



## 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/s<sup>2</sup></i>	<i>m/s<sup>2</sup></i>
Área	metro cuadrado	<i>m<sup>2</sup></i>	<i>m<sup>2</sup></i>
Energía o trabajo	joule	<i>J</i>	<i>N·m</i>
Fuerza	newton	<i>N</i>	<i>Kg·m/s<sup>2</sup></i>
Potencia	Watt (vatio)	<i>W</i>	<i>J/s</i>
Presión	pascal	<i>Pa</i>	<i>N/m<sup>2</sup></i>
Volumen	metro cúbico	--	<i>m<sup>3</sup></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	$\mu$
$10^9$	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  $1 \text{ m/s}^2$ .

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



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

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

#### 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	$1 \text{ g/cm}^3 = 1 \text{ kg/L} = 1\,000 \text{ kg/m}^3$	$1 \text{ g/cm}^3 = 62.428 \text{ lbf/ft}^3 = 0.036127 \text{ lbf/in}^3$ $1 \text{ lbf/in}^3 = 1\,728 \text{ lbf/ft}^3$ $1 \text{ kg/m}^3 = 0.062428 \text{ lbf/ft}^3$
Energía, calor, trabajo, energía interna, entalpía	$1 \text{ kJ} = 1\,000 \text{ J} = 1\,000 \text{ N} \cdot \text{m} = 1 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3$ $1 \text{ kJ/kg} = 1\,000 \text{ m}^2/\text{s}^2$ $1 \text{ kWh} = 3\,600 \text{ kJ}$ $1 \text{ cal}^\dagger = 4.184 \text{ J}$ $1 \text{ IT cal}^\dagger = 4.1868 \text{ J}$ $1 \text{ Cal}^\dagger = 4.1868 \text{ kJ}$	$1 \text{ kJ} = 0.94782 \text{ Btu}$ $1 \text{ Btu} = 1.055056 \text{ kJ}$ $= 5.40395 \text{ psia} \cdot \text{ft}^3 = 778.169 \text{ lbf} \cdot \text{ft}$ $1 \text{ Btu/lbf} = 25\,037 \text{ ft}^2/\text{s}^2 = 2.326^* \text{ kJ/kg}$ $1 \text{ kJ/kg} = 0.430 \text{ Btu/lbf}$ $1 \text{ kWh} = 3\,412.14 \text{ Btu}$ $1 \text{ termia} = 10^5 \text{ Btu} = 1.055 \times 10^5 \text{ kJ}$ (gas natural)
Fuerza	$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 = 10^5 \text{ dina}$ $1 \text{ kgf} = 9.80665 \text{ N}$	$1 \text{ N} = 0.22481 \text{ lbf}$ $1 \text{ lbf} = 32.174 \text{ lbf} \cdot \text{ft/s}^2 = 4.44822 \text{ N}$
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	$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$ $1 \text{ kW} = 1\,000 \text{ W} = 1.341 \text{ hp}$ $1 \text{ hp}^\dagger = 745.7 \text{ W}$	$1 \text{ kW} = 3\,412.14 \text{ Btu/h}$ $= 737.56 \text{ lbf} \cdot \text{ft/s}$ $1 \text{ hp} = 550 \text{ lbf} \cdot \text{ft/s} = 0.7068 \text{ Btu/s}$ $= 42.41 \text{ Btu/min} = 2544.5 \text{ Btu/h}$ $= 0.74570 \text{ kW}$ $1 \text{ hp de caldera} = 33\,475 \text{ Btu/h}$ $1 \text{ Btu/h} = 1.055056 \text{ kJ/h}$ $1 \text{ ton de refrigeración} = 200 \text{ Btu/min}$
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.

<sup>†</sup>La caloría se define originalmente como la cantidad de calor requerida para aumentar  $1^\circ\text{C}$  la temperatura de  $1 \text{ g}$  de agua, pero ésta varía con la temperatura. La caloría de la tabla de vapor internacional (IT), generalmente preferida por los ingenieros, es exactamente  $4.1868 \text{ J}$  por definición y corresponde al calor específico del agua a  $15^\circ\text{C}$ . La caloría termoquímica, por lo general preferida por los físicos, es exactamente  $4.184 \text{ J}$  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	$1 \text{ m}^3/\text{kg} = 1\,000 \text{ L/kg} = 1\,000 \text{ cm}^3/\text{g}$	$1 \text{ m}^3/\text{kg} = 16.02 \text{ ft}^3/\text{lbm}$ $1 \text{ ft}^3/\text{lbm} = 0.062428 \text{ m}^3/\text{kg}$
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	$1 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C} = 1 \text{ W/m} \cdot \text{K}$	$1 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C} = 0.57782 \text{ Btu/h} \cdot \text{ft} \cdot ^\circ\text{F}$
Velocidad	$1 \text{ m/s} = 3.60 \text{ km/h}$	$1 \text{ m/s} = 3.2808 \text{ ft/s} = 2.237 \text{ mi/h}$ $1 \text{ mi/h} = 1.46667 \text{ ft/s}$ $1 \text{ mi/h} = 1.6093 \text{ km/h}$
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	$1 \text{ m}^3/\text{s} = 60\,000 \text{ L/min} = 10^6 \text{ cm}^3/\text{s}$	$1 \text{ m}^3/\text{s} = 15\,850 \text{ gal/min (gpm)} = 35.315 \text{ ft}^3/\text{s}$ $= 2\,118.9 \text{ ft}^3/\text{min (cfm)}$

<sup>†</sup>Caballo de fuerza mecánico. El caballo de vapor eléctrico se toma para que sea exactamente igual a  $746 \text{ W}$ .

Nota. Tomado de Çengel & Boles (2015).

**Tabla 5**  
*Algunas constantes físicas utilizadas en termodinámica*



Constante universal de los gases

$$\begin{aligned} R_u &= 8.31447 \text{ kJ/kmol} \cdot \text{K} \\ &= 8.31447 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3/\text{kmol} \cdot \text{K} \\ &= 0.0831447 \text{ bar} \cdot \text{m}^3/\text{kmol} \cdot \text{K} \\ &= 82.05 \text{ L} \cdot \text{atm/kmol} \cdot \text{K} \\ &= 1.9858 \text{ Btu/lbmol} \cdot \text{R} \\ &= 1\,545.37 \text{ ft} \cdot \text{lbf/lbmol} \cdot \text{R} \\ &= 10.73 \text{ psia} \cdot \text{ft}^3/\text{lbmol} \cdot \text{R} \end{aligned}$$

Aceleración de la gravedad estándar

$$\begin{aligned} g &= 9.80665 \text{ m/s}^2 \\ &= 32.174 \text{ ft/s}^2 \end{aligned}$$

Presión atmosférica estándar

$$\begin{aligned} 1 \text{ atm} &= 101.325 \text{ kPa} \\ &= 1.01325 \text{ bar} \\ &= 14.696 \text{ psia} \\ &= 760 \text{ mm Hg (0°C)} \\ &= 29.9213 \text{ in Hg (32°F)} \\ &= 10.3323 \text{ m H}_2\text{O (4°C)} \end{aligned}$$

Constante de Stefan-Boltzmann

$$\begin{aligned} \sigma &= 5.6704 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4 \\ &= 0.1714 \times 10^{-8} \text{ Btu/h} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{R}^4 \end{aligned}$$

Constante de Boltzmann

$$k = 1.380650 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

Velocidad de la luz en el vacío

$$\begin{aligned} c_o &= 2.9979 \times 10^8 \text{ m/s} \\ &= 9.836 \times 10^8 \text{ ft/s} \end{aligned}$$

Velocidad del sonido en aire seco a 0°C y 1 atm

$$\begin{aligned} c &= 331.36 \text{ m/s} \\ &= 1089 \text{ ft/s} \end{aligned}$$

Calor de fusión del agua a 1 atm

$$\begin{aligned} h_{if} &= 333.7 \text{ kJ/kg} \\ &= 143.5 \text{ Btu/lbm} \end{aligned}$$

Entalpía de vaporización del agua a 1 atm

$$\begin{aligned} h_{fg} &= 2\,256.5 \text{ kJ/kg} \\ &= 970.12 \text{ Btu/lbm} \end{aligned}$$

Nota. Tomado de Çengel & Boles (2015).