

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

A manera de Introducción a este curso se presentan aquí algunos conceptos, definiciones y aproximaciones puestas en el contexto de interés para un curso de termodinámica general para estudiantes de ingeniería, de cualquier especialidad. Luego se presenta la Primera Ley en su forma simplificada para problemas comunes en ingeniería y se definen algunos conceptos útiles para aplicaciones directas de esta ley fundamental.

### ♦ *Termodinámica*

Es la parte de la ciencia que estudia la energía, sus diferentes manifestaciones, transformaciones y las propiedades de las sustancias asociadas a ella.

### ♦ *¿Por qué estudiar termodinámica?*

Porque como ingenieros nos interesa el óptimo aprovechamiento de la energía (óptimo económico y medioambiental) para fines que sirvan a la humanidad (electricidad, calefacción, combustión, refrigeración). Para optimizar el uso de la energía *se debe* conocer las leyes que rigen su transformación.

### ♦ *¿En qué se fundamenta la termodinámica?*

La base fundamental de la termodinámica es la observación experimental, la que ha sido "resumida" en algunas leyes básicas conocidas como *Leyes de la Termodinámica*: la ley cero, la 1°, la 2° y la 3° ley.

### ♦ *¿Cuándo y dónde se aplican las leyes de la termodinámica?*

Las leyes se pueden aplicar a toda situación o proceso en que hay transformaciones de una forma de energía a otra. La aplicación de dichas leyes permite cuantificar dichas transformaciones para el óptimo uso de las diferentes formas de la energía. Importante de destacar, aunque parezca obvio, es que las leyes de la termodinámica, aunque son de aplicación universal (a toda situación), tienen sentido aplicarlas, hacer cálculos y analizarlas, en situaciones donde una sustancia o cuerpo cualquiera (que luego se denominará "sistema") experimenta cambios de algún tipo, cambios que se llamará "procesos". Si nada cambia, no hay proceso, y los diversos términos en la Primera Ley se anulan o cancelan.

### ♦ *Sistema termodinámico*

Es una cantidad de materia, de masa e identidad fija, que se toma como "base" en un determinado estudio. Todo lo que queda fuera del sistema termodinámico (ST) se conoce como "los alrededores" o "el ambiente". En los libros se denominan a veces simplemente "sistema" (obviando lo de termodinámico).

### ♦ *Proceso (termodinámico)*

Un "proceso" es una sucesión de transformaciones, interacciones y "actuaciones" de un sistema determinado. Ejemplos de procesos termodinámicos conocidos en la vida diaria son: calentamiento de agua en un calefactor, secado de ropa en una secadora, calentamiento de aire en un "secador" de pelo, o hacer cubitos de hielo en el refrigerador.

♦ *¿Qué es energía?*

Es la manifestación "última" de las interacciones entre moléculas, electrones y otros elementos subatómicos; de sus transformaciones, cambios y degradación y también de su interacción con el entorno.

♦ *¿Cuántas formas de energía existen?*

Muchas: energía química (combustible), energía eléctrica (condensador), energía de movimiento (cinética), energía de posición (potencial), además de la energía propia de las moléculas producida por su interacción con otras moléculas. Hay también otras formas de "energía de transferencia" como son el *Calor* y *Trabajo*, aunque algunos autores no los consideran formas de energía.

♦ *Calor y Trabajo*

Calor y trabajo son formas de energía que sólo existen cuando la energía se transfiere. Por lo tanto un cuerpo no puede tener calor ni puede tener trabajo. Los cuerpos o un cuerpo con su ambiente intercambian energía en forma de calor o en forma de trabajo.

(i) Calor es la forma de energía transferida por un cuerpo a otro cuerpo (o al ambiente) causada solo por diferencia de temperatura entre dichos cuerpos.

(ii) Trabajo es la forma de energía transferida por un cuerpo a otro cuerpo (o al ambiente) por la acción de una fuerza.

La cantidad de calor o de trabajo involucrada en un proceso depende de la forma en que se hace dicho proceso.

Existen algunas propiedades, como se verá más adelante, cuyo cambio (aumento o disminución) no depende de la forma en que se hace el cambio sino que depende solo de los estados inicial y final. Estas se denominan "*funciones de estado*".

### **Estados de la materia**

Los llamados estados de agregación de la materia o simplemente estados de la materia, más conocidos y observables son cuatro, sólido, líquido, gas y plasma. Otros estados son posibles, pero no se producen de forma natural en nuestro ambiente (condensado de Bose-Einstein, condensado fermiónico y las estrellas de neutrones, y otros)

En ingeniería y en los procesos de interés en un curso general de termodinámica para estudiante de ingeniería, el estado plasma no se incluye y el interés está en sólido, líquido y gas. Incluso entre estos la mayor parte de las aplicaciones son de los llamados fluidos (líquidos y gases)

Hay varias formas de definir un fluido dependiendo de su uso o contexto en el que se desee. Hay sofisticadas definiciones en física y en mecánica estadística que involucran conceptos de movilidad molecular, medios continuos, fuerzas de atracción y fuerzas restitutivas, entre otros conceptos.

Para los fines de termodinámica en ingeniería la definición de la Real Academia Española es suficiente: "Se dice de las sustancias en estado líquido o gaseoso, o sea que fluyen, se desplazan, se arrastran (Del lat. *fluīdus*, fluere=deslizar e idus=percibir con los sentidos).

## Consideraciones generales

Si bien las Leyes de la Termodinámica son únicas, hay varias formas de aplicarlas dependiendo de la situación de interés. Esto porque es prácticamente imposible incluir todos los factores que influyen en un determinado proceso y principalmente porque habrá factores más importantes que otros en una determinada aplicación. En un curso de termodinámica general como el que se presenta en este libro hay cinco situaciones comunes de encontrar en la industria de procesos y que deben ser de interés general para todas las ramas de la ingeniería: calentamiento, enfriamiento, compresión, expansión y cambios de fase de sustancias. Estos se denominan aquí “*aplicaciones de interés en ingeniería de procesos*”.

En los equipos comunes en la industria donde se realizan estos procesos hay una serie de simplificaciones generales que permiten hacer uso más expedito de las leyes de la termodinámica sin perder exactitud en los resultados. Por lo tanto las formas en que se presentan las leyes de la termodinámica y las propiedades asociadas que son requeridas en sus aplicaciones consideran simplificaciones razonables y adecuadas, que no alteran los resultados ni sus consecuencias. Cuando se apliquen estos conceptos, se debe tener en cuenta las simplificaciones introducidas e interpretar los resultados en forma adecuada.

Habrán situaciones donde unos grados más o menos en el cálculo de una temperatura, o unas atmósferas más o menos en la estimación de una presión o unas calorías más o menos en algún cálculo de energía requerido, no tienen ninguna importancia, pero habrá otros donde errores pequeños o simplificaciones menores pueden llevar a resultados erróneos y conclusiones no adecuadas.

Por ejemplo si se calcula la energía requerida para hacer hervir agua en un hervidor eléctrico, y poder determinar por ejemplo cuánto cuesta hacer hervir el litro de agua, seguramente se hará la suposición de que no hay pérdidas de energía al ambiente y que toda la energía entregada por la resistencia eléctrica va toda al agua.

Obtenido el valor se deberá interpretarlo como la cantidad mínima de energía necesaria para el proceso. Unos decimales más o menos no afectarán el resultado porque en la práctica se deberá agregar un poco más de energía (por ej. 10%) para suplir pérdidas que inevitablemente ocurren en un proceso real y que son despreciadas en el cálculo.

Habrán otros casos donde una pequeña variación de una propiedad puede producir efectos notables en el sistema. En el ejemplo del hervidor de agua, por ejemplo, el agua se expande cuando se calienta, pero la pequeña expansión no tiene ninguna importancia en prácticamente ningún cálculo termodinámico (determinación de energía consumida, temperatura alcanzada por el agua, tiempo consumido, costo del proceso). Por lo tanto el cambio de volumen causado por la expansión es irrelevante y no considerarla no produce diferencias apreciables ni en los resultados ni en sus consecuencias.



Agua a 1 atm. 10°C (botella llena)

Sin embargo, la variación muy pequeña de volumen que experimenta el agua líquida no puede ser ignorada en el llenado de botellas de vidrio con bebidas o cerveza. Si la botella se llena hasta el tope y se cierra en forma hermética, la muy pequeña expansión del líquido causada por el aumento de la temperatura (entre la mañana y la tarde; de 10 a 30 °C, por ejemplo) haría que la botella explotara ya que la presión puede aumentar unas 30 o 40 veces. Por eso las botellas no se llenan hasta el tope con bebida.



Agua a 30°C (P>30 atm)

Por lo explicado, en la práctica de la termodinámica y la solución de problemas se deberá hacer suposiciones razonables, que no alteren en forma apreciable los resultados y menos sus consecuencias. Es por ejemplo una suposición razonable, que los alumnos que toman un curso de termodinámica general para ingeniería ya han aprendido las materias fundamentales en cursos de física, química y matemáticas y que conceptos básicos como presión, temperatura y volumen o cambio de unidades son ya conocidos. Si ese no es el caso, lo recomendable es volver a los libros de primer año de universidad o de la enseñanza media, si los conceptos no están claros.

### Propiedades fundamentales

Hay tres propiedades fundamentales de interés en Termodinámica y que seguramente han sido estudiadas en cursos anteriores en la enseñanza media y en los primeros cursos de universidad. Sin embargo, es conveniente repasar estos conceptos y ponerlos en el contexto de interés en un curso de Termodinámica general. Estas propiedades fundamentales son el volumen, la presión y la temperatura.

#### ♦ Volumen

El volumen  $V$  es el espacio ocupado por un sistema o por una cantidad determinada de materia. Pero aparte de esta definición general, en Termodinámica se usan unas propiedades derivadas del volumen: volumen específico, volumen molar, densidad y gravedad específica. Si  $V$  es el volumen de una masa  $m$  de una sustancia, se definen las siguientes propiedades derivadas:

Volumen específico ( $v$ ) es el volumen por unidad de masa:

$$v = V/m \quad (1.1)$$

Volumen molar ( $v$ ) es el volumen por mol de sustancia:

$$v = V/n \quad (1.2)$$

Densidad ( $\rho$ ) es la masa por unidad de volumen:

$$\rho = m/V = 1/v \quad (1.3)$$

El mol, designado por “n” en la definición de volumen molar (ecn. 1.2), puede ser visto como una unidad de masa en aplicaciones en ingeniería, como se explica en el capítulo 2.

La gravedad específica ( $\Omega$ ) es la densidad dividida por una densidad de referencia y es ampliamente usada en la industria del petróleo (donde se usa como referencia el agua a 60°F o ~16°C y 1 atm.)

$$\Omega = \frac{\rho}{\rho_{\text{ref}}} = \frac{\rho(P, T)}{\rho_{\text{ref}}(P_{\text{ref}}, T_{\text{ref}})} \quad (1.4)$$

La densidad del agua líquida en condiciones ambientales es 1 (gr/cm<sup>3</sup>) o lo que es lo mismo 1 (kg/L) y varía poco con la presión y la temperatura, al menos en rangos pequeños de T y de P (hasta unos 80°C y unas 10 atm, es prácticamente 1 gr/cm<sup>3</sup>).

La densidad de los gases, sin embargo varía en forma apreciable con la presión y con la temperatura, como se verá más adelante en este capítulo.

◆ *Presión*

La presión es una magnitud física que mide la fuerza por unidad de superficie. En el Sistema Internacional de Unidades (SI) la presión se mide en una unidad derivada que se denomina pascal (Pa) que es equivalente a una fuerza total de un newton actuando uniformemente en un metro cuadrado. Cuando sobre una superficie plana de área  $A$  se aplica una fuerza normal  $F$  de manera uniforme y perpendicularmente a la superficie, la presión  $P$  viene dada por:

$$P = F/A \quad (1.5)$$

En un caso general donde la fuerza puede tener cualquier dirección y no estar distribuida uniformemente en cada punto, la presión se define en términos de un vector unitario  $\vec{n}$  normal a la superficie en el punto donde se pretende medir la presión:

$$P = \frac{d\vec{F}}{dA} \cdot \vec{n} \quad (1.6)$$

Además de estos conceptos básicos y generales, hay otros conceptos sobre presión utilizados en termodinámica y en ingeniería y que se debe conocer: presión absoluta, presión barométrica, presión relativa o manométrica y vacío.

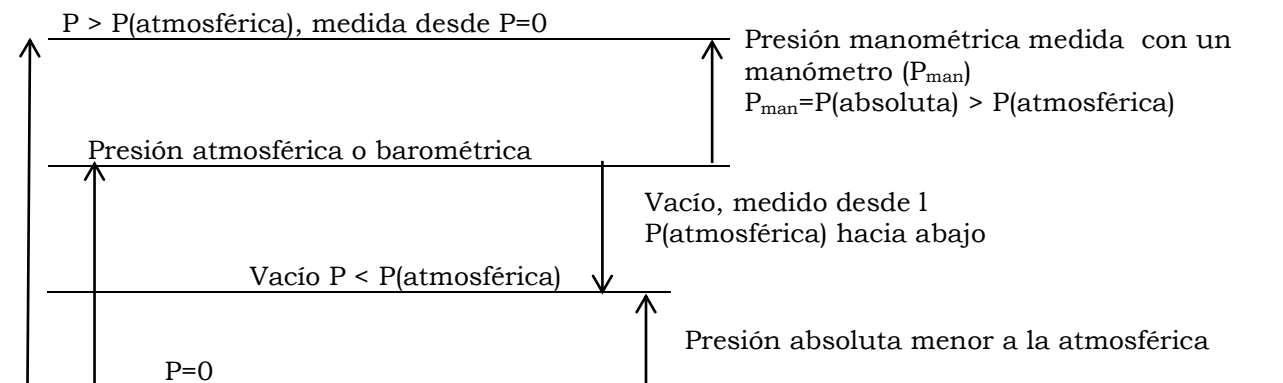


Fig. 1.1: Descripción esquemática de algunos conceptos de presión. Las flechas indican de donde hasta donde se mide cada concepto

♦ *Presión Absoluta*

La presión absoluta, o simplemente la presión, es la presión total real que ejerce un sistema sobre su entorno, definida como la fuerza por unidad de área. Por ejemplo, un gas en el que las moléculas se mueven más o menos libremente chocando contra las paredes del recipiente, genera presión. Un líquido contenido en un recipiente ejerce presión por el peso del líquido que ejerce fuerza contra el piso y las paredes del recipiente. El aire atmosférico ejerce presión sobre la superficie de la tierra (tierra, lagos y mares).

♦ *Presión barométrica o atmosférica*

La presión barométrica ( $P_{\text{bar}}$ ) es la presión absoluta que ejerce la atmósfera (por el peso del aire) sobre todos los cuerpos con los que tiene contacto. Se mide con un barómetro. La presión barométrica o atmosférica estándar en ingeniería es 1 atm.

♦ *Presión relativa o manométrica*

La presión relativa o manométrica ( $P_{\text{rel}}$ ) es la diferencia entre la presión absoluta y la presión barométrica y se mide con un manómetro

$$P_{\text{rel}} = P - P_{\text{bar}} \quad (1.7)$$

Prácticamente todos los instrumentos de medición de presión de uso común miden la presión manométrica; y prácticamente todas las ecuaciones en termodinámica y las ciencias donde aparece la presión se refiere a la presión absoluta.

♦ *Presión en la atmósfera y profundidades del mar*

Si se conoce la presión a una cierta distancia de la tierra, por ejemplo  $P_0$  en la superficie a nivel del mar, esa es la presión ejercida por el aire sobre la superficie. La presión en un punto en el mar o en un lago a una cierta profundidad “y” de la superficie (acercándonos al centro de la tierra), será la presión en la superficie ( $P_0$ ) más la presión ejercida por el peso de la columna de agua:

$$P = P_0 + \rho_{\text{agua}} \cdot g \cdot y \quad (1.8)$$

En esta ecuación,  $\rho_{\text{agua}}$  es la densidad del agua (de mar o del lago) y g es la aceleración de gravedad, supuestas constantes e iguales a los valores en la superficie del mar o del lago.

Hacia “arriba” en la atmósfera (alejándonos del centro de la tierra), a una distancia “y” de la superficie la presión será menor a la presión en la superficie ( $P_0$ ). Si la densidad y la aceleración de gravedad se consideran constantes (e iguales a la superficie de la tierra), se tiene que la presión P a una distancia “y” de la superficie, es:

$$P = P_0 - \rho_{\text{aire}} \cdot g \cdot y \quad (1.9)$$

En esta ecuación,  $\rho_{\text{aire}}$  es la densidad del aire y g es la aceleración de gravedad, supuestas constantes e iguales a los valores en la superficie de la tierra, del mar o del lago (donde  $P=P_0$ )

En las expresiones (1.8) y (1.9) “y” corresponde entonces a la distancia entre la superficie y el punto de interés hacia arriba en la superficie o hacia abajo en el agua (mar o lago). El valor de “y” es positivo en ambas ecuaciones porque el signo (que hace que la presión aumente hacia las profundidades del mar y que disminuya hacia las alturas de la atmósfera), ya está incluido en las ecuaciones.

Hacia “arriba” (alejándonos del centro de la tierra), la presión atmosférica disminuye en aproximadamente 1 mmHg por cada 10 metros. Si se baja en el mar, acercándonos al centro de la tierra, la presión aumenta a aproximadamente en 1 atm (760 mmHg) por cada 10 metros. La Tabla 1.1 da valores para las presiones en la atmosfera y en las profundidades del mar.

Tabla 1.1: Presión en la atmósfera y en el mar (con respecto al nivel del mar)

Presiones medias con la altura			Presiones medias con la profundidad		
Metros	mm Hg	Atm.	Metros	kPa	Atm.
0	760	1.000	0	101.3	1
500	716	0.942	500	5151.9	51
1000	674	0.887	1000	10202.5	101
2500	560	0.737	2500	25354.4	250
3000	526	0.692	3000	30405.0	300
3500	493	0.649	3500	35455.6	350
4000	462	0.608	4000	40506.2	400
4500	433	0.570	4500	45556.8	450
5000	405	0.533	5000	50607.4	499
5500	379	0.498	5500	55658.0	549
5900	359	0.472	5900	59698.5	589

♦ *Vacío*: Presión bajo la presión barométrica. Se mide en forma "positiva" desde la presión barométrica hacia abajo. También le llaman “presión de vacío” y se mide con un vacuómetro. Note que el concepto de “vacío” cuando se está relacionado con presión, no tiene nada que ver con el concepto “vacío” definido en el diccionario como “espacio carente de materia”.

Unidades comunes en ingeniería para la presión son: bar, pascal (Pa), megapascuales (MPa), atmósferas (atm), milímetros de mercurio (mm Hg). En unidades inglesas la presión se mide en *libras por pulgada cuadrada* ( $lb_f/pulg^2$ ) o psi en inglés. Se usa psia para indicar la presión absoluta y psig para indicar la presión manométrica.

Para medir la presión se han desarrollado diversos tipos de instrumentos para cubrir los distintos rangos donde esta variable es necesaria:

- Manómetro de Ionización:  $10^{-4}$  a  $10^{-3}$  mmHg
- Manómetro de Resistencia:  $10^{-3}$  a 1 mmHg
- Manómetro en U: 0 a 2 Kg/cm<sup>2</sup>
- Manómetro de Bourdon tipo "C" 0 a 1500 Kg/cm<sup>2</sup>
- Manómetro Helicoidal 0 a 10000 Kg/cm<sup>2</sup>

♦ *Temperatura*

La temperatura se puede considerar como una manifestación del estado energético de las moléculas de una sustancia, y que se percibe como "sensación de frío o de calor". Si un cuerpo caliente (C) se pone en contacto con un cuerpo frío (F), se transferirá energía “en forma natural” del cuerpo más caliente al más frío hasta que las temperaturas de ambos cuerpos se igualen (se alcanza equilibrio térmico). Obviamente para que se alcance esto se requiere, en teoría, un tiempo infinito. En termodinámica no se consideran estos aspectos cinéticos y usualmente en cálculos se supone igualdad de temperatura después de un “tiempo prudente”.

♦ Ley Cero de la Termodinámica

"Cuando dos cuerpos tienen la misma temperatura que un tercer cuerpo, entonces esos tres cuerpos tienen igualdad de temperatura". Todos los cuerpos están en equilibrio térmico, como se explica en la sección siguiente. Esta ley es fundamental para la determinación experimental de la temperatura y para el desarrollo de los termómetros.

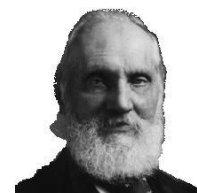
**Termómetro y Escala de Temperatura**

Un termómetro es un instrumento que mide la temperatura de un sistema en forma cuantitativa. Una forma fácil de hacerlo es encontrando una sustancia que tenga una propiedad que cambie de manera regular con la temperatura. Por ejemplo, el mercurio a 1 atm. es líquido dentro del rango de temperaturas de  $-39^{\circ}\text{C}$  a  $357^{\circ}\text{C}$  (la escala Celsius se discute más adelante). Como la mayoría de los líquidos, el mercurio se expande cuando se aumenta la temperatura y se contrae cuando la temperatura disminuye. La manera más "regular" para relacionar, la temperatura con una propiedad del líquido es de forma lineal:  $T(x) = a + b \cdot x$

En esta ecuación,  $T$  es la temperatura y cambia con la propiedad  $x$  de la sustancia, por ejemplo la longitud que se expande o se contrae. Las constantes  $a$  y  $b$  dependen de la sustancia usada y deben ser evaluadas en dos puntos de temperatura específicos sobre la escala. Por ejemplo, si a la presión de 1 atm. se asigna  $32^{\circ}$  a la temperatura de congelación del agua y  $212^{\circ}$  al punto de ebullición, aparece una escala ya conocida denominada Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ) (*Daniel Gabriel Fahrenheit, físico e ingeniero danés-alemán-polaco, 1686-1736*). Si se asigna 0 (cero) a la temperatura de congelación del agua (a 1 atm) y 100 a la temperatura de ebullición (a 1 atm), aparece una escala ya conocida denominada Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) (*Anders Celsius, astrónomo sueco, 1701-1744*).

♦ Temperatura absoluta

Si se grafica  $v$  -vs-  $T$  o bien  $P$  -vs-  $T$ , para distintos gases se observa que la temperatura más baja posible, obtenida por extrapolación de las líneas  $P_1$ ,  $P_2$  o  $P_3$  en la figura 1.2 (cuando el volumen se hace cero) es  $-273.15$  en la escala Celsius. Si se asigna "0" a este punto surge la escala absoluta Kelvin propuesta por *William Thomson (Primer Barón Kelvin, ingeniero y físico Inglés, 1824-1907)*



Cero kelvin =  $-273.15^{\circ}\text{C}$

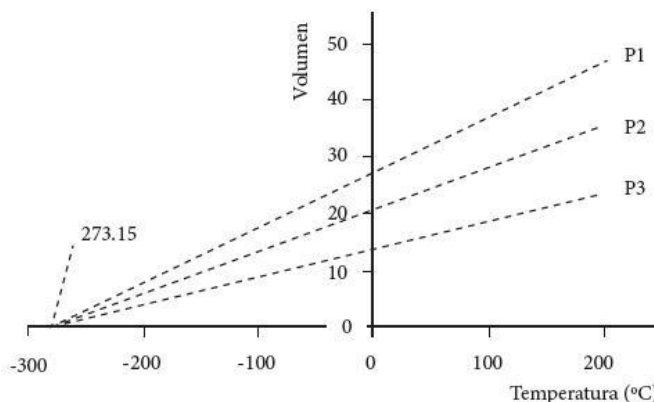


Fig. 1.2: Una explicación del cero absoluto de temperatura



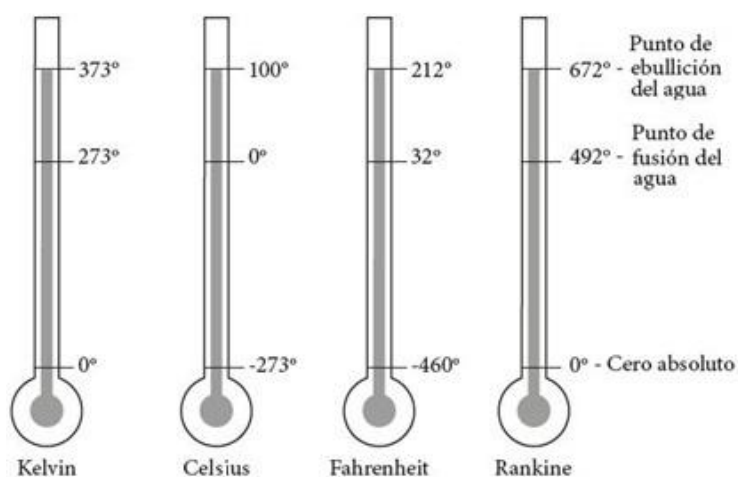
Rankine (*William John Macquorn Rankine, ingeniero y físico escocés, 1820-1872*) propuso algo similar usando el termómetro Fahrenheit y encontró que la temperatura más baja posible (cuando el volumen o la presión se hacen cero) es  $-459.67$  en la escala Fahrenheit. Si se asigna "0" a este punto surge la escala absoluta Rankine



Cero rankine =  $-459.67$  °F

Cero kelvin = Cero rankine =  $-273.15$  °C =  $-459.67$  °F

La figura de abajo aclara estos conceptos y las ecuaciones muestran la relación entre las distintas escalas que permiten convertir de una unidad a otra. Note que la temperatura en kelvin y en celsius es numéricamente distinta (hay una diferencia de 273.15 grados) pero una diferencia de 1 kelvin es idéntica a una diferencia de 1 celsius.



Conversiones:

$$\begin{aligned} \Delta(1 \text{ K}) &= \Delta(1.8 \text{ R}) \\ \Delta(1 \text{ °C}) &= \Delta(1.8 \text{ °F}) \\ \Delta(1 \text{ K}) &= \Delta(1 \text{ °C}) \\ \Delta(1 \text{ R}) &= \Delta(1 \text{ °F}) \\ \text{°F} &= 1.8 \text{ °C} + 32 \\ \text{°C} &= (\text{°F} - 32)/1.8 \\ \text{K} &= \text{°C} + 273.15 \\ \text{R} &= \text{°F} + 460 \\ \text{T(R)} &= 1.8\text{T(K)} \end{aligned}$$

A la temperatura de cero absoluto (kelvin o rankine) cesará el movimiento de las moléculas y no ejercerán fuerzas sobre las paredes del recipiente. Por lo tanto no generarán presión ( $P=0$ ). Hasta hoy en día, el cero absoluto sigue siendo una temperatura teórica ya que ha sido imposible llegar a ella en forma experimental. Sin embargo, se han alcanzado temperaturas tan bajas como 0.45 nanokelvin (0.0000000045 kelvin) en un experimento realizado en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (USA) con átomos de sodio en el año 2003.

En la revista Science de enero 4 de 2013 un grupo de físicos alemanes presentan un artículo donde indican haber alcanzado una temperatura de unas milmillonésimas de kelvin por debajo de cero (Braun et al., Science, 339, 6115, 52-55, 2013). Sin embargo a estos niveles de temperatura los conceptos comunes que se conoce sobre temperatura deben ser interpretados de forma diferente.

En la práctica se han desarrollado diversos tipos de termómetros para cubrir los distintos rangos de esta variable en diversas aplicaciones.

- Termómetro de Mercurio:  $-39$  °C a  $+350$  °C
- Termómetro de alcohol:  $-110$  °C a  $+40$  °C
- Termómetro de éter de petróleo:  $-200$  °C a  $+20$  °C
- Termómetro termoeléctrico: hasta  $1500$  °C
- Pirómetro de radiación: hasta  $4000$  °C

### Tarea 1.1

**P1)** Busque en la Internet aspectos relacionados con el origen de las escalas de temperatura Celsius y Fahrenheit. Escriba un informe de máximo dos páginas.

**P2)** Sobre las escalas Celsius y Fahrenheit: i) ¿A qué temperatura la escala Celsius y la Fahrenheit dan el mismo valor de temperatura?; ii) ¿A qué temperatura el valor en la escala Fahrenheit resulta el doble del valor de la Celsius?

**P3)** Un termómetro Celsius marca 50 °C ¿cuánto marcaría un termómetro Fahrenheit?

**P4)** Si la temperatura sube en 30°C: i) ¿Cuánto subió en grados Kelvin?; ii) ¿Cuánto subió en grados Fahrenheit?

### Unidades y sistemas de unidades

Una unidad de medida es una cantidad definida de una magnitud dada y es determinada por una ley o por un estándar establecido para ello. La masa es una magnitud física y el gramo, por ejemplo, es la unidad que representa una cantidad definida de materia. La longitud es una magnitud física y el metro, por ejemplo, es la unidad que representa una longitud definida.

Las diferentes unidades que se usan para expresar el “tamaño” de una propiedad física conforman un “sistema de unidades”. En Chile se usa principalmente el sistema métrico, aunque en algunas situaciones se usan unidades en diversos sistemas.

Para combinar las diversas variables involucradas en la solución de problemas en ingeniería, dichas variables deben ser expresadas en unidades consistentes usando para ello “factores de conversión de unidades”. La Tabla 1.2 muestra algunos factores de conversión de unidades.

Los factores de conversión de unidades son números por los que hay que, multiplicar o dividir una unidad para convertirla en otra. Por ejemplo el factor para convertir minutos a horas o bien horas a minutos es:  $f=60$  (min/hr).

Si se necesita convertir  $t=480$  minutos a horas, se escribe:  $t=480 \text{ min}/60$  (min/hr); los “min” se cancelan y queda  $t=8$  hr. Si se necesita convertir  $t=8$  hr a minutos se escribe:  $t=8\text{hr}\cdot(60 \text{ min/hr})$ ; las “hr” se cancelan y queda  $t=480$  min.

Hay algunas excepciones en las que la conversión de unidades se hace por sumandos y no por factores. Por ejemplo, para convertir temperatura relativa a temperatura absoluta y de presión relativa a absoluta, se suman valores constantes en cada caso, como ya se vio.

$$P(\text{absoluta}) = P(\text{relativa}) + P(\text{barométrica})$$

$$T(\text{kelvin}) = T(\text{celsius}) + 273.15$$

Hay un caso especial de conversión de unidades en que el factor de conversión es variable como se verá cuando se discuta el concepto de “mol”. Para convertir de unidades convencionales de masa (gr, kg, lb) a unidades de mol (mol-gr, mol-kg, mol-lb) el factor de conversión es la masa molecular de la sustancia.

Tabla 1.2: Factores de conversión de unidades

◆ <i>Longitud</i>	◆ <i>Presión</i>
1 pulg = 2.54 cm	1 atm = 14.7 lb <sub>f</sub> /pulg <sup>2</sup> = 1.033 kg <sub>f</sub> /cm <sup>2</sup>
1 pie = 12 pulg	1 atm = 1.01325 bar
1 m = 100 cm = 3.28 pie = 39.4 pulg	1 psi = 1 lb <sub>f</sub> /pulg <sup>2</sup>
1 Å (Angstrom) = 10 <sup>-10</sup> m	1 atm=760 mmHg (a 0°C)=1.01325·10 <sup>5</sup> Pa
1 micron = 10 <sup>-6</sup> m = 10 <sup>-4</sup> cm	1 MPa = 1.01325 atm = 100 kPa
◆ <i>Masa</i>	1 N/m <sup>2</sup> = kg/(m·s <sup>2</sup> ) = 1 Pa
1 lb <sub>m</sub> = 453.6 g = 0.4536 kg	1 torr = 133.3 Pa
1 kg = 1000 g	◆ <i>Potencia</i>
1 ton (corta) = 2000 lb <sub>m</sub>	1 hp = 0.74570 kW = 0.7068 btu/s
1 ton (larga) = 2240 lb <sub>m</sub>	1 watt (W)= 14.34 cal/min = 1 J/s
1 ton (métrica) = 1000 kg	1 pie·lb <sub>f</sub> /s = 1.3558 W
◆ <i>Masa en moles (n)</i>	◆ <i>Calor, Energía, Trabajo</i>
n(mol) = masa (gr)/masa molecular (gr/mol)	1 cal = 4.184 J = 41.3 (atm ·cm <sup>3</sup> )
masa(gr)= n(mol)*masa molecular (gr/mol)	1 kcal = 1000 cal = 4.184 kJ
1 lb-mol = 453.6 gr-mol	1 btu=1055 J=1.055 kJ=252 cal
◆ <i>Volumen</i>	1 hp·h = 0.7457 kW·h = 2544.5 btu
1 L (litro) = 1000 cm <sup>3</sup>	1 W·h = 3.6·10 <sup>3</sup> J
1 m <sup>3</sup> = 1000 L (litro)	1 atm·L = 101.325 J
1 pie <sup>3</sup> = 28.3 L (litro)	1 kg <sub>f</sub> ·m = 9.807 J
1 gal USA = 3.785 L. (litro)	◆ <i>Flujo de Calor</i>
1 gal UK = 1.201 U.S. gal = 4.546 L (litros)	1 btu/(h·pie <sup>2</sup> ) = 3.155 W/m <sup>2</sup>
◆ <i>Fuerza</i>	1 btu/h = 0.293 W
1 kg · m/s <sup>2</sup> = 1 N (newton)	1 cal/h = 1.163 × 10 <sup>-3</sup> W
1 lb <sub>f</sub> = 4.4482 N	1 W = 1 J/s = 1 N·m/s = 1 kg·m <sup>2</sup> /s <sup>3</sup>
1g·cm/s <sup>2</sup> = 2.248 × 10 <sup>-6</sup> lb <sub>f</sub>	◆ <i>Constante universal del Gas Ideal</i>
1 dyna = 1 g·cm/s <sup>2</sup> = 10 <sup>-5</sup> N	R = 1.9872 cal/(mol·K) = 8.314 J/(mol·K)
◆ <i>Aceleración Estándar de Gravedad</i>	R = 1.9872 BTU/(lbmol·R)
g = 9.807 m/s <sup>2</sup> = 32.174 ft/s <sup>2</sup>	R = 82.057 (atm·cm <sup>3</sup> )/(mol·K)
g <sub>c</sub> =980.7 (g <sub>m</sub> ·cm/g <sub>f</sub> s <sup>2</sup> )=32.17 (lb <sub>m</sub> ·ft/lb <sub>f</sub> )	R = 0.08206 (atm·L)/(mol K)
	R=10.731 [(lb <sub>f</sub> /pulg <sup>2</sup> )·pie <sup>3</sup> ]/(lbmol R)

**Ejemplo 1.1**

Una propiedad X de una sustancia se mide en [atm·L/·K] y su valor es 0.5 en dichas unidades. Para un aplicación se necesita X en unidades inglesas [(lb<sub>f</sub>/pulg<sup>2</sup>)·pie<sup>3</sup>]/R]. Determine X en estas unidades inglesas.

Solución

Se necesita los siguientes factores de conversión:

1 atm=14.7 lb<sub>f</sub>/pulg<sup>2</sup>; 1 pie<sup>3</sup>=28.3L (litro); 1K=1.8R (un delta de 1K es igual a 1.8 R)

Se introducen estos factores en X:

$$X = 0.5 \frac{\text{atm} \times \text{L}}{\text{K}} \times 14.696 \frac{\text{lb}_f / \text{pulg}^2}{\text{atm}} \times \frac{1}{28.317} \frac{\text{pie}^3}{\text{L}} \times \frac{1}{1.8 \text{R} / \text{K}}$$

Y simplificando las unidades iguales: atm, L, K, queda

$$X = 0.144 [(\text{lb}_f / \text{pulg}^2) \cdot \text{pie}^3] / \text{R}$$

**Tarea 1.2**

**P1)** Una barra de un metal que tiene un volumen de 100 cm<sup>3</sup> y una masa de 300 gr es sumergida en 1 L de agua (≈ 1 kg). Determine la densidad de esta mezcla agua más metal.

**P2)** Determine cuál es la presión a una profundidad de 1500 mts bajo el nivel del mar. Recuerde que el agua de mar es “más pesada”; 100 gr de agua de mar ocupa 90 cm<sup>3</sup>

**Equilibrio termodinámico**

Se dice que un sistema se encuentra en equilibrio termodinámico, si no experimentas cambios en sus variables intensivas (aquellas que no dependen de la masa del sistema) cuando está sometido a ciertas condiciones que le imponen sus alrededores. En aplicaciones en ingeniería de procesos, y en ausencia de reacciones químicas, el equilibrio termodinámico se logra cuando el sistema está en equilibrio térmico y equilibrio mecánico

♦ *Equilibrio térmico*

Se alcanza cuando dos cuerpos en contacto (o un cuerpo y su ambiente) tienen la misma temperatura. Por lo tanto dos cuerpos intercambiarán energía hasta que sus temperaturas se igualen. Esto ocurre por ejemplo con nuestra taza de café recién preparado para el desayuno (temperatura inicial ≈ 100°C aquí al nivel del mar) que dejada al ambiente se enfriará hasta alcanzar la temperatura ambiente (o muy cercana a ella).

♦ *Equilibrio mecánico*

Puesto de una manera simple y suficiente para aplicaciones en ingeniería, el equilibrio mecánico se logra cuando la suma de todas las fuerzas en todas las partes de un sistema es igual a cero. Una aplicación de esto es el vaciado de un estanque con gas a presión: saldrá gas a la atmósfera hasta que las presiones dentro del estanque y fuera sean iguales; o sea que se alcance el equilibrio mecánico.

## Más sobre calor y trabajo

En el siglo XIX se creía que el *calor* era una propiedad de los cuerpos capaz de pasar de uno a otro como un fluido, al cual por entonces se denominaba “calórico”. Aunque esta teoría está obsoleta desde hace mucho tiempo, aún se sigue hablando en muchos textos en castellano de “transferencia de calor”, a pesar de que en realidad se trata de mera transferencia de energía.

En este libro, y para evitar confusiones con lo que se usa en otros libros de termodinámica y de fenómenos de transferencia, se seguirá con esa tradición y se dirá “transferencia de calor” o “calor transferido”, “calor necesario”, “calor involucrado”, “calor intercambiado” cuando en realidad se refiere a “transferencia de energía en forma de calor”.

Si se transporta energía de una sustancia u objeto a otro por medio de una diferencia de temperatura entre ellos, este transporte será referido como *flujo de calor*. La cantidad de energía que se transfiere es el calor. Del calor existe una sola forma aunque hay varios mecanismos por las que se transfiere (conducción, convección y radiación). Del trabajo existen muchos tipos, dependiendo de la forma en que actúa la fuerza (de empujar, PV, eléctrico, químico).

### ♦ Ejemplos de transferencia de calor

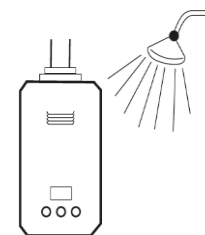
i) Cuando una olla con agua se pone en la llama de la cocina, la llama, que es donde se transforma la energía química del combustible, transfiere la energía a la base metálica de la olla, la que por conducción la transfiere al agua. El agua recibe la energía en forma de calor y la transforma en energía interna. Algo similar pasa cuando se calienta agua en un hervidor eléctrico. La resistencia eléctrica entrega energía al agua. En ambos procesos la presión es constante (la atmosférica). Si el proceso de calentamiento ocurre en una “olla a presión” entonces el volumen permanece constante y la presión y temperatura aumenta.



ii) Cuando se almacena agua en un termo (para el café de la tarde o de la mañana temprano) el agua se enfría por transferencia de energía en forma de calor hacia el ambiente. Pero se enfriará más lentamente que si se dejara en una olla cualquiera. Los materiales completamente aislantes no existen y por muy bueno que sea el termo el agua finalmente se enfriará (por diferencia de temperatura con el ambiente) y eventualmente alcanzará la temperatura ambiente.

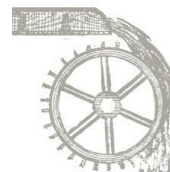


iii) Cuando se calienta agua para la ducha en el calefón de la casa (calefón: calentador convencional a gas licuado), la energía de la llama del combustible que se quema entrega energía al agua que pasa por la tubería y aumenta su temperatura (por ej. a 10 °C) hasta una temperatura adecuada (por ej. 39°C). Los gases calientes provenientes de la llama se enfrían al transferir energía al agua que va por los tubos, pero igual salen por el cañón de escapea temperaturas relativamente altas (unos 200°C).



◆ Ejemplos de transferencia de trabajo

i) Cuando se coloca una rueda cualquiera bajo un chorro de agua que cae en forma natural desde una altura, el agua va transformando su energía potencial en energía cinética que es entregada a la rueda. Entonces la rueda gira produciendo una cierta cantidad de trabajo. El trabajo se puede aprovecharlo moviendo un eje que a su vez mueve una manivela y esta mueve un generador y se puede tener energía eléctrica, por ejemplo



ii) Cuando se revuelve una taza de café con una cuchara se entrega energía al café en forma de trabajo (la cuchara que gira por acción de una fuerza). Esa energía se transforma en movimiento del agua dentro de la taza y en calor por roce que recibe el café. Obviamente, se trata de una cantidad de calor muy pequeña, y difícilmente se logrará calentar el agua en esta forma, hasta que hierva.

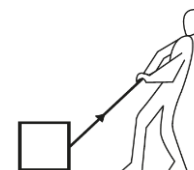


iii) Cuando se enchufa el ventilador a la red eléctrica y se enciende, la energía eléctrica que se le entrega se transforma en trabajo de movimiento de las aspas del ventilador, trabajo que se gasta en desplazar el aire hacia el ambiente que le rodea produciendo movimiento del aire. Obviamente el aire no cambia su temperatura pero igual se percibe una sensación de frío por otras razones que se verán en otro capítulo al final del curso.



◆ Trabajo PV

Cuando se empuja o tira un sistema, por ejemplo un cajón que deseo mover a otro lugar, nos enseñaron en física que el trabajo ejercido para arrastrarlo es el producto escalar “fuerza por desplazamiento” (ambos vectores):  $dW = \vec{F} \cdot d\vec{r}$



Y si la fuerza y el desplazamiento son paralelos y unidireccionales (por ejemplo en la dirección x), entonces:

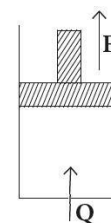
$$dW = F \cdot dx$$

Si la fuerza se ejerce en forma perpendicular sobre una área definida A, como en el cilindro con pistón de la figura, entonces la fuerza dividida por el área es la presión, y si el área A se desplaza una distancia dx, queda:

$$dW = \left(\frac{F}{A}\right) \cdot A \cdot dx$$

Y como (F/A) es presión (P) y A·dx es volumen (dV), queda:

$$dW = PdV \tag{1.10}$$



Este trabajo se conoce en termodinámica como “trabajo PV”.

Cuando un cuerpo recibe o entrega energía en forma de calor, el cuerpo se expande o se contrae y por lo tanto interactúa con el ambiente intercambiando trabajo. Si el cuerpo se expande ejerce trabajo sobre el ambiente. Si se contrae, el ambiente ejerce trabajo sobre el cuerpo. Ese trabajo es “trabajo PV” y se calcula como se indicó arriba en la ecn. (1.10):

$$dW=PdV \quad (1.11)$$

o por unidad de masa:

$$dw=Pdv \quad (1.12)$$

Para calcular el trabajo "W" o "w" se debe conocer como varía P con V o P con v, de manera de poder integrar y obtener el trabajo:

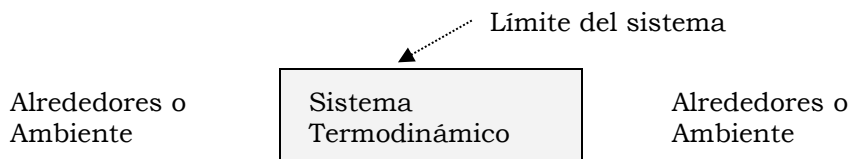
$$W = \int PdV \quad \text{y} \quad w = \int Pdv$$

Obviamente, si la presión es constante, entonces:

$$W= P \cdot \Delta V \quad \text{y} \quad \text{por unidad de masa} \quad w=P \cdot \Delta v$$

### Más sobre sistema termodinámico

En los ejemplos anteriores, el agua en el calefactor, el agua que se calienta en el calefón, el aire que impulsa el ventilador o el café que se enfría en la taza, son los elementos de estudio en los que como ingenieros se quiere y necesita calcular energías transferidas, temperaturas alcanzadas, cantidad de materia usada, costos involucrados, entre otras variables. Como se explicó, estos elementos de estudio se denominan “sistemas” en termodinámica, y se les da apellido: “sistemas termodinámicos”.



Para la mejor aplicación de las leyes de la termodinámica los sistemas se clasifican de diversas formas (usando distintas características de clasificación)

♦ *Con respecto a la transferencia de materia*

Si no hay transferencia de materia entre el sistema termodinámico y los alrededores el sistema se denomina “cerrado”. Si hay transferencia de materia desde o hacia el sistema (o en ambos sentidos) se tiene un sistema “abierto”.

♦ *Con respecto a la transferencia de calor*

(i) Si no hay transferencia de energía en forma de calor entre el sistema termodinámico y el exterior se dice que el sistema es “adiabático”.

(ii) Si hay transferencia de energía en forma de calor desde o hacia el sistema (o en ambos sentidos) se tiene sistema “no-adiabático”.

(iii) Si no hay transferencia de materia ni de energía entre el sistema termodinámico y el exterior se dice que el sistema es “aislado”.

♦ *Con respecto a la variación de propiedades y variables (en el tiempo)*

(i) Si una propiedad o variable no varía con el tiempo, durante el proceso, se dice que el sistema está en estado estacionario

(ii) Si una propiedad o variable varía con el tiempo, durante el proceso, se dice que el sistema está en estado transiente

Un sistema puede estar en estado estacionario para ciertas propiedades y en estado transiente para otras.

En realidad el estado 100% estacionario no existe en la naturaleza. Todos los procesos son dinámicos y las propiedades cambian con el tiempo. Sin embargo en una escala de tiempo que es de interés en una determinada aplicación se puede suponer la condición de estado estacionario al sistema que se estudia. Por ejemplo si se tiene una taza con agua caliente (a mayor temperatura que la del ambiente) se puede suponer que en un tiempo prudente y razonable para un estudio, el sistema es transiente con respecto a la temperatura y es estacionario con respecto a la masa (aunque se puede ver que sale algo de vapor).

### **Más sobre procesos**

Cuando un proceso se repite varias veces (o en forma "indefinida") pasando siempre por un cierto estado o condición y repitiendo el camino recorrido o las etapas del proceso, se dice que dicho proceso es "cíclico". Ejemplos domésticos en los que hay involucrados procesos termodinámicos cíclicos son el refrigerador y el motor del automóvil o de la moto.

Además, en varios procesos comunes en la industria algunas variables no cambian en forma apreciable durante el proceso, y pueden considerarse constantes:

(i) si la presión es constante el proceso se llama isobárico;

(ii) si la temperatura es constante el proceso es isotérmico;

(iii) si el proceso es a volumen constante el proceso es isocórico o isovolumétrico.

Más adelante se verá otros procesos en los que otras propiedades se mantienen constantes y se les dará el nombre adecuado.

Estos procesos, ya sea en ambientes domésticos o de la vida diaria o a mayor escala en la industria, pueden ocurrir en sistemas cerrados, abiertos, adiabáticos, no adiabáticos, isobáricos, isotérmicos, o isocóricos. En muchos casos es conveniente, necesario y razonable hacer suposiciones sobre la forma en que opera el proceso y cómo se comporta el sistema para obtener de la termodinámica valores aproximados pero útiles para diseño y análisis de procesos.

Hay cinco procesos "termodinámicos" principales con los que seguramente un ingeniero se encontrará en su vida profesional y que son estudiados en este curso de termodinámica general:

- 1) *Calentamiento* (al sistema se agrega calor y el sistema aumenta su temperatura)
- 2) *Enfriamiento* (al sistema se le quita calor y el sistema disminuye su temperatura)
- 3) *Compresión* (se disminuye el volumen del sistema, usualmente por aumento de presión)
- 4) *Expansión* (se aumenta el volumen del sistema, usualmente por disminución de presión)
- 5) *Cambios de fase* (agregando o retirando calor del sistema, el sistema cambia de fase)



Estos procesos se encuentran en varias actividades domésticas como las mencionadas antes en este capítulo (calentamiento de una olla en la llama de la cocina, calentamiento de agua en un hervidor eléctrico, calentamiento de agua para la ducha o enfriamiento del agua en un termo).

Pero hay también una serie de situaciones industriales que involucran estos cinco procesos: intercambio de calor entre dos sustancias, compresión de gases y líquidos, expansión de gases, refrigeración, motores a combustión, plantas de vapor, turbinas de gas y licuefacción de gases, entre tantos otros. Estos se describen brevemente en lo que sigue.

♦ *Intercambio de calor entre dos sustancias*

Un gas o un líquido intercambian energía en forma de calor con otro líquido o gas. Una de las sustancias entrega energía (se enfría, cambia de fase o ambas) y la otra recibe energía (se calienta, cambia de fase o ambas). Usualmente estos procesos ocurren en sistemas abiertos llamados intercambiadores de calor, y en los que los fluidos no se ponen en contacto directo. La presión varía un poco en estos equipos, pero para cálculos en termodinámica y para las aplicaciones en este curso es razonable suponer que la presión no cambia durante el proceso, o que su efecto sobre las propiedades termodinámicas es numéricamente despreciable.

♦ *Compresión de gases y líquidos*

En una compresión, a un gas o un líquido se le disminuye su volumen. En ingeniería esta disminución se hace comúnmente por aumento de presión (pero se puede comprimir sin aumentar la presión). Los procesos de compresión pueden ser abiertos o cerrados. Para comprimir gases se usan equipos mecánicos conocidos como compresores y para comprimir líquidos se usan equipos mecánicos llamados bombas. Los procesos de compresión en ingeniería consumen trabajo (bombas y compresores).

♦ *Expansión de gases*

Expandir un gas significa aumentar su volumen y comprimir significa disminuir su volumen. En ingeniería el aumento de volumen se hace comúnmente por disminución de presión (pero note que se puede expandir sin disminuir la presión) y la disminución de volumen se hace por aumento de la presión. Los procesos de expansión pueden ocurrir con generación de trabajo (máquinas llamadas turbinas) o sin generación de trabajo (dispositivos llamados válvulas).

♦ *Compresión o expansión sin cambio de presión*

A un gas se le puede disminuir su volumen, o sea puede ser comprimido, sin aumentar la presión. Por ejemplo si tengo un gas en un cilindro con pistón suelto a la atmósfera y empiezo a enfriar el gas (baja su temperatura), este disminuirá su volumen y la presión se mantendrá constante (la atmosférica). Los mismos conceptos valen para la expansión a presión constante.

♦ *Motores a combustión (autos, buses o camiones)*

Se trata de procesos cíclicos, donde se transforma en forma directa energía química de un combustible en trabajo, mediante procesos de expansión, compresión y generación de trabajo mecánico y de energía en forma de calor.

♦ *Refrigeración (doméstica o industrial)*

Es un proceso cíclico que tiene por objetivo sacar energía de un sistema que está a baja temperatura y entregarlo al ambiente que está a mayor temperatura. En este proceso de refrigeración, una sustancia refrigerante absorbe energía (en forma de calor) a baja temperatura (dentro del refrigerador) y lo expulsa a una temperatura más alta (el ambiente que rodea al refrigerador). Esto lo hace en cuatro etapas bien definidas: i) compresión, ii) enfriamiento con condensación (donde la energía es entregada al ambiente), iii) expansión y iv) evaporación (donde la energía es sacada de los alimentos).

♦ *Plantas de Vapor (Ciclos de Potencia con Vapor)*

Son también procesos cíclicos, donde se transforma energía química de un combustible en trabajo, en forma indirecta. El agua toma la energía producida por un combustible al quemarse transformándose en vapor a alta temperatura y presión que luego se expande en una turbina, donde su energía se transforma en trabajo mecánico.

♦ *Turbinas de Gas*

Proceso cíclico en el que se transforma energía química de un combustible en trabajo, en forma directa. Los gases provenientes de la combustión de un combustible se expanden en una turbina, transformando su energía en trabajo.

♦ *Licuefacción de gases*

Cambio de fase del estado gaseoso al líquido, usualmente de sustancias que son gases en condiciones ambientales y que no pueden ser convertidos en líquidos por simple enfriamiento o simple compresión. Por lo tanto la licuefacción se hace en varias etapas de enfriamiento y compresión por aumento de presión.

### Tarea 1.3

**P1)** Para el proceso de enfriamiento del agua en un termo (de esos que Ud. usa para guardar agua caliente) haga un gráfico semi-cuantitativo temperatura-vs-tiempo. (desde  $t=0$  y  $T=100$ , hasta  $t=24$  horas). La temperatura ambiente es  $15^{\circ}\text{C}$ .

**P2)** Para el proceso de calentamiento de agua en el calefón de la casa haga un gráfico semi-cuantitativo temperatura-vs-tiempo. Suponga temperaturas razonables de entrada y salida. La temperatura ambiente es  $15^{\circ}\text{C}$ .

**P3)** Para el proceso de calentamiento de agua en un hervidor eléctrico haga un gráfico semi-cuantitativo temperatura -vs- tiempo, desde que se inicia el proceso hasta que se ha evaporado la mitad del agua.

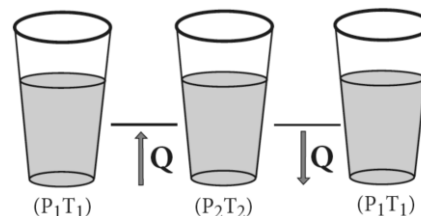
**P4)** Un gas a una temperatura  $T_1$  fluye por una cañería e intercambia energía con otra corriente de otro gas que va por otra tubería en sentido contrario (en contracorriente) a una temperatura  $T_2$ . El gas frío se calienta y el gas caliente se enfría. Haga un gráfico de temperatura-vs-posición de ambas corrientes de gas. Muestre cómo se enfría un gas y como se calienta el otro (en la misma figura), entre la entrada y la salida.

**P5)** Haga una lista con procesos domésticos o de la naturaleza que puedan ser catalogados como: (i) isovolumétricos o isocóricos; (ii) isobáricos; (iii) isotérmicos; (iv) adiabáticos; (v) no adiabáticos; (vi) transiente (indique respecto a qué es transiente); (vii) cíclicos

## Procesos reversibles

Un proceso causado por interacción con el ambiente en el que un sistema va de un estado 1 ( $P_1, T_1$ ) a un estado 2 ( $P_2, T_2$ ) es reversible si una vez realizado, se puede regresar exactamente al estado inicial ( $P_1, T_1$ ) si la interacción es ejercida en sentido inverso.

Por ejemplo, si se agrega una cantidad de calor  $Q_a$  a un vaso con agua que está a ( $P_1, T_1$ ), el agua pasa a un estado ( $P_2, T_2$ ), sin cambio de fase en este ejemplo. Si le retiro la misma cantidad de energía  $Q_a$  el agua vuelve exactamente al estado ( $P_1, T_1$ ), solamente si el proceso es reversible.



Se dice entonces que un proceso reversible se realiza mediante una sucesión de estados de equilibrio del sistema con su entorno y es posible devolver al sistema y su entorno al estado inicial por el mismo camino. Cuando un proceso se hace por etapas y en forma muy lenta, dando tiempo para que el sistema llegue al equilibrio en cada etapa, se dice que el proceso es *cuasi-estático*.

Los procesos puramente reversibles no existen en la naturaleza, ya que no es posible eliminar por completo efectos que impiden regresar exactamente al estado inicial una vez ocurrido el proceso (por ej. la fricción, disipación de energía). Sin embargo, el concepto de reversibilidad es de especial importancia ya que establece un límite teórico a la transformación de una energía en otra, aspectos que se verán más adelante junto con la Segunda Ley de la Termodinámica.

## El concepto de “mol” y “masa molecular”

El mol puede ser considerado como una unidad de cantidad o una unidad de masa, dependiendo de sus aplicaciones. En ingeniería usualmente cuando se dice que se tiene un mol de una cierta sustancia se refiere a una cierta masa de ella, por lo que es mejor mirarla como una unidad de masa. Debe quedar claro, sin embargo, que esta unidad de masa llamado mol difiere de las tradicionales unidades de masa como el gramo o la libra.

La cantidad de materia contenida en un mol de una sustancia depende de la sustancia a la que se le aplica dicha unidad de masa. Por lo tanto la masa de un mol de moléculas de agua será distinta a la de un mol de hidrógeno. Esto porque un mol corresponde a la cantidad de materia de  $6.023 \cdot 10^{23}$  unidades elementales y la masa de las unidades elementales de agua e hidrógeno (moléculas, por ejemplo) son diferentes. La masa molecular ( $M$ ) es la masa de un mol de una sustancia por lo que la relación entre mol ( $n$ ) y masa ( $m$ ) en unidades convencionales es:

$$n = m/M \quad (1.13)$$

Por lo tanto para convertir de unidades convencionales de masa ( $m$  en gr, kg, lb) a unidades de mol ( $n$  en mol-gr, mol-kg, mol-lb) se divide por la masa molecular ( $n = m/M$ ).

Para convertir de unidades de mol ( $n$  en mol-gr, mol-kg, mol-lb) a unidades convencionales de masa ( $m$  en gr, kg, lb) se multiplica por la masa molecular ( $m = n \cdot M$ ).

Se define "masa atómica" de una sustancia como la masa de  $6.023 \cdot 10^{23}$  átomos de dicha sustancia. Se define "masa molecular" ( $M$ ), como la masa de  $6.023 \cdot 10^{23}$  "paquetes de moléculas" de la sustancia.

Si el "paquete" está formado por una molécula de sustancia, M quedará expresado en "gramos" y la cantidad será un "mol" o "mol-gr", o "gr-mol". Si el "paquete" está formado por mil moléculas de sustancia, M quedará expresado en "Kg" y la cantidad será un "mol-kg" o "kg-mol". Cuando en un texto se usa solo la palabra "mol", se refiere a mol-gr.

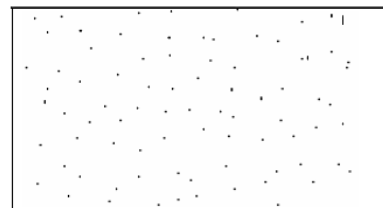
La masa molecular M se determina sumando las masas atómicas que aparecen en la Tabla del Sistema Periódico de Elementos. Por ejemplo, para el agua (H<sub>2</sub>O): 2·1.008+1·15.999=18. Así, la masa molecular del agua es 18. Esto significa que un mol-gr de agua contiene 18 gr. de agua, un mol-lb de agua contiene 18 lb de agua, y un mol kg. de agua contiene 18 kg. de agua. Así, la masa molecular del agua es 18 (gr/grmol) = 18 (lb/lbmol) = 18 (kg/kgmol).

### El concepto de gas ideal

El "gas ideal" es un modelo matemático que relaciona las variables presión (P), temperatura (T), volumen (V) y número de moles (n) de una sustancia imaginaria: PV=nRT. Para obtener esta ecuación se consideró una cantidad de "fluido" en un recinto de volumen V y se introdujeron dos simplificaciones principales:

i) El volumen que ocupan las moléculas es despreciable comparado con el volumen del recinto; y

ii) Las moléculas no interactúan entre ellas y por lo tanto el movimiento de una molécula no se ve afectado por la presencia de otra molécula. Con esto y otros conceptos de la "teoría cinética de los gases" se dedujo la relación:



$$PV = nRT \quad (1.14)$$

o bien en función de  $v$ , el volumen molar,  $v=V/n$ , queda:

$$Pv=RT \quad (1.15)$$

Como  $n= m/M$  se tiene también  $PV=(m/M)RT$  o bien  $m/V = (PM)/(RT)$

El termino  $(m/V)$  es conocido como densidad y usualmente designado con la letra griega "ρ". Entonces, la densidad de un gas que sigue el modelo de gas ideal es:

$$\rho=PM/RT \quad (1.16)$$

Si se agrupan las variables en la forma  $Pv/RT$ , este grupo tiene el valor 1.0 para situaciones en que se puede aplicar el modelo de gas ideal, pero puede ser distinto para otras situaciones.

Se define entonces el "factor de compresibilidad" como el producto de la presión (P) por el volumen molar ( $v$ ), dividido por el producto temperatura absoluta (T) por la constante universal de la gas ideal (R):

$$Z=Pv/RT \quad (1.17)$$

Para sustancias que siguen el modelo de gas ideal  $Z=1$  y para otras sustancias,  $Z$  puede ser mayor o menor a 1.0. Note que  $Z$  no es una definición solo aplicable a gases, es simplemente el producto de la presión por el volumen molar de un sistema dividido por el producto de R por la temperatura absoluta.

En todas estas ecuaciones, R es una constante conocida como “*constante universal del gas ideal*”. El valor de R en distintas unidades está dado en la Tabla 1.2 del capítulo 1. Los más usados son:

$R = 82.06 \text{ (atm}\cdot\text{cm}^3\text{)}/(\text{mol}\cdot\text{K})$  y  $R = 0.08206 \text{ (atm}\cdot\text{L)}/(\text{mol K})$  para cálculos de volumen y densidad; y

$R = 1.9872 \text{ cal}/(\text{mol}\cdot\text{K})$  en algunos problemas que involucran cálculos de energía o temperatura.

La importancia del modelo de gas ideal radica en el hecho que hay sustancias reales para las que la relación entre la temperatura, la presión y el volumen, sigue aproximadamente el modelo de gas ideal. Estos son los gases reales a baja densidad. De manera más práctica esto significa gases reales a baja presión y temperaturas no muy bajas.

Como regla general, la densidad debe ser menor a  $0.02 \text{ gr}/\text{cm}^3$  (o presiones menores a 10 atm). Sin embargo, estos límites dependerán del tipo de gas y de la temperatura. Por ejemplo, el aire ambiental sigue el modelo de gas ideal con bastante exactitud, hasta presiones del orden de 10 atm., a temperatura ambiente.

### **Ley de Dalton y Ley de Amagat**

En una mezcla de gases a baja presión, cada gas en la mezcla aporta una fracción de la presión total, fracción conocida como *presión parcial* del gas “i” ( $P_i$ ). Para una mezcla de gases a baja presión se cumple la Ley de Dalton (*John Dalton, químico y físico británico, 1766-1844*), conocida también como Ley de las Presiones Parciales:

$$P_i = x_i P \quad (1.18)$$

siendo  $x_i$  la fracción molar del gas “i”.

La fracción molar se define como el número de moles de una sustancia “i” en una mezcla dividido por el número total de moles en la mezcla:

$$x_i = n_i / n_{\text{totales}}$$

En una mezcla de gases se cumple entonces que

$$P_i V = n_i R T \quad (1.19)$$

Entonces la presión parcial de cada componente es la presión que ocuparía el gas si estuviera solo (sin ningún otro gas) a la temperatura y volumen del sistema.

La presión total del sistema es la suma de las presiones parciales ( $P_i$ ):

$$P = \sum P_i \quad (1.20)$$

Una ley similar a la ley de Dalton es la Ley de Amagat (*Émile Hilaire Amagat, físico francés, 1841-1915*), conocida también como Ley de los Volúmenes Parciales.

En una mezcla de gases a baja presión, cada gas en la mezcla aporta una fracción al volumen total, fracción conocida como *volumen parcial* del gas “i” ( $V_i$ ).

$$V_i = x_i V \quad (1.21)$$

El volumen total es la suma de los volúmenes parciales ( $V_i$ ):

$$V = \sum V_i \quad (1.22)$$

En una mezcla de gases se cumple entonces que

$$PV_i = n_i RT \quad (1.23)$$

Por lo tanto, el volumen parcial de cada componente ( $V_i$ ) es el volumen que ocuparía el gas si estuviera solo (sin ningún otro gas) a T y P del sistema.

### Ejemplo 1.2

Haga la mejor estimación de la densidad en (lb/pie<sup>3</sup>) y en (gr/cm<sup>3</sup>) del aire que le rodea mientras lee este problema (P=1 atm). Suponga que la temperatura es 20 °C

#### Solución

El aire ambiental se puede considerar que sigue el modelo de gas ideal y entonces de la ecuación que define el gas ideal se calcula el volumen molar:  $v = RT/P$

Con T=293K P= 1 atm. y R=0.08206 (atm·L)/(mol·K) se tiene:

$$v = \frac{0.08206 \left( \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \right) \cdot 293 \text{ K}}{1 \text{ atm}} = 24.04 \text{ (L / mol)}$$

Convirtiendo unidades, los 24.04 (L/mol) quedan:

$$v = \frac{24.04 \left( \frac{\text{L}}{\text{mol}} \right) \cdot 1000 \left( \frac{\text{cm}^3}{\text{L}} \right)}{29 \left( \frac{\text{gr}}{\text{mol}} \right)} = 829 \text{ (cm}^3/\text{gr)}$$

La densidad es el inverso del volumen específico (ecn. 1.3):

$$\rho = m/V = 1/v, \text{ por lo que:}$$

$$\rho = 1/829 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

$$\rho = 0.0012 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

Ahora se convierte estos 0.0012 (gr/cm<sup>3</sup>) en (lb/pie<sup>3</sup>), tomando los factores de conversión de la Tabla 1.2: 1 L = 1000cm<sup>3</sup>; 1L=28.3 pie<sup>3</sup>; 1 lb = 454 gr

Reemplazando, queda:

$$\rho = \frac{0.0012 \left( \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right) \cdot 1000 \left( \frac{\text{cm}^3}{\text{L}} \right) \cdot 28.3 \left( \frac{\text{L}}{\text{pie}^3} \right)}{454 \left( \frac{\text{gr}}{\text{lb}} \right)} = 0.075 \text{ (lb/pie}^3\text{)}$$

Respuesta: la densidad del aire a 1 atm. y 20°C es  $\rho=0.0012 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$  o  $\rho=0.075 \text{ (lb/pie}^3\text{)}$

### Ejemplo 1.3

Un salón cerrado de 8 m de largo, 5 m de ancho y 3 m de alto contiene aire a 1 atm. y 20°C. Determine los m<sup>3</sup> de O<sub>2</sub> en el salón (aire con 21% molar de O<sub>2</sub> y 79% molar de N<sub>2</sub>).

#### Solución

La ley de Amagat aplica en este caso, ya que da el volumen parcial del gas:  $V_i = x_i V$   
La fracción molar  $x_i$  de cada gas es dada y el volumen se calcula simplemente como:

$$V=5 \cdot 8 \cdot 3=120 \text{ m}^3$$

$$V_{O_2}= 0.21 \cdot 120=25.2 \text{ m}^3$$

Respuesta: El volumen de O<sub>2</sub> en el salón de 120 m<sup>3</sup> totales es de 25.2 m<sup>3</sup>

**Autoevaluación:** Marque verdadero o falso (V o F) frente a cada sentencia y comente su respuesta (en especial si es Falsa).

Nº	V/F	Sentencia
1		El Gas Ideal sólo existe a baja presión
2		El Gas Ideal no es un gas
3		Un mol-lb de agua es más cantidad que un mol-kg de agua
4		La masa molecular de un líquido es siempre mayor que el de un gas
5		La fracción molar es una unidad de masa
6		La Ley de Dalton se usa para determinar la presión relativa
7		El aire atmosférico es un gas ideal
8		Se puede considerar cobre a 20°C y 1 atm, como gas ideal
9		El agua no puede suponerse nunca que se comporta como gas ideal
10		[lb <sub>f</sub> /pulg <sup>2</sup> ]*pie <sup>3</sup> es una unidad de energía
11		A un sistema cerrado no entra ni sale trabajo
12		Cualquier cuerpo (o sustancia) que recibe energía en forma de calor, se expande
13		El grupo $Z=PV^*/RT$ llamado "factor de compresibilidad" es aplicable a sólidos
14		El llenado de una taza con agua de la red, antes que se llene, es transiente respecto a la masa
15		En el proceso de revolver el café en una taza con una cuchara no entra ni sale energía
16		En un proceso de compresión en un sistema cerrado la presión siempre aumenta
17		La constante del gas ideal depende de la masa molecular del gas

**Tarea 1.4**

**P1)** a) ¿Cuántos moles son 255 gr de agua?; b) ¿Cuántos kg son 17.5 kg-mol de agua?; c) ¿Cuántos kg son 5 mol-lb de agua?

**P2)** La concentración en masa de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) en una solución acuosa es 30% de ácido y 70% de agua. Determine la concentración de ácido en fracción molar.

**P3)** La fracción molar de etanol en una mezcla de etanol y agua es 0.12. ¿Cuántos gramos de etanol hay en un kilo de mezcla?

**P4)** Para el metano ( $\text{CH}_4$ ) se dispone de los datos PTV de la Tabla de abajo. Encuentre un valor “estadísticamente creíble” para la constante universal del gas ideal R ( $\text{atm}\cdot\text{L}/\text{mol}\cdot\text{K}$ )

P (atm)	1	2	3	5	7	10
T (K)	280	290	300	280	290	300
V (L/mol)	22.9	11.9	8.2	4.5	3.4	2.4

**P5)** Muestre que para una mezcla de gases a baja presión la concentración expresada en fracción molar (moles de un componente/moles totales de la mezcla) es idéntica a la fracción volumétrica (litros de un componente/litros totales de la mezcla)

**Entropía**

Los conceptos de la Segunda Ley, que se verán más adelante en el capítulo 5, están relacionados con una propiedad termodinámica denominada entropía, mencionada ya en el año 1865 por Clausius (*Rudolf Emanuel Clausius, físico alemán, 1822-1888*). La entropía ha sido manoseada por unos, abusada por muchos y mal entendida por otros tantos. Por ejemplo, se dice: i) representa a la fracción de energía en un sistema que no está disponible para poder realizar trabajo; ii) representa el grado de orden y desorden dentro de un sistema; iii) corresponde a flujo de energía, siendo la entropía una energía negativa que entorpece la ejecución del trabajo; iv) la entropía del universo va en aumento.

La Real Academia Española da algunas acepciones de “entropía” y se lee: (*Del gr. ἐντροπία, vuelta, usado en varios sentidos figurados*).

**1. f. Fís.** Magnitud termodinámica que mide la parte no utilizable de la energía contenida en un sistema.

**2. f. Fís.** Medida del desorden de un sistema. Una masa de una sustancia con sus moléculas regularmente ordenadas, formando un cristal, tiene entropía mucho menor que la misma sustancia en forma de gas con sus moléculas libres y en pleno desorden.

**3. f. Inform.** Medida de la incertidumbre existente ante un conjunto de mensajes, de los cuales se va a recibir uno solo.

En el contexto de la ingeniería y las ciencias la entropía debe basarse en su definición más fundamental y luego interpretarla para las aplicaciones que sean necesarias:

*“La entropía es una propiedad termodinámica y es una función de estado”*

La entropía es por lo tanto un concepto cuantitativo y no puramente cualitativo, y está claramente definido vía una ecuación. Y que sea una *función de estado* significa que la variación de entropía cuando un sistema va de un estado 1 a un estado 2, no depende de la forma en que se realizó el proceso para ir de 1 a 2. En termodinámica, las propiedades de un sistema cuyo cambio depende solamente de los estados inicial y final (independiente de cómo se haya hecho el proceso) se conocen como *funciones de estado*.

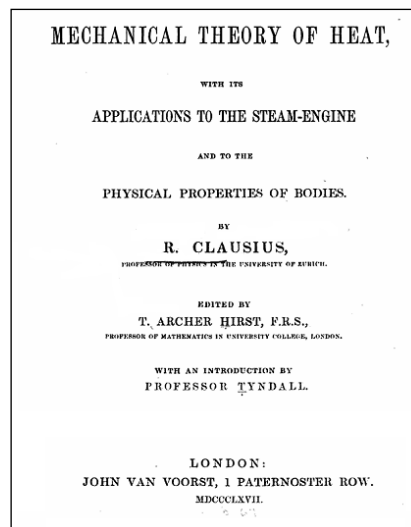


Las primeras observaciones sobre algo que después se denominó entropía fueron planteadas por Clausius en 1865 y publicadas en 1867 (*On Different Forms of the Fundamental Equations of the Mechanical Theory of Heat*, 1865; *The Mechanical Theory of Heat*, 1867), sin tener aún muy claro los conceptos de energía y de calor.

$$s=q/T \quad (1.24)$$

Si un sistema cerrado interactúa con su ambiente solamente intercambiando energía en forma de calor y el proceso se hace de manera reversible, entonces el término  $dQ/T$  es una función de estado. Y esta observación es la que define en términos matemáticos a la entropía.

$$ds = \delta q/T \quad \text{para un proceso reversible} \quad (1.25)$$



### Tarea 1.4

**P1)** Busque en la Internet otras explicaciones del concepto de entropía aplicado a otras áreas del conocimiento (economía, ciencias sociales, teología; filosofía, política). Busque relaciones entre los distintos conceptos.

**P2)** Busque en la Internet discusiones y visiones sobre qué pasa con el valor de la entropía en el cero absoluto.

### Conceptos clave

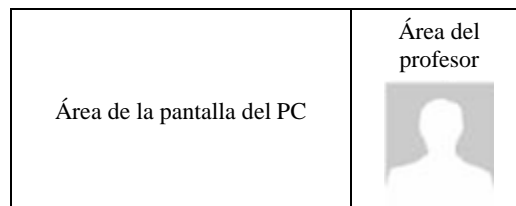
1	Energía	Es la manifestación "última" de las interacciones entre moléculas, electrones y otros elementos subatómicos; de sus transformaciones, cambios y degradación y también de su interacción con el entorno.
2	Calor y Trabajo:	Formas de energía que sólo existen cuando la energía se transfiere. Los cuerpos o un cuerpo con su ambiente transfieren energía en forma de calor o en forma de trabajo.
3	Funciones de estado	Propiedades cuyo cambio (aumento o disminución) no depende de la forma en que se hace el cambio sino que depende solo de los estados inicial y final (no dependen del camino recorrido).
4	Fluido	Se dice de las sustancias en estado líquido o gaseoso, o sea que fluyen, se desplazan, se arrastran (Del lat. fluidus, fluere=deslizar e idus=percibir con los sentidos).
5	Suposiciones razonables	Simplificaciones que se introducen en la solución de problemas que no alteran en forma apreciable los resultados y menos sus consecuencias.
6	Volumen específico $v = V/m$	Volumen específico es el volumen de un sistema por unidad de masa (gr, lb, kg)
7	Volumen molar $v = V/n$	Volumen molar es el volumen de un sistema por mol de sustancia (mol-gr, mol-lb, mol-kg)
8	Densidad $\rho = m/V = 1/v$	Densidad es la masa de una sustancia por unidad de volumen (gr/cm <sup>3</sup> , lb/ft <sup>3</sup> )
9	$P_{rel} = P_{abs} - P_{atm}$	Presión en un sistema medido con respecto a la presión atmosférica, se le conoce también como presión manométrica; $P_{atm} \approx 1$ atm (nivel del mar)
10	$Vacio = P_{atm} - P_{abs}$	Es una medida de presión para presiones inferiores a la presión atmosférica, se mide en forma positiva desde $P_{atm}$ hacia "abajo"
11	Temperatura	La temperatura se puede considerar como una manifestación del estado energético de las moléculas de una sustancia, y que se percibe como "sensación de frío o de calor"

12	Temperatura absoluta	La temperatura más baja posible de alcanzar con los conocimientos actuales. A la temperatura de cero absoluto (kelvin o rankine) cesará el movimiento de las moléculas.
13	Ley Cero de la Termodinámica	"Cuando dos cuerpos tienen la misma temperatura que un tercer cuerpo, entonces esos tres cuerpos tienen igualdad de temperatura". Ley fundamental para el desarrollo de los termómetros.
14	Equilibrio termodinámico	Situación que logra un sistema si no experimenta cambios en sus variables intensivas cuando está sometido a ciertas condiciones que le imponen sus alrededores (está en equilibrio térmico y mecánico)
15	Trabajo PV	Forma de energía que se transfiere (o transmite) por la acción de una fuerza. Si la fuerza actúa en todas las direcciones (como cuando un cuerpo se expande) se llama trabajo PV
16	Proceso cerrado y proceso abierto	<i>Cerrado</i> : si no hay transferencia de materia entre el sistema termodinámico y los alrededores del sistema; <i>Abierto</i> : si hay transferencia de materia desde o hacia el sistema (o en ambos sentidos)
17	Proceso adiabático y no-adiabático	Si no hay transferencia de energía en forma de calor entre el sistema termodinámico y el exterior se dice que el sistema es adiabático. Si la hay se tiene sistema no adiabático
18	Proceso aislado	Si no hay transferencia de materia ni de energía entre el sistema termodinámico y el exterior se dice que el sistema es aislado
19	Sistema en estado estacionario	Si una propiedad o variable no varía con el tiempo, durante un proceso, se dice que el sistema está en estado estacionario con respecto a esa propiedad
20	Proceso isobárico	Proceso en el que la presión es constante durante todo el proceso
21	Proceso isotérmico	Proceso en el que la temperatura es constante durante todo el proceso
22	Proceso isocórico	Proceso en el que el volumen es constante durante todo el proceso (se llama también isovolumétrico)
23	Compresión de gases y líquidos	Disminución del volumen de un sistema. En ingeniería esta disminución se hace comúnmente por aumento de presión
24	Procesos reversibles	Un proceso causado por interacción con el ambiente en el que un sistema va de un estado 1 ( $P_1, T_1$ ) a un estado 2 ( $P_2, T_2$ ) y que una vez realizado, se puede regresar exactamente al estado inicial ( $P_1, T_1$ ) si la interacción es ejercida en sentido inverso.
25	Proceso cuasi estático	Proceso que se hace por etapas y en forma muy lenta, dando tiempo para que el sistema llegue al equilibrio en cada etapa
26	Unidades (de medida)	Cantidad definida de una magnitud dada, determinada por una ley o por un estándar establecido para ello (gr, min, litro). Un conjunto de unidades arbitrariamente definidas para determinadas aplicaciones constituye un Sistema de Unidades (sistema SI, métrico)
27	Factores de conversión	Son números por los que hay que, multiplicar o dividir una unidad para convertirla en otra. (min/hr)=60 es un factor de conversión para ir de (min) a (hr) o de (hr) a (min)
28	Mol	Es una unidad de masa y corresponde a la masa de $6.023 \cdot 10^{23}$ unidades elementales. La masa de un mol es la "masa molecular"
29	Masa molecular	Es la suma de las "masas atómicas" de todos los átomos en una molécula de una sustancia. Las unidades de masa molecular son (gr/mol-gr), (lb/mol-lb), (Kg/mol-Kg), etc.
30	Gas ideal	Es un modelo matemático que relaciona las variables presión, temperatura, volumen y número de moles, todas las variables se relacionan según la ecuación $PV=nRT$ o bien $Pv=RT$
31	Constante R	Es la llamada constante universal del gas ideal y corresponde a la constante de proporcionalidad en la relación entre $Pv$ y $T$ del gas ideal
32	Factor de Compresibilidad Z	Es una propiedad derivada y corresponde al término $Z= Pv/RT$
33	Entropía	La entropía es una propiedad termodinámica y es una función de estado: $ds = \delta q/T$ ; para un proceso reversible

## Píldoras docentes

Una píldora docente o píldora de aprendizaje es un *objeto reutilizable de aprendizaje*. Esto es una entidad digitalizada, que puede ser utilizada, reutilizada y referenciada en la Web y sirve como apoyo al aprendizaje. El formato común de una píldora consiste en una imagen tomada del PC (presentación de PowerPoint, pizarra electrónica u otros) y la imagen de vídeo del profesor o ponente en el mismo video. El contenido de una píldora viene en un trozo de video de máximo 15 minutos (usualmente menos de 10) y son objetos autónomos.

El producto final es una imagen en movimiento con una alta resolución que se compone del profesor, su voz y el programa utilizado conteniendo el material que se presenta y explica, incluidos los movimientos del puntero del ratón o de un puntero laser.



Hace un tiempo, y con apoyo de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) dentro del Programa de Cooperación Interuniversitaria e Investigación Científica entre España e Ibero América, proyecto B/021969/08, el autor y colegas de la universidad de Vigo en España desarrollaron un proyecto sobre uso de Tecnologías de la Información y Comunicación (TICs) dentro del que se incluía la elaboración de píldoras docentes. En el área de la Termodinámica el autor elaboró 18 píldoras docentes que incluyen la mayoría de los conceptos de este curso. Estas píldoras representan un real apoyo al aprendizaje, para reforzar conceptos o revisarlos cuando se necesiten. Las píldoras se encuentran en la Web y pueden ser libremente accesadas en la página de UVigoTV: <http://tv.uvigo.es/es/serial/526.html>

Tabla 1.3: Píldoras docentes en UVigoTV

Nº	Tema	(min:seg)
1	Magnitudes y unidades	8:50
2	El concepto de gas ideal	7:35
3	El mol y definiciones afines	6:44
4	El concepto de energía	9:12
5	Sistema termodinámico	9:42
6	Balance de materia	6:30
7	Tablas y diagramas	10:52
8	Ecuaciones de estado	10:54
9	Primera ley de la termodinámica	10:39
10	Aplicaciones de la primera ley	7:15
11	La entropía	7:27
12	Segunda ley de la termodinámica	14:20
13	Ciclo de Carnot	6:17
14	Sicrometría	9:35
15	Temperatura de bulbo húmedo	5:24
16	Calor de combustión	7:49
17	Reacciones de combustión	9:22
18	Temperatura teórica de llama	6:23

### Ejercicios con alternativas

1.- Sobre conceptos relacionados con "mol", se puede decir (solo una es correcta):

A	un mol-lb de agua es más cantidad que un mol-kg	D	todas las anteriores son verdaderas
B	la fracción molar es una unidad de concentración	E	Las tres primeras (A,B,C) son falsas
C	la masa molecular del agua (liq) es mayor que el del aire (gas)	F	ninguna

2.- Sobre el concepto de sistema, se puede decir (marque solo la verdadera):

A	Un proceso en un sistema cerrado es siempre transiente	D	un sistema no puede ser cerrado en estado estacionario
B	un sistema en que solo entra materia se puede considerar cerrado	E	en un sistema cerrado no puede entrar ni salir calor
C	Un sistema abierto no puede ser estacionario	F	en un sistema cerrado no puede entrar ni salir materia

3.- De las siguientes sentencias, marque la correcta

A	el trabajo y el calor de una sustancia dependen de la sustancia	D	La densidad de un gas que sigue el modelo $Pv=RT$ no depende de la presión
B	un gas ideal sólo existe a baja presión	E	el calor transferido en un proceso depende solo de la temperatura
C	la entropía para un gas a baja presión es cero	F	ninguna

4.- Sobre conceptos de calor se puede decir, desde el punto de vista termodinámico....

A	cuando un cuerpo recibe calor se expande	D	El calor es una función de estado
B	cuando un cuerpo entrega calor se contrae	E	cuando un cuerpo se comprime aumenta la presión
C	la (A) y la (B) son verdaderas	F	Todas las anteriores son falsas

5.- Un recipiente rígido contiene 1 m<sup>3</sup> de aire a la presión de 2 atm. (aprox. el doble de la presión atmosférica). Si se deja escapar el aire a través de un orificio que se hace en la base del recipiente, se puede decir que después de un tiempo largo...

A	a) sale todo el aire	D	no sale aire
B	b) sale aprox. la mitad (30 gr)	E	No se puede saber
C	c) salen 15 gramos	F	f) ninguna

6.- Un recipiente rígido contiene 60 Kg. de agua a 20 °C y 4.0 atm. Si se deja escapar el agua por un orificio en el fondo del recipiente, la cantidad de agua que puede salir es aprox.:

A	toda el agua (60 Kg)	D	la cuarta parte (15 Kg)
B	la mitad (30 Kg)	E	No se puede saber
C	No sale agua	F	ninguna

7.- En el informe del tiempo nos dicen que la presión ambiental en algún lugar de la tierra es 610 milibares. Lo más probable es que esto ocurra porque se trata de...

A	un lugar frío en el centro de la ciudad	D	un lugar en las montañas
B	un lugar en las profundidades del mar	E	Lo indicado no puede ocurrir
C	un día caluroso en el centro de la ciudad	F	ninguna

8.- De las siguientes sentencias, marque la correcta

A	un sistema en que solo entra materia se puede considerar cerrado	D	un sistema cerrado y adiabático estará siempre en estado estacionario
B	en un sistema no adiabático no entra ni sale energía	E	un sistema no puede ser cerrado en estado estacionario
C	el trabajo de empujar es negativo	F	ninguna

9.- La abuela usa la olla a presión para calentar agua pero no sabe exactamente porqué. Desde el punto de vista físico y termodinámico es porque

A	el agua se calienta más (a mayor temperatura)	D	la comida queda más sabrosa
B	el agua se calienta más rápido	E	No tiene explicación
C	entra más calor	F	ninguna