

Anexo 1.1.

1.1. Dimensiones y unidades

1.1.1 Unidades básicas y derivadas del Sistema Internacional.

Las cantidades físicas se clasifican teniendo en cuenta la manera en que se definen. Estas pueden ser básicas (o primarias o fundamentales) o derivadas (o secundarias). Las magnitudes básicas o fundamentales son definidas arbitrariamente, por convención entre países, organismos o la comunidad científica. Son magnitudes básicas la longitud, la masa, el tiempo, entre otras. Las magnitudes derivadas se definen en función de las magnitudes básicas. Son magnitudes derivadas: la fuerza, la aceleración, la energía o trabajo, la potencia, entre otras. En las siguientes tablas se muestran las unidades básicas y derivadas del SI más frecuentes en termodinámica.

Tabla 1

Unidades básicas del SI

Magnitud	Unidad	Símbolo
Longitud	metro	<i>m</i>
Masa	kilogramo	<i>kg</i>
Tiempo	segundo	<i>s</i>
Temperatura termodinámica	kelvin	<i>K</i>
Corriente eléctrica	amperio	<i>A</i>
Intensidad luminosa	candela	<i>cd</i>
Cantidad de sustancia	mol	<i>mol</i>

Nota. Adaptado de Centro Español de Metrología (2013).

Tabla 2

Algunas unidades derivadas del S.I. utilizadas en termodinámica

Magnitud	Nombre	Símbolo	Fórmula
Aceleración	aceleración	<i>m/s²</i>	<i>m/s²</i>
Área	metro cuadrado	<i>m²</i>	<i>m²</i>
Energía o trabajo	joule	<i>J</i>	<i>N·m</i>
Fuerza	newton	<i>N</i>	<i>Kg·m/s²</i>
Potencia	Watt (vatio)	<i>W</i>	<i>J/s</i>
Presión	pascal	<i>Pa</i>	<i>N/m²</i>
Volumen	metro cúbico	--	<i>m³</i>

Nota. Adaptado de <https://elibro-net.bdigital.sena.edu.co/es/ereader/senavirtual/128554>

1.1.2. Prefijos Sistema Internacional (SI).

En el SI las unidades están relacionadas entre sí por múltiplos o submúltiplos de 10. Los prefijos utilizados para expresar las cifras de manera más sencilla se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3
Prefijos del Sistema Internacional de Unidades

Factor	Nombre	Símbolo	Factor	Nombre	Símbolo
10^1	deca	da	10^1	deci	d
10^2	hecto	h	10^{-2}	centi	c
10^3	kilo	k	10^{-3}	mili	m
10^6	M	M	10^{-6}	micro	μ
10^9	giga	G	10^{-9}	nano	n
10^{12}	tera	T	10^{-12}	pico	p
10^{15}	peta	P	10^{-15}	femto	f
10^{18}	exa	E	10^{-18}	atto	a
10^{21}	zetta	Z	10^{-21}	zepto	z
10^{24}	yotta	Y	10^{-24}	yocto	y

Nota. Adaptado de Centro Español de Metrología (2013).

1.1.3. Unidades Sistema Internacional y Sistema inglés.

Vea algunas unidades en el Sistema Internacional (SI) y en el Sistema Inglés.

- **Masa:** en el SI, la unidad de masa es el kilogramo (kg), mientras que en el sistema inglés es la libra-masa (lbm).

$$1 \text{ lbm} = 0.45359 \text{ kg}$$

- **Longitud:** en el SI, la unidad de longitud es el metro (m); en el sistema inglés es el pie (ft).

$$1 \text{ pie} = 0.3048 \text{ m}$$

Ahora bien, también se utiliza la pulgada (in), que expresada en función del pie:

$$12 \text{ in} = 1 \text{ pie}$$

- **Tiempo:** en ambos sistemas, la unidad básica para el tiempo es el segundo (s).
- **Fuerza (F):** es una magnitud secundaria que se define, a partir de la segunda ley de Newton, como el producto de la masa (m) por la aceleración (a) ($F = m \times a$). La unidad de fuerza en el SI es el newton (N). Representa la fuerza que se necesita para acelerar la masa de 1 kg a 1 m/s^2 .

$$1 \text{ N} = (1 \text{ kg}) (1 \text{ m/s}^2) = 1 \text{ kg m/s}^2$$

En el sistema inglés, la unidad de fuerza es la libra-fuerza (lbf). Representa la fuerza necesaria para acelerar la masa de 32.174 lbm a 1 pie/s^2 .

$$1 \text{ lbf} = 32.174 \text{ lbm pie/s}^2$$

1.1.4. Factores de conversión.

En las siguientes tablas se muestran los factores de conversión entre el SI y el sistema inglés, y además algunas de las constantes físicas utilizadas en termodinámica.

Tabla 4
Factores de conversión

DIMENSIÓN	MÉTRICO	MÉTRICO/INGLÉS
Aceleración	$1 \text{ m/s}^2 = 100 \text{ cm/s}^2$	$1 \text{ m/s}^2 = 3.2808 \text{ ft/s}^2$ $1 \text{ ft/s}^2 = 0.3048^* \text{ m/s}^2$
Área	$1 \text{ m}^2 = 10^4 \text{ cm}^2 = 10^6 \text{ mm}^2 = 10^{-6} \text{ km}^2$	$1 \text{ m}^2 = 1\,550 \text{ in}^2 = 10.764 \text{ ft}^2$ $1 \text{ ft}^2 = 144 \text{ in}^2 = 0.09290304^* \text{ m}^2$
Densidad	$1 \text{ g/cm}^3 = 1 \text{ kg/L} = 1\,000 \text{ kg/m}^3$	$1 \text{ g/cm}^3 = 62.428 \text{ lbm/ft}^3 = 0.036127 \text{ lbm/in}^3$ $1 \text{ lbm/in}^3 = 1\,728 \text{ lbm/ft}^3$ $1 \text{ kg/m}^3 = 0.062428 \text{ lbm/ft}^3$
Energía, calor, trabajo, energía interna, entalpía	$1 \text{ kJ} = 1\,000 \text{ J} = 1\,000 \text{ N} \cdot \text{m} = 1 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3$ $1 \text{ kJ/kg} = 1\,000 \text{ m}^2/\text{s}^2$ $1 \text{ kWh} = 3\,600 \text{ kJ}$ $1 \text{ cal}^\dagger = 4.184 \text{ J}$ $1 \text{ IT cal}^\dagger = 4.1868 \text{ J}$ $1 \text{ Cal}^\dagger = 4.1868 \text{ kJ}$	$1 \text{ kJ} = 0.94782 \text{ Btu}$ $1 \text{ Btu} = 1.055056 \text{ kJ}$ $= 5.40395 \text{ psia} \cdot \text{ft}^3 = 778.169 \text{ lbf} \cdot \text{ft}$ $1 \text{ Btu/lbm} = 25\,037 \text{ ft}^2/\text{s}^2 = 2.326^* \text{ kJ/kg}$ $1 \text{ kJ/kg} = 0.430 \text{ Btu/lbm}$ $1 \text{ kWh} = 3\,412.14 \text{ Btu}$ $1 \text{ termia} = 10^5 \text{ Btu} = 1.055 \times 10^5 \text{ kJ}$ (gas natural)
Fuerza	$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 = 10^5 \text{ dina}$ $1 \text{ kgf} = 9.80665 \text{ N}$	$1 \text{ N} = 0.22481 \text{ lbf}$ $1 \text{ lbf} = 32.174 \text{ lbm} \cdot \text{ft/s}^2 = 4.44822 \text{ N}$
Flujo de calor	$1 \text{ W/cm}^2 = 10^4 \text{ W/m}^2$	$1 \text{ W/m}^2 = 0.3171 \text{ Btu/h} \cdot \text{ft}^2$
Coeficiente de transferencia de calor	$1 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} = 1 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$	$1 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} = 0.17612 \text{ Btu/h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$
Longitud	$1 \text{ m} = 100 \text{ cm} = 1\,000 \text{ mm} = 10^6 \mu\text{m}$ $1 \text{ km} = 1\,000 \text{ m}$	$1 \text{ m} = 39.370 \text{ in} = 3.2808 \text{ ft} = 1.0926 \text{ yd}$ $1 \text{ ft} = 12 \text{ in} = 0.3048^* \text{ m}$ $1 \text{ milla} = 5\,280 \text{ ft} = 1.6093 \text{ km}$ $1 \text{ in} = 2.54^* \text{ cm}$
Masa	$1 \text{ kg} = 1\,000 \text{ g}$ $1 \text{ tonelada métrica} = 1\,000 \text{ kg}$	$1 \text{ kg} = 2.2046226 \text{ lbm}$ $1 \text{ lbm} = 0.45359237^* \text{ kg}$ $1 \text{ onza} = 28.3495 \text{ g}$ $1 \text{ slug} = 32.174 \text{ lbm} = 14.5939 \text{ kg}$ $1 \text{ ton corta} = 2\,000 \text{ lbm} = 907.1847 \text{ kg}$
Potencia, velocidad de transferencia de calor	$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$ $1 \text{ kW} = 1\,000 \text{ W} = 1.341 \text{ hp}$ $1 \text{ hp}^\ddagger = 745.7 \text{ W}$	$1 \text{ kW} = 3\,412.14 \text{ Btu/h}$ $= 737.56 \text{ lbf} \cdot \text{ft/s}$ $1 \text{ hp} = 550 \text{ lbf} \cdot \text{ft/s} = 0.7068 \text{ Btu/s}$ $= 42.41 \text{ Btu/min} = 2544.5 \text{ Btu/h}$ $= 0.74570 \text{ kW}$ $1 \text{ hp de caldera} = 33\,475 \text{ Btu/h}$ $1 \text{ Btu/h} = 1.055056 \text{ kJ/h}$ $1 \text{ ton de refrigeración} = 200 \text{ Btu/min}$
Presión	$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ $1 \text{ kPa} = 10^3 \text{ Pa} = 10^{-3} \text{ MPa}$ $1 \text{ atm} = 101.325 \text{ kPa} = 1.01325 \text{ bars}$ $= 760 \text{ mm Hg a } 0^\circ\text{C}$ $= 1.03323 \text{ kgf/cm}^2$ $1 \text{ mm Hg} = 0.1333 \text{ kPa}$	$1 \text{ Pa} = 1.4504 \times 10^{-4} \text{ psia}$ $= 0.020886 \text{ lbf/ft}^2$ $1 \text{ psi} = 144 \text{ lbf/ft}^2 = 6.894757 \text{ kPa}$ $1 \text{ atm} = 14.696 \text{ psia} = 29.92 \text{ in Hg a } 30^\circ\text{F}$ $1 \text{ in Hg} = 3.387 \text{ kPa}$
Calor específico	$1 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C} = 1 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} = 1 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C}$	$1 \text{ Btu/lbm} \cdot ^\circ\text{F} = 4.1868 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ $1 \text{ Btu/lbmol} \cdot \text{R} = 4.1868 \text{ kJ/kmol} \cdot \text{K}$ $1 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C} = 0.23885 \text{ Btu/lbm} \cdot ^\circ\text{F}$ $= 0.23885 \text{ Btu/lbm} \cdot \text{R}$

* Factores de conversión exactos entre las unidades métricas e inglesas.

[†]La caloría se define originalmente como la cantidad de calor requerida para aumentar 1°C la temperatura de 1 g de agua, pero ésta varía con la temperatura. La caloría de la tabla de vapor internacional (IT), generalmente preferida por los ingenieros, es exactamente 4.1868 J por definición y corresponde al calor específico del agua a 15°C . La caloría termoquímica, por lo general preferida por los físicos, es exactamente 4.184 J por definición y corresponde al calor específico del agua a temperatura ambiente. La diferencia entre las dos es aproximadamente 0.06 por ciento, lo cual es despreciable. La Caloría con inicial mayúscula utilizada por los nutriólogos en realidad es una kilocaloría ($1\,000$ calorías IT).

DIMENSIÓN	MÉTRICO	MÉTRICO/INGLÉS
Volumen específico	$1 \text{ m}^3/\text{kg} = 1\,000 \text{ L}/\text{kg} = 1\,000 \text{ cm}^3/\text{g}$	$1 \text{ m}^3/\text{kg} = 16.02 \text{ ft}^3/\text{lbm}$ $1 \text{ ft}^3/\text{lbm} = 0.062428 \text{ m}^3/\text{kg}$
Temperatura	$T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273.15$ $\Delta T(\text{K}) = \Delta T(^{\circ}\text{C})$	$T(\text{R}) = T(^{\circ}\text{F}) + 459.67 = 1.8 T(\text{K})$ $T(^{\circ}\text{F}) = 1.8 T(^{\circ}\text{C}) + 32$ $\Delta T(^{\circ}\text{F}) = \Delta T(\text{R}) = 1.8 \Delta T(\text{K})$
Conductividad térmica	$1 \text{ W}/\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C} = 1 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K}$	$1 \text{ W}/\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C} = 0.57782 \text{ Btu}/\text{h} \cdot \text{ft} \cdot ^{\circ}\text{F}$
Velocidad	$1 \text{ m}/\text{s} = 3.60 \text{ km}/\text{h}$	$1 \text{ m}/\text{s} = 3.2808 \text{ ft}/\text{s} = 2.237 \text{ mi}/\text{h}$ $1 \text{ mi}/\text{h} = 1.46667 \text{ ft}/\text{s}$ $1 \text{ mi}/\text{h} = 1.6093 \text{ km}/\text{h}$
Volumen	$1 \text{ m}^3 = 1\,000 \text{ L} = 10^6 \text{ cm}^3 (\text{cc})$	$1 \text{ m}^3 = 6.1024 \times 10^4 \text{ in}^3 = 35.315 \text{ ft}^3$ $= 264.17 \text{ gal (U.S.)}$ $1 \text{ U.S. galón} = 231 \text{ in}^3 = 3.7854 \text{ L}$ $1 \text{ fl onza} = 29.5735 \text{ cm}^3 = 0.0295735 \text{ L}$ $1 \text{ U.S. galón} = 128 \text{ fl onzas}$
Tasa de flujo volumétrico	$1 \text{ m}^3/\text{s} = 60\,000 \text{ L}/\text{min} = 10^6 \text{ cm}^3/\text{s}$	$1 \text{ m}^3/\text{s} = 15\,850 \text{ gal}/\text{min} (\text{gpm}) = 35.315 \text{ ft}^3/\text{s}$ $= 2\,118.9 \text{ ft}^3/\text{min} (\text{cfm})$

¹Caballo de fuerza mecánico. El caballo de vapor eléctrico se toma para que sea exactamente igual a 746 W.

Nota. Tomado de Çengel & Boles (2015).

Tabla 5
Algunas constantes físicas utilizadas en termodinámica

Constante universal de los gases	$R_u = 8.31447 \text{ kJ}/\text{kmol} \cdot \text{K}$ $= 8.31447 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3/\text{kmol} \cdot \text{K}$ $= 0.0831447 \text{ bar} \cdot \text{m}^3/\text{kmol} \cdot \text{K}$ $= 82.05 \text{ L} \cdot \text{atm}/\text{kmol} \cdot \text{K}$ $= 1.9858 \text{ Btu}/\text{lbmol} \cdot \text{R}$ $= 1\,545.37 \text{ ft} \cdot \text{lbf}/\text{lbmol} \cdot \text{R}$ $= 10.73 \text{ psia} \cdot \text{ft}^3/\text{lbmol} \cdot \text{R}$
Aceleración de la gravedad estándar	$g = 9.80665 \text{ m}/\text{s}^2$ $= 32.174 \text{ ft}/\text{s}^2$
Presión atmosférica estándar	$1 \text{ atm} = 101.325 \text{ kPa}$ $= 1.01325 \text{ bar}$ $= 14.696 \text{ psia}$ $= 760 \text{ mm Hg } (0^{\circ}\text{C})$ $= 29.9213 \text{ in Hg } (32^{\circ}\text{F})$ $= 10.3323 \text{ m H}_2\text{O } (4^{\circ}\text{C})$
Constante de Stefan-Boltzmann	$\sigma = 5.6704 \times 10^{-8} \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^4$ $= 0.1714 \times 10^{-8} \text{ Btu}/\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{R}^4$
Constante de Boltzmann	$k = 1.380650 \times 10^{-23} \text{ J}/\text{K}$
Velocidad de la luz en el vacío	$c_o = 2.9979 \times 10^8 \text{ m}/\text{s}$ $= 9.836 \times 10^8 \text{ ft}/\text{s}$
Velocidad del sonido en aire seco a 0°C y 1 atm	$c = 331.36 \text{ m}/\text{s}$ $= 1089 \text{ ft}/\text{s}$
Calor de fusión del agua a 1 atm	$h_{if} = 333.7 \text{ kJ}/\text{kg}$ $= 143.5 \text{ Btu}/\text{lbm}$
Entalpía de vaporización del agua a 1 atm	$h_{fg} = 2\,256.5 \text{ kJ}/\text{kg}$ $= 970.12 \text{ Btu}/\text{lbm}$

Nota. Tomado de Çengel & Boles (2015).