(I)

$V(\cos\alpha, \cos\beta, \cos\gamma) = \vec{V}$

$\cos^2\alpha + \cos^2\beta + \cos^2\gamma = 1$ → Cosenos directores

$\vec{u}_v = \dfrac{\vec{V}}{|\vec{V}|}$

PE $\vec{A}\cdot\vec{B} = |A||B|\cdot\cos(A,B) = A_xB_x + A_yB_y + A_zB_z$ $\quad ij = 0$

$\cos(A,B) = \dfrac{\vec{A}\cdot\vec{B}}{|\vec{A}|\cdot|\vec{B}|}$

PV $A \wedge B = \begin{vmatrix} i & j & k \\ A_x & A_y & A_z \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix}$ $\quad |A\wedge B| = |\vec{A}|\cdot|\vec{B}|\cdot \text{sen}(A,B)$ (área sup.)

D $\dfrac{d\vec{V}}{dt} = \left(\dfrac{dV_x}{dt}, \dfrac{dV_y}{dt}, \dfrac{dV_z}{dt}\right)$

I $\int a(t)\,dt = (\quad , \quad , \quad)$

Circulac

$C = \int_a^b \vec{V}\cdot d\vec{r} = \int_a^b (V_x dx + V_y dy + V_z dz)$

Flujo

$\phi = \int_s \vec{V}\cdot d\vec{S} = \int_s (V_x dS_x + V_y dS_y + V_z dS_z)$

$\vec{F} = A\cdot\vec{E}$

Nabla

$\vec{\nabla} = \left(\dfrac{\partial}{\partial x}, \dfrac{\partial}{\partial y}, \dfrac{\partial}{\partial z}\right)$

Gradiente: $\vec{\nabla} f$

Divergencia: $\vec{\nabla}\cdot\vec{F}$

Rotacional: $\vec{\nabla}\wedge\vec{F}$

T. de Gauss

$\phi = \oint_S \vec{F}\cdot d\vec{S} = \int_V (\vec{\nabla}\cdot\vec{F})\cdot dV$

T. de Stokes

$C = \oint_C \vec{F}\cdot d\vec{r} = \int_S (\vec{\nabla}\wedge\vec{F})\cdot d\vec{S}$

C. Conserv.: $\oint F\,dr = 0$

sii irrotacional

$\rho = 13{,}6 \quad 760$ mm Hg → 1 atm

II

POLARES

$x = r\cos\theta$ $\qquad \theta = \arctan \frac{y}{x}$ $\qquad u_r = \cos\theta\,\vec{i} + \operatorname{sen}\theta\,\vec{j}$

$y = r\sin\theta$ $\qquad r^2 = x^2 + y^2$ $\qquad u_\theta = -\operatorname{sen}\theta\,\vec{i} + \cos\theta\,\vec{j}$

VELOCIDAD

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{dr}{dt}\cdot \vec{u_r} + r\frac{d\theta}{dt}\cdot \vec{u_\theta} = \left(\frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt}, \frac{dz}{dt}\right)$$

ACELERACIÓN

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \left(\frac{d^2x}{dt}, \frac{d^2y}{dt}, \frac{d^2z}{dt}\right)$$

$\vec{a} = 0 \to \vec{v_0} = cte$

$\vec{r} = \vec{v_0}t + \vec{r_i}$

$\vec{a} = cte$

$\vec{r} = \frac{1}{2}\vec{a}t^2 + \vec{v_0}t + \vec{r_0}$ $\quad (\vec{r_0} = cte = \vec{r}(t=0))$

TRIEDRO DE FRENET

$\vec{v} = |v|\cdot\vec{\tau}$

$$\frac{d\alpha}{ds} = \frac{1}{\rho} \to \frac{1}{\rho}\cdot\vec{n} = \frac{d\vec{\tau}}{ds} \to \vec{n} = \rho\cdot\frac{d\vec{\tau}}{ds}$$

$\vec{b} = \vec{\tau} \wedge \vec{n}$ $\qquad \to \rho = \frac{V^2}{a_N}$ (si no a_T) $\frac{d|\vec{v}|}{dt}$ $\to \frac{dv}{dt}$

$$\vec{a} = \underbrace{\frac{d|v|}{dt}}_{a_T}\cdot\vec{\tau} + \underbrace{\frac{|v|^2}{\rho}}_{a_N}\cdot\vec{n}$$

$\vec{a} = a_x\vec{i} + a_y\vec{j}$

$= a_T\vec{\tau} + a_N\vec{n}$

MOV. CIRCULAR

$$\vec{v} = R\cdot\frac{d\theta}{dt}\vec{u_\theta}$$

$$a = -R\underbrace{\left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2}_{\omega}\vec{u_r} + R\underbrace{\frac{d^2\theta}{dt^2}}_{\alpha}u_\theta \to \vec{v} = R\omega\vec{u_\theta}$$

$\vec{a} = -R\omega^2\vec{u_r} + R\alpha\vec{u_\theta}$

$\vec{v} = \vec{\omega} \wedge \vec{r}$

$\vec{V}_{abs} = \vec{V}_{rel} + \vec{V}_{sis}$

$\vec{a}$ ≘

III

$\vec{p} = m\vec{v}$

$\vec{p}^{\,o} = \vec{p}^{\,\prime}$ L. de conservación del momento (s. aislado)

$\vec{p} = \sum_i \vec{p_i} = cte$, $\Delta\vec{p_1} = -\Delta\vec{p_2}$ (interacción ⇒ intercambio de mom.)

$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} \rightarrow \vec{F} = m\cdot\vec{a}$ $\quad \vec{F_{12}} = -\vec{F_{21}}$

L D N

1. Si un cuerpo (SRI) no interacciona con ningún otro cuerpo, permanece en reposo o se mueve con velocidad constante.

2. $\frac{\Delta p}{\Delta t} = \vec{F}$ (vectores)

3. $\vec{F_{BA}} = -\vec{F_{AB}}$

$dW = \vec{F}\cdot d\vec{r} \rightarrow W_A^B = \int_A^B \vec{F}\cdot d\vec{r} = \int_A^B m v dv$

$\vec{P} = \vec{F}\cdot\vec{v} = \frac{W}{t}$

$$\Downarrow$$

$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \rightarrow W_{AB} = \Delta E_c \rightarrow$ Tma. de las fuerzas vivas

Energía

$\int_A^B \vec{F}\cdot d\vec{r} = \phi_A - \phi_B(x,y,z)$

$W_{AB} = E_{P(A)} - E_{P(B)} = -\Delta E_p$, $dW = -dE_p \rightarrow W_A^B = \Delta E_c$ (siempre)

$= -\Delta E_p$ (campo de fuerza conservativo)

$\vec{F} = -\vec{\nabla} E_p$

$\vec{F} = A\cdot\vec{E}$, $E_p = -\int A\vec{E}\,d\vec{r} \leftarrow \frac{E_p}{A} = -\int \vec{E}\cdot d\vec{r}$ Potencial de campo

$V = \frac{E_p}{A} = -\int E\cdot d\vec{r} \rightarrow \vec{E} = -\vec{\nabla} V$

Rozamiento

$|\vec{F_R}| = \mu\cdot|\vec{N}| \leftarrow \vec{F_R} = -\mu|\vec{N}|\vec{u_v}$ (opuesto a m. relativo) $<$ μ_E, μ_D $\quad \mu_E > \mu_D$

→ Fuerza disipativa $\oint \neq 0$ se opone a desplazamiento → NO CONSERVATIVAS

Conservación energía

$\Delta E_{MEC} = \Delta E_{p1} + \Delta E_{p2} + \Delta E_c = 0$ si no $\exists W_{NC}$; < 0 si $\exists$

$W_{EXT} = \Delta E_c + \Delta E_p$

IV

$\sum F_{(int)} = 0$

CM

$\vec{r}_{CM} = \dfrac{\sum_{i=1}^{N} m_i \cdot \vec{r_i}}{\sum_{i=1}^{N} m_i} = \dfrac{1}{M}\left(\sum m_i x_i, \sum m_i y_i, \sum m_i z_i\right)$; $\vec{r}_{CM} = \dfrac{\int \vec{r} \cdot dm}{M}$ ej.

$\vec{P}_{tot} = \sum_{i=1}^{N} m_i \vec{v_i} = M \cdot V_{CM} \rightarrow F = \dfrac{d\vec{p}}{dt} = M \cdot \vec{a}_{CM}$

Si F nula $\rightsquigarrow \sum m\vec{v_i} = cte \rightarrow$ Ley de cons. del momento

$\rightarrow$ S. de referencia CDM

$\vec{r}_{CM} = 0, \vec{V}_{CM} = 0$

$\vec{u}_i = \vec{v_i} - \vec{V}_{CM}$ (vel. relativa)

Masa reducida

$\mu = \dfrac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}$ + ligero $m_1 < m_2$

En cinética

$E_c = \sum \frac{1}{2} m_i \vec{v_i}^2$ Lab $\rightsquigarrow E_{CM} = \sum \frac{1}{2} m_i \vec{u_i}^2 \rightarrow E_c = E_{CM} + \frac{1}{2} M V_{CM}^2$

$F_{ext} = 0 \rightarrow \Delta E_c = \Delta E_{CM}$
(V_{cm} cte.)

Impulso

$\vec{I} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F} \cdot dt = \Delta \vec{p}$, $\vec{F}_M = \dfrac{\vec{I}}{\Delta t}$

Choques

El — $E_{CM} = E_{CIN}$
Inel — $E_{CIN} = 0$
P el — $E_{CIN} > 0$

$E_{CIN} = \frac{1}{2} m \underset{cte}{V_{CM}^2} + \underset{vel.}{E_{CM}}$

Elást $\rightarrow E_{CM} = cte.$

$\rightarrow \vec{U}_a = -\vec{U}_r$

$E_{C(TRANS)} = \left[\dfrac{4 m_1 m_2}{(m_1 + m_2)^2}\right] \cdot E_c$ si $=$ es máximo

Inelást

$\Delta E_c = \left[\dfrac{m_1}{m_1 + m_2} - 1\right] \cdot E_c = \dfrac{-m_2}{m_1 + m_2} \cdot E_c$

$\underset{\text{Proyectil}}{V_1} = \left(1 + \dfrac{m_2}{m_1}\right) \varphi \sqrt{gl}$

Parcialmente elást

$c = \dfrac{|\vec{P}_F|}{|\vec{P}_I|}$ (1 en elást. $I_R = I_R$; 0 en inelast) $I_R = 0$; p. el $0 < c < 1$

$E'_{CM} = c^2 E_{CM}$

$c = \dfrac{|V_1' - V_2'|}{|V_1^0 - V_2^0|}$ (si $= m$?) SIGNOS!

V

r_{CM}, V_{CM}, a_{CM}

Trasl. curvilínea + rotación = ω

todos =

In.

$$I = \sum m_i \cdot \rho_i^2 \;\Big|\; \int \rho^2 \, dm$$ ☆

$$E_c = \frac{1}{2} I \omega^2$$

T. Steiner

$$I = I_{CM} + Md^2$$

Mom de una F

$$\vec{M} = \vec{r} \wedge \vec{F} = \vec{r} \wedge \frac{d\vec{p}}{dt}$$ ☆

$$\vec{M}_0 = I \cdot \alpha$$ (2ª L. d N pa la trasl.) ☆

Mom angular

$$\vec{L} = \vec{r} \wedge \vec{p} = \vec{r} \wedge m\vec{v}$$ ☆

$$\sum \vec{M}_{(ext)} = \frac{d\vec{L}}{dt} \iff \sum \vec{F}_{(ext)} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

$$\vec{L}_0 = \underbrace{\vec{L}_{CM}}_{\text{spin}} + \vec{r}_{CM} \wedge M\vec{v}_{CM}$$ (2º tma. Koenig)

$$\vec{M}_{CM} = \frac{d\vec{L}_{CM}}{dt} \xleftrightarrow{\text{siempre}} \overset{\text{S.R.In}}{M_0 = \frac{dL_0}{dt}}$$

$$\vec{L} = \tilde{I} \cdot \vec{\omega} \qquad \begin{pmatrix} I_1 & & \\ & I_2 & \\ & & I_3 \end{pmatrix}$$

Cons. vel. areolar

$$\frac{d\vec{A}}{dt} = cte.$$ (módulo cte, trayect. plana, sentido cte)

Rodadura

M $V_p = V_{CM} + \vec{\omega} \wedge \vec{r} = 0$ $\quad \sum F_{ext} = \frac{dP}{dt}$, $F \cdot R = I_{CM}\,\alpha$

$a_{CM} = \frac{2}{3} g \operatorname{sen}\theta$ → Plano inclinado cilindro

$F_{lig} = \frac{1}{3} mg \operatorname{sen}\theta$ → ~~...~~ $F \le F_{max} = \mu_E |N|$ (mg) $\operatorname{tg}\theta \le 3\mu_E$

La F no realiza trabajo! → no W_{nc}

$\Rightarrow \Delta E_{cT} + \Delta E_{cR} = \Delta E_p$

T	R
m	I
$\vec{F}$	$\vec{M}_0$
$\vec{p}$	$\vec{L}_0$
$\vec{a}$	α
$\vec{v}$	$\vec{\omega}$

$a_T = \alpha R$

$v = \omega R$

VII

$F = -kx$ — se opone a la def. — coef. elást. $x = -\frac{1}{k} F$ → $\alpha \ll$ zona lineal

cte elástica — dependen de material y geometría

Tensión $\frac{F}{A} \propto \frac{\Delta L}{L_0}$

→ poniendo $(-F)$

(-F) TRACCIÓN

$\frac{\Delta L}{S} = \frac{F}{S}\left(\frac{1}{k}\right) \leftrightarrow \frac{\Delta L}{L_0} = \left(\frac{S}{kL_0}\right)\frac{F}{S}$ → módulo elástico → sólo del material : Módulo de young $E = \frac{k \cdot L_0}{S}$

$M(E, \sigma)$

$\hookrightarrow \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{1}{E} \cdot \frac{F}{S}$ $\left(N/m^2\right)$

D. lateral:

$\frac{\Delta r}{r_0} = -\sigma \cdot \frac{1}{E} \cdot \frac{F}{S} \longrightarrow \frac{\Delta S}{S} = -\frac{2\sigma}{E} \cdot \frac{F}{S} \longrightarrow \frac{\Delta V}{V} = \frac{1-2\sigma}{E} \cdot \frac{F}{S}$ (>0)

$0 < \sigma < 0,5$

COMPRESIBILIDAD

$\frac{\Delta V}{V} = \frac{1-2\sigma}{E}\,(-3\Delta P)$ ← en las caras, compresión → $\chi = 3 \cdot \frac{1-2\sigma}{E}$: coef. de compres. isoterma

$Q = \frac{1}{\chi} = \frac{E}{3(1-2\sigma)}$ → módulo de compresibilidad

$= -\frac{1}{Q}\Delta P$

FLEXIÓN

Extr. $s = \frac{4}{E}\frac{L^3}{bd^3}F$ Centro $s = \frac{1}{4E}\frac{L^3}{bd^3}F$ (Fibra neutra)

CIZALLA

$\alpha = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{F}{S}$ ← mód. elást. $\longrightarrow \mu = \frac{E}{2(1+\sigma)}$ $\frac{\Delta V}{V} = 0$

TORSIÓN

$\beta = \frac{1}{R} \cdot M$ $M = \frac{\mu \beta r^4 \pi}{2L} \longrightarrow R = \frac{\pi r^4}{2L} \cdot \mu$ ← material (no dep. de α) $\mu = \frac{2LR}{\pi r^4}$

ENERGÍA

$W = \frac{kx^2}{2}$

Tracc: $W = \frac{k\Delta L^2}{2} = \frac{ES\Delta L^2}{2L_0}$

Desl: $W = \frac{\mu S L \alpha^2}{2}$

VIII

$P = \frac{dF}{dS}$ Campo escalar

1 bar = 10^5 Pa
1 atm = $1{,}013 \cdot 10^5$ Pa

$\frac{dV}{V} = -k\,dP \quad k = \frac{1}{Q}$

EF EF $\quad P = P_0 \pm \rho g h$

Pr. de Pascal

$P' = P + \Delta P \rightsquigarrow$ Cualquier variación se transmite a todo el fluido

$F' = F \cdot \frac{S'}{S} \rightsquigarrow$ prensa

Pr. de Arquímedes

$\vec{P} = \vec{E}$ Peso aparente $P' = \vec{P_s} - \vec{E} = (\rho_s - \rho_L)\vec{g} \cdot V$

$\vec{a} = \left(1 - \frac{\rho_L}{\rho_s}\right) \cdot \vec{g}$ $\begin{cases} \to = 0 \\ \to 0 < a < g \\ \to a > g \end{cases}$

T. Superf.

$\vec{F_e} = \vec{F_c} + \vec{F_{pv}}$

$dW = \sigma\, dS$
coef. de tens. superficial

$F_\sigma = \sigma \cdot P_\sigma$

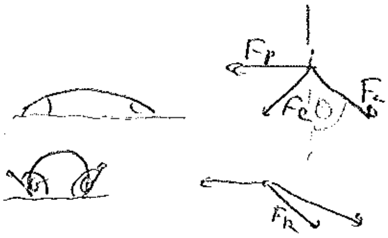
Ley de Laplace

$\Delta P = \frac{dF}{dS} = \sigma\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)$ $\quad \sigma: \frac{N}{m}$

$\begin{cases} \text{Gota} & \Delta P = \frac{2\sigma}{r_{max}} \\ \text{Pompa} & \Delta P = \frac{4\sigma}{r} \end{cases}$

Ángulo de contacto

Menisco cóncavo $\rightsquigarrow$ líquido moja $\rightsquigarrow$ $\theta < 90°$ (agua)



?

Capilaridad - Ley de Jurin

$P_0 = P_c + \frac{2\sigma}{R} \Rightarrow \rho g h = \frac{2\sigma}{r}$ $\quad R = r\cos\phi = r\cos\theta$ ← á. de cont.

$h = \frac{2\sigma\cos\theta}{R\rho g}$

IX

Fluidos estacionarios, líneas de corriente, tubos

Régimen: ideal (B) sin rozamiento; laminar (P); turbulento (V) | con rozamiento

$G = Sv$

Fl. ideales

$$\left(\frac{dV}{dt}\right)_A = \left(\frac{dV}{dt}\right)_B \longrightarrow S_A V_A = S_B V_B \rightarrow Sv = cte.$$ (Fluidos estacionarios homogéneos)

Ecu de continuidad (tubo de corriente)

$$P_1 + \rho g h_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \rho g h_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 = cte.$$ Tma. de Bernoulli (tubo corr, ideal)

presión hidrostática; presión debida a la altura; a la velocidad

dism. aumenta

Ef. Venturi:

P. hidrostática en estrechamiento (↑ velocidad, = nivel) disminuye

Tma. de Torricelli:

$S_A >> S_B$ $V_A << V_B$

$$V_B = \sqrt{2gh}$$

Viscosidad (fluido real en movimiento)

$$\frac{F}{S} = \eta \frac{dv}{dy}$$ $\frac{1}{\eta}$ fluidez (fl. newtonianos)

viscosidad

$(Pas = 10$ poise$)$ $\eta(T, P)$

no newt. $\eta = f(v)$

líq, gas, η

Pérdida de carga

fl. reales

→ V peq → R. laminar / Poiseuille (estacionario)

V grande → R. turbulento / Venturi

$$G\ cte \rightarrow G = \frac{dV}{dt} = \frac{\pi R^4 (P_1 - P_2)}{8\eta L}$$ Ley de Poiseuille

↓ Pérdida de carga

$G_{al} = S \cdot \vec{v}$

Número de Reynolds

$$N_R = \frac{2\rho R v}{\eta} \text{ (adimensional)} = \frac{v}{v_c} \leftrightarrow v_c = \frac{\eta}{2\rho R}$$

$v < 2000\, v_c$ (N_R) R. laminar $N_R < 2000$

$v > 3000\, v_c$ (N_R) R. turbulento $N_R > 3000$

Sedimentación

$$\rho_s V g - \rho_L V g - kv = m \cdot a \qquad v_L = v_s = \frac{Vg(\rho_s - \rho_L)}{k}$$

$$k = 6\pi r \eta \text{ (r<1mm) esféricos} \longleftrightarrow v_s = \frac{2r^2 g(\rho_s - \rho_L)}{9\eta}$$

Factor de forma:

≥ 1

< 1 0.01

Principio cero

- Sist. aislado alcanza estado de equilibrio q no puede abandonar espontáneaØ
- $A \rightleftarrows C$, $\Updownarrow$, $B \rightleftarrows C$ Pr. transitiva

Primer principio

$W + \Delta U (\neq Q) = Q$ → Mecanismos de variación Eint → trabajo
→ manifestación del intercambio con el exterior

Segundo principio

~~Espontaneo~~

→ K: ∄ W de 1 solo foco

U: ∄ $\eta = 1$

C: ∄ proceso convierta calor en trabajo sin compensación

C + M
$\Delta S_U \quad \frac{Q}{T_c} \quad \frac{Q}{T_h}$

Tablas

R = = ...

Cargas

$R = 8{,}31$
$0{,}082$
$1{,}98$

1 atm l: 101,3
1 cal: 4,18 J
1 J = 0,24 cal

T. Carnot

No ∃ $\eta > \eta_c$ entre T_1 y T_2

$W_{ad}^{exp} = (p_2 V_2 - P_1 V_1)/(\gamma - 1)$

G $dV = \alpha \, dT - \chi \, dP$

GI $P \cdot V = nRT$

CE $W = \int P \cdot dV \geq 0$ → δW

EI $W + \Delta U = 0$ (ad) ‖ GI $U = \frac{3}{2} nRT$ → dU

$\neq 0$ (g.) → δQ

$W + \Delta U = Q$

$\delta Q = \delta W + dU$

$(dQ) = \delta W + p\,dV$

CC $C_v = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V$ CF: $Q = mL$ → calor latente

EN $H = U + PV$ → dH (f. estado) $= dU + PdV + VdP$

$C_p = \left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_P$ $\delta Q = dH - VdP$ → Isob → $Q = \Delta H$
Isoc → $Q = \Delta U$

Isot: $Q \neq nC_p (T_2 - T_1)$

CE $\frac{C_m}{C_e} = M$

GI $\Delta U = \overset{n}{m} C_v \Delta T$
RPM $\Delta H = \overset{n}{m} C_p \Delta T$ } $C_p - C_v = R$ (molar)

EP $n = \frac{C_p - C}{C_v - C}$ índice politrópico

$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$

$TV^{(n-1)} = cte$, $PV^n = cte$, $TP^{\frac{1-n}{n}} = cte$

AD: PV^γ IS: PV ISOC: TP^{-1} ISOB: TV^{-1}

$\eta_c = 1 - \frac{|Q_{fr}|}{|Q_{cal}|}$

$\varepsilon = \frac{|Q_{fr}|}{|Q_{cal}| - |Q_{fr}|} = \frac{Q_{abs}}{W}$ → GI $\eta = 1 - \frac{T_{fr}}{T_{cal}}$

$\varepsilon = \frac{T_{fr}}{T_{cal} - T_{fr}}$

$\frac{Q}{W} = \frac{Q_{ced}}{W}$

$\frac{|Q_2|}{|Q_1|} = \frac{T_2}{T_1}$

ENTROPÍA

$\oint \frac{\delta Q}{T} = 0$ Igualdad de Clausius REV

no dep. del camino $\int_A^B \frac{\delta Q}{T} = \Delta S$ → dS (f. estado)

$dS = \frac{\delta Q}{dT}$

$\oint \frac{dQ}{T} < 0$ ≠ de Clausius IRR

$S_F > S_I$

→ $\Delta S_S + \Delta S_A > 0$

Ec. de Gibbs

REV) $TdS = dU + pdV$

$\Delta S (T, V) = nC_v \ln \frac{T_2}{T_1} + nR \ln \frac{V_2}{V_1}$

(T, P) $nC_p \ln \frac{T_2}{T_1} - nR \ln \frac{P_2}{P_1}$

(I)

1. Estado
'Variables termodinámicas
" de estado
" < intensivas / extensivas

2. Equilibrio termodinámico
Estado estacionario
Eq < térmico / mecánico / químico

3. Proceso < cuasi-estáticos / no estáticos
(q es,...) vera var
Diagrama termodinámico
Sistema
Entorno/Ambiente } Universo termodinámico

Paredes { Rígida / Móbil } W
{ Adiabética / Diatérmana } Q
{ Impermeable / Semipermeable } M

Sistema — Abierto E M
— Cerrado E
— Aislado

4. $\boxed{PO} <$ Equi / Trans
Temperatura < °C / K
$T_A = T_B$ si e.t. , $t°K = 273.15 + t°C$

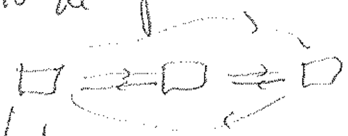
5. E. T. E. $V = V(P,T)$ $F(P,V,T)=0$ ~ gases ideales (ρ bajas)
Ecuación de Clapeyron R, N_A, k
Coeficientes térmicos del sistema < dilatación isóbara / compresibilidad isotérmico
$dV = \alpha dT - \chi dP$

6. $W \Rightarrow \Delta$ v. ext.
V
< expansión / compresión
Trabajo intercambiado x sist
+ contra Fext
− a favor Fext
δW
Pr. cuasi → $P_{int} = P_{ext}$; $W^2_{1(a)} \neq W^2_{1(b)}$

(II) 1. W adiabát no dep. de camino
(F conservativo) Mec.
Energía interna
Función de estado
Eurd energética de estado EGE
T → trasl. EI → Σ

2. Calor ⟶ En. transferida x medios no mecánicos x un sistema a dtta T del entorno
Criterio signos
Q, U, W

3. Capacid calorífica, cte $\boxed{C_v}$
Cambio de fase



Calor latente
L_f. L_v

4. Entalpía
$\boxed{C_p}$

Calor específico
Gas ideal (no depende de T) (específ.)
Relación de Mayer
[Monoatómico
Diatómico
Coeficiente adiabático

Gases ideales	C_v	C_p	γ
Monoató	$\frac{3}{2}R$	$\frac{5}{2}R$	$\frac{5}{3}$
Diatóm	$\frac{5}{2}R$	$\frac{7}{2}R$	$\frac{7}{5}$

Tri...

(6) $n = \dfrac{C_p - C}{C_v - C}$ → (específico a estudiar; …) c a p, V cte (molares?)

Indice de politropía
Procesos fundam 4 (a func.)
c, n

	Ce	n
Isóbaro	C_p	0
Isócoro	C_v	∞
Isotermo	∞	1
Adiabático	0	γ

(… cte)

Ec. Politrópica en (T, V / T, P / P, V)

XII Espontaneid
Inversos, Aporte energía
Cuantitativo - Cualitativo
X Q → W en pr. cíclico

Focos
Máq. térmica
Rendimiento, Eficacia
? Procesos reversible - irreversible
(sin violar) (violan)

Ciclo Carnot
Trabajo,
Rendimiento
Teorema Carnot
Cero absoluto

Escala td de la T
U ~ S
Q ≷ 0
Q/T nulo
Igualdad de Clausius
Entropía, Pr. rev.
Desigd de Clausius
Pr. irrev. sist. aislado
sist. no aislado

Ecuac Gibbs (une 1er y 2º principio)
pa rev.
irrev.
Entropía según (T, V) (T, P)
Procesos

2º principio
- Kelvin
- Univ
- General

TERMO

Reconocer ⟨ cts, cerrado, aislado → Paredes
m d i
r a i

$T(K) = (t(°C) + 273,15)\,K$

$R = N_A \cdot k$
$= 8,31\ J/K\,mol = 2\,cal/mol\,K = 0,082\ atm\,l/mol\,K$

$N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$ part/mol

(5) ETE
$\boxed{PV = nRT}$
$F(P, V, T) = 0$

no ideal:

$$\boxed{dV = \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P dT + \left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T dP}$$

$\frac{dV}{V} = \alpha\, dT$ → coefic. de dilatac cúbica a presión cte. (coef. de dilatac isobárico) ((coef. Térmicos sistema)

$\frac{dV}{V} = -\chi\, dP$ → coef. de compresibilid isotermo

$dV = \alpha V \cdot dT - \chi V\, dP$ E.T.E

(6) W → variac var. extens. (PVT → V)

$W_{12} = \int P_{ext} \cdot dV$ → δW

EXP: $V_2 > V_1$ → $W > 0$ (contra f ext)
COMP: $V_2 < V_1$ → $W < 0$ (a favor f ext)

P cte → $W = (V_2 - V_1) \cdot P_{ext}$

→ conocer $P(V)$ si P no es cte. (difícil)

Cuasi-estát.:
$P_{ext} = P_{int}$
$W = \int_1 P \cdot dV$ → resolver si se sabe el camino (depende de él)

(7) W adiabático no dep. del camino seguido! → función del punto

$W_{12} = \phi_1 - \phi_2 = \Delta\phi$ → $E_{pot} = -\phi$ (con F conserv.)
Termo

~~Función de~~ En interna F. de estado
$W_{12} = -\Delta U = U_1 - U_2$

sólo ΔU
/gas ideal
$U = \frac{3}{2} nRT$

$W + \Delta U = 0$

$U = U(P,T)$, (V,T), (P,V) } E. En. E

$\neq 0$ (a)(b)

$Q = \Delta U + W$

δQ no f. estado

W<0 → SISTEMA → W>0
Q>0 → SISTEMA → Q<0

Q > 0 Calor absorbido por sistema
Q < 0 " cedido

proceso $\delta Q = \delta W + dU$ exacta. x^a cualquier proceso
intercambio de calor o trabajo)

→ (cuasi-estát) $= dU + p \cdot dV$ ¿0?

En ciclo → $\Delta U = 0$

$[\delta Q = C \cdot dT]_{cos}$ (Cap. calorif.)
$(\delta Q)_V = C_V \cdot dT$ Proceso a V cte. !!
$(\delta Q)_P = C_P \cdot dT$ → P cte

$dU = \frac{\partial U}{\partial V} dV + \frac{\partial U}{\partial T} dT$

$\delta Q = p\,dV + \ldots = C_V dT \Leftrightarrow C_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V$ → varia U con T

$Q = m \cdot L$
cambio fase

$L_F = 80\,cal/g$
$L_{vap} = 540\,cal/g$

④ Entalpía

$$H = U + P\cdot V$$

$$dH = dU + dP\cdot dV + V\cdot dP$$

$$= \delta Q + VdP$$

$$\delta Q = dH - VdP$$

$\rightarrow$ P cte $\rightarrow (\delta Q)_p = dH \rightarrow Q_p = \Delta H = H_2 - H_1$

$$(\delta Q)_p = \left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_p \cdot dT \rightarrow dP = 0$$

$$\delta Q = \left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_T dP + \left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_p \cdot dT - VdP$$

$$\rightarrow \boxed{C_p = \left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_p} \equiv C_v \rightarrow$$ Δ f. de estado entalpía con T $\leftrightarrow$ ~ ΔU

d especif

⑤ C. específicos

$$c_e = \boxed{\frac{C}{m}} \rightarrow c_p = \frac{1}{m}\left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_p \rightarrow c_v = \frac{1}{m}\left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_v$$

M <

$$c_m = \boxed{\frac{C}{n}}$$

$$\boxed{\begin{aligned} U &= \int m c_v\, dT \\ H &= \int m c_p\, dT \end{aligned}}$$ $\longrightarrow$ gas ideal (cualquier proceso, f. estado, da = v, p) $$\boxed{\begin{aligned} \Delta U &= m c_v \Delta T \\ \Delta H &= m c_p \Delta T \end{aligned}}$$ $n c_{vm}\,\Delta T$ / $n c_{pm}\,\Delta T$

única forma de calcular U o ΔU (…)

$$\rightarrow \Delta H = \Delta U + \Delta(P\cdot V) \rightarrow m c_p \Delta T = m c_v \Delta T + \Delta(PV) \rightarrow E.T.E$$

$$\hookrightarrow m c_p \Delta T = m c_v \Delta T + nR\Delta T$$

$$\hookrightarrow m c_p = m c_v + nR$$

$$c_p - c_v = \frac{nR}{m} = \boxed{\frac{R}{M}}$$

$\xrightarrow{\text{C. molar}}$ $\boxed{c_p - c_v = R}$ C. molares gas ideal

$c_p > c_v > 0$

$c_p \geq R$

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v}$$

⑥ Pr. termodinámica

índice de politropía

Procesos en f(y) [...]

	c_e	n
Isóbaro	c_p	0
Isócoro	c_v	∞
Isotermo	∞	1
Adiabático	0	γ

proceso calor molar c

$$TV^{(n-1)} = cte.$$

$$TP^{\left(\frac{1-n}{n}\right)} = cte$$

$$PV^n = cte$$

E.T.E } expresiones [...] procesos

i → cambios de politrópica con E.T.E

Proceso isóbaro (sirve ... utilizar una ... está la presión!)

$\sim P^{\gamma} \cdot V^{-1} = cte$

$\frac{V}{T} = cte$

isócoro

$T P^{-1} = \frac{T}{P} = cte \rightarrow \frac{P}{T} = cte = \frac{T}{P} = cte$

isotermo

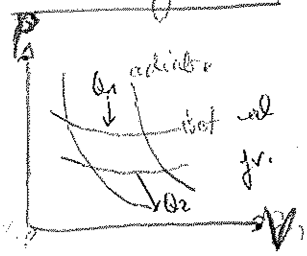
$P \cdot V = cte$ $P \cdot V^{n} = cte$

~~En diagrama~~:

Adiabático

$P \cdot V^{\gamma} = cte$ $T V^{\gamma - 1}$ $T P^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}$

En diagrama:



$P \cdot V = cte$

$P \cdot V^{\gamma} = cte$

cal

fr.

sólo se cortan en 1 punto

Cuerva ciclo

XII Espontaneid

Inversos, Aporte energía

Sentido de evolución

Cuantitativo - Cualitativo

2° principio - Kelvin

Focos

Máquina térmica - frigorífica

Rendimiento, ~~...~~ Eficacia

$\eta = 1 - \left|\frac{Q_{fr}}{Q_{cal}}\right|$

$\eta < 1$

$\varepsilon = \frac{|Q_{frio}|}{|Q_{cal}| - |Q_{fr}|}$

Ciclo Carnot

$W_T = |Q_{cal}^{1}| - |Q_{fr}^{Q_2}|$

$\eta = \frac{|Q_{cal} - Q_{fr}|}{|Q_{cal}|} = 1 - \frac{|Q_{fr}|}{|Q_{cal}|} \rightarrow$ Gas ideal: $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$

Inverso $\rightarrow \varepsilon = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$

$\frac{|Q_2|}{|Q_1|} = \frac{T_2}{T_1}$ en máq 2 focos, IMP: no depende de magnitud termométrica (...)

$-273,15\,°C = 0K$

$\begin{cases} Q_1 > 0 \rightarrow \text{absorbido de FC} \\ Q_2 < 0 \rightarrow \text{cedido a FF} \end{cases}$ (convenio)

ciclo Carnot $\dfrac{|Q_1|}{T_1} = \dfrac{|Q_2|}{T_2}$

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = 0 \quad \text{(2 isotermos)}$$

$$\sum \frac{\delta Q_i}{T_i} = 0$$ Proc. reversible

$$\oint \frac{\delta Q}{T} = 0$$

$$\int_{(\alpha)} \frac{\delta Q}{T} = \int_{(\beta)} \frac{\delta Q}{T}$$

$\Leftarrow$ $$\Delta S = \int_A^B \frac{\delta Q}{T} = S_B - S_A$$ $\rightarrow$ F. de estado | en ciclo $\Delta S = 0$ sea o no reversible !

S. aisl: $\Delta S = 0$

$\rightarrow$ Procesos reversibles:

$$\delta Q = T\,dS$$
$$dS = \frac{\delta Q}{T}$$

T: cte integradora

$\eta < \eta_c$ $$\oint dQ < 0$$

$\downarrow$

$$-\frac{Q_2}{Q_1} > \frac{T_2}{T_1}$$

$$\delta Q < T\,dS$$ $\rightarrow$ S. aislado proceso irreversible

$$S_F > S_I$$ E. se conserva pero se degrada, aumenta

S. no aislado irrev.

$$\Delta S_T > 0$$
$$\Delta S_S + \Delta S_A > 0$$

$\uparrow$ $\uparrow$ si uno aumenta el otro disminuye +

$$dQ = T\,dS = dU + dW = dU + p\,dV \quad \text{Pr. rev}$$

$$\text{irrev} \rightarrow T\,dS > dU + p\,dV$$

P. Rev gas ideal:

$$dS = n c_v \frac{dT}{T} + nR \frac{dV}{V}$$

$$\frac{dV}{V} = \frac{dT}{T} - \frac{dP}{P}$$

$$\hookrightarrow \Delta S(T,V) = n c_v \ln\frac{T_2}{T_1} + nR \ln\frac{V_2}{V_1}$$

$$(T,P) = n c_p \ln\frac{T_2}{T_1} - nR \ln\frac{P_2}{P_1}$$

$q \sim E$

$Q = N \cdot e$

$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19} C$

$F = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^3} \cdot \vec{r}$ Ley de Couloumb.

$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$ / $\begin{cases} \varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}\ C^2/Nm^2 \\ k = 9 \cdot 10^9\ \frac{Nm^2}{C^2} \end{cases}$

Superposición

$\sum F_i \quad \sum E_i$ (ya no ~)

$E = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{\vec{R_i}}{R_i^3} = \frac{kq}{R^2} \quad \left(\frac{N}{C}\right)$ ☆

C. puntuales:

$F_{12} = q_1 E = \frac{k q_1 q_2}{R^2} \vec{u_r} = -\vec{F_{21}}$

C. continua

$E = k \cdot \int \frac{dq}{R^3} \cdot \vec{R}$ ☆

$\phi = \vec{E} \cdot \vec{A}$: Flujo de c. eléc. a través superficie ☆

T. Gauss (vál. xa cualquier distr. de carga)

$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q_{enc}}{\varepsilon_0}$, $d\vec{A}$ hacia el exterior ☆

↓ (l. de las S exteriores a la superficie) no entran y salen...

- $\vec{E} \parallel dA$, $\perp S$
- E cte. en S'

$E_p = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$ (c. uniforme) $\| - E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}, V = -\frac{\sigma d}{\varepsilon_0}$

$E_h = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{\lambda}{r}$

Potencial

$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$

$\Delta U_{AB} = -W_{AB} = -\int_A^B q_0 \cdot \vec{E} \cdot d\vec{l}$

$U \gtrless 0 \Rightarrow W$ xa acercarlas / xa liberarlas (s. ligado)

$\Delta V_{A,B} = \frac{\Delta U_{AB}}{q_0} = -\int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{l} \left(\frac{J}{C} = V\right)$, $\xrightarrow{\oplus}$ / $< U_p$. $E + V$ J. Faraday ☆

$\Delta V_{A,B} = kq\left(\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A}\right)$, $V(r) = \frac{kq}{r}$ → f. escalar p.e. puntual en un punto $= \int \frac{k\,dq}{R}$ d. continua ☆

indep. del camino

signo según (q)

└ Continuidad

$\vec{E} = -\text{grad}\, V = -\vec{\nabla} V$ ☆

Condensadores:

Paralelo: $Q = Q_1 + Q_2 \dots$

$C_{eq} = C_1 + C_2$

Serie: $Q_1 = Q_2 = \dots$

$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \dots$

Capacidad $C = \frac{Q}{V}$

$C = \frac{Q}{(V_2 - V_1) = \frac{\sigma d}{\varepsilon_0}} = \frac{\sigma A}{\sigma d} = \frac{A \cdot \varepsilon_0}{d}$

$U = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} QV$

esfera → $C = 4\pi\varepsilon_0 R$

$U_e = \frac{1}{2} \varepsilon_0 E^2$

13

9

$I = \frac{dq}{dt}$ $\quad (1A = 1\frac{C}{s})$

$+ \rightarrow -$

$\frac{I}{A} = \frac{nqAV_d}{A} = J$

$\Delta V \rightarrow E \rightarrow J$

$J = \sigma \cdot E$ L. de Ohm microscópica (materiales óhmicos a T)

σ: conductividad ($\Omega^{-1} m^{-1}$: Siemen)

$V = RI$

$R = \frac{1}{\sigma} \cdot \frac{\Delta l}{A} = \rho \frac{\Delta l}{A} \equiv$ resistencia $(\Omega = V/A)$

$\rho = \frac{1}{\sigma}$: resistividad (Ωm)

$xy \cdot 10^z \pm \%$

R. en serie (≠ condensadores) en paralelo

$R_{eq} = R_1 + R_2 + \dots$ $\quad \frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \dots$

Energía

$\Delta U = \Delta(Q \cdot V)$

$V = (V_A - V_B) \rightarrow$ caída de potencial

$\Delta Q \cdot \Delta V = -\Delta Q V$ (pérdida)

$\frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \cdot V = I \cdot V = I^2 R = \frac{V^2}{R}$ (Efecto Joule) — elim no lugar...

Batería / fem $\mathcal{E} \equiv$ trabajo/unid. de carga

mantiene ΔV cte.

$\rightarrow P_{real} = \mathcal{E} I - I^2 r$

R. KIRCHOFF

1. $\vec{I}_1 = \vec{I}_2 + \vec{I}_3$

2. Malla: camino cerrado dentro del circuito

$\sum \Delta V = 0$

a $\rightarrow$ b, I: $V_a - V_b = IR$

$\leftarrow I$: $V_a - V_b = -IR$

a —|⊢— b: $V_a - V_b = -\mathcal{E}$

a —|⊢— b: $V_A - V_B = \mathcal{E}$

→ Dibujar
→ Elegir
→ Reemplazar
→ Aplicar regla a todos los nodos − 1
→ " " a todas las independientes
→ Sist. de ecuac.
→ Resolver + comprobar con Balance de potencias

¡No reemplazar

$\sum \mathcal{E}_i I_i = \sum I_j^2 R_j$

q en mov $\curvearrowright B$ / I?

$F_m = q \cdot \vec{V} \times \vec{B}$ R. m. dcha (tornillo)

F. Lorentz: $F = q\,\vec{V} \times \vec{B} + q\,\vec{E}$ → no depende de v!

$[B] = \dfrac{N}{Cm/s} = \dfrac{N}{Am}$ = tesla [T] (1 Gauss $= 10^{-4}$ T)

Corriente

$\vec{F} = (q\vec{V}_d \times B) \cdot n \cdot A \cdot l = BIl$

$d\vec{F} = \underbrace{I \cdot d\vec{l}}_{\text{elem. de corriente}} \times \vec{B} \leftrightarrow \vec{F} = I \int_L d\vec{l} \times \vec{B}$ ☆

Movim.

$\omega = \dfrac{qB}{m}$, $T = \dfrac{2\pi m}{qB}$ (B. uniforme)

$v = \dfrac{E}{B}$

$\dfrac{q}{m} = \dfrac{E}{rB_0B}$ || Thomson.

Mom.

$\tau = IAB$

L. de B y S

$d\vec{B} = \dfrac{\mu_0}{4\pi} \dfrac{I\,d\vec{l} \times \vec{R}}{R^3}$ $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Tm/A $\left(\dfrac{N}{A^2}\right)$ $\longleftrightarrow$ $dE = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0} \dfrac{dq}{R^3} \cdot \vec{R}$ ☆

(Corrientes estacionarias, campo magnetostático)

espira $\vec{B} = \dfrac{\mu_0}{2} \dfrac{I}{a} \hat{k}$ x solenoide $\vec{B} = \mu_0 n I \cdot \hat{k}$

hilo indefinido: $\vec{B} = \dfrac{\mu_0 I}{2\pi r} \vec{u}_\varphi \propto \dfrac{1}{r}$ $B = \dfrac{\mu_0}{4\pi r}(\operatorname{sen}\theta_1 + \operatorname{sen}\theta_2)\hat{k}$

T. de Ampere

$C_B = \oint_L \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \cdot I_{enc}$ → Intens. q atraviesa (cualquier) superficie cuyo contorno es el camino cerrado   ☆

x a cualquier campo y camino magnetostático

Flujo magnético:

$\Phi_m = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{A} \propto$ Nº líneas   ☆

$\Phi_m = \oint_S \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$ SIEMPRE

S cerrada!

$\frac{\Delta \Phi_m}{\Delta t} \to \vec{E} \parallel \vec{E}_i$
$\to E$

Ley de Faraday:

$$\mathcal{E}_i = -\frac{d\Phi_m}{dt} = -\frac{d}{dt}\int_{S \text{ abierta!}} \vec{B}\cdot d\vec{A} = -\frac{d}{dt}\int_S B\cdot dA\cdot\cos\theta$$

ley de Lenz

$\to B(t)$, $A(t)$, $\theta(t)$, comb.

$dA \to$ mx sentido que B!

$\mathcal{E}_i = \underbrace{I_0 \omega}_{\mathcal{E}_{max}} \operatorname{sen} \omega t$, $\mathcal{E} = \mathcal{E}_0 \operatorname{sen} \omega t$, $\mathcal{E}_0 = \frac{\mu_0 I_0 \omega A}{2\pi d}$

$$\mathcal{E}_{ind} = \frac{Blx}{t} = Blv \to I_{ind} = \frac{BlV}{R} \to F = \frac{B^2 l^2 V}{R}$$

Corriente alterna

$$\Phi = N\cdot B\cdot\vec{A} = NBA\cos\omega t \to \mathcal{E}_i = \underbrace{NBA\omega}_{\mathcal{E}_{max}} \operatorname{sen}\omega t$$

C. eléctrico inducido

$$\oint E\cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt}\int_S B\cdot d\vec{A}$$

Autoinducción

$\Phi \sim I$, $\Phi = L\cdot I$

$$\mathcal{E} = -L\cdot\frac{dI}{dt} \to \Phi = N\left(\mu_0 \frac{N}{l} I\right)A \to$$

solenoide: B

$$L_{sol} = \mu_0 n^2 A l$$

Energía magnética

$I_{ind} \equiv$ Pila en sent. contrario

$$\mathcal{E}_0 I = I^2 R + LI\frac{dI}{dt}$$

... potencia "almacenada" tiempo en bobina

$$\frac{dU_m}{dt} = LI\frac{dI}{dt} \to \int dU_m = \frac{1}{2}LI^2$$

solenoide infinito $U_m = \frac{B^2 Al}{2\mu_0} \to u_m = \frac{B^2}{2\mu_0} \to$ Densidad de energía magnética

Corriente de desplazamiento: (Condensadores

$$I_d = \varepsilon_0 \frac{d\Phi_e}{dt} \to \Phi_e = \int_S E\, dS$$

$$\oint_C \vec{B}\cdot d\vec{l} = \mu_0 (I + I_d) = \mu_0 I + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{d\Phi_e}{dt}$$

$\to$ genera I $\to$ genera B

Ecuaciones de Maxwell

F. integral (vacío)

1. $\oint_S \vec{E}\cdot d\vec{A} = \frac{q}{\varepsilon_0}$ $\to$ T. de Gauss (consecue L. de Coul.)

2. $\oint_S \vec{B}\cdot d\vec{A} = 0$ $\to$ L. de Gauss en magnet. líneas cerradas, no monopolos

3. $\oint_C \vec{E}\cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt}\int_S \vec{B}\cdot d\vec{A}$ $\to$ L. de Faraday inducción electromagnética

4. $\oint_C \vec{B}\cdot d\vec{l} = \mu_0 I + \mu_0\varepsilon_0 \frac{d}{dt}\int \vec{E}\cdot d\vec{S}$ (consecue L. de B y S.)
T. de Ampere - Maxwell