

T 2.1.- Conceptos Fundamentales

T 2.2.- Primer Principio de la Termodinámica

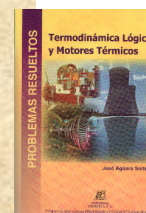
T 2.3.- Segundo Principio de la Termodinámica

T 2.4.- Funciones de Estado

T 2.5.- Ciclos de Potencia

T 2.6.- Ciclos de Refrigeración

T 2.7.- Psicrometría



1

TD. T1.- Conceptos Fundamentales

Las transparencias son el material de apoyo del profesor para impartir la clase. No son apuntes de la asignatura. Al alumno le pueden servir como guía para recopilar información (libros, ...) y elaborar sus propios apuntes

Departamento: Ingeniería Eléctrica y Energética
Area: Máquinas y Motores Térmicos

CARLOS J RENEDO renedoc@unican.es

Despachos: ETSN 236 / ETSIIT S-3 28

<http://personales.unican.es/renedoc/index.htm>

Tlfn: ETSN 942 20 13 44 / ETSIIT 942 20 13 82

2

TD. T1.- Conceptos Fundamentales

Objetivos:

El primer tema de este bloque está destinado a introducir al estudiante en algunos de los conceptos y definiciones fundamentales de aplicación en los siguientes temas dedicados a la Termodinámica

3

T1.- CONCEPTOS FUNDAMENTALES

- 1.- Introducción
- 2.- Sistema Termodinámico
- 3.- Propiedades de un Sistema
- 4.- Procesos y Cambios de Estado
- 5.- Ecuaciones de Estado

1.- Introducción (I)

Termodinámica procede del griego *therme* (calor) y *dynamis* (fuerza)
Se ocupa de las transformaciones de los cuerpos cuando hay transferencia de energía

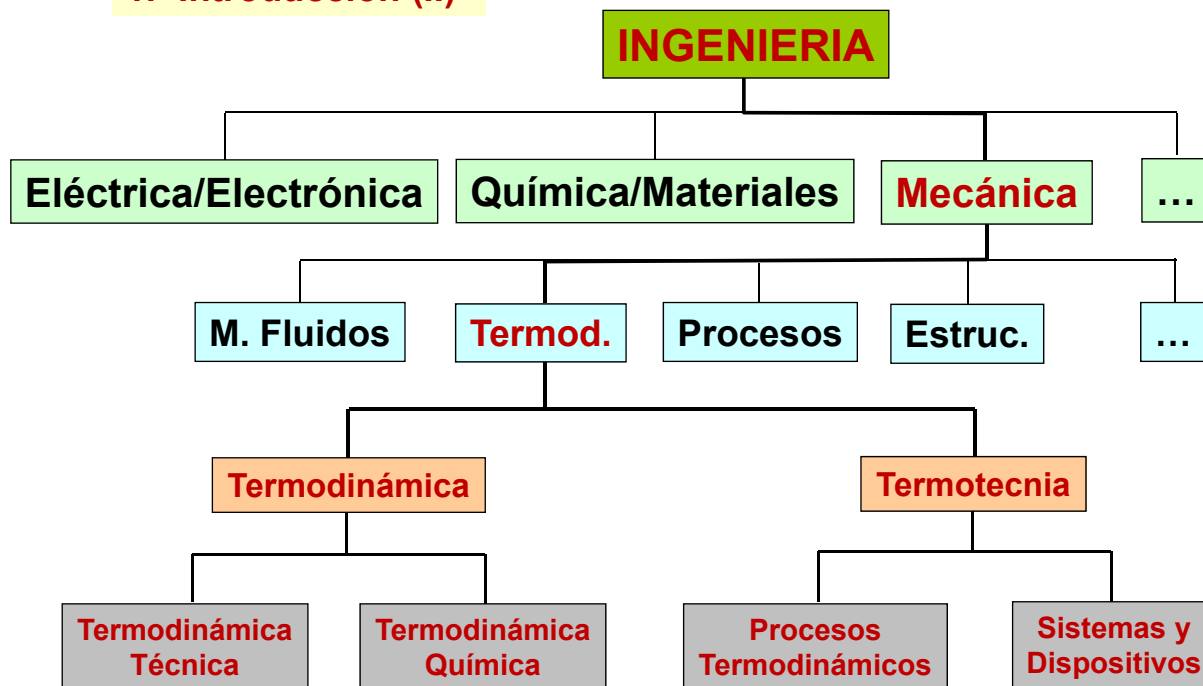
Termotecnia o **Termodinámica Técnica**, es la rama de la ingeniería que se ocupa de las aplicaciones del calor; trata de las conversiones de la energía térmica en mecánica

La **Ingeniería Térmica** trata de aplicar la Termotecnia a procesos y dispositivos

En Termodinámica lo usual es trabajar con **fluidos compresibles**
(gases y vapores)

4

1.- Introducción (II)



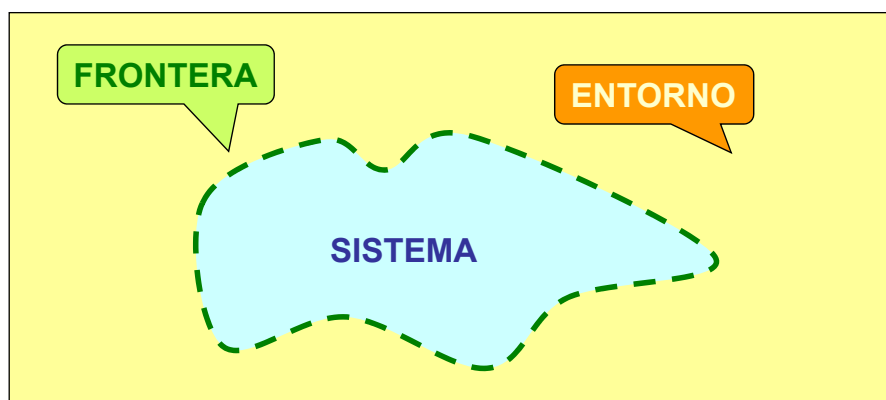
5

1.- Sistema Termodinámico (I)

Sistema: parte de materia o región sobre la que se fija el estudio

Frontera: límites de un sistema

Entorno, Ambiente o Medio Circundante: materia o región que rodea al sistema



6

1.- Sistema Termodinámico (II)



7

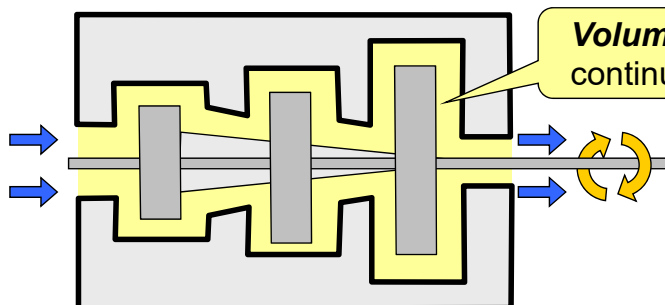
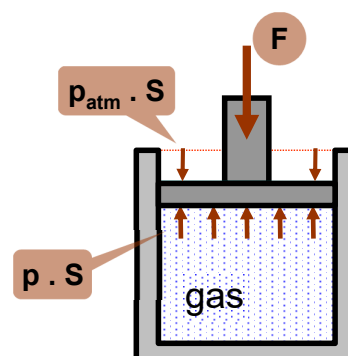
1.- Sistema Termodinámico (III)

• **Sistemas Cerrados**

su masa no varía
ej: interior de un cilindro

• **Sistemas Abiertos**

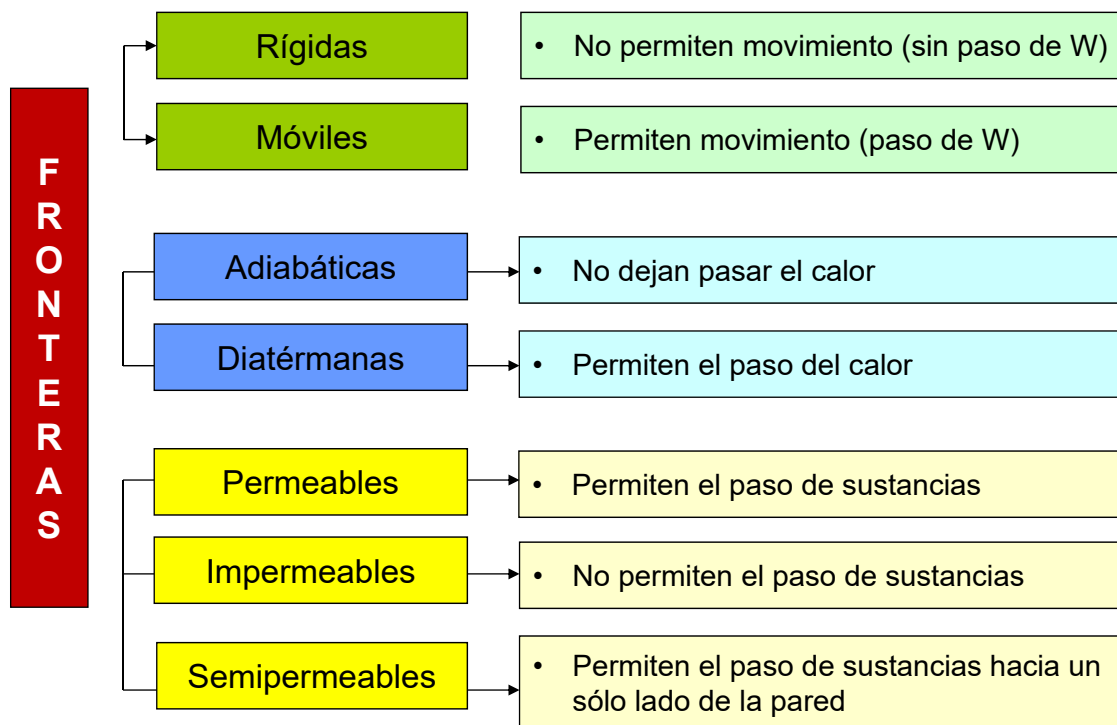
una masa fluye en un volumen
ej turbina de vapor



Volumen de control
continuamente atravesado por una masa

8

1.- Sistema Termodinámico (IV)



9

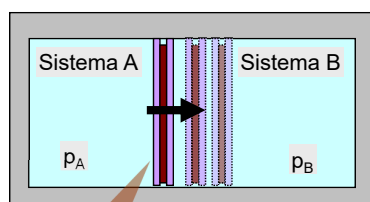
1.- Sistema Termodinámico (V)

Las clasificaciones por Sistemas y Fronteras son independientes

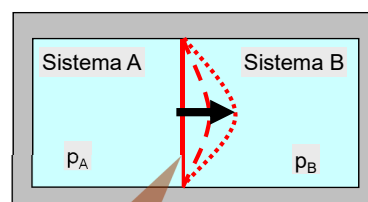
Un sistema es adiabático cuando sus fronteras lo son, esto es independiente de si el sistema es abierto o cerrado

- **Paredes Adiabáticas**, térmicamente aisladas, no permiten paso del calor
- **Sistema Adiabático** (térmicamente aislado) sin aporte ni extracción de calor
- **Paredes Elásticas**, con movimiento (cilindros, émbolos o membranas)
- **Paredes Inelásticas**, sin movimiento

Si $p_a > p_b$
Se mueve hasta
 $p_a = p_b$



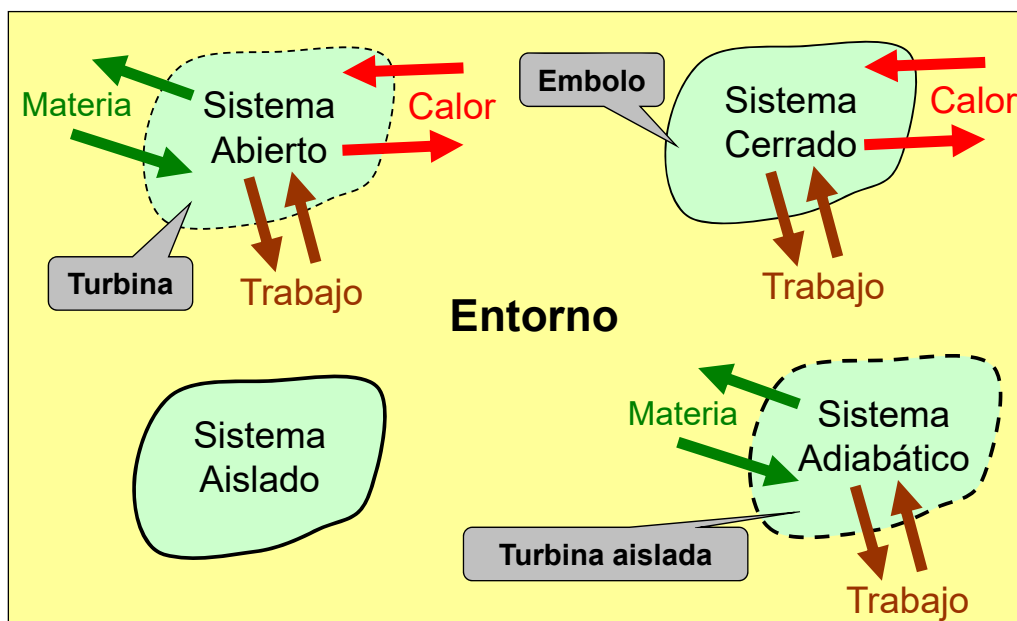
Embolo



Membrana

10

1.- Sistema Termodinámico (VI)

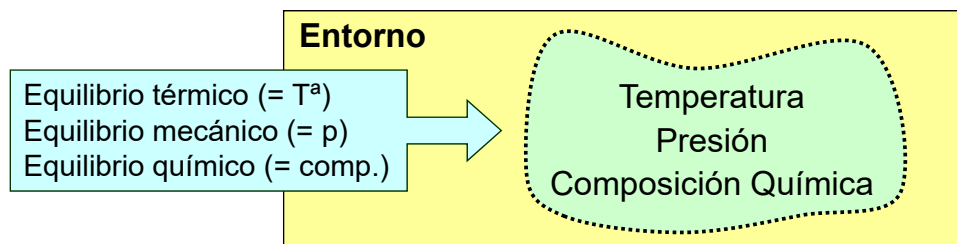


11

1.- Sistema Termodinámico (VII)

El **calor** se transmite del sistema de mayor al de menor T^a

Sistema en Equilibrio Termodinámico: las variables termodinámicas son uniformes en todo el sistema



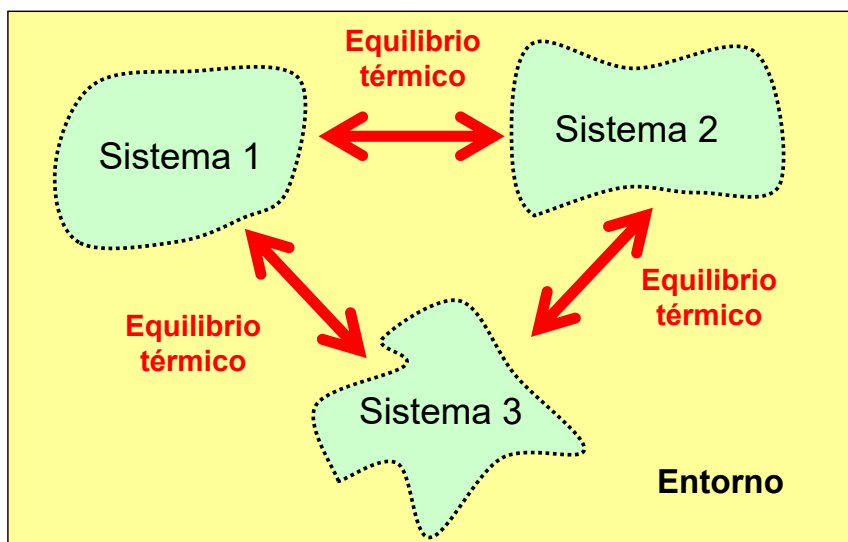
Tiempo de Relajación: el que tarda un sistema, fuera de su estado de equilibrio, en regresar a él

12

1.- Sistema Termodinámico (VIII)

Principio Cero de la Termodinámica:

Los sistemas tienden de forma natural al equilibrio térmico



13

2.- Propiedades de un Sistema (I)

Propiedades Termodinámicas: son las magnitudes físicas que describen el estado de un sistema termodinámico

Las de carácter universal son:

- Presión
- Temperatura

Otras:

- El volumen específico
- La viscosidad ...

La Termodinámica añade:

- La energía interna
- La entalpía
- La entropía, ...

Las propiedades están relacionadas, si se conocen algunas, las otras quedan determinadas $f(p, v, T) = 0$

Ec. estado

$$X = \sqrt{Y} + \ln(Z + Y) - e^Z \dots$$

14

2.- Propiedades de un Sistema (II)

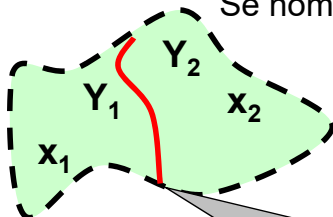
Intensivas: no dependen de la masa en la que se considera
Se mantienen si se divide el sistema
Se nombran con letras minúsculas

- Presión
- Temperatura
- Densidad, ...

Excepto la temperatura, T; t es el tiempo

Extensivas: dependen de la masa en la que se considera
Se nombrarán con letras mayúsculas

- Energía
- Masa
- Volumen, ...



Propiedad Intensiva x: $x = x_1 = x_2$

$T = T_1 = T_2$

Propiedad Extensiva Y: $Y = Y_1 + Y_2$

$M = M_1 + M_2$

Se divide el sistema en dos partes
por una superficie imaginaria

Específicas: relativizan las Extensivas
dividiendo por la masa

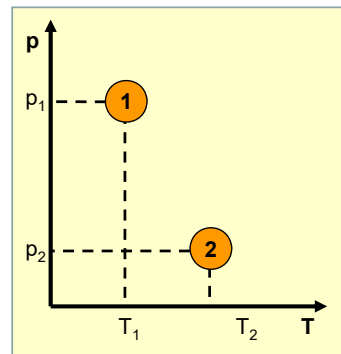
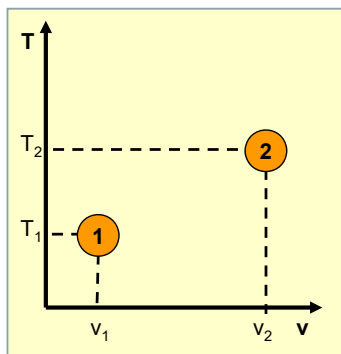
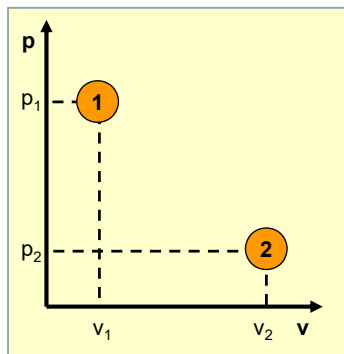
$$v \text{ (volumen específico)} = \frac{V \text{ (Volumen)}}{m \text{ (masa)}}$$

15

2.- Propiedades de un Sistema (III)

Estado: son las propiedades macroscópicas que tiene un Sistema
(presión p, volumen v, y temperatura T)

El estado del sistema se puede representar por un punto en un diagrama
(típicamente el p-v, también T-v o p-T, ...)



16

Identificar las propiedades intensivas y extensivas, y en éstas establecer los valores específicos si la masa es de 75 kg

- a) Un volumen de 10 m³
- b) Una energía cinética de 30 J
- c) Una presión de 90 kPa
- d) Un esfuerzo de 1.000 kPa
- e) Una masa de 75 kg
- f) Una velocidad de 60 m/s

17

3.- Procesos de Cambio de Estado (I)

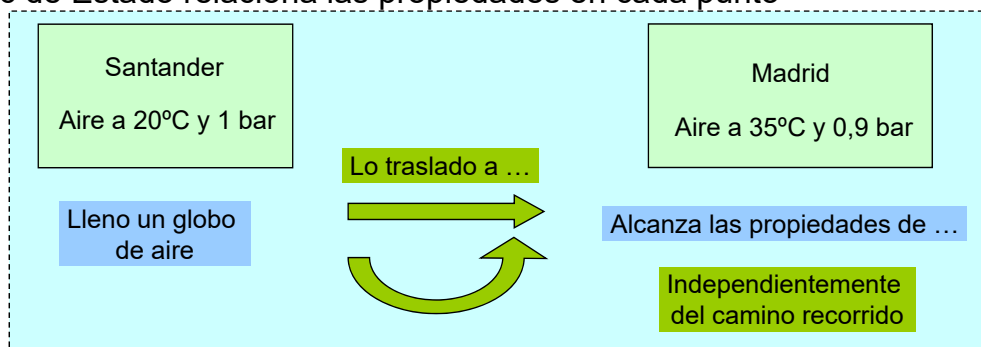
Transformación / Proceso: Cuando un sistema cambia de un estado a otro

Transformación es el cambio sufrido, Proceso es como se produce el cambio

En una transformación la variación de sus propiedades sólo depende del estado inicial y final, y no de las situaciones intermedias

$$f(p, v, T) = 0$$

La Ec de Estado relaciona las propiedades en cada punto



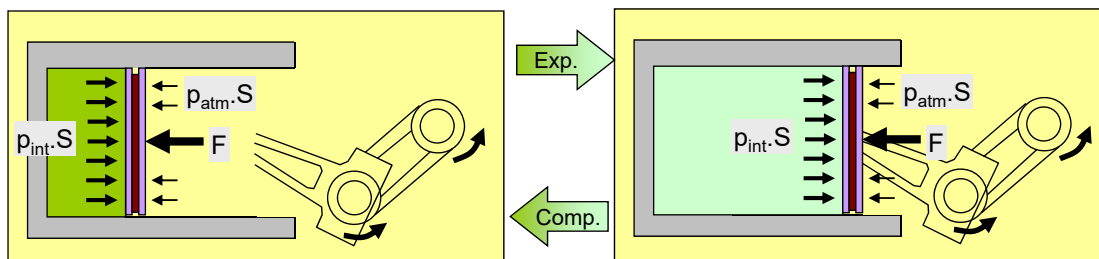
Para que un sistema cambie de estado es preciso que se produzca una transferencia de energía con el medio circundante

18

3.- Procesos de Cambio de Estado (II)

La **Expansión** de un sistema (aumento de volumen) sucede cuando la fuerza interior es mayor que la fuerza exterior

$$F = p \cdot S$$



Lo contrario a una expansión es una **Compresión** (disminución del volumen), sucede cuando la fuerza exterior es mayor a la interior

19

3.- Procesos de Cambio de Estado (III)

Un **Sistema cerrado** está en **Equilibrio** cuando el valor de sus propiedades es idéntico en todos sus puntos

Cuando un sistema cambia de un estado en equilibrio a otro también en equilibrio, los estados intermedios pueden ser, o no, de equilibrio

Expansión / Compresión Libre cuando $F_{int} \gg F_{ext}$
los estado intermedios no son de equilibrio

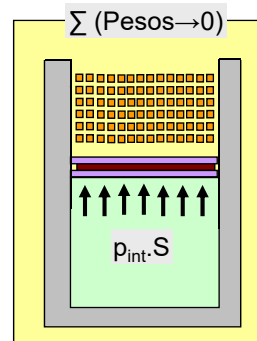
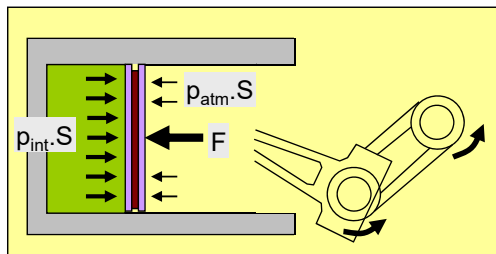
Expansión / Compresión Resistida cuando $F_{int} \approx F_{ext}$
los estados intermedios son de equilibrio

20

3.- Procesos de Cambio de Estado (IV)

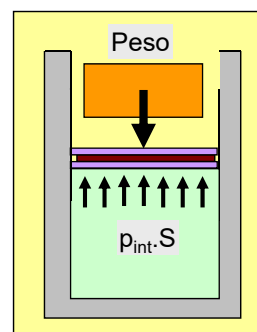
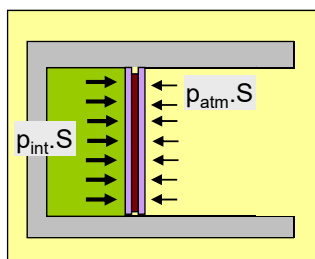
Equilibrio

$$F_{\text{int}} \approx F_{\text{ext}}$$



No Equilibrio

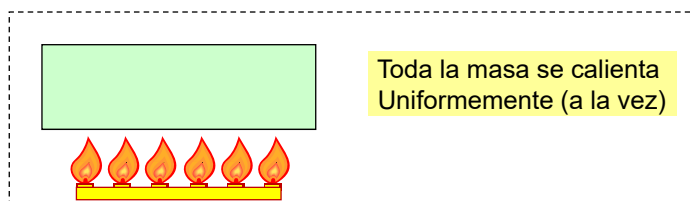
$$F_{\text{int}} \gg F_{\text{ext}}$$



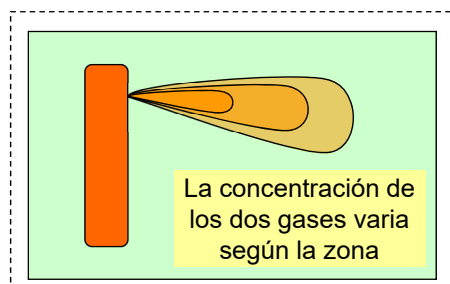
21

3.- Procesos de Cambio de Estado (V)

El **Calentamiento** o **Enfriamiento** de un sistema se puede considerar como una sucesión de estados en equilibrio



La **Mezcla de Sistemas** no se puede considerar como una sucesión de estados en equilibrio

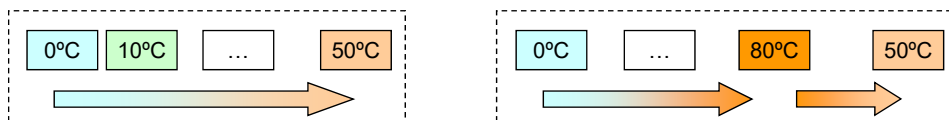


22

3.- Procesos de Cambio de Estado (VI)

Transformaciones Termodinámicas: sucesión de estados por los que pasa un sistema cuando se le somete a un cambio

Calentar agua de 0 a 50°C; calentar de 0 a 80 y enfriarlo a 50; ...



Para que haya Transformaciones Termodinámicas es preciso que se produzca intercambio de energía con el medio exterior

La transformación se puede realizar de diferentes modos, cada uno de ellos es un **Proceso Termodinámico**

Calentar con agua caliente, calentar con una resistencia eléctrica, ...

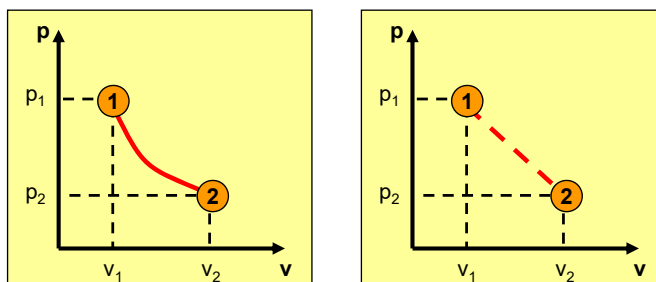
Diagrama de Estado es cualquier representación de dos propiedades Termodinámicas de un sistema, un ejemplo típico es el diagrama p-v...

23

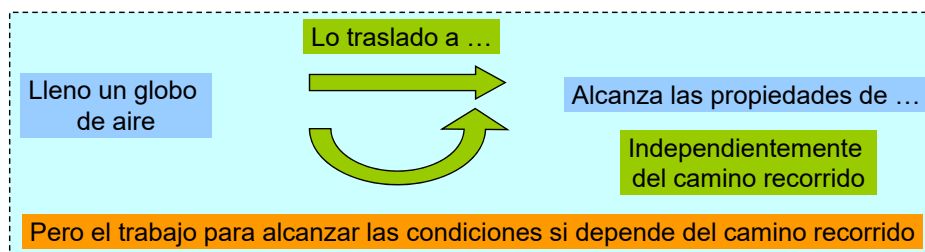
3.- Procesos de Cambio de Estado (VII)

La representación de una Transformación en un Diagrama de Estado:

- Si los estados intermedios son de equilibrio, una línea
- Si los estados intermedios no lo son, recta con trazo discontinuo



El trabajo depende del camino recorrido

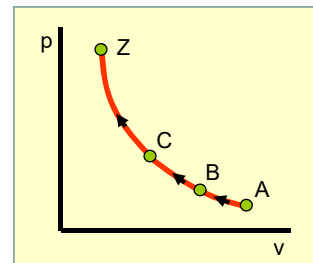
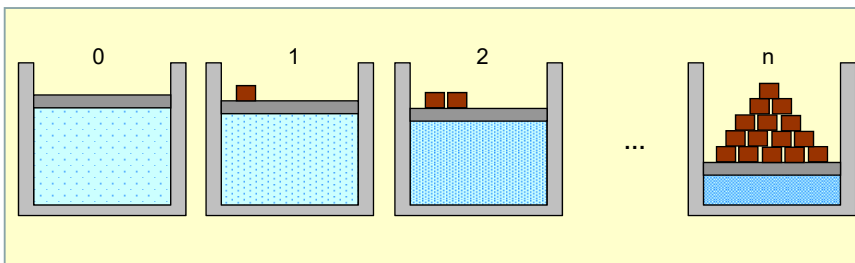


24

3.- Procesos de Cambio de Estado (VIII)

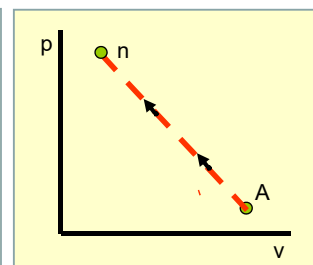
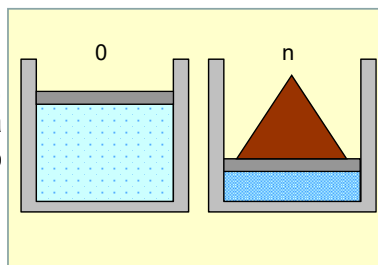
Proceso cuasiestático

Pasa por una serie de estados de equilibrio termodinámico ya que todos los parámetros del sistema varían de más lentamente que el tiempo de relajación



Proceso irreversible

Se produce una onda de presión, por lo que la presión no es la misma en todas partes del sistema y por lo tanto no hay estados de equilibrio

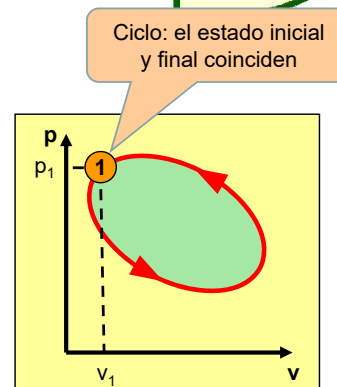


25

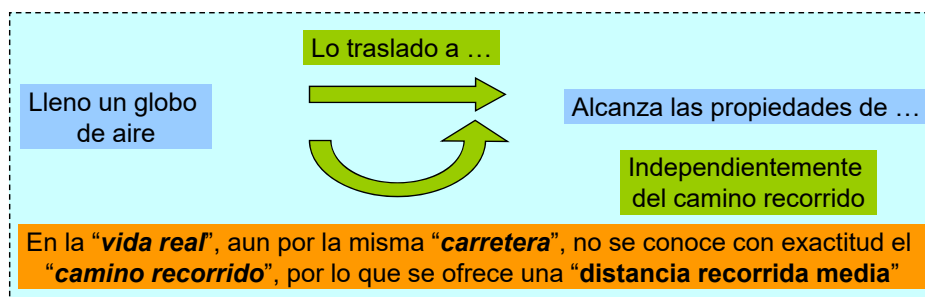
3.- Procesos de Cambio de Estado (IX)

En las máquinas térmicas un sistema evoluciona a través de una serie de transformaciones que se acaban cerrando formando un **Ciclo Termodinámico**

Conocer el Ciclo implica que las transformaciones sean conocidas (estados intermedios)



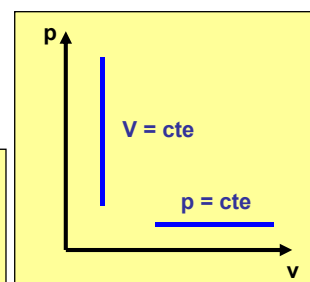
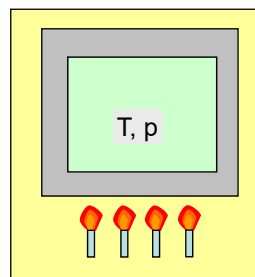
Para conocer el trabajo desarrollado en el ciclo hay que **aproximar** las transformaciones reales por transformaciones teóricas (conocidas)



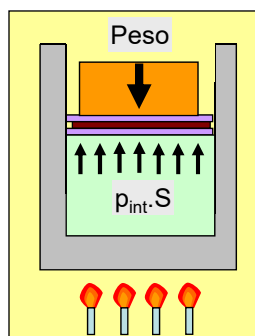
3.- Procesos de Cambio de Estado (X)

Transformaciones básicas son: (I)

- **Isocora** a volumen constante ($v = \text{cte}$)
se calienta o enfría con límites inelásticos



- **Isóbara**, a presión constante ($p = \text{cte}$),
se calienta o enfría con límites elásticos



27

3.- Procesos de Cambio de Estado (XI)

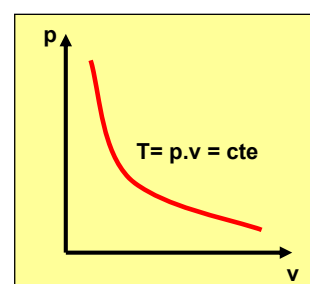
Transformaciones básicas son: (II)

- **Isoterma**, a temperatura constante ($T = \text{cte}$)

Gases perfectos : $p \cdot v = R \cdot T \Rightarrow p \cdot v = \text{cte}$

En Termo la p
es p_{abs} y en Pa

En Termo
la T va en K



- **Adiabática o isoentrópica**, sin transferencia de calor, además no debe existir aporte de calor por rozamiento interno ($p \cdot v^\gamma = \text{cte}$)

γ es el exponente adiabático, $f(T)$,
No es el peso específico

γ : exponente adiabático:
-1,66 en gases monoatómicos
-1,40 en gases biatómicos
-1,33 en gases triatómicos

≈ aire

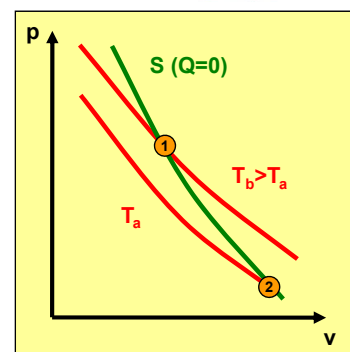
- **Politrópica**, son las transformaciones reales ($p \cdot v^n = \text{cte}$)

n : exponente politrópico:
-Isócoras, $n = \pm \infty$
-Isóbaras, $n = 0$
-Isotermas, $n = 1$
-Adiabáticas, $n = \gamma$

28

3.- Procesos de Cambio de Estado (XII)

- En una expansión adiabática [1 a 2] (isoentrópica) $T^a \downarrow$
- En una compresión adiabática [2 a 1] $T^a \uparrow$



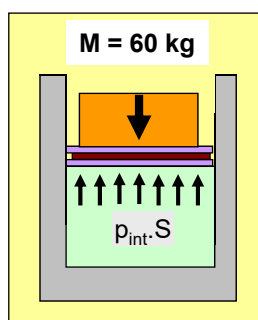
Si se tienen dos puntos de una politrópica se puede determinar el exponente:

$$p \cdot v^n = \text{cte} \quad p_a \cdot v_a^n = p_b \cdot v_b^n$$

$$n \text{ se calcula: } n = \frac{\ln(p_a/p_b)}{\ln(v_b/v_a)}$$

29

La masa del émbolo en un dispositivo de cilindro-émbolo que contiene un gas, es de 60 kg y su área de sección transversal es de 0,07 m². La presión atmosférica es 0,95 bar y la aceleración de la gravedad 9,81 m/s². Determinar la presión dentro del cilindro



30

Un sistema cerrado contiene 2 kg de un gas el cual experimenta un proceso durante el cual la relación entre la presión y el volumen es $[p \cdot v^{1.8} = \text{cte}]$. El proceso comienza con $p_1 = 3 \text{ bar}$, $V_1 = 1.000 \text{ dm}^3$ y finaliza con $V_2 = 4 \cdot 10^6 \text{ cm}^3$. Determinar la presión final, p_2 , en MPa

Calcular el exponente de una politrópica que pasa por dos estados teniendo en cuenta que:

- La relación de volúmenes es ($v_2 / v_1 = 10$)
- Las presiones son de ($p_1 = 16 \text{ bar}$, $p_2 = 1 \text{ bar}$)

Un dispositivo cilindro-pistón contiene 2 kg de N_2 que son comprimidos desde el estado 1, $p_1 = 3 \text{ atm}$, $v_1 = 0,0854 \text{ dm}^3/\text{kg}$, hasta el estado 2, $p_2 = 4.000 \text{ kPa}$, $v_2 = 4,72 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{g}$. La relación entre la presión y el volumen específico durante el proceso es $[p \cdot v^n = \text{cte}]$. Determinar el valor de n

33

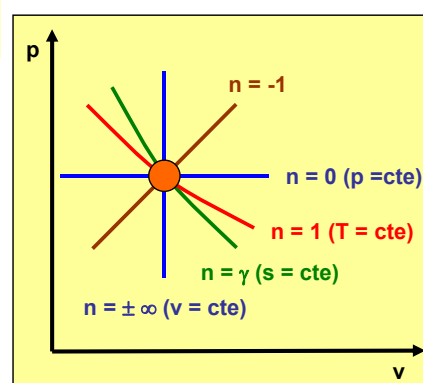
3.- Procesos de Cambio de Estado (XIII)

$$p \cdot v^n = \text{cte} \quad \left\{ \begin{array}{l} - \text{Isócoras, } n = \pm \infty \\ - \text{Isóbaras, } n = 0 \\ - \text{Isotermas, } n = 1 \\ - \text{Adiabáticas, } n = \gamma \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \gamma : \text{exponente adiabático:} \\ - 1,66 \text{ en gases 1 átomo} \\ - 1,40 \text{ en gases 2 át.} \\ - 1,33 \text{ en gases 3 át.} \end{array} \right.$$

$$p \cdot v = R \cdot T \quad p \cdot V = M \cdot R \cdot T$$

Isoterma en un gas ideal
(hipérbolas equiláteras)

$$p \cdot v = \text{cte}$$



$$\left\{ \begin{array}{l} R \text{ en los gases ideales} \\ R \text{ referido a la masa molecular del gas, } M \end{array} \right. \quad R = 8,314 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}} \quad R = 8,314 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}} = \frac{8,314}{M} \cdot \frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}}$$

Sustancia	M (kg/kmol)	R (J/kg K)
H ₂	2,016	4124,4
O ₂	32	259,83
H ₂ O	18,016	461,52
C	12,011	692,26

$$M_{\text{Aire}} = 28,964 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$$

$$R_{\text{Aire}} = 0,287 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

34

- Isócoras, $n = \pm \infty$
- Isóbaras, $n = 0$
- Isotermas, $n = 1$
- Adiabáticas, $n = \gamma$

3.- Procesos de Cambio de Estado (XIV)

Politrópica en un gas ideal

$$p \cdot v = R \cdot T$$

$$p \cdot v^n = \text{cte}$$

La relación entre p y v:

$$\frac{p_b}{p_a} = \left(\frac{v_a}{v_b} \right)^n$$

La relación entre T y p:

$$\frac{T_b}{T_a} = \left(\frac{p_b}{p_a} \right)^{\frac{n-1}{n}}$$

La relación entre T y volumen:

$$\frac{T_b}{T_a} = \left(\frac{v_a}{v_b} \right)^{n-1}$$

35

- Isócoras, $n = \pm \infty$
- Isóbaras, $n = 0$
- Isotermas, $n = 1$
- Adiabáticas, $n = \gamma$

3.- Procesos de Cambio de Estado (XV)

Politrópica en un gas ideal

$$p \cdot v = R \cdot T$$

$$p \cdot v^n = \text{cte}$$

$$\frac{T_b}{T_a} = \left(\frac{v_a}{v_b} \right)^{n-1}$$

$$\frac{p_b}{p_a} = \left(\frac{v_a}{v_b} \right)^n$$

$$\frac{T_b}{T_a} = \left(\frac{p_b}{p_a} \right)^{\frac{n-1}{n}}$$

En una isoterma, la relación entre p y v es:

$$T = \text{cte} ; p \cdot v = \text{cte} ; n = 1$$

$$\frac{p_b}{p_a} = \frac{v_a}{v_b}$$

En una isocóra la relación entre T y p es:

$$v = \text{cte} ; n = \pm \infty$$

$$\frac{T_b}{T_a} = \frac{p_b}{p_a}$$

En una isóbara la relación entre T y volumen es:

$$p = \text{cte} ; n = 0$$

$$\frac{T_b}{T_a} = \frac{v_b}{v_a}$$

36

Analizar dimensionalmente las expresiones: $p \cdot v = R \cdot T$ $p \cdot V = M \cdot R \cdot T$

Se comprime aire adiabáticamente desde 1 bar y 27°C hasta 20 bar
Calcular la temperatura final y la relación de volúmenes

4.- Ecuaciones de Estado (I)

Una sustancia pura puede estar en tres estados, y puede cambiar de uno a otro:

- sólido (S)
- líquido (L)
- gaseoso o vapor (V)

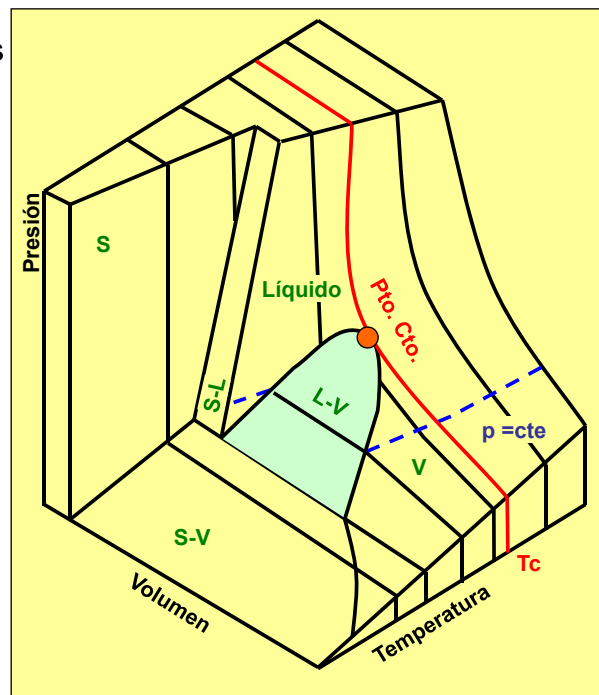
$$f(p, v, T) = 0$$

$$\text{Gas ideal: } p \cdot v = R \cdot T$$

Los cambios de fase se pueden representar en un diagrama

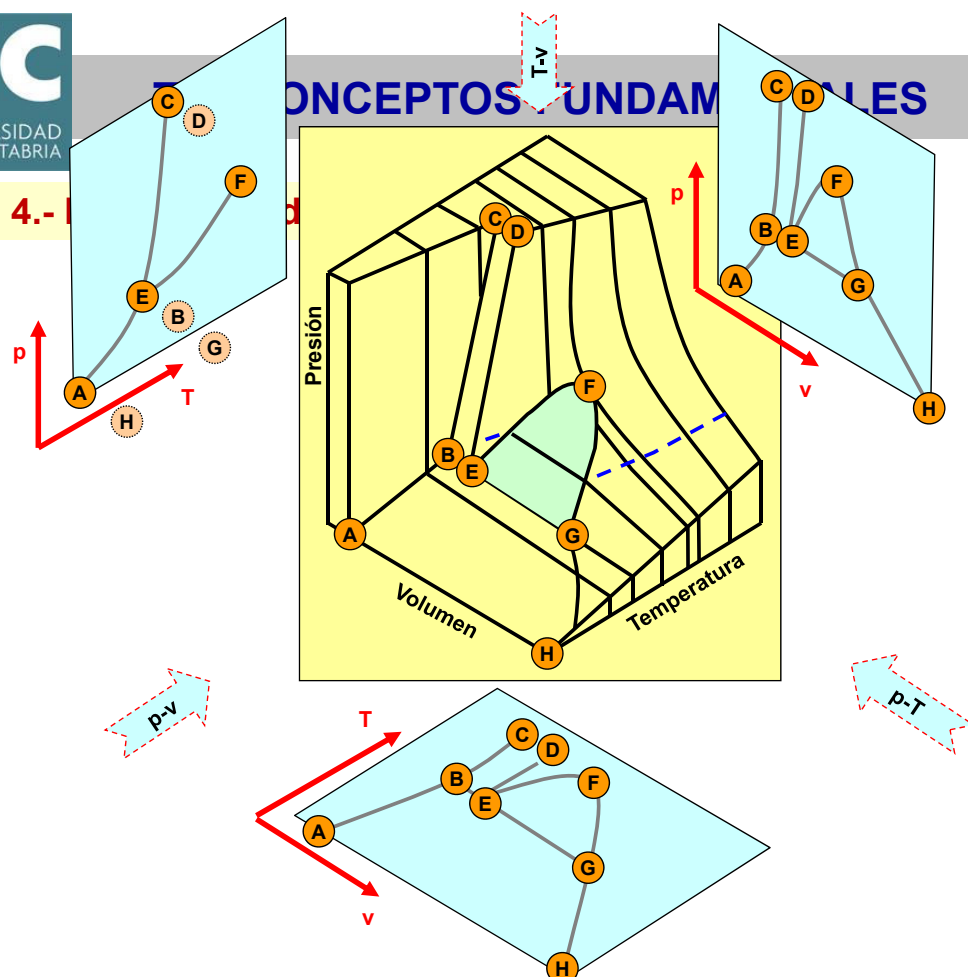
Curvas de fusión, vaporización o sublimación

Las curvas convergen en el pto triple



39

4.-



40

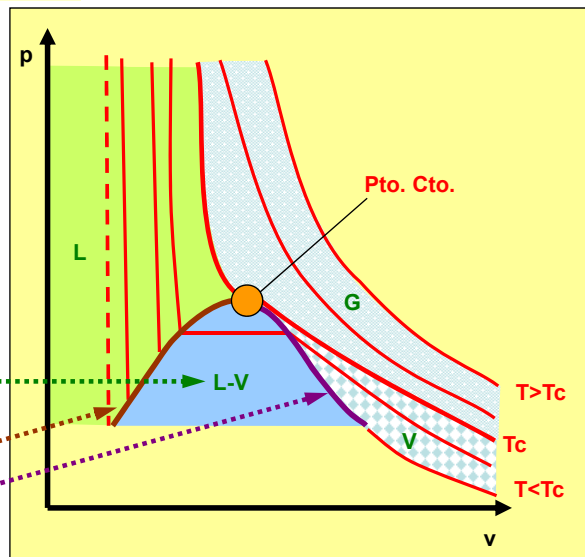
4.- Ecuaciones de Estado (III)

El **cambio de líquido a gas** se puede realizar:

- Progresivamente, pasando por una fase de vapor húmedo (L-V)
- Instantáneamente, de líquido a gas

El paso progresivo atraviesa la zona de **vapor húmedo** (o vapor saturado), que está limitada por las curvas de:

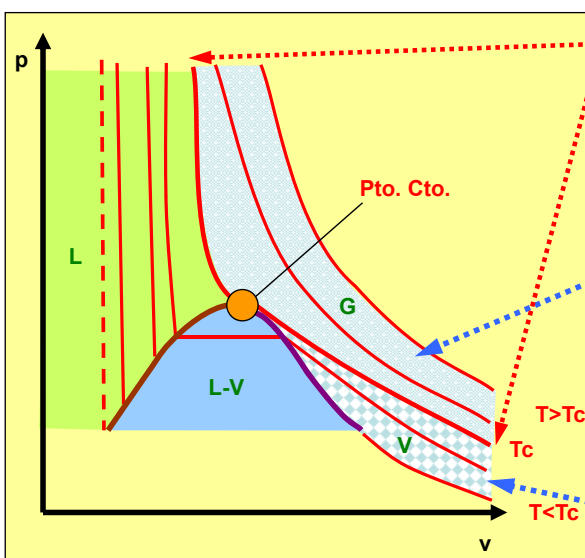
- **líquido saturado** y
- **vapor saturado**



Los ciclos de algunas máquinas trabajan en la zona de vapor húmedo (turbinas de vapor, o las de refrigeración por compresión, ...)

41

4.- Ecuaciones de Estado (IV)



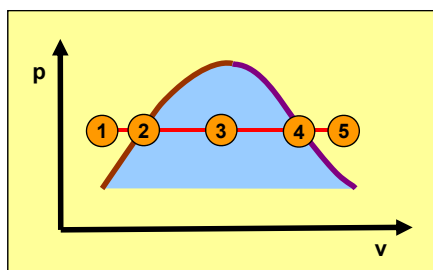
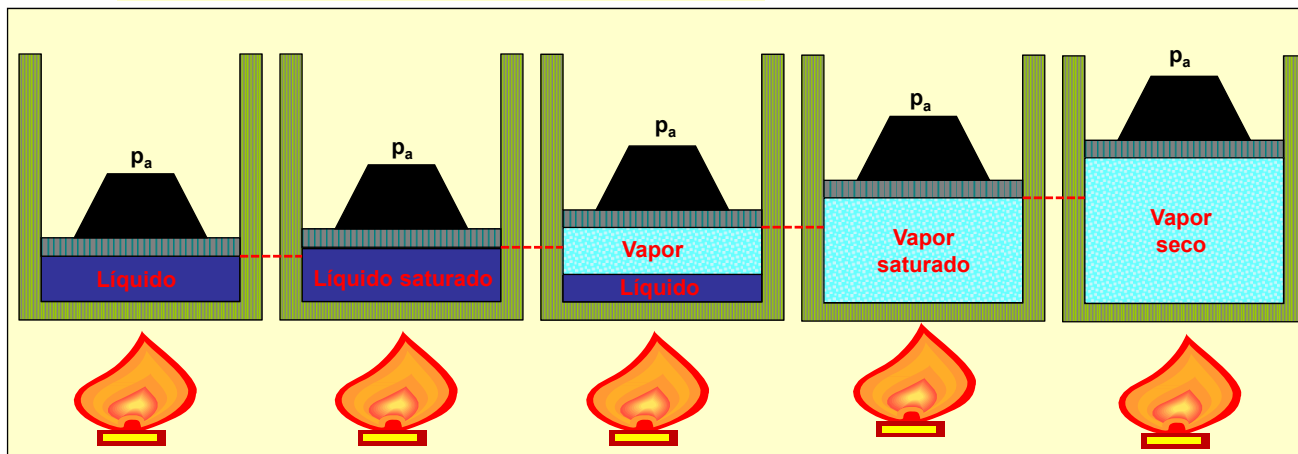
La **Isoterma Crítica**, marca una diferencia entre la zona de vapor sobrecalentado y de gas

Se llama **gas** a la fase que no se puede licuar sin bajar la temperatura. Los motores de combustión y las turbinas de gas trabajan en esta zona

Se llama **vapor seco**, que puede ser sobrecalentado o recalentado (ver T5), a la fase en la que a T^a cte se puede llegar a condensar

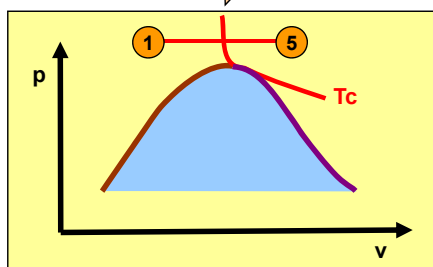
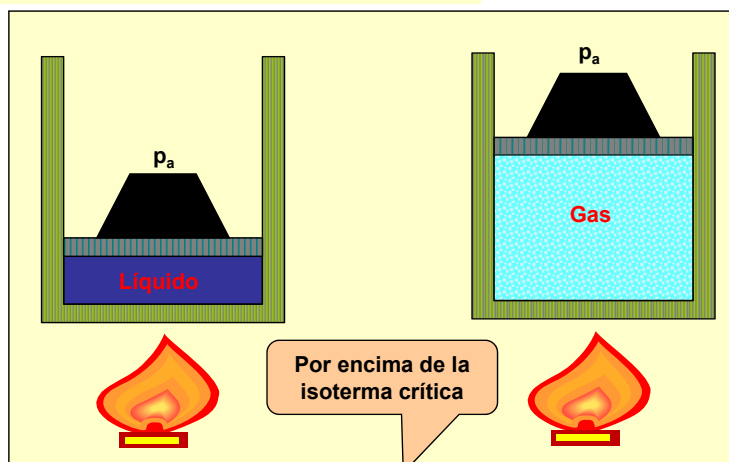
42

4.- Ecuaciones de Estado (V)



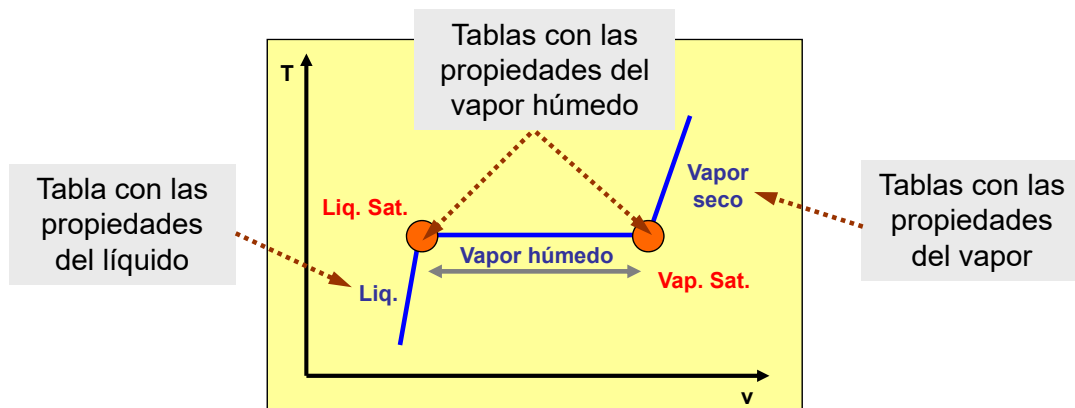
43

4.- Ecuaciones de Estado (VI)



44

4.- Ecuaciones de Estado (VII)



Vapor húmedo:

$$m \cdot v = m_{\text{liq}} \cdot v_{\text{liq}} + m_{\text{vap}} \cdot v_{\text{vap}}$$

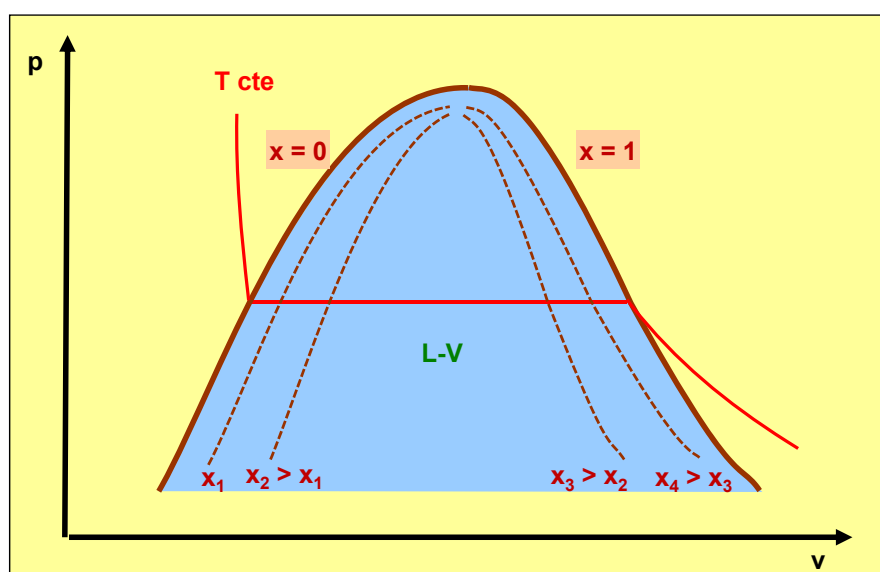
$$m = m_{\text{liq}} + m_{\text{vap}}$$

$$x \text{ (título vapor)} = \frac{m_{\text{vap}}}{m}$$

$$v_x = v_{\text{liq}} + x \cdot (v_{\text{vap}} - v_{\text{liq}})$$

45

4.- Ecuaciones de Estado (VIII)



1 kg vapor húmedo	=	x kg vapor saturado seco	+	1 - x líquido saturado
----------------------	---	-----------------------------	---	---------------------------

46

4.- Ecuaciones de Estado (IX)

Propiedades del agua líquida

Ojo al 10^6

Temperatura (°C)	Densidad ρ (kg/m ³)	Calor Específico c_p (J/kg°C)	Conductiv. térmica k (W/m°C)	Visc. dinám. $\eta \cdot 10^6$ (N.seg/m ²)	Visc. cinem. $\nu \cdot 10^6$ (m ² /seg)
0	999,9	4226	0,558	1794	1,789
20	998,2	4182	0,597	1004	1,006
40	992,3	4178	0,633	653,0	0,658
60	983,2	4181	0,658	470,0	0,478
80	971,8	4194	0,673	353,7	0,364
100	958,4	4211	0,682	281,0	0,294
140	926,1	4279	0,687	198,2	0,214
180	887,0	4413	0,678	153,5	0,173
220	840,5	4606	0,656	126,0	0,150
260	784,0	4944	0,614	107,5	0,137
300	712,5	6594	0,543	94,1	0,132

η a 300°C = 94,1 x 10⁻⁶

47

4.- Ecuaciones de Estado (X)

Propiedades del agua saturada o vapor húmedo (líquido-vapor)

		Volumen específico		Energía interna		Entalpía			Entropía	
		m ³ / kg		kJ / kg		kJ / kg			kJ / kg K	
		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido		Vapor	Líquido	Vapor
Temp,	Presión	sat,	sat,	sat,	sat,	sat,	vaporiz,	sat,	sat,	sat,
°C	bar	$v_f \times 10^3$	v_g	u_f	U_g	h_f	h_{fg}	h_g	s_f	s_g
,01	0,00611	1,0002	206,136	0,00	2375,3	0,01	2501,3	2501,4	0,0000	9,1562
10	0,01228	1,0004	106,379	42,00	2389,2	42,01	2477,7	2519,8	0,1510	8,9008
20	0,02339	1,0018	57,791	83,95	2402,9	83,96	2454,1	2538,1	0,2966	8,6672
30	0,04246	1,0043	32,894	125,78	2416,6	125,79	2430,5	2556,3	0,4369	8,4533
50	0,1235	1,0121	12,032	209,32	2443,5	209,33	2382,7	2592,1	0,7038	8,0763
100	1,014	1,0435	1,673	418,94	2506,5	419,04	2257,0	2676,1	1,3069	7,3549
200	15,54	1,1565	0,1274	850,65	2595,3	852,45	1940,7	2793,2	2,3309	6,4323
374,14	220,9	3,155	0,003155	2029,6	2029,6	2099,3	0	2099,3	4,4298	4,4298



48

4.- Ecuaciones de Estado (XI)

Propiedades del vapor seco

T	v	u	h	s
°C	m³/kg	kJ / kg	kJ / kg	kJ / kg K
p = 1,0 bar = 0,10 MPa				
(T _{sat} = 99,63°C)				
Sat	1,694	2506,1	2675,5	7,3594
100	1,696	2506,7	2676,2	7,3614
120	1,793	2537,3	2716,6	7,4668
160	1,984	2597,8	2796,2	7,6597
200	2,172	2658,1	2875,3	7,8343
280	2,546	2779,6	3034,2	8,1445
320	2,732	2841,5	3114,6	8,2849
360	2,917	2904,2	3195,9	8,4175
400	3,103	2967,9	3278,2	8,5435
500	3,565	3131,6	3488,1	8,8342



Los valores a T_{sat} coincidirían con los de vapor en la fila de 99,63°C de la tabla de vapor húmedo

49

4.- Ecuaciones de Estado (XII)

Sustancia	T _k (°C)	p _k (bar)	ρ _k (kg/m³)
O ₂	-118,4	50,8	410
H ₂ O	347,15	221,2	310
CO	-140,2	35	301
NH ₃	132,3	112,8	235

En los **Gases Reales** la ecuación de estado es:

$$p \cdot v = Z \cdot R \cdot T$$

Z el factor de compresión (1 en los ideales)
A altas Tª se comportan como ideales

Se llaman **Magnitudes Reducidas** a los valores del un estado divididos por los del punto crítico

$$p_r = \frac{p}{p_k}; \quad v_r = \frac{v}{v_k}; \quad T_r = \frac{T}{T_k}$$

50

Por último, MUCHO OJO A ...

En Termodinámica la **T^a** se expresa en grados **Kelvin**:

$$K = ^\circ C + 273$$

Se trabaja con las **presiones absolutas en Pa**

$$p_{abs} = p_{man} + p_{atm} \quad [Pa]$$

$$p_{atm} \approx 100 \text{ kPa}$$

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Si se quisiera trabajar en °C: sustituir T por (T + 273)
 $p \cdot v = R \cdot T \Rightarrow p \cdot v = R \cdot (T + 273)$ • Si se quisiera trabajar en bar: sustituir p por (10⁵ · p)
 $p \cdot v^n = cte \Rightarrow 10^5 \cdot p \cdot v^n = cte$ | $\left. \begin{array}{l} p \cdot v = R \cdot T \Rightarrow \\ \Rightarrow 10^5 \cdot p \cdot v = R \cdot (T + 273) \end{array} \right\}$ |
|---|--|

Ningún libro de Termo lo hace

51

Por último, MUCHO OJO A ...

En Termodinámica la **T^a** se expresa en grados **Kelvin**:

$$K = ^\circ C + 273$$

Se trabaja con las **presiones absolutas en Pa**

$$p_{abs} = p_{man} + p_{atm} \quad [Pa]$$

$$p_{atm} \approx 100 \text{ kPa}$$

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Si se quisiera trabajar en °C: sustituir T por (T + 273)
 $p \cdot v = R \cdot T \Rightarrow p \cdot v = R \cdot (T + 273)$ • Si se quisiera trabajar en bar: sustituir p por (10⁵ · p)
 $p \cdot v^n = cte \Rightarrow 10^5 \cdot p \cdot v^n = cte$ | $\left. \begin{array}{l} p \cdot v = R \cdot T \Rightarrow \\ \Rightarrow 10^5 \cdot p \cdot v = R \cdot (T + 273) \end{array} \right\}$ |
| <ul style="list-style-type: none"> • Si se quisiera trabajar en bar_{man}: sustituir p por (10⁵ · [p + 1])
 $p \cdot v^n = cte \Rightarrow 10^5 \cdot [p + 1] \cdot v^n = cte$ | $\Rightarrow 10^5 \cdot [p + 1] \cdot v = R \cdot (T + 273)$ |

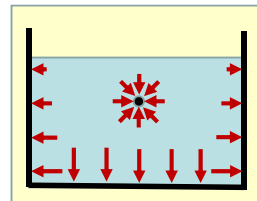
Ningún libro de Termo lo hace

52

Recordando el concepto de Presión

Presión, Pascal: (F / Superficie) [N/m²]

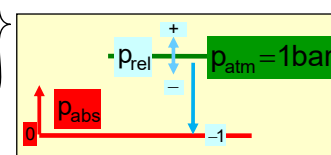
- En el interior de un fluido se transmite igual en todas las direcciones
- Se ejerce perpendicularmente a las superficies que lo contienen



Tipos de Presión:

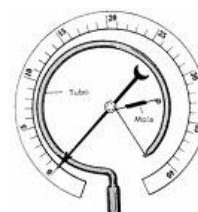
- **Atmosférica;** p_{atm} (nivel del mar y 0°C) = 1,013 bar
- **Absoluta;** p_{abs} (>0)
- **Relativa o manométrica;** p_{rel} (>-1bar; si <0 P de vacío)

$$p_{abs} = p_{atm} + p_{rel}$$



Medida de la Presión:

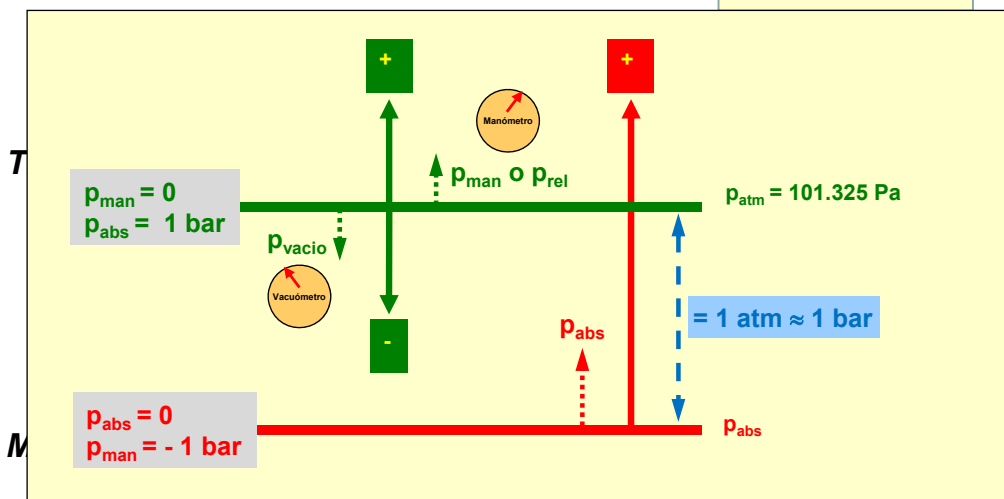
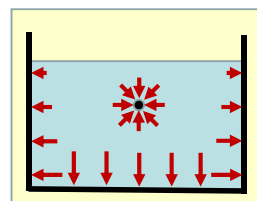
- **Manómetros:** P relativas positivas
- **Vacuómetros:** P relativas negativas



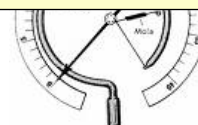
53

Recordando el concepto de Presión

Presión, Pascal: (F / Superficie) [N/m²]



- **Vacuómetro:** P relativas negativas



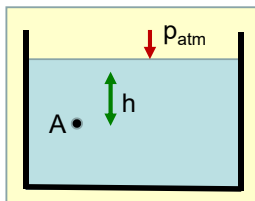
54

Recordando el concepto de Presión

La presión ejercida por una columna de fluido

$$p = \rho \cdot g \cdot h$$

$$p_{abs} = p_{atm} + p_{rel}$$



• **P. Absoluta** $p_{abs A} = p_{atm} + \rho \cdot g \cdot h$

• **P. Relativa** $p_{rel A} = \rho \cdot g \cdot h$

Pa (N/m²)

atm

bar

kg/cm² $\Rightarrow p = F/S \Rightarrow$ son kg_f $\Rightarrow 1 \text{ kg}_f = M \cdot g = 1 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 = 9,8 \text{ N}$

$$p = \text{kg}_f / \text{cm}^2 = 9,8 \text{ N} / 10^{-4} \text{ m}^2 = 9,8 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ kg/cm}^2 \approx 9,8 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

55

Un gas perfecto que está contenido en un recipiente de paredes inelásticas; un termómetro marca una temperatura de 35°C y un manómetro una presión de 3 kg/cm². Cuál será su presión manométrica en m.c.agua si se le somete a calentamiento hasta que alcanza 80°C

56

En un ciclo de refrigeración por compresión el refrigerante (CO_2) sale del evaporador y entra al compresor a una presión de 0,8 bar. A la salida del compresor la presión manométrica es de 0,75 MPa. La presión atmosférica es de 92 kPa. Determinar el cambio en la presión absoluta entre la entrada y la salida, en atm

57

Variación de volumen de 1 kg de agua líquida al evaporar a una T de:

- 10°C
- 100°C
- 200°C

		Volumen específico	
		m^3 / kg	
		Líquido	Vapor
Temp.	Presión	sat,	sat,
°C	bar	$v_f \times 10^3$	v_g
,01	0,00611	1,0002	206,136
10	0,01228	1,0004	106,379
20	0,02339	1,0018	57,791
30	0,04246	1,0043	32,894
50	0,1235	1,0121	12,032
100	1,014	1,0435	1,673
200	15,54	1,1565	0,1274
374,14	220,9	3,155	0,003155

58

Cuatro kg de agua se calientan a 50°C hasta obtener una mezcla con un título de vapor del 80%. Calcular el volumen final de la mezcla

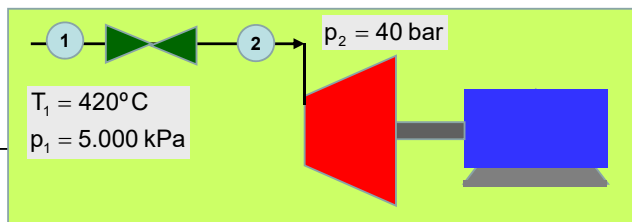
		Volumen específico	
		m³ / kg	
		Líquido	Vapor
Temp.	Presión	sat,	sat,
°C	bar	$v_f \times 10^3$	v_g
50	0,1235	1,0121	12,032

Un neumático de 0,6 m³ se infla hasta una presión manométrica de 200 kPa, calcular la masa de aire en el neumático si la temperatura es de 20°C

$$R_{\text{aire}} = 287 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

La figura muestra un flujo de vapor de agua que pasa por una válvula y entra en una turbina que acciona un generador eléctrico. La masa sale de la turbina con un flujo másico de 10 kg/s

- convertir el flujo másico a kmol/h
- expresar p_2 en MPa
- expresar T_1 en K
- expresar p_1 en bar



¿Se puede transportar las siguientes sustancias en fase líquida a temperatura ambiente (15°C)?

GAS	T_c (°C)	p_c (bar)	T_{sat} (1 bar)
Agua	374,15	221,2	100
Aire	-140,7	37,6	-194,0
Amoniaco	132,4	113,0	-33,4
Butano	152,0	37,9	-0,5
Helio	-267,9	2,3	-268,9
Hidrógeno	-239,9	12,9	-252,8
Metano	-82,3	48,8	-161,3
Oxígeno	-118,8	50,1	-183,0
Propano	96,6	42,4	-42,1

Transform.	Gas Ideal	$p \cdot V = M \cdot R \cdot T$	$p \cdot v = R \cdot T$
Politrópica	$p \cdot v^n = \text{cte}$	n	$n = \frac{\ln(p_a / p_b)}{\ln(v_b / v_a)}$ $\frac{p_b}{p_a} = \left(\frac{v_a}{v_b}\right)^n$ $\frac{T_b}{T_a} = \left(\frac{v_a}{v_b}\right)^{n-1}$ $\frac{T_b}{T_a} = \left(\frac{p_b}{p_a}\right)^{\frac{n-1}{n}}$
Isocora	$v = \text{cte}$	$n = \pm \infty$	$v_a = v_b$ $\frac{T_b}{T_a} = \frac{p_b}{p_a}$
Isobara	$p = \text{cte}$	$n = 0$	$p_a = p_b$ $\frac{T_b}{T_a} = \frac{v_b}{v_a}$
Isoterma	$p \cdot v = \text{cte}$	$n = 1$	$T_a = T_b$ $\frac{p_b}{p_a} = \frac{v_a}{v_b}$
Isoentrópica (adiabática)	$p \cdot v^\gamma = \text{cte}$	$n = \gamma$	- 1,66 en gases 1 at - 1,40 en gases 2 at - 1,33 en gases 3 at $\frac{p_b}{p_a} = \left(\frac{v_a}{v_b}\right)^\gamma$ $\frac{T_b}{T_a} = \left(\frac{v_a}{v_b}\right)^{\gamma-1}$ $\frac{T_b}{T_a} = \left(\frac{p_b}{p_a}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$

En **Termodinámica**:

- la **T^a** se expresa en grados **Kelvin**
- se trabaja con las **presiones absolutas en Pa**