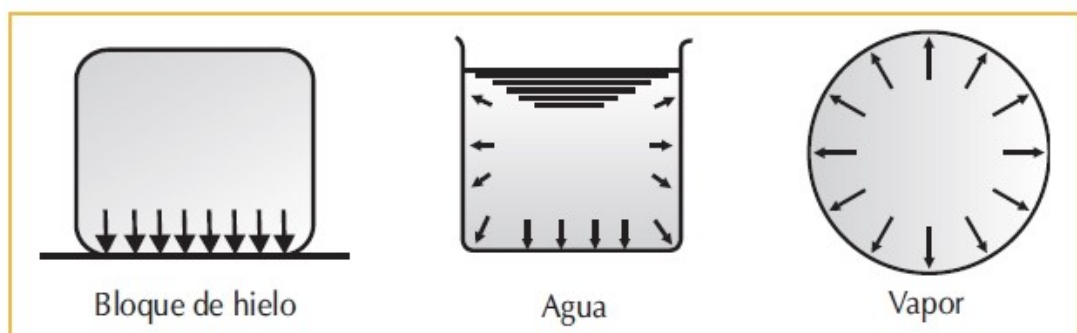
Presión

La presión es una magnitud física que se define como la fuerza por unidad de superficie.

$$P=F/S \text{ (Pa)}$$

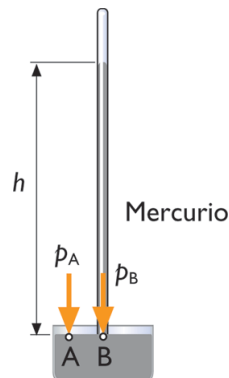
El concepto de presión se aplica tanto a sólidos como a líquidos y gases. Ten en cuenta que en cada uno de estos estados la presión se ejerce de forma diferente debido a que son distintas las superficies de contacto entre los materiales y sus contenedores o sus puntos de apoyo.

Observa la figura 1. En ella se representa cómo un bloque de hielo ejerce la presión sobre su base, el agua líquida sobre las paredes del recipiente que la contiene y el vapor en todas las superficies de su contenedor.



Unidades de presión:

- Bar: Se denomina bar a una unidad de presión equivalente a un millón de barias, aproximadamente igual a una atmósfera (1 Atm). Su símbolo es "bar". La palabra bar tiene su origen en *báros*, que en griego significa peso.
- Atmosfera: La presión atmosférica es la presión ejercida por el aire atmosférico en cualquier punto de la atmósfera.
- Kp/cm²: es la presión ejercida de un 1 kp de fuerza sobre una superficie de 1 cm².
- PSI: Se refiere a libras por pulgada cuadrada. Es una medida inglesa. Una atmósfera son 14,69 PSI
- Mm Hg: es la altura de la columna de Hg en un barómetro, el cual es un instrumento para medir la presión atmosférica, la cual se equilibra con el peso de una columna de mercurio. Éste, al tener una densidad 13,6 veces la del agua, tendrá una altura de 760 mm cuando la presión es de una atmósfera.



- M.c.a: son los metros de columna de agua. 1 atmósfera son 10,33 m.c.a.

	Bar	Atm.	Kp/cm ²	PSI	Mm Hg	m.c.a
Atm.	1,013	1	1,033	14,69	760	10,33

Fig. 1. Presión del agua en estado sólido, líquido y vapor.

	SISTEMA INTERNACIONAL		SISTEMA ANGLOSAJÓN	OTROS SISTEMAS			
	Pascal	bar	psi	kgf/cm ²	atm	mm H ₂ O	mm Hg
1 Pa (N/m ²)	1	10 ⁻⁵	0,000145	1,02·10 ⁻⁵	9,87·10 ⁻⁶	0,102	0,0075
1 bar (daN/cm ²)	10 ⁵	1	14,5	1,02	0,987	10.200	750
1 psi	6.890	0,0689	1	0,0703	0,068	703	51,7
1 kgf/cm ²	98.100	0,981	14,2	1	0,968	10.000	736
1 atm	101.325	1,01	14,7	1,03	1	10.300	760
1 mm H ₂ O	0,102	10.200	0,00142	0,0001	9,68·10 ⁻⁵	1	0,0736
1 mm Hg	133	0,00133	0,0193	0,0136	0,00132	13,6	1

Presión atmosférica, absoluta y relativa

Cuando hablamos de presión, manejamos diferentes términos: presión atmosférica, presión absoluta, presión relativa, presión diferencial... Veamos lo que significa cada uno de ellos.

El concepto de presión atmosférica surge debido a la presión que ejerce la atmósfera sobre la tierra. Se define como el peso de una columna de aire de sección 1 cm² y que se extiende desde la superficie de la tierra a nivel del mar hasta los límites superiores de la atmósfera. Su valor es de aproximadamente 101.325 Pascales. Para medir la presión atmosférica de forma experimental, se utiliza el barómetro.

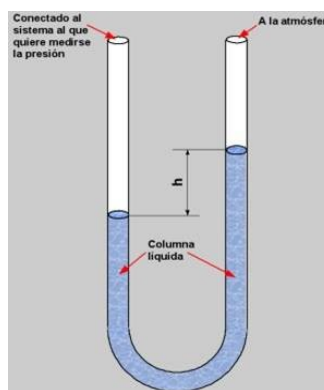
Las unidades habituales de medida de presión atmosférica en otros sistemas son la atmósfera (atm) y mm de mercurio (mm Hg)

La presión absoluta es la que se mide tomando como origen, es decir, como cero de presión, la correspondiente al vacío absoluto. En la escala de presión absoluta la presión atmosférica tiene un valor de 1,013 bar, o lo que es lo mismo 101.325 Pascales.

La presión relativa o normal mide la presión tomando como origen (como cero de la escala), la presión atmosférica a nivel del mar.

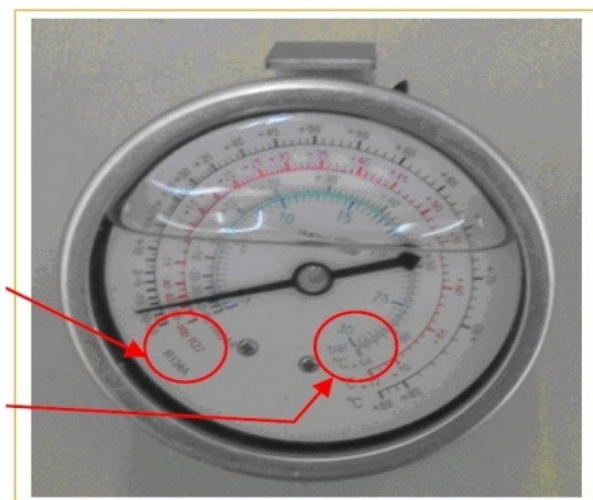
$$P_{abs} = P_{atm} + P_{rel}$$

Manómetro abierto: si hay un desnivel h en un manómetro, el desnivel del líquido en las dos columnas, nos expresa la presión existente en el sistema en el que se quiere medir la presión



En ésta foto, puedes observar un manómetro convencional (izquierda), y un manómetro de frigorista (abajo). Este último incorpora varias escalas de presión, habitualmente en psi y bar, también una escala de

temperatura, muy útil cuando se está trabajando con refrigerantes, que permite conocer la temperatura de evaporación o de condensación según la presión que indique y el refrigerante que se esté empleando.



Energía



La energía es la fuerza vital de la naturaleza, está presente en todos los procesos químicos, físicos, estructurales, etc., que se dan en nuestro entorno y que permiten el desarrollo de nuestras actividades en las diferentes áreas de trabajo. También se define, como la capacidad o aptitud para realizar un trabajo. Todos los cuerpos, por el solo hecho de estar formados de materia, contienen energía. Además, la pueden poseer adicionalmente debido a su movimiento, composición química, posición, temperatura y a algunas otras propiedades. Así se habla de energía cinética, química, potencial, térmica, mecánica, eléctrica

En la refrigeración se deben tener en cuenta 3 formas comunes y relacionadas de energía:

- Eléctrica: fluye hasta un motor eléctrico y lo hace funcionar
- Mecánica: el motor eléctrico transforma la energía eléctrica en mecánica y pone en movimiento un compresor
- Térmica: suele producirse habitualmente por una combinación de ambas energías. El compresor comprime el vapor a una presión y temperatura altas, y transforma la energía mecánica en térmica.

En la siguiente tabla se recogen las unidades de energía más utilizadas y sus equivalencias.

SISTEMA MÉTRICO CONVENCIONAL	SISTEMA INTERNACIONAL	SISTEMA ANGLOSAJÓN		SISTEMA TÉCNICO	
kfg·m	Julio (J) = N·m	Pie-libra fuerza (ft·lbf)	Btu	Caloría (cal)	Frigoría
0,102	1	0,7376	$9,48 \cdot 10^{-4}$	0,24	0,24
0,427	4,186	3,087	0,004	1	1
107,51	1.054	778	1	252	252

Otra unidad muy utilizada en refrigeración es la frigoría. La frigoría es una unidad del sistema técnico para medir la absorción de energía térmica. Equivale a una caloría negativa. Se usa en sistemas frigoríficos y aire acondicionado. También se utiliza la frigoría/hora que sirve para expresar la potencia de un sistema de refrigeración.

Potencia

La potencia se define como la cantidad de trabajo realizado en la unidad de tiempo.

$$P = T/t \text{ (w)}$$

Las unidades de medida de potencia más utilizadas y sus equivalencias son las siguientes:

SISTEMA MÉTRICO CONVENCIONAL	SISTEMA INTERNACIONAL	SISTEMA ANGLOSAJÓN		SISTEMA TÉCNICO
kfg·m/s	kilovatio (kw) = kJ/s = N·m/s	Pie-libra fuerza por segundo (ft·lbf/s)	Caballo fuerza (HP)	Caballo de vapor (CV)
102	1	737,6	1,340	1,360
76,07	0,746	550,2	1	1,013
74,868	0,735	541,4	0,986	1

Un aparato comercial de aire acondicionado doméstico posee una capacidad de enfriamiento de 2.500 kilofrigorías/hora. ¿De cuánta potencia estamos hablando en kilovatios?

Frío y calor

El calor se define como una forma de energía asociada al movimiento de las partículas que calor forman la materia. Los cuerpos no tienen calor, sino energía interna. El calor es la transferencia de parte de dicha energía interna (térmica) de un sistema a otro, con la condición de que estén a diferente temperatura. Su concepto está ligado al Principio Cero de la Termodinámica, según el cual dos cuerpos en contacto intercambian energía hasta que su temperatura se equilibra. **El calor siempre fluye de la sustancia más caliente a la más fría**, puede ser generado por reacciones químicas, nucleares y transferido entre objetos por diferentes mecanismos.

El calor se manifiesta de muchas formas en nuestra vida diaria: el calor solar, el calor generado al frotar las manos, el paso de corriente por una resistencia eléctrica con el desprendimiento de calor de una bombilla, etc., así pues, es una sensación que percibimos cuando nos encontramos enfrente de un cuerpo incandescente. El calor es la energía que se transfiere entre dos sistemas (o de un sistema y sus alrededores).

El calor está relacionado con el movimiento de las partículas que son las divisiones más pequeñas que se puede hacer de cualquier sustancia sin que pierda su identidad química; de la siguiente forma: Una molécula al moverse genera calor y cuanto mayor sea su movimiento o velocidad más calor genera. Por otro lado, esta molécula al moverse choca con otras moléculas que, a raíz de esto, ven aumentada su velocidad y por lo tanto su generación de calor y que a su vez chocan con otras moléculas que chocan con otras,... etc. Así pues, cuanto más alta sea la velocidad de las moléculas que componen una sustancia mayor será la temperatura de esa sustancia manteniendo las condiciones del medio que la rodea.

Otro de los términos utilizados en termodinámica es el de frío. **El frío por definición no existe, simplemente es la ausencia de calor.** Es la energía extraída en forma de calor de un sistema, cuando su temperatura está por debajo de la de su entorno.

Es la sensación que se produce con la falta de calor, es el término negativo del calor, que indica su disminución o ausencia. Si de alguna forma "extraemos" calor de una sustancia, el movimiento de sus

moléculas será cada vez más lento. La "potencia" de un compresor o máquina frigorífica está relacionada con este concepto, ya que se refiere a la cantidad de frío producido, o mejor dicho, a la cantidad de calor que puede absorber. Así, si antes veíamos cómo el calor era un indicador del estado de agitación de las moléculas que componen una sustancia, en este apartado deducimos que el frío, por el contrario, es un indicador de que el movimiento de las moléculas es lento.

El movimiento de las partículas genera energía, como hemos visto anteriormente. Este tipo de energía se llama calor, y se define como la forma de energía que se transfiere entre dos sistemas, o entre un sistema y su entorno, cuando sus temperaturas son diferentes, de forma que pasa de uno a otro hasta que la cantidad de calor de ambos se iguala y se llega a un estado de equilibrio.

Si pensamos en esto último deducimos con rapidez que el calor pasa del cuerpo o sistema que tiene "más cantidad de calor" al cuerpo o sistema que tiene "menos cantidad de calor".

Ejemplo: un caso muy cotidiano de esta transferencia de energía es lo que ocurre en nuestros frigoríficos. El evaporador de un frigorífico es la parte que absorbe calor, es decir el cuerpo frío; el cuerpo caliente lo forman los alimentos que metemos en la nevera. Estos alimentos están, como poco, a temperatura ambiente cuando los introducimos en la nevera; el evaporador, por el contrario, se encuentra a varios grados bajo cero, con lo cual, el calor de los alimentos pasa al evaporador, consiguiendo así que se enfríen. El calor, como forma de energía, tiene las siguientes unidades de medida entre las más usuales:

- Caloría [cal]: una caloría es la unidad de calor aportada o extraída para aumentar o reducir en un grado centígrado la temperatura de un gramo de agua.

- Julio [J]: la cantidad de calor aportado o extraído para aumentar o reducir en un grado centígrado la temperatura de un gramo de agua es equivalente a 4'187 Julios. Esta es la unidad que se utiliza en el Sistema Métrico Internacional.

- British Thermal Unit [Btu]: un Btu es la unidad de calor extraída para reducir en un grado Fahrenheit la temperatura de una libra de agua. Esta unidad de medida pertenece al sistema angloamericano.

- Frigoría [fg]: es la unidad que se utiliza en la industria frigorífica para expresar las cantidades de calor transmitidas y para valorar la potencia de los compresores y máquinas frigoríficas. La Frigoría es una kilocaloría negativa:

$$1 \text{ fg} = -1 \text{ kcal}$$

En el caso de la potencia de las máquinas frigoríficas, la hora es la unidad de tiempo utilizada para expresarla:

$$\text{Potencia frigorífica} = \text{fg/h}$$

La correspondencia entre las unidades antes expresadas es la siguiente:

$$1 \text{ Julio} = 0'2389 \text{ kcal} = -0'2389 \text{ fg} = 0'9478 \text{ Btu}$$

$$1 \text{ fg} \text{ ó } 1 \text{ kcal} = 3'968 \text{ Btu}$$

$$1 \text{ Btu} = 0'2516 \text{ kcal} \text{ ó } 0'2516 \text{ fg}$$

CONVERSIÓN DE UNIDADES DE CALOR	
PASO DE UNIDADES	FÓRMULA DE CONVERSIÓN
Cal=>kcal	kca=0'0001xcal
kcal=>cal	cal=1000xkcal
kcal=>kJ	kJ=4'186xkcal
kJ=>kcal	Kcal=0'2389xkJ
kcal=>Btu	Btu=3'968xkcal
Btu=>kcal	kcal=0'2520xBtu
Btu=>kJ	kJ=1'055xBtu
kJ=>Btu	Btu=0'9480xkJ
J=>kJ	kJ=0'001xJ
kJ=>J	J=1000xkJ

Temperatura

El término temperatura hace referencia al nivel de energía calorífica que posee un cuerpo y que, como toda magnitud física, se puede medir. Gracias al sentido del tacto podemos apreciar la cantidad de calor que posee un cuerpo o sustancia. Esta apreciación es totalmente subjetiva, ya que depende en todo momento de la persona que experimente la sensación y además es una apreciación que se suele hacer por comparación y siempre dentro de unos límites, puesto que temperaturas que están muy por encima o muy por debajo de temperaturas ambientes habituales, nos producen sensaciones dolorosas de quemazón, como, por ejemplo, tocar un metal al rojo vivo o tocar un trozo de hielo durante mucho tiempo. Por lo tanto, vemos cómo el tacto nos conduce a error porque no es exacto, no tiene un buen rango de sensibilidad y no se pueden realizar medidas fieles.

Para poder realizar la medida correcta de la temperatura de un cuerpo o sistema debemos cumplir los siguientes puntos:

- No producir alteraciones en el sistema cuya temperatura se desea medir (exactitud).
- El instrumento que utilicemos para realizar la medición ha de detectar rápidamente las variaciones de temperatura (sensibilidad).
- El rango de temperaturas que ha de detectar el instrumento de medición ha de ser amplio o, por lo menos, el adecuado para los niveles de temperatura a registrar (sensibilidad).
- Cualquier instrumento de medida de temperatura debe proporcionar el mismo valor de temperatura para mediciones realizadas en idénticas condiciones (fidelidad).
- Las variaciones pequeñas de temperatura deben provocar variaciones apreciables en el aparato de medida (sensibilidad).

Los instrumentos utilizados para realizar mediciones de temperatura se denominan termómetros y aprovechan la dilatación de algunos cuerpos por el calor, como en el mercurio o el alcohol. También se pueden utilizar las variaciones de tensión de vapor de algunos fluidos o fenómenos termoeléctricos.

Para poder utilizar una base común para realizar mediciones de temperatura se han ido elaborando cientos de escalas a lo largo del tiempo, generadas a partir de estados fáciles de reproducir.

Actualmente, la graduación de los termómetros se realiza partiendo de dos puntos de referencia, A y B, característicos del agua a presión atmosférica:

- A: la temperatura de fusión del agua.
- B: la temperatura de ebullición del agua.

Estos dos puntos son conocidos como los puntos fijos de la escala termométrica y corresponden a fenómenos que son fácilmente reproducibles e invariables si se realizan siempre bajo las mismas condiciones de presión.

Después de determinar los dos puntos fijos A y B se divide la longitud de la recta que los une en un cierto número de partes iguales y se obtiene lo que se denomina escala termométrica.

A continuación, se detallan las cuatro escalas más utilizadas en la actualidad.

Centígrada o Celsius

Esta escala se consigue después de determinar los puntos fijos de la escala termométrica A y B, dividiendo en cien partes iguales la distancia que los separa, con lo que la centésima parte de la distancia entre los dos puntos fijos, representará la unidad de elevación de la escala, denotado por ° C, grado Celsius o grado centígrado.

Fahrenheit

Esta escala termométrica se utiliza en países anglosajones y en Japón. Sus puntos fijos se determinan reproduciendo las mismas pautas seguidas en la determinación de la escala Celsius, pero la diferencia con ésta es que la distancia entre A y B se divide en 180 partes iguales (no en 100), además el punto cero de la escala fue fijado arbitrariamente por Fahrenheit, correspondiendo A (0° C en la escala Celsius) a +32° F y por lo tanto B (100° C en la escala Celsius) a 212 ° F.

Teniendo en cuenta todas estas correspondencias se establece el siguiente cálculo para la conversión de grados Fahrenheit en grados Celsius y viceversa:

$$1^{\circ}C = \frac{AB}{100}$$

$$1^{\circ}F = \frac{AB}{180}$$

$$1^{\circ}C = 1,8^{\circ}F$$

$$1^{\circ}F = \frac{5^{\circ}C}{9}$$

Hay que considerar la diferencia existente entre los dos puntos cero de las escalas (+32), con lo que obtenemos las formulas de conversión siguientes:

$$n(^{\circ}C) = \frac{5}{9}(n(^{\circ}F) - 32)$$

$$n(^{\circ}F) = 1,8 \times n(^{\circ}C) + 32$$

Reamur

Esta escala solo se diferencia con la escala Celsius en que el número de divisiones que se hace del intervalo AB es 80 y no 100.

Kelvin

La escala Kelvin o termodinámica nace de la necesidad de tener una escala que sea independiente de las propiedades de una sustancia en Sistema Internacional.

En termodinámica se demuestra que $-273,15^{\circ}C$ es la temperatura más baja que puede existir estando el calor totalmente ausente del cuerpo, es decir, el movimiento de las partículas que lo componen es totalmente nula. La unidad correspondiente a esta escala se denota por K. El cero de la escala Kelvin corresponde a $-273,15$ grados centígrados, teniendo en cuenta esto y que el grado Kelvin (K) tiene el mismo valor que el grado Celsius ($^{\circ}C$), la conversión entre una escala y otra tiene la siguiente expresión:

$$n_1(K) = n_2(^{\circ}C) + 273$$

Transmisión de calor

Cuando un sistema está en presencia de otro, el calor se transmite del más caliente al menos caliente. Éste intercambio de calor no se termina hasta que la temperatura de ambos sistemas se iguale, llegando a un estado de equilibrio térmico.

Se consideran tres formas de transmisión física del calor desde un cuerpo caliente a un cuerpo frío:

- Por conducción.
- Por convección.
- Por radiación.

Conducción

La transmisión de calor por conducción es aquella que se realiza en un mismo cuerpo cuando sus partes presentan temperaturas distintas, o también entre cuerpos distintos que se encuentran a distintas temperaturas, siempre que estén en contacto físico.

Es el resultado de aumentar la energía cinética parte de las moléculas de una sustancia, como se vio en apartados anteriores. Las moléculas que ven aumentada su energía cinética o velocidad van chocando con las que tienen al lado y éstas a su vez con otras... etc., obteniendo como resultado la propagación progresiva del calor en esa sustancia, cuerpo o sistema.

Un ejemplo típico de este mecanismo de transmisión de calor es lo que ocurre cuando calentamos el extremo de una varilla metálica. Las moléculas del extremo ven aumentada su velocidad y comienzan a chocar con las que tienen a su alrededor, haciendo que la varilla se caliente a medida que pasa el tiempo y se producen choques entre partículas. Ésta es la explicación de que existan zonas diferenciadas, en cuanto a temperaturas se refiere, dentro de la misma varilla; es porque el movimiento de las partículas es distinto, es decir, el calor se va transmitiendo de unas a otras a lo largo de un periodo de tiempo conforme se va transmitiendo el movimiento.

Otro ejemplo: El calor se transmite a través de la pared de una casa fundamentalmente por conducción.

Entre los distintos materiales que existen se suele hacer una clasificación en dos grandes grupos, en función de la facilidad que tengan para propagar el calor por conducción. Aquellos materiales que no ofrecen resistencia a la propagación del calor se denominan conductores térmicos. Los metales en general son buenos conductores y, de entre ellos, la plata, el cobre y el aluminio son los mejores. Los materiales que, por el contrario, ofrecen una gran resistencia a la propagación del calor por conducción se denominan aislantes o calorífugos. Entre ellos se encuentran, en general, cuerpos que almacenan aire, como las plumas, la lana y también el corcho, poliestireno, cartón,... etc. También existen otros materiales que, sin ser aislantes térmicos, propagan el calor en muy poca medida, como pueden ser la madera, el vidrio, bastantes materias plásticas y la cerámica. Todos estos materiales son muy útiles en la industria, como forros para mangos de objetos que pueden alcanzar temperaturas que pueden ser peligrosas para la piel humana, o como aislantes en construcción de edificios.

Por todo esto se puede deducir que cada cuerpo posee una resistencia a la propagación del calor que le es propia, debiéndose determinar para cada uno la cantidad de calor que transmite, denominándose esa cantidad de calor *coeficiente de conductividad térmica*.

Convección



Este medio de transmisión de calor es típico de los líquidos y de los gases. La diferencia de temperatura existente en el seno de los fluidos hace que las partículas más calientes pesen menos, provocando variaciones de densidad. Estas variaciones se deben a que las partículas del fluido que están en contacto con una superficie sólida a distinta temperatura ven variada su velocidad por aporte o cesión de calor, como hemos visto en otros apartados, creando en las demás partículas del fluido más movimiento, conocidos como movimientos de convección, que tienden a igualar las temperaturas de los distintos puntos del fluido. Por lo tanto, los movimientos de convección son esenciales en la transmisión de calor de un cuerpo sólido y un fluido.



Existen dos tipos de movimientos de convección: naturales o forzados, por lo que siempre distinguiremos entre convección natural, que es la que se da, por ejemplo, en una instalación convencional de radiadores, y convección forzada, que es la que se produce con la utilización de ventiloconvectores (se fuerzan corrientes de aire con ventiladores previos a una batería de agua haciendo que el aire adquiera temperatura cedida por las baterías).

Ejemplo: El caso del funcionamiento del evaporador en un frigorífico sería también un caso típico de convección donde el vehículo que enfría los alimentos es el aire que está en contacto tanto con los alimentos, de donde recoge el calor, como con el evaporador, al que cede o absorbe el calor.

Otro ejemplo: el agua de una cacerola sobre un quemador se calienta en gran medida por convección.

Tal y como ocurriría con la convección, si consideramos una superficie A de un cuerpo sólido a una temperatura 1 en contacto directo con un fluido a temperatura 2, el flujo de calor intercambiado entre el

sólido El flujo de calor transmitido por convección entre un cuerpo sólido y el fluido que lo rodea depende de diversos factores, como la diferencia de temperatura entre ambos, la velocidad con la que se desplaza el fluido, el material, la forma y las dimensiones del sólido, hecho que hace que las leyes de la transmisión de calor por convección sean muy complejas.

Radiación

La transmisión de calor por radiación se basa en que todos los cuerpos emiten, bajo cualquier temperatura, radiación térmica de naturaleza electromagnética. Los rayos caloríficos se propagan en línea recta en el espacio, incluso en el vacío, ya que, al contrario de lo que les sucede a la convección y conducción, la radiación no necesita de ningún medio material para propagarse.

Un cuerpo con una temperatura elevada emite calor, que es absorbido por otro cuerpo denominado pantalla, que se encuentra a una temperatura inferior. La parte de calor que no es absorbida por el cuerpo pantalla, es reflejada.

Ejemplo: Un caso típico de calor que nos llega por radiación es el que nos aporta el sol. Otro es el representado aquí, el calor que proporciona una lámpara incandescente.

Un cuerpo negro es un objeto que absorbe toda la luz y toda la energía que incide sobre él. Ninguna parte de la radiación que llega hasta él es reflejada o pasa a su través. Como estos cuerpos no reflejan la luz, se ven negros, de ahí su nombre. ¿Nunca has oído decir que en verano hay que ponerse ropa blanca porque es mucho más fresca? Es debido a que la ropa oscura absorbe toda la radiación, mientras que la blanca la refleja.

A diferencia de la conducción y la convección, la radiación no necesita un medio de transmisión y puede ocurrir en el vacío. La transferencia de calor por radiación es la más rápida.

Calor específico

Como ya sabemos, es necesario proporcionar calor a un cuerpo o sustancia para elevar su temperatura. También somos conscientes, de una forma intuitiva, de que si suministramos cantidades iguales y constantes de calor a sustancias distintas, en periodos de tiempo iguales, las temperaturas que alcanzan las sustancias son diferentes.

Ejemplo: Si durante cinco minutos suministramos el mismo número de calorías a un litro de agua y a un litro de alcohol etílico y medimos sus temperaturas, constatamos que estas temperaturas no son iguales. Por lo tanto es fácil deducir que para masas iguales de sustancias o cuerpos distintos es necesario suministrar cantidades de calor distintas si se pretende conseguir la misma temperatura en ambos.

Además esta deducción nos lleva a pensar en la existencia de una magnitud que marque la cantidad de calor que es necesaria para elevar una unidad de masa de ese cuerpo de una temperatura a otra.

Esta magnitud se denomina calor específico y se define como sigue:

El calor específico de un cuerpo es la cantidad de calor c que hace falta suministrar a la unidad de masa de ese cuerpo para elevar su temperatura un grado Kelvin o un grado centígrado.

El calor específico de un cuerpo o sustancia puede ser hallado despejando de la fórmula siguiente:

$$Q = c \times m(\theta_2 - \theta_1)$$

$$c = \frac{Q}{m(\theta_2 - \theta_1)}$$

donde:

Q es el calor aportado a la sustancia en J

c es el calor específico del cuerpo o sustancia en $\text{J/kg}^\circ\text{K}$ ó $\text{J/kg}^\circ\text{C}$

m es la masa del cuerpo o sustancia considerado en kg

θ_1 y θ_2 son las temperaturas inicial y final del cuerpo o sustancia en K o en $^\circ\text{C}$ (pero siempre en las mismas unidades ambas).

A continuación se da una tabla con los calores específicos de algunos materiales:

CALORES ESPECÍFICOS	
CUERPO	c (kJ/kgxK)
Agua	4'185
Alcohol	2'469
Hielo	2'093
Cristal	0'837
Hierro	0'465
Cobre	0'397
Mercurio	0'138
Plomo	0'120

Como dato informativo, cabe destacar, que el agua posee el calor específico más alto de todos los cuerpos, que como ya hemos dicho, se traduce en que su calentamiento o enfriamiento se producen más despacio. Este hecho explica varios fenómenos que nos encontramos a nuestro alrededor:

Ejemplo: La regulación del clima gracias a los mares y océanos. El agua necesita absorber o ceder mucho calor para cambiar su temperatura (calor específico alto), por lo que los mares y océanos juegan un papel importante en la regulación del clima, absorbiendo el calor que para nosotros sería excesivo o cediéndonos el que nos es necesario.

Ejemplo: Otra utilidad del agua es como fluido refrigerante en instalaciones de frío o fluido caloportador en instalaciones de calor. Al ceder o absorber gran cantidad de calor y sólo experimentar cambios de temperatura pequeños (con respecto a las demás sustancias) es muy utilizada en las instalaciones antes nombradas.

Como último apunte, indicaremos que para sólidos y líquidos el calor específico es independiente de la temperatura, pero en el caso de los gases varía con estas dos magnitudes.

Cambios de estado en la materia

La materia se puede encontrar en la naturaleza en tres formas físicas, que se denominan estados físicos de la materia y que son los siguientes:

- **Sólido:** es cualquier sustancia física que conserva su forma incluso aunque no esté dentro de un contenedor. Consta de miles de millones de moléculas, todas exactamente con el mismo tamaño, masa y forma. Están en la misma posición relativa unas de otras, pero aún así, pueden vibrar. Esta velocidad de vibración dependerá proporcionalmente de la temperatura, a mayor temperatura, mayor vibración, y viceversa. Las moléculas se atraen fuertemente entre sí y es necesaria mucha fuerza para poder separarlas. Son propiedades características de un sólido su rigidez, su dureza y su resistencia.

- **Líquido:** es cualquier fluido cuyo volumen se mantiene constante en condiciones de temperatura y presión también constantes. Su forma está definida por su contenedor. Un líquido ejerce presión en el contenedor con igual magnitud hacia todos los lados. Las moléculas se atraen entre sí con una fuerza menor que en los sólidos. El número de partículas por unidad de volumen es muy alto, por ello son muy

frecuentes las colisiones y fricciones entre ellas. Así se explica que los líquidos no tengan forma fija y adopten la forma del recipiente que los contiene.

- **Gaseoso:** es un fluido que no tiene forma ni volumen fijo. Las fuerzas que mantienen unidas las partículas son muy pequeñas, así como el número de partículas por unidad de volumen. Las partículas se mueven libremente de forma desordenada, con choques entre ellas y con las paredes del recipiente que lo contiene, de modo que ocupan todo el espacio disponible. Al aumentar la temperatura las partículas se mueven más deprisa y chocan con más energía contra las paredes del recipiente, por lo que aumenta la presión.

Además de encontrar la materia en estos tres estados, es necesario decir que un cuerpo que está en un estado determinado puede pasar a otro si se le suministra la energía o calor necesario para que se produzca dicho cambio. Los cambios de estado que se pueden producir son los siguientes:

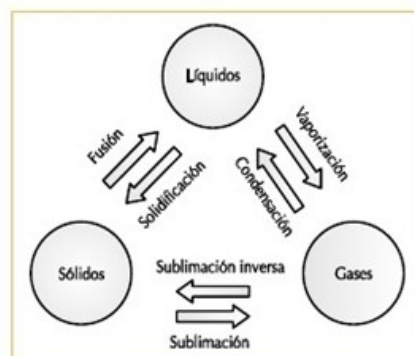
- Fusión: paso de estado sólido a líquido.
- Evaporación: paso de estado líquido a gas.
- Condensación: paso de estado gas a líquido.
- Solidificación: paso de estado líquido a sólido.
- Sublimación: paso de estado sólido a estado gas.

Absorber calor provoca:

- que los sólidos se conviertan en líquidos (fusión)
- que los sólidos se conviertan en gases sin pasar por líquido (sublimación)
- que los líquidos se convierten en gases (vaporización)

Eliminar calor provoca:

- que los gases se conviertan en líquidos (condensación)
- que los líquidos se conviertan en sólidos (solidificación)
- que los gases se conviertan en sólidos, sin pasar por líquido (sublimación inversa)



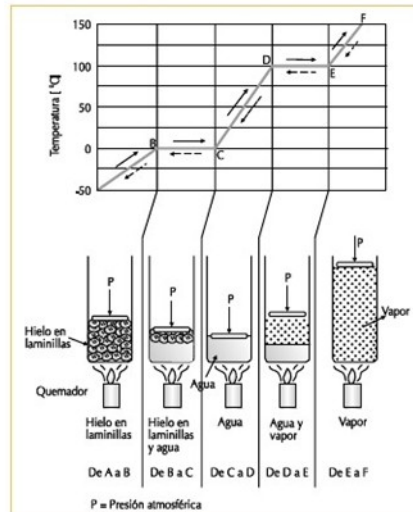
Con este breve adelanto de conceptos ya se pueden definir los distintos puntos a tratar en este apartado.

Se denomina calor latente a la cantidad de calor que hay que suministrar o extraer a la unidad de masa de un cuerpo para provocar en él un cambio de estado, sin que esto provoque un cambio de temperatura.

Como ya se apunta, este aporte de calor produce un cambio de estado pero no de temperatura. Este tipo de proceso se denomina endotérmico.

Así pues, definimos distintos tipos de calor latente correspondientes a distintos cambios de estado:

- **Calor latente de solidificación:** Es la cantidad de calor que es necesario extraer de un cuerpo líquido para que pase a estado sólido sin que varíe la temperatura de dicho cuerpo.
- **Calor latente de fusión:** Es la cantidad de calor que es necesario suministrar a un cuerpo sólido para que pase a estado líquido sin que varíe la temperatura de dicho cuerpo.
- **Calor latente de evaporación:** Es la cantidad de calor que es necesario suministrar a un cuerpo líquido para que pase a estado gas sin que varíe la temperatura de dicho cuerpo.
- **Calor latente de condensación o licuefacción:** Es la cantidad de calor que es necesario extraer de un cuerpo en estado gaseoso para que pase a estado líquido sin que varíe la temperatura de dicho cuerpo.



Las temperaturas en las que se producen éstos cambios se denominan:

- Temperatura de fusión: es la temperatura a la que un sólido. También se llama punto de fusión.
- Temperatura de ebullición: es la temperatura a la que un líquido cambia al estado de vapor. También se llama punto de ebullición.
- Temperatura de condensación: es la temperatura a la que un vapor cambia al estado líquido. También se llama temperatura de saturación.
- Temperatura de solidificación: es la temperatura a la que un líquido cambia al estado sólido.

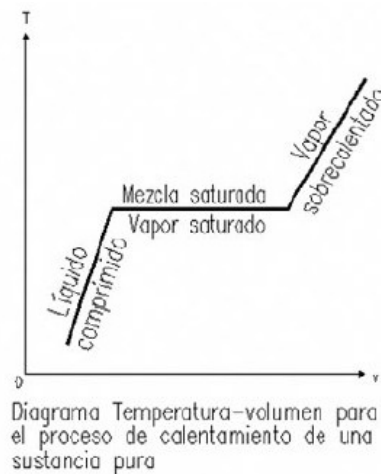
Para tener un orden de magnitud, a continuación se proporciona una tabla con el calor latente de fusión de algunas materias:

CALOR LATENTE DE FUSIÓN	
SUSTANCIA	kJ/kg
Hielo	335
Aluminio	335
Anhidrido carbónico	184
Cobre	180
Glicerina	176
Plomo	23
Mercurio	12

El calor latente se calcula multiplicando los valores de la tabla por la masa correspondiente.

Para concluir, diremos que en procesos frigoríficos son útiles los fluidos con un elevado calor latente, que se traduce en una elevada capacidad de absorción de calor para obtener su evaporación a la temperatura que deseamos.

El paso de una sustancia líquida a gaseosa sigue el siguiente proceso: cuando aportamos calor a la sustancia en cuestión, hacemos que aumente su temperatura hasta el momento que comienza la ebullición. Aquí, el aumento de temperatura se detendrá, invirtiendo todo el calor que se le siga suministrando únicamente en realizar el cambio de fase, pasando progresivamente de líquido a gas. Durante este proceso progresivo, tendremos una mezcla de líquido-vapor en distintas proporciones. Esta mezcla recibe el nombre de mezcla saturada líquido-vapor y el vapor existente en la mezcla, vapor saturado. El proceso continua hasta el instante en que la última gota de líquido pasa a estado gas. En este momento cualquier extracción de calor haría que el vapor volviera a generar gotas de líquido. Si se pasa este punto y se continúa calentando el vapor generado, observaremos cómo comienza a incrementar la temperatura de nuevo, así habremos conseguido vapor seco.



Por lo tanto distinguiremos dos tipos de vapor:

- **Vapor seco:** es aquel que se encuentra en condiciones diferentes al cambio de fase, es decir, es aquel que no está a punto de generar líquido y que conocemos como gas.
- **Vapor saturado:** es aquel que se encuentra en equilibrio con el líquido que lo produce. La naturaleza de cada sustancia determina su presión.

Calor sensible

Si en el apartado anterior hacíamos referencia a una cantidad de calor que no producía variación de temperatura pero sí variación en el estado de cuerpo que lo absorbiera o cediera, en este caso se hará referencia al concepto contrario, es decir, a aquel calor que hace variar la temperatura de un cuerpo sin que varíe su estado físico.

Se define así el calor sensible:

Cantidad de calor que extraída o aportada a un cuerpo es capaz de hacer que su temperatura disminuya o aumente respectivamente, sin que se produzca ningún cambio de fase en el cuerpo.

$$Q = c \times m(\theta_2 - \theta_1)$$

Este cambio de temperatura es función de la cantidad de calor intercambiado y de una característica física del cuerpo en cuestión: el calor específico.

Gráficos Temperatura - Calor

Los cambios de temperatura y de estado pueden representarse en gráficas similares a la ilustrada en la figura. En ella se representa la temperatura frente al calor. Puedes comprobar que cuando sube la temperatura no hay cambio de estado y que cuando hay cambio de estado, la temperatura permanece constante. También se indica gráficamente cuál es el calor sensible y cuál el latente.

