

Física 4: Termodinámica



Darío Mitnik

Instituto de Astronomía
y Física del Espacio

Departamento de Física
Universidad de
Buenos Aires

Argentina

Generalidades

Unidades Primarias

- ▶ Longitud $[L]=\text{m}$
- ▶ Masa $[m]=\text{kg}$
- ▶ Tiempo $[t]=\text{sec}$
- ▶ Temperatura $[T]=\text{K}$
- ▶ Fuerza $[F]=\text{N} = 1 \frac{\text{kg m}}{\text{sec}^2}$
- ▶ Energía $[E]=\text{J} = 1 \text{ N m} = \frac{\text{kg m}^2}{\text{sec}^2}$
- ▶ Potencia $[P]=\text{W} = \frac{\text{J}}{\text{sec}}$

Generalidades

Unidades

► Densidad ρ : $\frac{m}{V}$ ó $\frac{n}{V}$

► Volumen específico $v = \frac{1}{\rho}$: $\frac{V}{m}$ ó $\frac{V}{n}$

Conversión Importante:

$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ l}$$

$$1 \text{ l} = 1000 \text{ cm}^3$$

Variables INTENSIVAS: T, P, ρ

Variables EXTENSIVAS: V, L, E

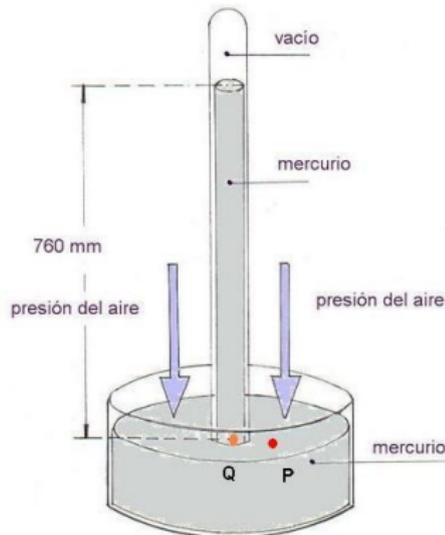
Generalidades

Presión

$$\begin{aligned}
 p_{\text{atm}} &= \rho g h = \\
 &= 13.6 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \\
 &\quad \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} 0.76 \text{ m} = \\
 &= 1.01325 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \\
 &= 1.01325 \times 10^5 \text{ Pa} = \\
 &= 1.01325 \times 10^3 \text{ HPa} = \\
 &= 1.01325 \text{ bar}
 \end{aligned}$$

$$1 \text{ bar} = 0.986923 \text{ atm}$$

Barómetro de Mercurio:



$$F = p A = m g = \rho h A g$$

Gas Ideal

$$\begin{aligned} pV &= nRT \\ &= \frac{F}{A}V = F \frac{V}{A} = \text{Nm} = \text{J} \end{aligned}$$

$$R = \frac{pV}{nT} = \frac{\text{J}}{\text{mol K}}$$

NIST (CODATA):

$$\begin{aligned} R &= 8.314472 \frac{\text{J}}{\text{mol K}} \\ &= 0.08205746 \frac{\text{atm l}}{\text{mol K}} \\ &= 1.987207 \frac{\text{cal}}{\text{mol K}} \end{aligned}$$

Gas Ideal

En función de la masa:

$$pV = nRT$$

$$\equiv m\tilde{R}T$$

$$nR = m\tilde{R}$$

$$\tilde{R} = \frac{n}{m}R = \frac{n}{nM}R = \frac{R}{M}$$

Aire:

$$N_2 : 78\% \quad Z = 7 \quad N \approx 14 \quad \Rightarrow M_{N_2} = 28$$

$$O_2 : 21\% \quad Z = 8 \quad N \approx 16 \quad \Rightarrow M_{O_2} = 32$$

$$M_{\text{aire}} = 28 \times 0.78 + 32 \times 0.32 = 28.917 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$\tilde{R}_{\text{aire}} = 287.003 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$$

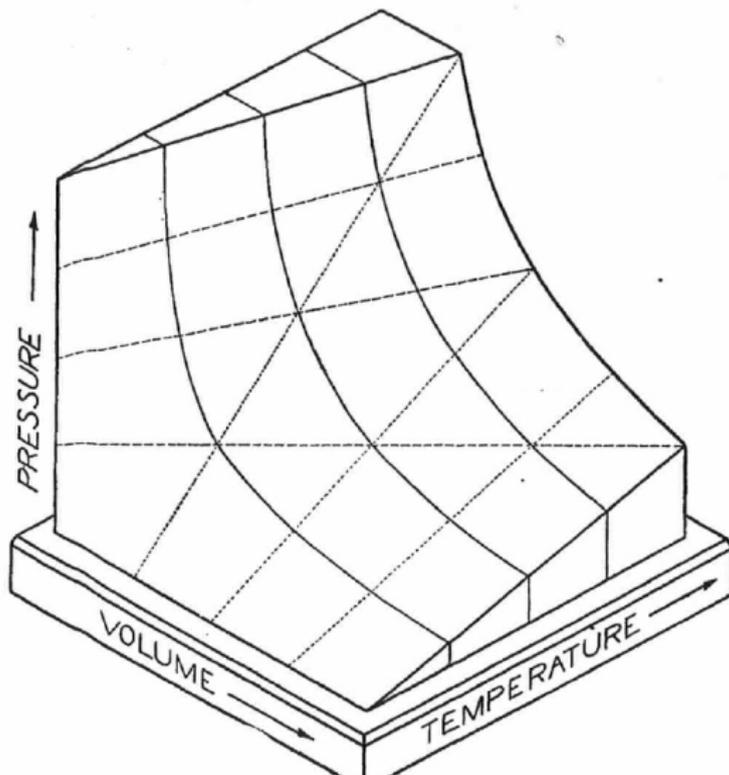
Ejercicio: Mostrar que $\tilde{R}_{H_2O} = 461.40 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$

Gas Ideal

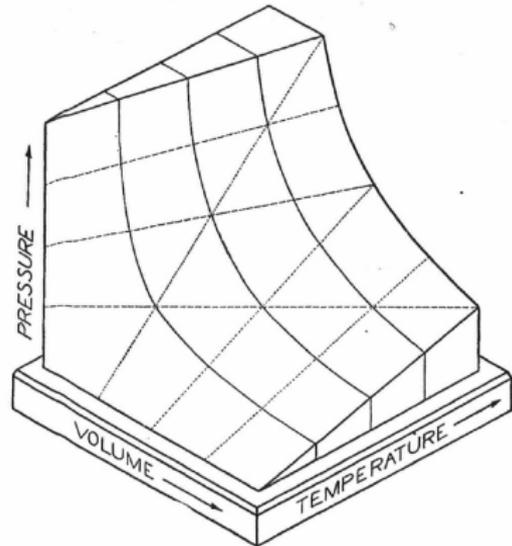
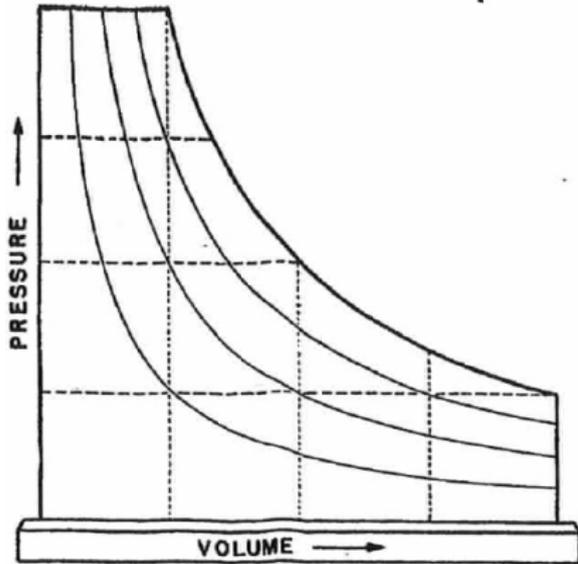
Condiciones Normales de Presión y Temperatura (CNPT):

$$\begin{aligned} pV &= nRT \\ V &= \frac{nRT}{p} \\ &= \frac{1 \text{ mol } 0.08205746 \frac{\text{atm l}}{\text{mol K}} 273.15 \text{ K}}{1 \text{ atm}} = 22.4 \text{ l} \end{aligned}$$

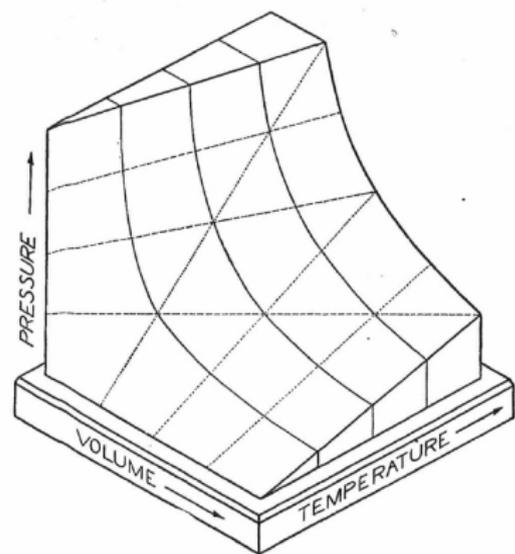
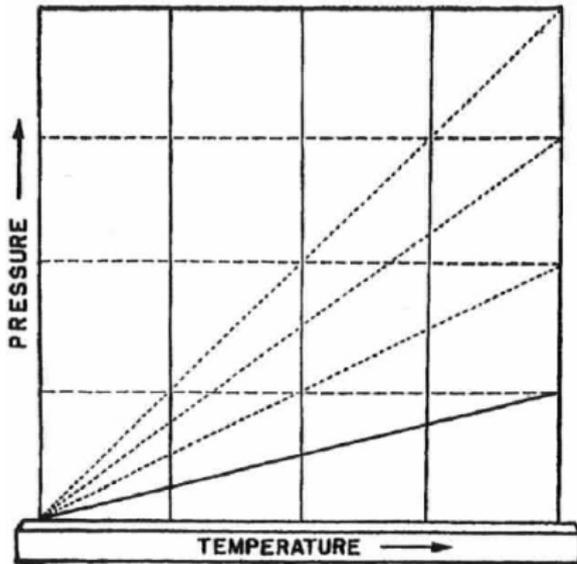
Superficies de Equilibrio



Superficies de Equilibrio



Superficies de Equilibrio



Derivadas Parciales en Termodinámica

Notarán que en todas las derivadas aparecen subíndices. Esto más que indicar la variable que queda constante, indica cuáles son las variables a considerar en las funciones. Ejemplo: La potencia eléctrica aumenta o disminuye con la resistencia?

1. Aumenta, porque

$$P = V I = (I R) I = I^2 R$$
$$\frac{dP}{dR} = I^2 > 0$$

2. Disminuye, porque

$$P = V I = V \left(\frac{V}{R} \right) = \frac{V^2}{R}$$
$$\frac{dP}{dR} = -\frac{V^2}{R^2} = -I^2 < 0$$

¿Cuál es correcta?

Diferenciales Exactos

Las variables termodinámicas **no dependen del camino**. Esto significa que son **diferenciales exactos**.

Si $F = F(x, y)$, entonces

$$dF = \left(\frac{\partial F}{\partial x} \right)_y dx + \left(\frac{\partial F}{\partial y} \right)_x dy$$

Definimos $M \equiv \left(\frac{\partial F}{\partial x} \right)_y$ y $N \equiv \left(\frac{\partial F}{\partial y} \right)_x$.

El diferencial dF es exacto sii

$$\left(\frac{\partial M}{\partial y} \right)_x = \left(\frac{\partial N}{\partial x} \right)_y$$

Diferenciales Exactos

Las relaciones entre derivadas parciales que se piden en los ejercicios de la práctica, se obtienen suponiendo que x , y y z son variables cuyos diferenciales son exactos. Se escribe

$$dx = \left(\frac{\partial x}{\partial y} \right)_z dy + \left(\frac{\partial x}{\partial z} \right)_y dz \quad (1)$$

Luego se escribe

$$dz = \left(\frac{\partial z}{\partial x} \right)_y dx + \left(\frac{\partial z}{\partial y} \right)_x dy \quad (2)$$

Se reemplaza el dx de (1) en (2).

Finalmente se escogen dos caminos

1. $dy = 0$
2. $dz = 0$

Algunas consideraciones para los ejercicios

- ▶ Recomiendo utilizar el programa XmGrace para realizar gráficos. Es un programa muy sencillo de usar, y de fácil instalación. La versión para Windows se llama QtGrace. Si es necesario, les hago un tutorial simple, pero en la web hay mucho material. El programa incluye un manual muy completo.
- ▶ Ejercicio (3): Si bien puede parecer trivial hacer una tabla y dibujar la curva, este ejercicio es muy importante. ¿Qué criterio toma para decidir que en una región determinada el gas se comporta como ideal? ¿Qué tipo de gráfico está utilizando?
- ▶ Una de las características importantes de XmGrace, es que permite realizar operaciones entre datos, integrales y derivadas de curvas, aproximaciones, fiteos, etc. Estos ejercicios son ideales para practicar el manejo del programa.

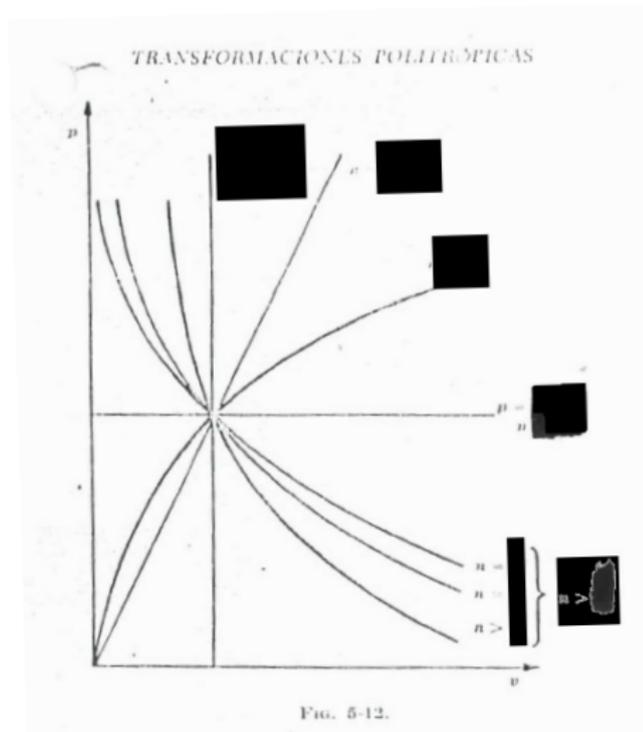
Politropas

Un proceso termodinámico politrópico obedece a la relación:

$$pV^n = C,$$

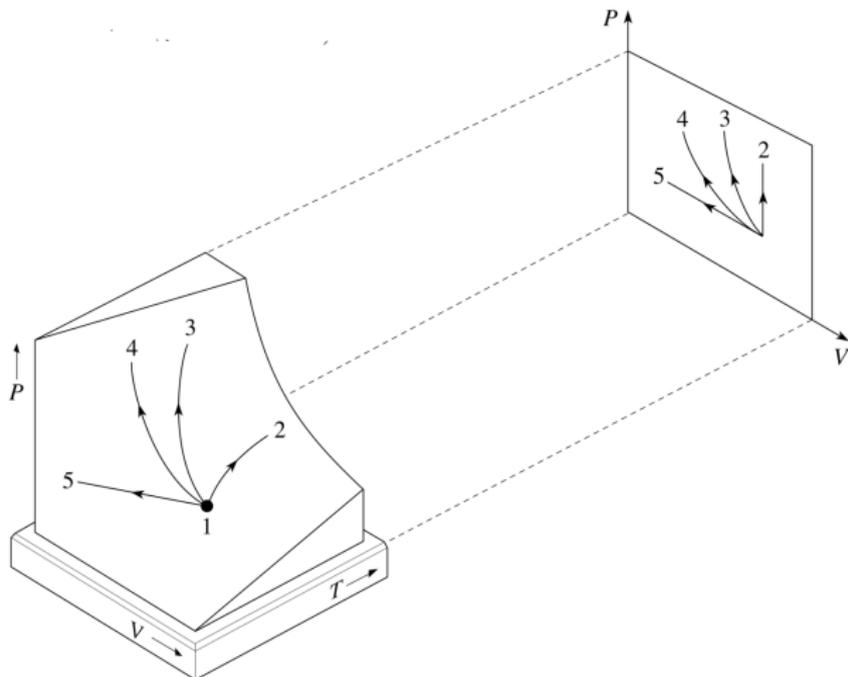
donde C es una constante y n es el **índice politrópico** ($n, C \in \mathbb{R}$).

- **Ejercicio:** Encontrar los índices politrópicos en estas curvas.



Politropas

- **Ejercicio:** Dibujar los siguientes procesos politrópicos en el plano pT y Tv .



Trabajo en Proceso Politrópico

Para cualquier politropa con $n \neq 1$, el trabajo realizado por un **gas ideal** se calcula integrando:

$$\begin{aligned} W &= - \int_i^f p dV = - \int_i^f \frac{C}{V^n} dV = \\ &= C \left[\frac{V^{-n+1}}{n-1} \right]_i^f = \frac{p_f V_f - p_i V_i}{n-1}. \end{aligned}$$

En un proceso isotérmico ($n = 1$):

$$\begin{aligned} W &= - \int_i^f p dV = - \int_i^f \frac{nRT}{V} dV = \\ &= nRT \int_i^f \frac{1}{V} dV = pV \log\left(\frac{V_i}{V_f}\right). \end{aligned}$$

Procesos Politrópicos en Gas Ideal

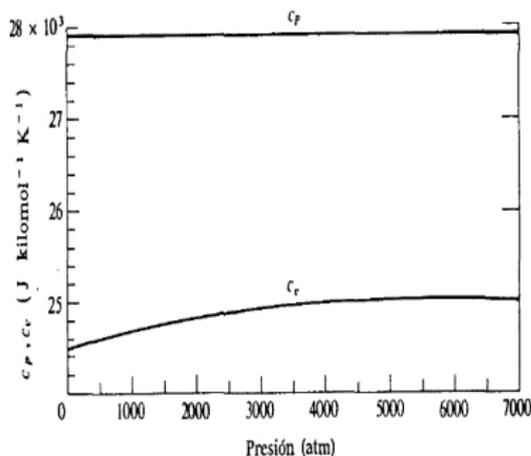
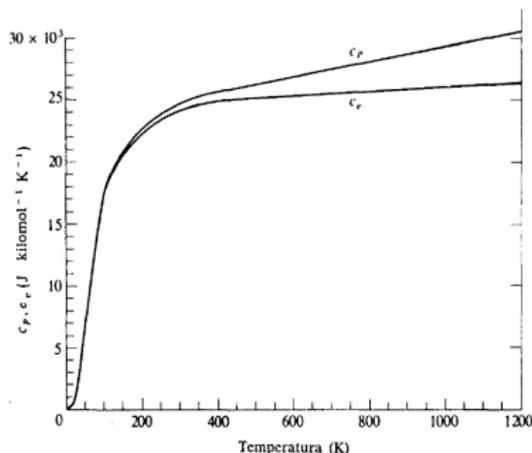
► **Ejercicio:** Completar la siguiente tabla:

Table 3.1 Process-Relations for Ideal Gas

Process	Q	$-\int_1^2 p dV$	$\int_1^2 V dp$	ΔU	p - V - T Relations	Exponent in $pV_n = C$
	$mc_v(T_2 - T_1)$		$V(p_2 - p_1)$		$\frac{T_2}{T_1} = \frac{p_2}{p_1}$	$n = \infty$
		$p(V_1 - V_2)$		$mc_v(T_2 - T_1)$	$\frac{T_2}{T_1} = \frac{V_2}{V_1}$	$n = 0$
				0	$p_1 V_1 = p_2 V_2$	
	0				$p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma$, $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{(\gamma-1)/\gamma}$	
Reversible polytropic	$mc_v \left(\frac{\gamma - n}{1 - n} \right) (T_2 - T_1)$	$\frac{p_2 V_2 - p_1 V_1}{n - 1}$		$mc_v (T_2 - T_1)$		$n = n$

Calor Específico

En la Figura vemos los calores específicos c_v y c_p para el Cu, en función de la temperatura T ($p = 1 \text{ atm}$) y de la presión p ($T = 0^\circ\text{C}$). ¿Qué conclusión se extrae de estos gráficos?



Calor Específico

En la Figura vemos los calores específicos c_v para diversos sólidos, en función de la temperatura T . (En realidad, en función de la temperatura de Debye, que es una temperatura escaleada, de manera de obtener un comportamiento universal). ¿Qué conclusión se extrae de estos gráficos?

