

# TEMA-01: CONCEPTOS BÁSICOS Y DEFINICIONES

## 1.1 TERMODINÁMICA CLÁSICA

- 1.1.1 Objeto de la Termodinámica Clásica
- 1.1.2 Sistema macroscópico. Contornos. Entornos

## 1.2 PROPIEDADES Y ESTADO DE UN SISTEMA

- 1.2.1 Propiedades y Estado de un sistema
- 1.2.2 Variables y Funciones de estado
- 1.2.3 Clasificación de las propiedades termodinámicas de un sistema
- 1.2.4 Estado de Equilibrio

## 1.3 PROCESO TERMODINÁMICO

- 1.3.1 Clasificación de los procesos según la sucesión de estados
- 1.3.2 Clasificación de los procesos según la reversibilidad

## 1.4 VARIABLES DE LA ECUACIÓN DE ESTADO TÉRMICA

- 1.4.1 Volumen (V)
- 1.4.2 Presión (P)
- 1.4.3 Temperatura (T)

## 1.5 SINOPSIS

# 1.1 TERMODINÁMICA CLÁSICA

## 1.1.1 Objeto de la Termodinámica Clásica

### Termodinámica:

es la rama de la Física que estudia la energía y su calidad, o bien: las transformaciones de la energía y las transferencias de esta, es decir las interrelaciones entre: trabajo, calor y temperatura.

Dos enfoques:

- a/ Termodinámica Clásica: ignora la estructura molecular de la materia y sólo considera las propiedades macroscópicas (observables). Los postulados en los que se apoya sintetizan el comportamiento físico real, obtenido por "comprobación experimental". (nos centraremos en este enfoque)
- b/ Termodinámica Estadística: estudia el comportamiento molecular de la materia y enlaza el mundo microscópico con el macroscópico, clarificando sus interrelaciones y dando un punto de vista diferente de los Principios y conceptos de la Termodinámica, muy especialmente del Tercer Principio, cuyo contenido resulta mucho más claro bajo este enfoque. Veremos sólo una breve introducción en el Tema-12.

Desde el punto de vista ingenieril, la Termodinámica sirve para tres cosas:

- 1º/ plantear balances de energía (Primer Principio)
- 2º/ estudiar la calidad de la energía (Segundo Principio)
- 3º/ aprender a calcular las propiedades termodinámicas

**Sistemas de partículas:** a la ingeniería le interesa estudiar sistemas formados por un gran  $n^{\circ}$  de partículas (ya sean gases, líquidos o sólidos) y su interacción con su entorno.

**Método termodinámico:** se adopta un enfoque macroscópico para el estudio de los fenómenos:

- no interesa estructura molecular de la materia → resultados generalizables.
- objetivo: establecer relaciones entre magnitudes macroscópicas observables y medibles:  $T, P, V$ , etc.
- se trata de un  $n^{\circ}$  pequeño de magnitudes, que son sugeridas por nuestros sentidos.

## 1.1.2 Sistema macroscópico. Contornos. Entornos

### ■ SISTEMA:

- es cualquier cantidad de materia continua (o región del espacio) sometida a estudio.

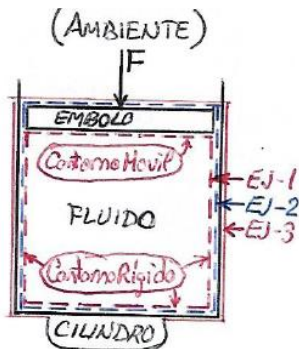
### ■ CONTORNO (o frontera):

- es la superficie que separa al sistema del resto del universo.

- pueden ser:
  - s/ físicamente:
    - a/ reales
    - b/ imaginarias (virtuales)
  - s/ sistema de referencia:
    - a/ fijos o móviles
    - b/ deformables o indeformables (rígidos)
  - s/ permeabilidad a la materia:
    - a/ permeable (si permite el paso de materia)
    - b/ impermeable (no permite el paso de materia)
  - s/ tipo de interacción con ext.:
    - a/ adiabáticos (sólo permite interacciones tipo trabajo)
    - b/ diatérmicos (permite interacciones tipo calor)

### ■ ENTORNO (o exterior, o alrededores):

- es la parte del universo no sometida a estudio, está fuera del contorno del sistema e interacciona con él.



Ejemplo-1: Sistema: Fluido (sistema simple)

Entorno: Cilindro + Embolo

Ejemplo-2: Sistema: Fluido + Embolo (sistema compuesto)

Entorno: Cilindro + "F" + Ambiente

Ejemplo-3: Sistema: Fluido + Embolo + Cilindro (sistema compuesto)

Entorno: "F" + Ambiente

### ■ UNIVERSO (TÉRMICO):

- es el conjunto "sistema + entorno, incluyendo el ambiente", por lo que no tiene posibilidad de intercambiar calor con ningún otro sistema (ya que no hay nada más allá del ambiente)

### ■ TIPOS DE SISTEMAS:

- s/ contorno:
  - sist. **Simple** → sólo existe una única superficie envolvente
  - sist. **Compuesto** → admite particiones y varias superficies envolventes
- s/ masa:
  - sist. **Cerrado** (o Masa de Control) → no intercambia masa con su entorno ⇒  $m = cte$
  - sist. **Abierto** (o Vol. de Control) → si intercambia masa con su entorno
- s/ energía:
  - sist. **Adiabático** → solo intercambia trabajo con su entorno ⇒  $Q = 0$
  - sist. **Diatérmano** → intercambia calor con su entorno (con o sin trabajo)
  - sist. **Aislado** → no interacciona con su entorno (ni masa, ni energía) ⇒  $m = cte$   
 $Q = W = 0$
- s/ homogeneidad de las propiedades físico-químicas:
  - sist. **Homogéneo** → las propiedades son uniformes (no varían o, lo hacen de modo continuo de un pto. a otro)
  - sist. **Heterogéneo** → las propiedades presentan fuertes gradientes  
**Fase:** cada parte homogénea de un sist. heterogéneo

## 1.2 PROPIEDADES Y ESTADO DE UN SISTEMA

### 1.2.1 Propiedades y Estado de un sistema

■ **Propiedad termodinámica de un sistema:**

- es toda característica macroscópica de un sistema, medible directa o indirectamente (a la que se le puede asignar un valor numérico en un cierto instante), independientemente de las causas que la originaron (ej.: volumen, presión, temperatura, masa, etc.)
- “es una magnitud física/química cuyo cambio de valor entre dos estados de un sistema no depende del proceso o camino seguido”
- si "Y" es una propiedad  $\Rightarrow$  existe diferencial exacta  $\rightarrow dY$
- si "Z" no es una propiedad  $\Rightarrow$  no existe diferencial exacta  $\rightarrow \delta Z$
- ejemplos:  $P, T, V, v_m = \frac{V}{m}, v_n = \frac{V}{n}, \rho = \frac{1}{v_m}, U, H, S, B, A, G, etc$

■ **Estado de un sistema:**

- es el conjunto de valores de las propiedades, que lo determinan en un instante dado.
- para determinar el estado de un sistema basta conocer un número reducido de propiedades del sistema, llamadas “variables de estado”

### 1.2.2 Variables y Funciones de Estado

■ **Variables de estado:**  $X_i (i = 1, 2, \dots, k)$

- número mínimo de propiedades con las que se puede determinar el estado de un sistema.
- con ellas se pueden calcular las demás propiedades, denominadas “funciones de estado”
- “Grados de libertad”: nº mínimo de variables de estado que definen el estado de un sistema.
- “Postulado de Estado”: define el nº grados de libertad del sistema
- “Regla de las fases”: sirve para calcular el nº grados libertad de un sistema (ver Tema-18):

$$L = C + 2 - F - R - R' \quad [-] \quad \left| \begin{array}{l} L = \text{grados de libertad (nº variables intensivas independientes)} \\ C = \text{nº de componentes} \\ F = \text{nº fases} \\ R = \text{nº de reacciones químicas} \\ R' = \text{nº de relaciones entre variables intensivas} \end{array} \right. \quad (1.1)$$

- **Sistemas homogéneos**  $\rightarrow C = 1; F = 1; R = 0; R' = 0 \Rightarrow L = 2 \quad (1.2)$

■ **Ecuaciones de estado:** relaciones para obtener funciones de estado a partir de variables de estado.

■ **Funciones de estado:**  $Y_i = F(X_i) \rightarrow i = 1, 2, \dots, k$

- son el resto de propiedades de estado que pueden obtenerse a partir de las variables de estado.
- son propiedades y por tanto funciones de punto, es decir cumplen (ver: ANEXO E.1):

a/ existe diferencial exacta  $\rightarrow dY = \sum_{i=1}^{i=k} \frac{\partial Y}{\partial X_i} \cdot dX_i \quad (1.3)$

b/ teorema de Schwarz (igualdad derivadas cruzadas)  $\rightarrow \frac{\partial^2 Y}{\partial X_i \partial X_j} = \frac{\partial^2 Y}{\partial X_j \partial X_i} \quad (1.4)$

c/ la integral entre dos puntos  $\rightarrow \int_1^2 dY = Y_2 - Y_1$  (1.5)

d/ la variación entre dos estados es indep. del camino  $\rightarrow \int_1^\alpha dY + \int_\alpha^2 dY = Y_2 - Y_1 ; \forall \alpha$  (1.6)

e/ la integral cíclica es nula (línea cerrada)  $\rightarrow \oint dY = 0$  (1.7)

**Nota:** si  $Y$  no fuera función de estado (es decir: si su valor en cada pto. dependiera de la trayectoria seguida para alcanzarlo):

- no se cumplirían: (1.3), ..., (1.7)
- su integración dependerá de la trayectoria seguida (integral de línea)
- para representar un cambio diferencial de una magnitud  $Y$  que no es función de estado se usa  $\delta Y$  (en lugar de:  $dY$ ), que indica que: "no es una diferencial exacta"

### 1.2.3 Clasificación de las Propiedades Termodinámicas

**a/ Propiedades intensivas:** (en minúsculas, excepto: la temperatura " $T$ " y la presión " $P$ ")

- no dependen de la cantidad de materia en el sistema ( $T, P, \rho, \text{composición química, etc.}$ )
- pueden ser función del tiempo y de la posición (definida mediante coordenadas espaciales)

**b/ Propiedades extensivas:** (en mayúsculas, excepto: la masa " $m$ " y el número de moles " $n$ ")

- dependen directamente de la cantidad de materia en el sistema  $\rightarrow (m, n, V, U, H, S, A, G, B, \text{etc.})$

- son aditivas:  $Y_{\text{sistema compuesto}} = \sum Y_{\text{subsistemas}}$  (1.8)

- pueden ser función del tiempo (sólo)

**c/ Propiedades específicas:** (en minúsculas)

- son propiedades intensivas, que se obtienen al dividir las propiedades extensivas por la cantidad de materia de la sustancia, expresada esta: bien como la masa " $m$ " o bien, como el número de moles " $n$ "  $\rightarrow (v, u, h, s, a, g, b, \text{etc.})$
- se usan ya que en Termodinámica se suele estudiar las transformaciones por unidad de materia.

### 1.2.4 Estado de Equilibrio

■ **Postulado básico de la Termodinámica:** "todo sistema aislado alcanza espontáneamente un único estado de equilibrio".

■ **Estado de equilibrio:**

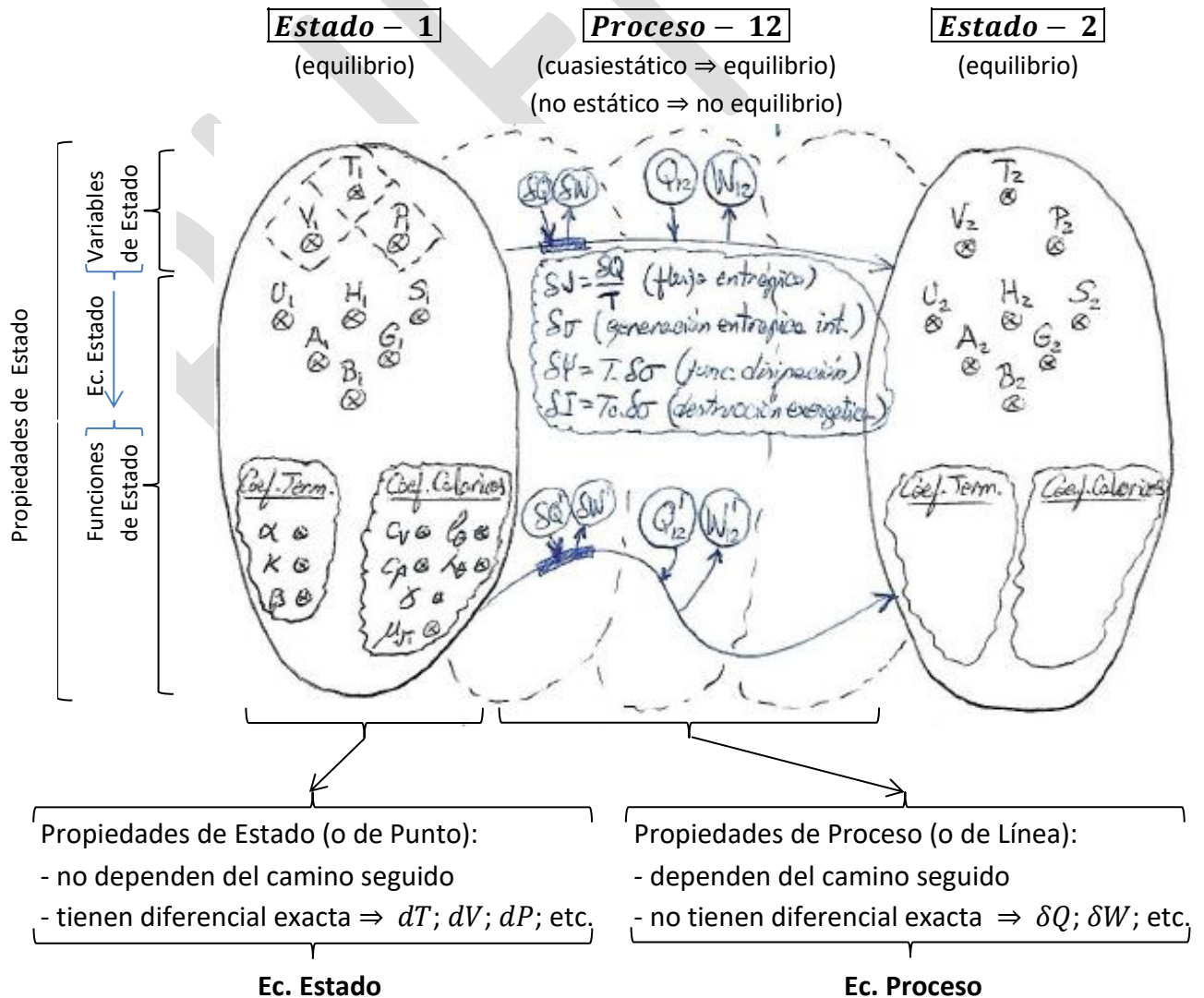
- un sistema está en "estado de equilibrio termodinámico" si al aislarlo de su entorno no se observa cambio en los valores de ninguna de sus propiedades termodinámicas.
- equilibrio termodinámico  $\Rightarrow$  equilibrios: mecánico, térmico, químico, de fases (sist. heterogéneos)
- en el equilibrio  $T$  es uniforme en todo el sistema y  $P$  también (en ausencia de campos de fuerzas), por lo que en el equilibrio, no hay variaciones temporales ni espaciales de las propiedades de estado del sistema y se pueden aplicar cualquiera de las ecuaciones de estado.
- "solo tiene sentido hablar de propiedades del sistema, si este se encuentra en equilibrio"
- "solo tiene sentido hablar de ecuaciones de estado, si este se encuentra en equilibrio"
- sin embargo, a la ingeniería le interesan los "procesos" (que son situaciones de no equilibrio), lo que se resuelve en ciertas ocasiones asimilando dichos procesos como "cuasiestáticos".

# 1.3 PROCESO TERMODINÁMICO

## ■ PROCESO TERMODINÁMICO:

- sucede cuando un sistema cerrado que está en un estado de equilibrio, sufre una alteración de su contorno o bien, una interacción energética con su entorno, que provoca un cambio continuado del valor de las propiedades del sistema.
- en todo proceso:
  - a/ se produce una variación del estado del sistema.
  - b/ el sistema pasa por una sucesión de estados en el transcurso del mismo.
  - c/ se produce una interacción sistema-entorno (o entre subsistemas), que viene medida por un conjunto de magnitudes físicas que no son funciones de estado (o de punto) sino funciones de proceso (o de línea), ya que dependen de la forma concreta de generar la sucesión de estados, es decir: dependen del camino seguido en el proceso (calor, trabajo, etc.)

<b>EQUILIBRIO:</b>	- propiedades de estado definidas - se pueden aplicar las ec. de estado
<b>NO EQUILIBRIO:</b>	- propiedades de estado no definidas - no se pueden aplicar las ec. de estado



### 1.3.1 Clasificación de los Procesos según la sucesión de estados

**a/ PROCESO CUASIESTÁTICO:** (son procesos lentos)

- en todo instante del proceso, las variables de estado del sistema están definidas (se conocen) y toman valores uniformes a lo largo del sistema, representando el proceso una **sucesión continua de estados, muy próximos al equilibrio, e infinitamente próximos entre sí.**
- en estos procesos, las diferencias entre las variables intensivas del sistema y de su entorno y/o los gradientes interiores al sistema, que inducen el proceso, deben ser pequeños.

Definiciones:

- **Proceso de relajación:** el sistema pasa de un estado de no equilibrio a un estado de equilibrio.
- **Tiempo de relajación “ $\tau_y$ ” de una variable “y”:** tiempo necesario para que “y” tome un valor uniforme a lo largo de todo el sistema (es decir, adopte un nuevo equilibrio).
- **Tiempo de proceso “ $t_p$ ”:** tiempo empleado en completar el proceso desde el estado inicial al final.
  - un proceso es cuasiestático si:  $\forall y$  (var. de estado)  $\rightarrow \tau_y \ll t_p$  (nos dirán que es un proceso lento)
  - en la mayoría de procesos:  $\tau_p \ll \tau_T$  (tiempos de relajación de las variables: presión y temperatura)
    - a/  $\tau_p \ll \tau_T \ll t_p \rightarrow$  proc. cuasiestático en  $P$  y  $T \rightarrow$  típico en “proc. lentos” (lo dirán)
    - $\rightarrow$  sabiendo 2 prop. podemos fijar el resto
    - b/  $\tau_p \ll \tau_T \approx t_p \rightarrow$  proc. cuasiestático en  $P$  (uniforme)
    - proc. no-estático en  $T$  (no uniforme)

- Ejemplo:

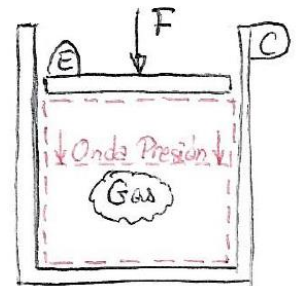
$L_c$  = longitud característica del sistema

$c$  = velocidad local del sonido (veloc. relajación de la variable presión)

Para que el proceso sea cuasiestático en presiones:

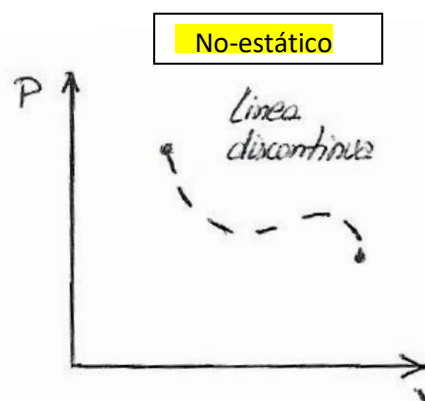
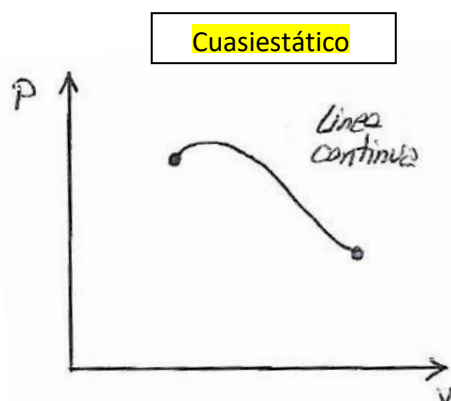
*vel. proceso*  $\ll$  *vel. relajación de la variable presión ( $c$ )*

$$\Rightarrow \frac{L_c/t_p}{L_c/\tau_{presion}} \approx \frac{v_p}{c_{local}} \ll 1$$



**b/ PROCESO NO ESTÁTICO:**

- no se dan las condiciones anteriores por lo que el sistema está muy alejado del equilibrio.
- no están definidas las variables ni funciones de estado en todo instante a lo largo del proceso.
- no se pueden aplicar las ecuaciones de estado.
- no son representables en los diagramas termodinámicos, excepto sus extremos, si suponemos que estos son estados de equilibrio.



### 1.3.2 Clasificación de los Procesos según la reversibilidad

**a/ PROCESO REVERSIBLE:**

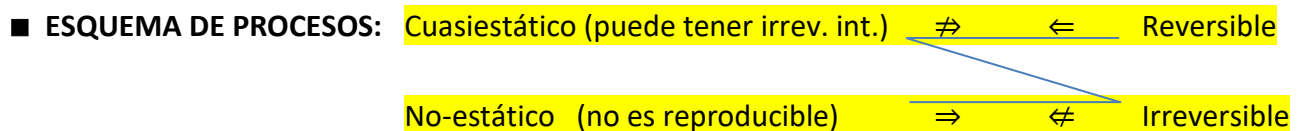
- **es reproducible:** al invertir su sentido, el sistema pasa por cada uno de los estados anteriores.
- **es restitutorio:** el sistema y entorno pueden ser devueltos, en cualquier instante del proceso, a sus estados originales respectivos sin que se produzca ninguna variación en el entorno ("hay que devolver al entorno, todo el  $Q$  y/o  $W$  que comunicó al sistema").
- **condición necesaria y suficiente:** que haya por lo menos un proceso reversible, de retorno al estado inicial del sistema y del entorno, simultáneamente.

**b/ PROCESO IRREVERSIBLE:**

- no cumple las condiciones de reversibilidad.
- causas de irreversibilidad:
  - a/ fenómenos de disipación de energía mecánica, eléctrica, etc.:
    - rozamientos (fricción entre sólidos, etc.)
    - fricción por viscosidad (agitación o detención de un fluido viscoso con una hélice, etc.)
    - resistencia eléctrica (paso de una intensidad de corriente por una resistencia, etc.)
    - deformación (deformación inelástica de un sólido, etc.)
  - b/ procesos de igualación de temperatura (p.ej.: transferencias de calor, con salto finito de temperaturas, ver ec. (4.24))
  - c/ expansión adiabática de un gas en el vacío (transformación de energía interna de un sistema en energía mecánica y después en energía interna nuevamente), etc.
  - d/ fenómenos de cambio de fase.
  - e/ mezclas de líquidos y gases (p.ej.: difusión entre gases inertes distintos, etc.)
  - f/ disolución de una fase en otra (p.ej.: de un sólido en un líquido)
  - g/ reacciones químicas (p.ej.: combustión)
  - h/ fenómenos de histéresis: mecánica o magnética, etc.

**■ PROCESO CÍCLICO (o, ciclo termodinámico):**

- secuencia de procesos que comienza y termina en el mismo estado termodinámico de la sustancia que lo describe.
- al terminar el ciclo, todas las propiedades de estado tienen los mismos valores que al inicio.
- el sistema, al cabo de un ciclo, no experimenta ningún cambio de estado.
- la integral cíclica es nula: línea cerrada  $\Rightarrow$  (1.7)  $\rightarrow \oint dY = 0$  (1.7)



# 1.4 VARIABLES DE LA ECUACIÓN DE ESTADO TÉRMICA

## 1.4.1 Volumen (V)

En esta asignatura estudiaremos sistemas simples, definidos con una única variable métrica que será el volumen (es decir: no necesario definir cotas)

Siendo:  $m$  [kg] → masa del sistema  
 $n$  [moles] → nº moles del sistema  
 $V$  [m<sup>3</sup>] → volumen del sistema

Se define las siguientes variables intensivas:

• **Volumen específico:** - másico:  $v = \frac{V}{m}$   $\left[\frac{m^3}{kg}\right]$  - molar:  $v = \frac{V}{n}$   $\left[\frac{m^3}{mol}\right]$  (1.9)

• **Densidad:** - másica:  $\rho = \frac{m}{V}$   $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$  - molar: (no resulta interesante) (1.10)

## 1.4.2 Presión (P)

• **Sistemas hidrostáticos:**  
 son sistemas de masa y composición ctes. que ejercen una presión hidrostática sobre los alrededores (no se consideran los efectos de posibles campos: gravitatorios, eléctricos, magnéticos, elásticos, etc.)

• **Presión hidrostática:**

Se define como:  $P = \frac{F}{A}$  [Pa] =  $\left[\frac{N}{m^2}\right]$

Interpretación microscópica:

- sea:  $\frac{N}{V}$   $\left[\frac{particulas}{m^3}\right]$  → nº de partículas por ud. volumen

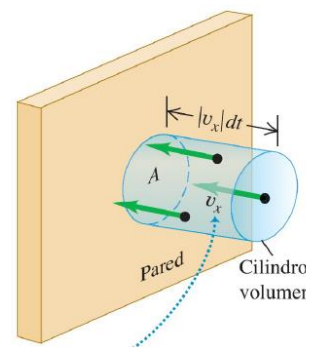
$m$   $\left[\frac{kg}{particula}\right]$  → masa de cada partícula

distribución aleatoria de velocidades (mov. desordenado del gas) →

- la presión de las partículas de gas sobre la pared al rebotar es:

$$P_x = \frac{F}{A} = \frac{N}{V} \cdot m \cdot v_x^2 \rightarrow P = \bar{P}_x = \frac{N}{V} \cdot m \cdot \overline{v_x^2} = \frac{1}{3} \cdot \frac{N}{V} \cdot m \cdot \overline{v^2}$$

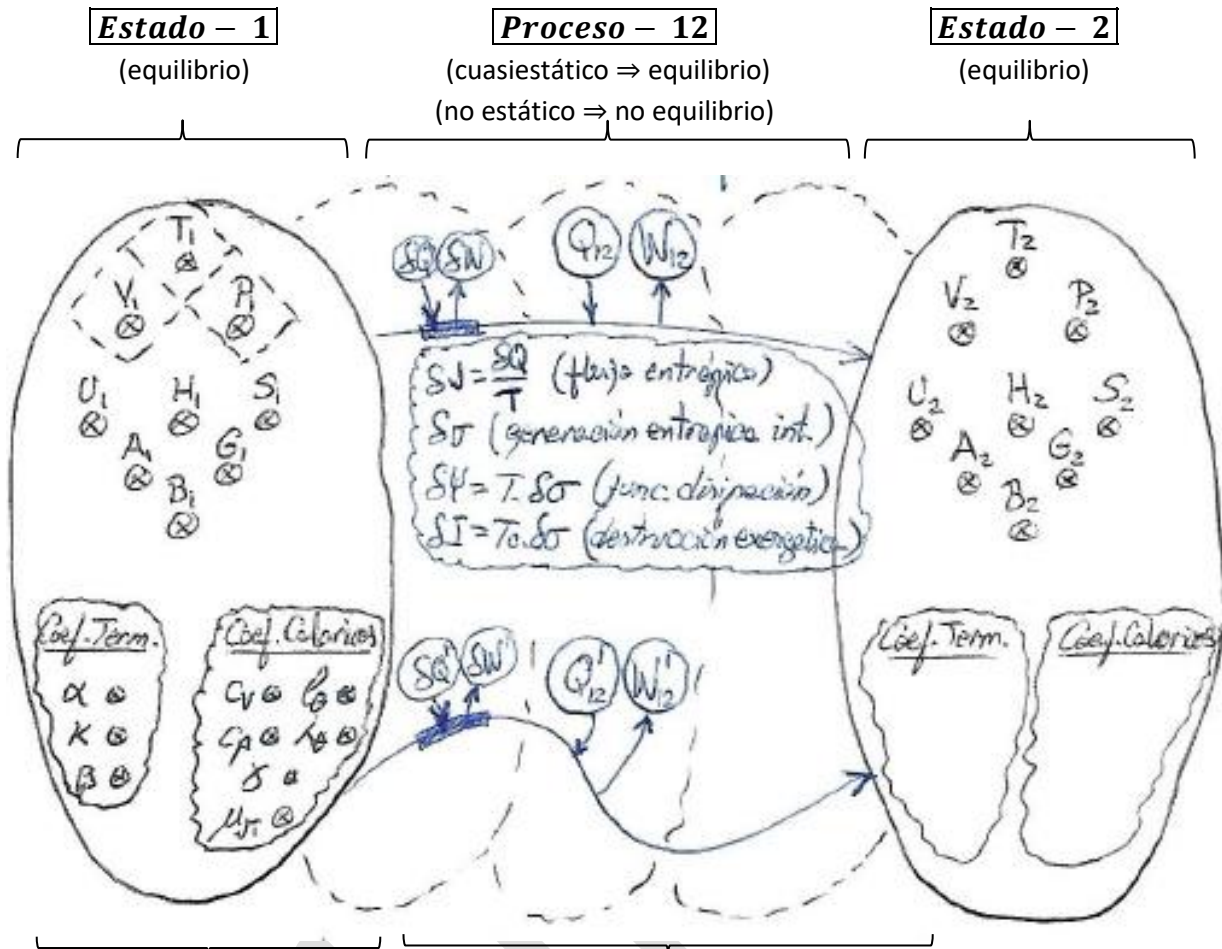
Conclusión: ↑ energía cinética de las partículas del gas ⇒ ↑ presión



## 1.4.3 Temperatura (T)

(ver Principio Cero: Tema-2)

# 1.5 SINOPSIS



### Propiedades de Estado (o de Punto):

- no dependen del camino seguido
- tienen diferencial exacta  $\Rightarrow dT; dU; \text{etc.}$

### Ec. Estado (o de Punto):

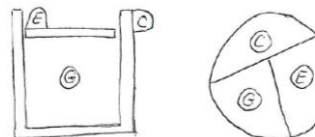
- Ec. Est. Térmica: (T2)  $\rightarrow f(T, V, P) = 0$ 
  - G.I.  $\rightarrow P \cdot V = n \cdot R \cdot T$
  - Otro  $\rightarrow$  Analítica  $\rightarrow$  (horrible)
  - $\rightarrow$  Generalizada  $\rightarrow P \cdot V = Z \cdot n \cdot R \cdot T$
- Ec. Est. Calórica: (T3)  $\rightarrow U = U(T, V)$   
 $\rightarrow H = H(T, P)$
- Ec. Est. Entrópica: (T4)  $\rightarrow S = S(T, V)$   
 $\rightarrow S = S(T, P)$
- Ec. Est. Característica:  $\rightarrow U = U(S, V)$   
 (Potenciales) (T6)  $\rightarrow H = H(S, P)$   
 $\rightarrow A = A(T, V)$   
 $\rightarrow G = G(T, P)$
- Exergía: (T4)  $\rightarrow B$

### Propiedades de Proceso (o de Línea):

- dependen del camino seguido
- no tienen diferencial exacta  $\Rightarrow \delta Q; \delta W; \text{etc.}$

### Ec. Proceso (o de línea):

- 1º Principio: (T3)  $\rightarrow dU = \delta Q - \delta W$
- 2º Principio: (T4)  $\rightarrow dS = \frac{\delta Q}{T} + \delta \sigma$
- Definiciones: (T4)
  - Flujo entrópico  $\rightarrow \delta J = \frac{\delta Q}{T}$
  - Generación entrópica  $\rightarrow \delta \sigma_{SC} = \sum_{i=1}^{i=n} \delta \sigma_i + \delta \sigma^e$   
 $\delta \sigma^e = \sum_{i=1}^{i=n} [\sum_{j>i} \delta \sigma_{ij}^e]$



- Función disipación  $\rightarrow \delta \psi = T \cdot \delta \sigma$
- Destrucción exergética  $\rightarrow \delta I = T_0 \cdot \delta \sigma$

■ **EC. CARACTERÍSTICAS (POTENCIALES) Y EC. DE GIBBS (DIFERENCIALES):** (ver Tema-5)

Ec. Características (Potenciales)

$$U = U(S, V)$$

$$H = H(S, P)$$

$$A = A(T, V)$$

$$G = G(T, P)$$

→  
→  
→  
→

Ec. de Gibbs (expresiones diferenciales)

$$1^a \text{ Gibbs: } dU = T \cdot dS - P \cdot dV$$

$$2^a \text{ Gibbs: } dH = T \cdot dS + V \cdot dP$$

$$3^a \text{ Gibbs: } dA = -S \cdot dT - P \cdot dV$$

$$4^a \text{ Gibbs: } dG = -S \cdot dT + V \cdot dP$$

■ **MÍNIMA INFORMACIÓN:** para poder calcular funciones de estado, a partir de 2 variables de estado (T6)

a/ 1 Ec. Estado Característica ("potencial termodinámico")

b/ 2 Ec. Estado, que sean compatibles (es decir: empleando las mismas variables)

c/ 3 Coef. Termodinámicos + 1 cte. de integración

d/ una combinación adecuada, por ejemplo: 1 Ec. Est. Térmica + "c<sub>p</sub>" (o bien: "c<sub>v</sub>")

■ **CUADRO NEMOTÉCNICO:** (para calcular: *u, h, s*, también valen las ec.: de título y de discrepancia)

	$W [J]$	$Q [J]$	$\Delta U [J]$	$\Delta S \left[ \frac{J}{K} \right]$	$\sigma \left[ \frac{J}{K} \right]$
Dato	x	x	x	x	x
Definición	x				
Expresión diferencial/integrada			x	x	x
1º Principio	x	x	x		
2º Principio		x		x	x

	$T [K]$
Ec. Est. Térmica	x
Proceso Isoentrópico (2º Ppio)	x
Balance Energía (1º Ppio)	x

■ **Ec. ESTADO TÉRMICA Y EXPRESIONES DIFERENCIALES:**

Ec. Est. Térmica

Expresiones diferenciales → *du, dh, ds*

- G.I.:**  $P \cdot V = n \cdot R \cdot T$

$$\left[ \begin{array}{ll} du^* = c_v^* = c_v^*(T) \cdot dT & ds^* = c_v^*(T) \cdot \frac{dT}{T} + R \cdot \frac{dv^*}{v^*} \\ ds^* = c_p^* = c_p^*(T) \cdot dT & ds^* = c_p^*(T) \cdot \frac{dT}{T} - R \cdot \frac{dp}{p} \end{array} \right.$$
- S.I. (Líquidos y Sólidos):**  $v = cte$

$$\left[ \begin{array}{ll} \Delta u = c \cdot (T_2 - T_1) & \Delta s = c \cdot \ln \frac{T_2}{T_1} \\ \Delta h = c \cdot (T_2 - T_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} & \end{array} \right.$$
- No G.I.:**

a/ Ec. Est. Analítica *Horrible (ej.: VdW)* Relaciones Generalizadas, nos dan → *du, dh, ds*

b/ Ec. Est. Generalizada  $P \cdot V = Z \cdot n \cdot R \cdot T$

$$\left[ \begin{array}{l} T_C ; P_C \\ a/ Z_C \quad \text{(tablas Lidersen)} \\ b/ w \quad \text{(tablas Lee-Kesler)} \end{array} \right] \rightarrow Z, h^D, s^D, \phi$$