

## Anexo 1.2

### 1.2. Conceptos básicos

A continuación, se presentan los términos básicos que permitirán tener una mejor comprensión del estudio de la termodinámica y de los principios que la gobiernan. Se invita a descubrir cada concepto haciendo clic en cada cuadro.

#### 1.2.1. Sistema.

Es una porción o un área en el espacio (o universo) designada para ser estudiada por la termodinámica. Son ejemplo de sistema termodinámico nuestro cuerpo, el gas refrigerante de una nevera, la atmósfera, una célula, etc. Todo lo que no hace parte del sistema y que lo rodea se denomina **alrededores del sistema (entorno o ambiente)**. Al conjunto formado por el sistema y sus alrededores se le llama **universo termodinámico**.

La región que define o limita al sistema y lo separa de sus alrededores se denomina **frontera (o límite)**, que puede ser real o imaginaria. Permite los intercambios de materia, calor o trabajo entre el sistema y sus alrededores. Ahora bien, estos intercambios dependen de las condiciones de **presión y temperatura** en las que se encuentren tanto el sistema como el entorno. De acuerdo con los intercambios que permitan o que impidan, las fronteras se clasifican en:

- **Permeable:** permite intercambio de materia (masa).
- **Impermeable:** impide el flujo de materia.
- **Fijas (o rígidas):** aquellas que no admiten cambios en el volumen del sistema.
- **Móviles:** admiten variación del volumen. Se adapta a la geometría del sistema y a los cambios de volumen causados por la diferencia de presión entre el sistema y su entorno.
- **Diatérmicas:** son conductoras de calor. Al permitir el intercambio de energía en forma de calor, la temperatura del sistema se iguala a la temperatura de los alrededores.
- **Adiabáticas:** son aislantes y no permiten la transferencia de calor.

Según como el sistema interactúe con los alrededores, los sistemas se clasifican en sistema cerrado, abierto y aislado.

**Sistema cerrado:** es el sistema en el que la masa (materia) no varía. Su frontera admite el intercambio de energía (calor y trabajo) con sus alrededores pero no de materia. Se conoce también como **masa de control**.

**Sistema abierto:** es el sistema en el que hay intercambio de materia y de energía a través de su frontera con el entorno. Se conoce también como **volumen de control**. A través de la frontera es posible la transferencia de calor, trabajo y masa. En los sistemas abiertos, la frontera se denomina **superficie de control**.

**Sistema aislado:** es el sistema en el que no es posible la transferencia de masa ni de energía a través de la frontera con sus alrededores.

#### 1.2.2. Propiedades termodinámicas.

Son las características que definen el estado de un sistema. Entre estas propiedades se encuentran la masa, el volumen, la presión, la temperatura, la energía interna, la entropía, la entalpía, etc. Cabe destacar que el conjunto de propiedades termodinámicas que describe un sistema varía de acuerdo con la naturaleza del mismo. Otros términos utilizados para referirse a una propiedad son variable de estado y función de estado para referirse a una propiedad. Las propiedades termodinámicas se clasifican en *intensivas* y *extensivas*.

Las **propiedades intensivas** son aquellas que no dependen de la cantidad de masa o tamaño de un sistema. Hacen parte de este grupo la presión, la densidad, la temperatura, entre otras. Las propiedades intensivas se denotan con letras minúsculas, excepto la presión y la temperatura. El valor de una propiedad intensiva es el mismo en cada una de las partes (o subsistemas) del sistema.

Las **propiedades extensivas** son aquellas que dependen del tamaño o geometría de un sistema. Hacen parte de este grupo la masa total, la energía interna, el peso, el volumen, la viscosidad, entre otras. Estas propiedades se denotan con letras mayúsculas, excepto la masa  $m$ .

Las propiedades extensivas son aditivas. Si a un sistema lo componen varios subsistemas, el valor de una propiedad extensiva de todo el sistema es la suma de los valores de la propiedad en cada subsistema. Cuando las propiedades extensivas se expresan por unidad de masa, se denominan **propiedades específicas**, por ejemplo la energía total específica, el volumen específico, entre otras, que también se denotan con letras minúsculas.

Se invita a consultar los siguientes videos sobre propiedades intensivas y extensivas para complementar su estudio [https://www.youtube.com/watch?v=I\\_ILT-5JSIo&t=71s](https://www.youtube.com/watch?v=I_ILT-5JSIo&t=71s) y [https://www.youtube.com/watch?v=S7Hw\\_cB9k0M](https://www.youtube.com/watch?v=S7Hw_cB9k0M).

Las propiedades que se utilizan normalmente en termodinámica son la masa, la presión, la temperatura, el volumen, la energía interna, entalpía, entropía, entre otras. Veamos a continuación la definición de algunas.

- **Masa:** propiedad intrínseca que se refiere a la cantidad de sustancia contenida en un sistema. La masa en el Sistema Internacional se expresa en kilogramos (kg) o en número de moles (mol).
- **Volumen:** propiedad intrínseca que se refiere al espacio que ocupa la geometría del sistema. La unidad de volumen en el SI es el metro cúbico ( $m^3$ ).
- **Densidad:** es la cantidad de masa por unidad de volumen de un sistema. La unidad de densidad en el SI es el  $kg/m^3$ .
- **Volumen específico:** es la relación de volumen por unidad de masa. Se expresa en  $m^3/kg$  y es el inverso de la densidad.
- **Peso específico:** es el peso por unidad de volumen. El peso es una fuerza, resultado del producto de la masa por la aceleración de la gravedad, cuya unidad es el Newton, por lo tanto el peso específico se expresa en  $N/m^3$ .
- **Presión:** es la fuerza perpendicular que ejerce un gas, líquido o sólido sobre una unidad de superficie (área). En el SI se expresa en pascales (Pa). En termodinámica frecuentemente se utilizan los múltiplos del pascal kilopascal (kPa) y Megapascal (MPa).

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

La unidad de presión que se utiliza en el sistema inglés es la libra fuerza por pulgada cuadrada (lbf/pulg<sup>2</sup>, o psi). Otras unidades de presión son bar, atmósfera (atm) y kilogramo fuerza por centímetro cuadrado (kgf/cm<sup>2</sup>).

Existen la presión absoluta y la presión manométrica. La presión absoluta es la presión real que se ejerce en cierto punto, medida con referencia al cero absoluto de presión. Siempre es positiva. La presión manométrica es la diferencia entre la presión absoluta y la presión atmosférica, y puede ser positiva o negativa. Si es positiva, la presión del sistema es mayor que la presión atmosférica. En el caso contrario, aquellas presiones menores que la atmosférica, se llaman presiones de vacío.

Así pues,

$$\begin{aligned} P_{\text{manométrica}} &= P_{\text{abs}} - P_{\text{atm}} \\ P_{\text{vacío}} &= P_{\text{atm}} - P_{\text{abs}} \end{aligned}$$

En un líquido expuesto a la atmósfera, que se encuentra a una profundidad  $h$  desde la superficie libre, las presiones absoluta y manométrica están dadas por:

$$P = P_{\text{atm}} + \rho gh \text{ o } P_{\text{manométrica}} = \rho gh$$

Para medir la presión se utilizan diversos tipos de instrumentos. Los más comunes son manómetro, tubo de Bourdon y transductor de presión. En el caso de la presión atmosférica, se utiliza el barómetro, de ahí que a la presión atmosférica también se conoce como presión barométrica, que está dada por:

$$P_{\text{atm}} = \rho gh, \text{ siendo } h \text{ la altura del líquido de la columna}$$

Te invitamos a complementar tu estudio de la presión en el video que se encuentra disponible en el siguiente enlace [https://www.youtube.com/watch?v=4usW6kB\\_QBI](https://www.youtube.com/watch?v=4usW6kB_QBI).

- **Temperatura:** es una propiedad relacionada con el movimiento de las moléculas que conforman un sistema termodinámico. Este movimiento también se conoce como energía cinética. A mayor movimiento de las moléculas del sistema, mayor será su temperatura.

Cuando utilizamos los términos caliente, tibio y frío, nos referimos al nivel de temperatura de un cuerpo o sistema de una manera cualitativa. Sin embargo, a estas sensaciones no se le pueden asignar valores numéricos. Ahora bien, la temperatura se puede medir a partir del comportamiento de otras propiedades con respecto a esta, como ocurre por ejemplo en los termómetros de mercurio, en donde el mercurio se expande debido a la temperatura. También se puede medir la temperatura cuando hay transmisión de energía entre dos cuerpos que están a distinta temperatura, que, en otras palabras, significa apoyarse en la Ley cero de la termodinámica.

**Escala de temperatura:** en el SI la escala más utilizada es la escala Celsius. En el sistema inglés la escala habitual es la escala Fahrenheit. En la primera, los valores de punto de hielo y de ebullición del agua y puntos de hielo son 0 y 100 °C, respectivamente. Mientras que en el sistema inglés los valores son 32 y 212 °F. También se tienen las escalas de temperatura termodinámica, que son la escala Kelvin en el SI, y la escala Rankine en el sistema inglés.

La relación entre la escala Kelvin y la Celsius, y entre la escala Rankine y Fahrenheit, corresponde a las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} T(\text{K}) &= T(^{\circ}\text{C}) + 273.15 \\ T(\text{R}) &= T(^{\circ}\text{F}) + 459.67 \end{aligned}$$

La variación de 1 K y 1 °C son idénticas, similar que en la división de 1 R y 1 °F. Por lo tanto,

$$\Delta T(\text{K}) = \Delta T(^{\circ}\text{C}) \text{ y } \Delta T(\text{R}) = \Delta T(^{\circ}\text{F})$$

Las escalas de temperatura en ambos sistemas de unidades se relacionan mediante:

$$\begin{aligned} T(\text{R}) &= 1.8 T(\text{K}) \\ T(^{\circ}\text{F}) &= 1.8 T(^{\circ}\text{C}) + 32 \end{aligned}$$

Para conocer las equivalencias entre unidades de masa, volumen, densidad, presión, temperatura, entre otras, referirse a la tabla X en el numeral 1.1.4, del Anexo Tema 1. Te invitamos a conocer más acerca de la temperatura en el video que se encuentra disponible en el siguiente enlace <https://www.youtube.com/watch?v=7CMxhrSXaQ>.

**Función de estado:** es una propiedad de un sistema termodinámico que depende sólo del estado del sistema, y no de la forma en que el sistema llegó a dicho estado. Por ejemplo, la energía interna y la entropía son funciones de estado.

### 1.2.3. Estado

Es la condición en la que el conjunto de propiedades que caracterizan un sistema se miden o calculan, adoptando valores fijos que definen al sistema en un determinado momento. Al cambiar dichos valores, cambia también el estado del sistema. En la siguiente figura se observa un sistema en dos estados diferentes, 1 y 2. En el siguiente video puedes complementar los conocimientos sobre estado termodinámico <https://www.youtube.com/watch?v=ytGWjMDqEY8>

**Estado de equilibrio:** un sistema está en equilibrio cuando sus propiedades permanecen constantes en el tiempo. Este equilibrio se puede observar cuando el sistema está aislado de su entorno. A partir de interacciones del sistema con el entorno puede haber equilibrio térmico, mecánico, químico, entre otros. Las propiedades termodinámicas definen el estado de un sistema cuando el sistema se encuentra en equilibrio. Un sistema está en equilibrio termodinámico cuando se cumplen todos los siguientes criterios de equilibrios parciales.

- **Equilibrio térmico:** la temperatura es uniforme en todo el sistema. No hay diferencias de temperatura. En el caso de un sistema con frontera diatérmica, la temperatura del sistema es igual a la temperatura de los alrededores.
- **Equilibrio mecánico:** la presión está definida y tiene el mismo valor en todos los puntos del sistema. No hay diferencias de presión (o fuerzas). En el caso de un sistema con frontera móvil, la presión del sistema es igual a la presión de los alrededores.
- **Equilibrio químico:** la composición química no varía y es igual en todos los puntos del sistema.

**Postulado de estado:** enuncia que se necesitan dos propiedades para definir el estado de cualquier sustancia pura en equilibrio

*“El estado de un sistema compresible simple se especifica por completo mediante dos propiedades intensivas independientes.”* (Çengel y Boles, 2015, p.14)

La expresión “sistema compresible” se refiere a que no está influenciado por efectos debidos a fuerzas externas (eléctricos, gravitacionales, de movimiento, entre otros.). Así pues, i se van a considerar los efectos gravitacionales, por ejemplo, se requiere especificar la elevación  $z$  además de las dos propiedades necesarias para fijar el estado.

### 1.2.4. Procesos y ciclos.

Un proceso termodinámico es el cambio de estado de equilibrio de un sistema, desde un estado inicial hasta un estado final. Este cambio es producto de la variación en una o varias propiedades del sistema debido a alguna interacción con los alrededores, que conlleva a su transformación. La secuencia de cambios de estado que experimenta el sistema durante el proceso se llama **trayectoria** o ruta del proceso.