

— SISTEMAS CERRADOS: ECUACIONES —

Nombre	Expresión	Expresión Diferencial (para test)	¿Prop?	Unidad
Trabajo (W)	$W = \int_1^2 \delta W = \int_1^2 \vec{F} \cdot d\vec{r} = \int_1^2 \vec{F} \cdot \vec{\omega} \cdot dt$	δW	No	J
Calor (Q)	$Q = \int_1^2 \delta Q$	δQ	No	J
Energía (E)	$\Delta E = W_{ad}$	dE	Si	J
Energía Mecánica (E_M)	$\Delta E_M = \Delta(E_c + E_p + E_{elec} + E_{mag}) \approx \Delta(E_c + E_p)$	dE_M	Si	J
Energía Interna (U)	$\Delta U = \Delta(E - E_M) = \Delta(E - E_c - E_p - E_{elec} - E_{mag} - E_M)$	dU	Si	J
Entropía (S)	$\Delta S = \int_2^1 \frac{\delta Q}{T_{FT}} \Big _{Rev} \quad \Delta S > \int_2^1 \frac{\delta Q}{T_{FT}} \Big _{Irrev}$	$dS \geq \frac{\delta Q}{T_{FT}} \quad dS \geq \sum_{j=1}^n \frac{\delta Q_j}{T_{FTj}}$	Si	J/K
Primer Principio de la Termodinámica (1 ^{er} Ppio)	$Q_{sist} + W_{F_{ext},sist} = \Delta E_{sist} = \Delta U_{sist} + \Delta E_{M,sist}$	$\sum_{i=1}^n \delta Q_i + \sum_{i=1}^n \delta W_{(F_{ext},sist)_i} = dE$	—	—
Ecuación de la Energía Mecánica (EEM)	$\Delta E_{M,sist} = W_{F_{ext},sist} + W_{F_{int},sist} = W_{F_{ext},sist} - \varepsilon_{im} - W_d$	$dE_M = \sum_{i=1}^n \delta W_{(F_{ext},sist)_i} - \delta \varepsilon_{im} - \delta W_d$	—	—
Ecuación de la Energía Interna (EEI)	$\Delta U_{sist} = Q_{sist} - W_{F_{int},sist} = Q_{sist} + \varepsilon_{im} + W_d$	$dU = \sum_{i=1}^n \delta Q_i + \delta \varepsilon_{im} + \delta W_d$	—	—
Evaluación del trabajo en la frontera	$W_{A,B} + W_{B,A} = -\varepsilon^{\sigma_{A,B}}$	$\delta W_{A,B} + \delta W_{B,A} = -\delta \varepsilon^{\sigma_{A,B}}$	—	—
Primer Principio aplicado a la frontera	$Q_A^{\sigma_{A,B}} + Q_B^{\sigma_{A,B}} = \varepsilon^{\sigma_{A,B}}$	$\delta Q_A^{\sigma_{A,B}} + \delta Q_B^{\sigma_{A,B}} = \delta \varepsilon^{\sigma_{A,B}}$	—	—
Segundo Principio de la Termodinámica (2 ^o Ppio)	$\Delta S = \sigma_p + \sum_{j=1}^n \frac{Q_j}{T_{FTj}}$	$dS = \delta \sigma_p + \sum_{j=1}^n \frac{\delta Q_j}{T_{FTj}}$	—	—
Producción de entropía (σ_p)	$\sigma_p = \sigma_{int} + \sigma_{ext} = \sigma_{int} + \sum_{j=1}^n Q_j \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{FTj}} \right)$	$\delta \sigma_p = \delta \sigma_{int} + \delta \sigma_{ext} = \delta \sigma_{int} + \sum_{j=1}^n \delta Q_j \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{FTj}} \right)$	No	J/K
Irreversibilidad (I_p)	$I_p = T_{amb} \sigma_p$	$\delta I_p = T_{amb} \delta \sigma_p$	No	J

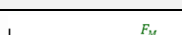
Casos Particulares (para test)			
Sistema indeformable:	$\delta W_{F_{int},sist} = -\delta \varepsilon_{im} - \delta W_d = 0$	EEM: $dE_M = \sum_{i=1}^n \delta W_{(F_{ext},sist)_i}$	EEI: $dU = \sum_{i=1}^n \delta Q_i$
Sistema deformable:	$\delta W_{F_{int},sist} = -\delta \varepsilon_{im} - \delta W_d = -\varepsilon_{im} + p dV - \sum_r x_r dX_r$	EEM: $dE_M = \sum_{i=1}^n \delta W_{(F_{ext},sist)_i} - \delta \varepsilon_{im} + p dV - \sum_r x_r dX_r$	EEI: $dU = \sum_{i=1}^n \delta Q_i - p dV + \sum_r x_r dX_r$
Sistema simple compresible (SSC):	$\delta W_{F_{int},sist} = -\delta \varepsilon_{im} - \delta W_d = -\delta \varepsilon_{im} + p dV$	EEM: $dE_M = \sum_{i=1}^n \delta W_{(F_{ext},sist)_i} - \delta \varepsilon_{im} + p dV$	EEI: $dU = \sum_{i=1}^n \delta Q_i - p dV$

* **Nota:** No es lo mismo dX (diferencial exacta) $\neq \delta X$ (diferencial no exacta) $\neq \partial X$ (derivada parcial).

— MODELOS TERMODINÁMICOS DE SUSTANCIAS —

Modelo de Gas Perfecto (MGP)				
En la zona gaseosa no existe una ecuación térmica válida para todo el campo (p,v,T). En la zona de presiones bajas y temperaturas moderadas (baja densidad), y alejada de las curvas de vaporización y sublimación, el comportamiento de los gases es casi idéntico y se aproxima con el modelo de gas perfecto.				
Ecuación Térmica de Estado:	$pV = mR_g T$ $V = v/m \quad [m^3/kg]$ $R_g = R/M_g \quad [J/(kg \cdot K)]$	Proceso Isoentrópico:	$PV^\gamma = cte$ $TV^{\gamma-1} = cte$ $TP^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = cte$	Energía Interna: $\Delta U = m \Delta u = m c_v \Delta T$
				Entalpía: $\Delta H = m \Delta h = m c_p \Delta T$
Capacidades térmicas:	$c_v(T) = \left. \frac{\partial u}{\partial T} \right _v$ $c_p(T) = \left. \frac{\partial h}{\partial T} \right _p$ - Semiperfecto: $(c_v, c_p) = f(T)$ - Perfecto: $(c_v, c_p) = cte$	Relaciones:	$R_g = c_p - c_v$ $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$ $\frac{\gamma - 1}{\gamma} = \frac{R}{c_p}$	Entropía: $\Delta S = m \left[c_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R_g \ln \frac{v_2}{v_1} \right]$ $\Delta S = m \left[c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R_g \ln \frac{p_2}{p_1} \right]$ $\Delta S = m \left[c_v \ln \frac{p_2}{p_1} + c_p \ln \frac{v_2}{v_1} \right]$

Modelo de Sustancia Incompresible (Sólidos y Líquidos)		
Ecuación Térmica de Estado:	$v = cte \quad o \quad \rho = cte$	Energía Interna: $\Delta U = m \Delta u = m c \Delta T$
Capacidad térmica:	$c(T) = c_p(T) \approx c_v(T)$ - Semiperfecto: $c = f(T)$ - Perfecto: $c = cte$	Entalpía: $\Delta H = m \Delta h = m \left(c \Delta T + \frac{\Delta p}{\rho} \right)$
		Entropía: $\Delta S = m c \ln \frac{T_2}{T_1}$

Muelle Ideal							
 Alargado $\delta > 0$	 Comprimido $\delta < 0$	Masa:	$m_M \approx 0$	Longitud:	$L = L_0 + \delta > 0$	Energía mecánica:	$\Delta E_{M_M} \approx 0$
		Adiabáticos:	$Q_M \approx 0$	Elongación:	$\delta \geq 0$	Energía interna:	$\Delta U_M = \frac{k}{2} (\delta_2^2 - \delta_1^2)$
		Idealmente elástico:	$\epsilon_{l_{mM}} \approx 0$	Fuerza:	$F_M = k\delta$	Entropía:	$\Delta S_M \approx 0$

Otros		
Fluidos (Gases y Líquidos):	$\Delta E_{MFlu} = \Delta(E_C + E_P)_{Flu} \approx 0$	Frontera: $W_{A,B}^{\square} = 0$ si el segundo subíndice está fijo
Fuente térmica	$\Delta S_{FT} = \frac{\sigma_p}{0_{(FT)}} + \sum_{j=1}^n \frac{Q_j}{T_{FTj}} = \frac{Q_{FT}}{T_{FT}} = \frac{-Q_{sist}}{T_{FT}}$	Frontera Amb – Émbolo: $W_{\infty,E}^{\square} = \int_1^2 \vec{F} \cdot d\vec{r} = \pm \int_1^2 p_{\infty} \cdot A_E \cdot dz = (\pm p_{\infty}) \cdot A_E \cdot (\pm \Delta z_E)$
		Frontera Fluido – Sólido: $\varepsilon^{\sigma_{Flu,Sol}} = 0$ (condición de adherencia cinemática)