

Capítulo 1

Conceptos básicos

1.1. Indique si los siguientes sistemas son aislados, cerrados o abiertos: a) Gas que se expande en un cilindro provisto de un pistón. b) Caldera de una máquina térmica. c) Cohete. d) Vaso termo cerrado y lleno de agua caliente. e) Planta desaladora de agua de mar. f) Galaxia celeste.

SOLUCIÓN:

a) Cerrado. La masa del sistema permanece la misma y constante en el tiempo. En principio, sin más información, el sistema puede interactuar mecánica y térmicamente, por lo que el sistema es cerrado.

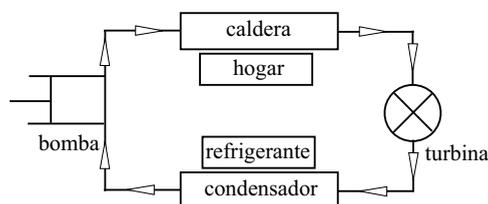
b) Abierto. En la figura adjunta se muestra un esquema de una máquina térmica. La caldera es una parte de ella e intercambia masa (entra y sale masa de ella), luego es un sistema abierto.

c) Abierto. En el cohete el combustible se quema y los gases de la combustión se expulsan al exterior, en consecuencia la masa del cohete cambia (disminuye) en el tiempo y el sistema es abierto.

d) Aislado. La masa del sistema no cambia en el tiempo siendo siempre la misma (no existe interacción material), las paredes del sistema son adiabáticas fijas e indeformables impidiendo las interacciones mecánica y térmica, luego el sistema es aislado.

e) Abierto. En la planta desaladora entra el agua salada y sale agua potable y salmuera, luego hay interacción material y el sistema es abierto.

f) Abierto. Las galaxias son organizaciones diferentes de estrellas, gas, polvo y partículas (también materia oscura, aún no detectada experimentalmente). Entre las galaxias y dentro de ellas existe la interacción gravitatoria, que es de largo alcance y baja intensidad, que no se puede apantallar. Por tanto, una galaxia no es un sistema aislado pues interactúa gravitacionalmente con otros. Hay



Esquema de una máquina térmica (problema 1.1).

galaxias que intercambian materia entre sí y en tal caso son sistemas abiertos. En el caso de que no intercambien materia serían sistemas cerrados.

Hay que subrayar que los sistemas con interacción de largo alcance no se pueden estudiar dentro del marco de la Termodinámica clásica, fundamentalmente debido a que los postulados de aditividad de la energía interna y de la entropía no se cumplen. Desde hace unos años estos sistemas se estudian dentro de la denominada Termodinámica no-extensiva (véase la Ref. [7] del Capítulo 4, pág. 154, del libro de teoría).

1.2. Indique si los siguientes sistemas son homogéneos, heterogéneos o continuos: a) Vaso de agua líquida. b) Vaso de agua con hielo. c) Disolución acuosa saturada de NaCl. d) Atmósfera terrestre.

SOLUCIÓN:

a) Homogéneo. El agua líquida contenida en el vaso tiene propiedades físicas que son independientes de la posición (invariantes traslacionales del sistema de referencia), por tanto, el agua dentro del vaso es un sistema abierto homogéneo.

b) Heterogéneo. El agua líquida y el hielo de agua son dos porciones homogéneas de un sistema (bifásico), luego el sistema es heterogéneo.

c) Heterogéneo. En este caso existe la disolución acuosa saturada de NaCl, que forma una porción homogénea (fase) y, posiblemente, exista un precipitado de NaCl que forma otra porción homogénea (fase) cristalina, luego el sistema es heterogéneo.

d) Continuo. La atmósfera terrestre tiene propiedades físicas (densidad, presión, composición, etc.) que varían con la altura de manera continua, por lo que es un sistema continuo.

1.3. Indique si los siguientes procesos son o no estacionarios: a) Precipitación de una sal en el seno de un disolvente. b) Flujo de calor a través de una barra metálica aislada entre cuyos extremos se establece una diferencia de temperaturas constante.

SOLUCIÓN:

a) Fenómeno transitorio (no estacionario). La velocidad de precipitación (masa que precipita en la unidad de tiempo) no es constante, luego el proceso no es estacionario.

b) Estacionario. Establecida la diferencia de temperaturas entre los extremos de la barra, al cabo de un cierto tiempo las propiedades físicas de la barra (dependientes de su posición en la barra) se hacen constantes en el tiempo y, entonces, el proceso es estacionario (independiente del tiempo).

1.4. Diga razonadamente si son ciertas o falsas las siguientes afirmaciones: a) Un sistema cerrado es un sistema de volumen constante. b) Un sistema abierto es el que evoluciona desde un estado inicial a otro final con valores distintos de sus variables de estado. c) Un sistema aislado no intercambia ni materia ni energía con su medio.

SOLUCIÓN:

a) Falsa. La constancia de volumen no es condición para que un sistema sea cerrado.

b) Falsa. Para que un sistema sea abierto sólo es necesario que intercambie masa con su medio. En el presente caso hay un cambio de estado pero no se puede afirmar que el sistema cambie masa con su medio.

c) Cierta. Se está dando una definición correcta de sistema aislado.

1.5. Cite varias propiedades macroscópicas de cuyo estudio se ocupe la Termodinámica y otras microscópicas que son objeto de la Teoría Cinética y la Mecánica Estadística.

SOLUCIÓN:

Termodinámica: la masa del sistema, su composición, la presión, el volumen, los campos \mathcal{P} y \mathcal{M} , la temperatura, etc.

Teoría Cinética y Mecánica Estadística: número de partículas, su masa, su momento lineal, su energía, los campos de fuerza entre las partículas, etc.

La Teoría Cinética se ocupa de los detalles de los movimientos de las partículas y de sus choques o colisiones. La Mecánica Estadística con su tratamiento microscópico evita los detalles concretos de los movimientos de las partículas que forman el sistema y se ocupa fundamentalmente de los aspectos energéticos de dichas partículas. En cambio la Termodinámica trata de encontrar las relaciones generales macroscópicas entre las magnitudes físicas que pertenecen al sistema y que sean compatibles con sus principios.

1.6. Indique el carácter extensivo o intensivo de las siguientes variables: índice de refracción de un cristal, longitud de un alambre, tensión superficial del agua, energía electromagnética contenida en una cavidad, capacidad calorífica de un sólido.

SOLUCIÓN:

Índice de refracción: intensivo, al ser independiente del tamaño de la muestra.

Longitud de un alambre: extensivo, duplicando el sistema en las mismas condiciones se duplica su longitud.

Tensión superficial: intensivo, al no depender del tamaño de la superficie.

Energía electromagnética contenida en una cavidad: extensivo, ya que es directamente proporcional al volumen de la cavidad. Por tanto, cambiando el volumen en un factor λ , la energía electromagnética cambia en el mismo factor ($U = aVT^4$).

Capacidad calorífica de un sólido: extensivo, pues es proporcional a la masa (moles) del sólido de forma que modificando la masa (o los moles) la capacidad calorífica cambia en la misma proporción.

1.7. Considere un sistema aislado compuesto por dos subsistemas separados por una pared. Indique en qué condiciones se produce el equilibrio entre los dos subsistemas si la pared separadora es: a) fija y diatérmica, b) móvil y diatérmica, c) fija y adiabática, y d) móvil y adiabática.

SOLUCIÓN:

a) Fija y diatérmica. Sólo hay interacción térmica, luego el equilibrio que se alcanza es el equilibrio térmico (y, por tanto, la igualdad de temperaturas).

b) Móvil y diatérmica. Hay interacciones mecánica y térmica, alcanzándose los equilibrios mecánico y térmico (igualdad de presiones y temperaturas).

c) Fija y adiabática. No hay posibilidad de interacción, el sistema aislado está formado por dos subsistemas aislados entre sí, entre los que no puede establecerse ningún tipo de equilibrio.

d) Móvil y adiabática. Sólo puede existir interacción mecánica, lo que lleva a la igualdad de las presiones de los dos subsistemas (véase para un tratamiento termodinámico de dicha situación el problema del *pistón adiabático*, pág. 280 del libro de teoría).

1.8. Repase las definiciones de las siguientes palabras: sistema, estado, magnitud física, cambio de estado, proceso, medio y sus clases, proceso cuasiestático y sus clases.

SOLUCIÓN:

Lea y escriba las definiciones que aparecen en el Capítulo 1 del libro de teoría.

1.9. ¿Qué es un sistema continuo? ¿Qué es un gas ideal? ¿Qué significa físicamente la palabra presión? ¿Qué es un mol?

SOLUCIÓN:

Sistema continuo. Es aquel cuyas propiedades físicas varían de forma continua con la posición en el espacio que ocupa.

Gas ideal. Macroscópicamente es un modelo de comportamiento de los gases reales a bajas presiones (gases diluidos) y cuya ecuación empírica de estado es $PV = nRT$. Microscópicamente es un sistema formado por N partículas puntuales con hamiltoniano

$$\mathcal{H} = E_c + E_p,$$

siendo $E_c = \sum_{k=1}^N \vec{p}_k^2$ su energía cinética, \vec{p}_k el momento lineal de la partícula k , y $E_p \ll E_c$ la energía potencial de interacción, de corto alcance, de las partículas que forman el sistema (la existencia de E_p es necesaria para que se alcance la distribución de equilibrio o termalización).

Presión. Es una fuerza por unidad de área. En un sistema isótropo la presión es un escalar. En general, la presión es un tensor de nueve componentes en un sistema de referencia (tensor de segundo orden).

Mol. Unidad de cantidad de sustancia. Es la cantidad de sustancia de un sistema que contiene tantas entidades elementales, que hay que especificar (átomos, moléculas, electrones, iones, etc.), como átomos hay en 0,012 kg de ^{12}C , no ligados, en reposo y en su estado fundamental. (En el BOE del 18 de febrero de 2010, nº 42, págs. 14880-14891, se encuentran las unidades legales de medida en España. El mol entre ellas.)

1.10. ¿Qué tipo de sistema es 1 m³ de aire de una habitación? ¿Y el agua que ocupa la mitad de una botella de plástico provista de un tapón?

SOLUCIÓN:

Un metro cúbico de aire de una habitación es un sistema abierto ya que puede entrar y salir masa del mismo sin que exista ninguna pared que lo impida.

El agua líquida contenida en la mitad de una botella cerrada es un sistema abierto, ya que puede ganar o perder agua líquida por condensación o evaporación de vapor de agua. Sin embargo, el contenido de la botella es un sistema cerrado (no puede ganar ni perder masa) bifásico (agua líquida más vapor de agua y aire).

1.11. ¿Qué condiciones tiene que cumplir un cilindro provisto de un pistón en cuyo interior hay un gas para que sea un sistema aislado?

SOLUCIÓN:

El cilindro y el pistón deben ser adiabáticos para que no exista interacción térmica entre el sistema (el gas) y su medio (lo que rodea al cilindro). Además, el pistón debe estar fijo y ser indeformable para evitar la interacción mecánica del gas con su medio (o exterior). Por último, tanto el cilindro como el pistón deben ser impermeables a la materia para que no salga (ni entre materia desde el) al exterior, impidiéndose así la interacción material entre el gas y su medio.