

UNIDAD 4 D - TRANSFORMACIONES IDEALES DE UN GAS IDEAL

1

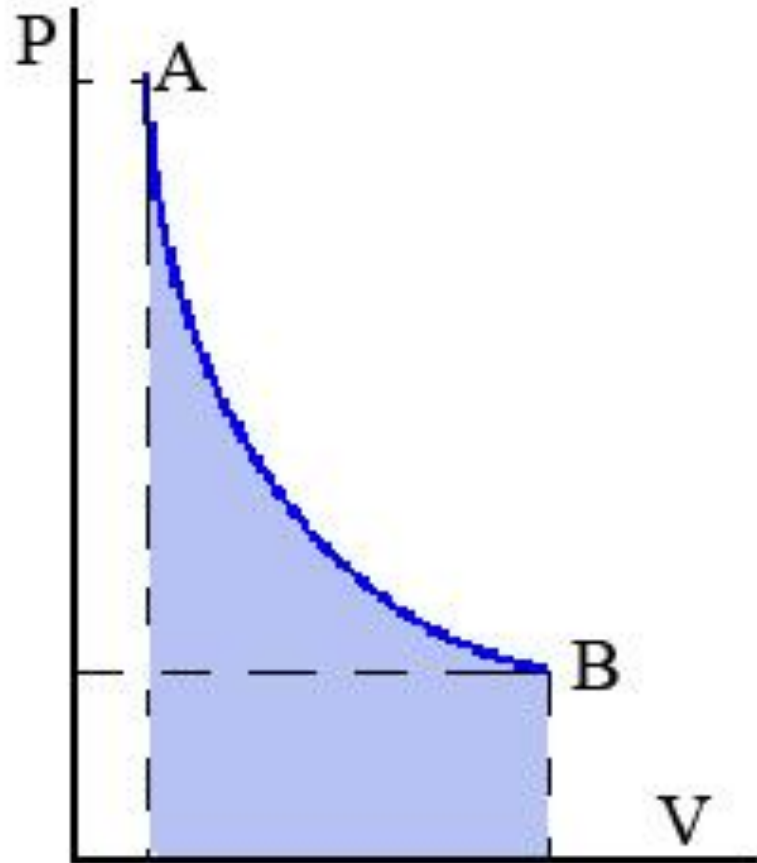
Bibliografía: Calderón L. – Unidad 3



UNIDAD 4 - D: TRANSFORMACIONES

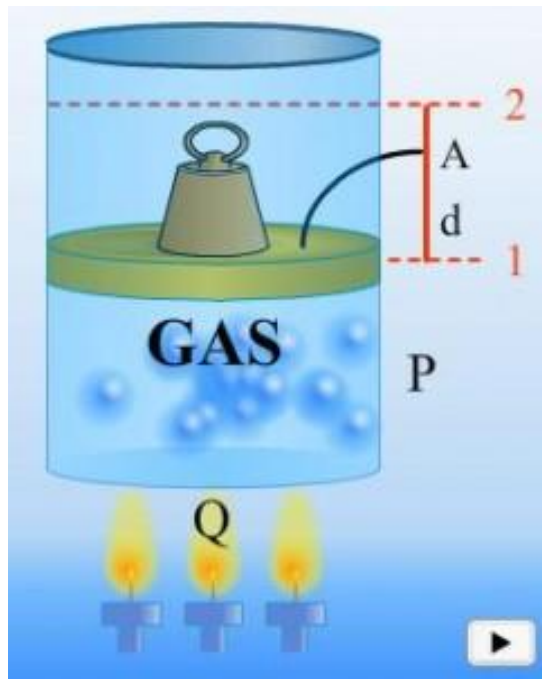
4.D Transformaciones o Procesos. Transformaciones ideales de un gas ideal para Sistemas Cerrados y Abiertos en Régimen Estacionario: ecuaciones características de las isocóras, isóbaras, isotérmicas, adiabáticas y politrópicas. Representación gráfica en el plano dinámico. Calculo de los cambios energéticos en cada transformación considerando los calores específicos constantes con la temperatura

TRANSFORMACIONES



Un sistema termodinámico sufre una **transformación** cuando el valor de alguna de las propiedades varía, pasando de un estado de equilibrio inicial a un estado de equilibrio final.

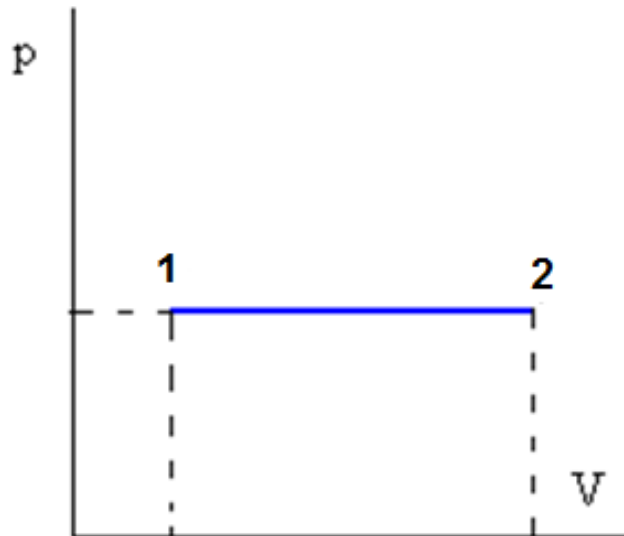
TRANSFORMACIONES



El sistema se transforma debido a que **aparece una fuerza impulsora** originada en un desequilibrio con los alrededores.

El tipo de transformación se relaciona con las características del sistema y con las de los límites que lo separan del medio.

Cuando el sistema pasa por sucesivos estados de equilibrio decimos que la transformación es cuasiestática.



SISTEMAS: GASES IDEALES

Para todos los estados del proceso se cumple que:

$$\diamond P v = R_p T$$

v = volumen específico

$$\diamond P v = R_u T$$

v = volumen molar

$$\diamond du = c_v dT$$

$$u = f(T)$$

$$\diamond dh = c_p dT$$

$$h = f(T)$$

$$\diamond c_p - c_v = R^{(1)}$$

Relación de Mayer

⁽¹⁾ : R_u ó R_p en función de las unidades de los c_p y c_v

TRANSFORMACIONES: CUASISTÁTICAS

$$dw = P dv$$

$$dw_c = - v dP$$

$$dq = c dT$$

BALANCE DE ENERGÍA:

SISTEMAS CERRADOS:

$$dq = du + dw$$

$$dq = du + P dv$$

como $h = u + pv$; $du = dh - P dv - v dP$, luego: $dq = dh - v dP$

S.A.R.E.: $dh + de_c + de_p = dq - dw_c$

$$dw_c = - v dP$$

(Si $de_c \cong 0$ y $de_p \cong 0$) ;

$$dq = dh - v dP$$



TRANSFORMACIONES IDEALES (CUASIESTÁTICAS)

- ❖ **T. Isocórica: volumen constante**
- ❖ **T. Isobárica: Presión constante**
- ❖ **T. Isotérmica: Temperatura constante**
- ❖ **T. Adiabática: Se impide la transferencia de calor**
- ❖ **T. Politrópica: sin ninguna restricción anterior, aplica a gases**

En todos los casos que analizaremos, la masa de gas es **1 mol**

TRANSFORMACIONES ESQUEMA SEGUIDO PARA SU ANÁLISIS

Para presentar el análisis de cada transformación, seguiremos el siguiente orden:

1. Ecuación de estado que la caracteriza, relacionando estados inicial y final

Sistemas cerrados:

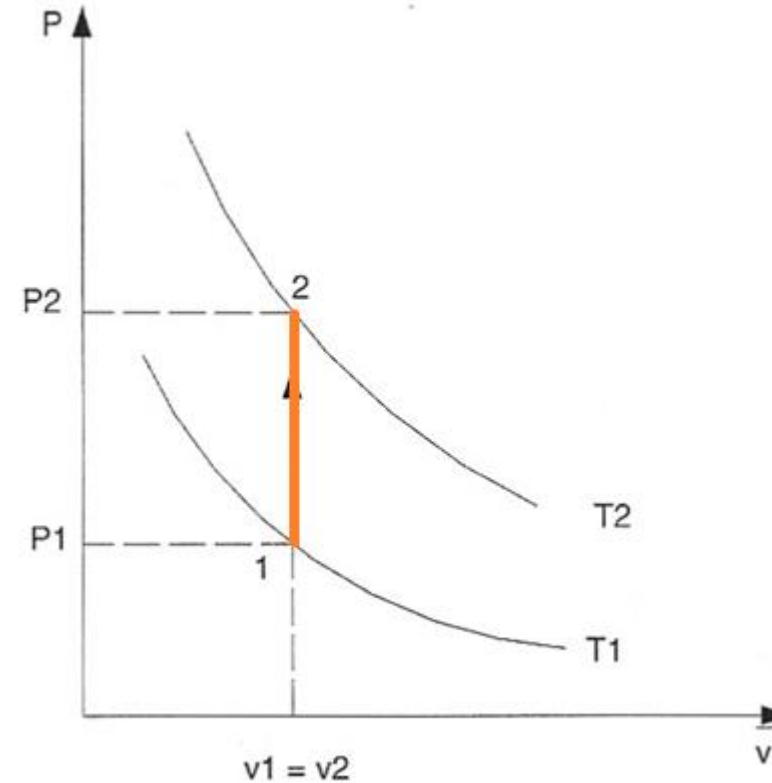
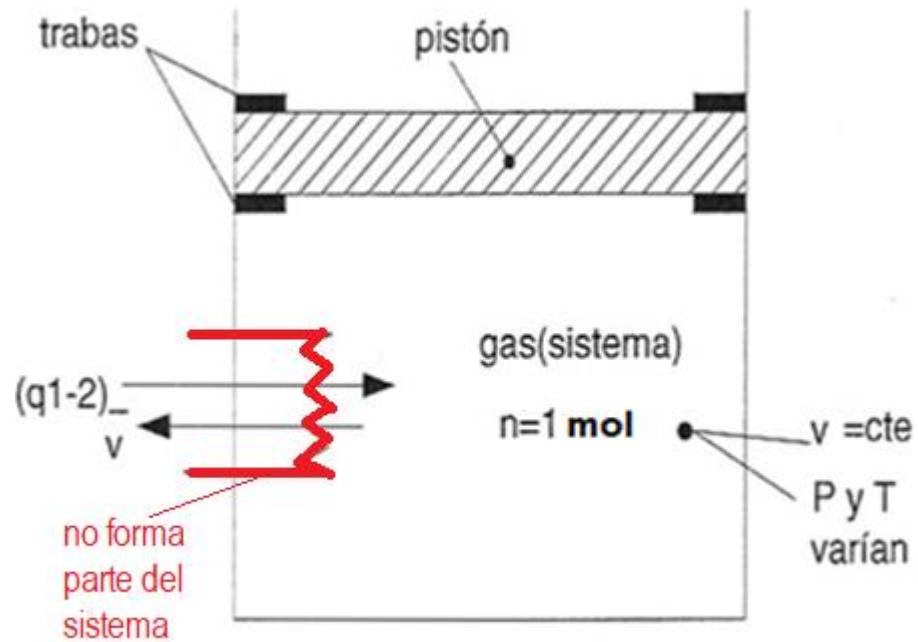
2. Cálculo de la variación de la energía interna
3. Cálculo del trabajo de frontera móvil (expansión – compresión)
4. Cálculo del calor intercambiado
5. Cálculo de la variación de entalpía

Sistemas abiertos (SARE):

6. Sólo haremos referencia al cálculo del Trabajo de eje o de circulación (W_c), dado que el resto de las ecuaciones aplicables a sistemas cerrados, siguen teniendo validez ($de_c=0$ y $de_p=0$)

TRANSFORMACIONES ISOCÓRICAS

$V = \text{CONSTANTE}$



$$P v = R_u T$$
$$v = \text{constante}$$

$$P_1 / T_1 = P_2 / T_2 = P / T$$

TRANSFORMACIONES ISOCÓRICAS

❖ Rel Prop.: $P_1/T_1 = P_2/T_2 = P/T$

❖ $du = c_v dT$

❖ $dw = P dv = 0$

❖ $dq_v = c_v dT$

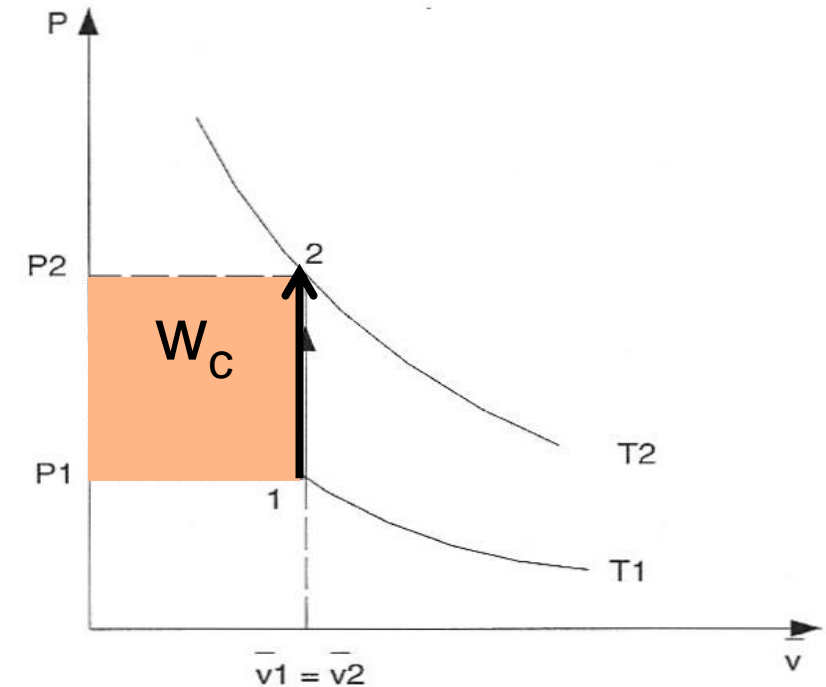
❖ $dq = du + Pdv = du = c_v dT$

❖ $dh = c_p dT$

❖ $dh = du + d(pv) = c_v dT + v dP$

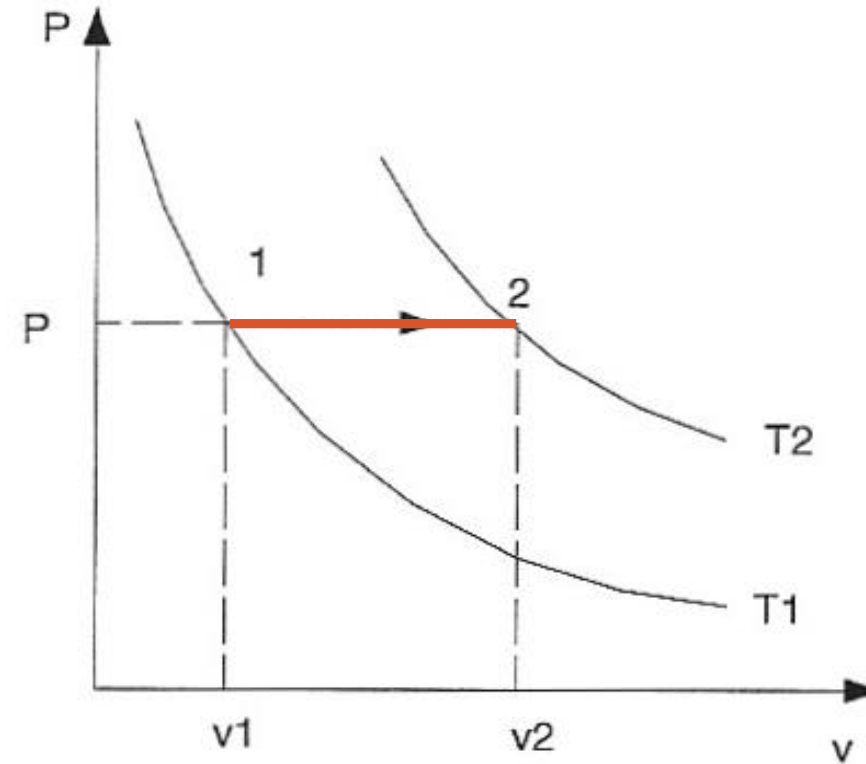
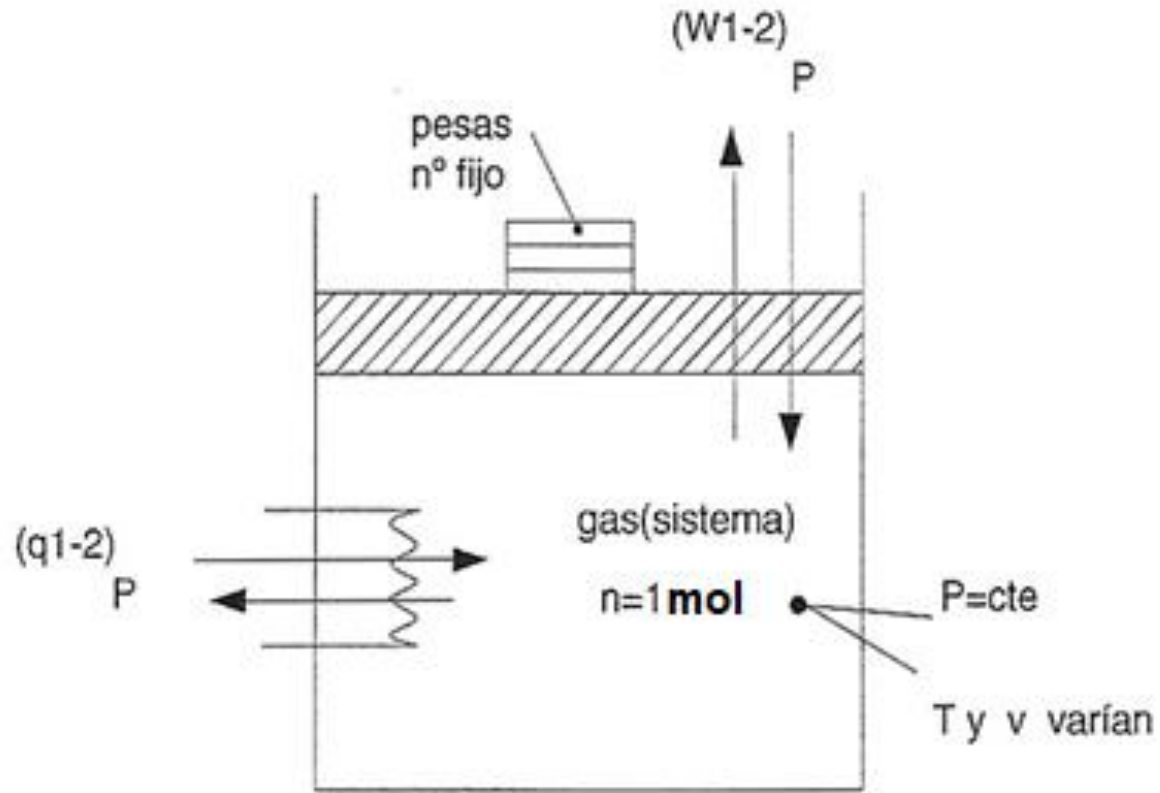
SARE:

❖ $dw_c = -v dP$; $w_c = -v (P_2 - P_1)$



TRANSFORMACIONES ISOBÁRICAS

($P = \text{CONSTANTE}$)



$$P v = R_u T$$

$$P = \text{constante}$$

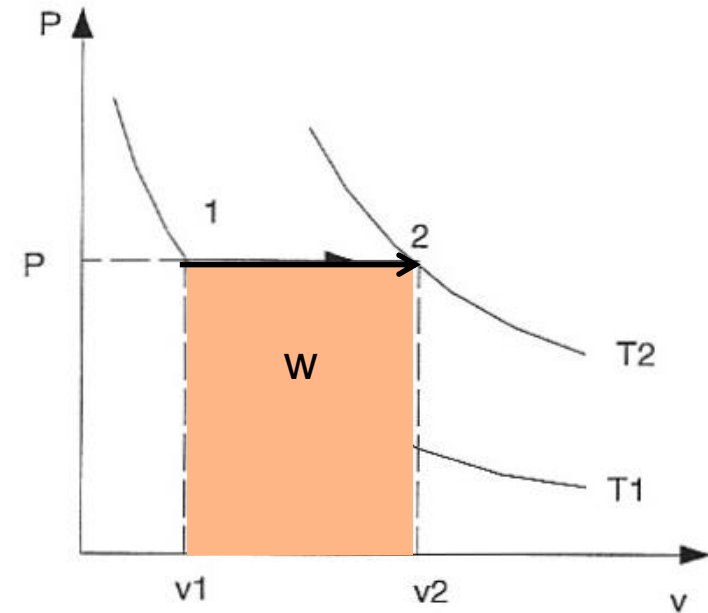
$$v_1 / T_1 = v_2 / T_2 = v / T$$

TRANSFORMACIONES ISOBÁRICAS

- ❖ Rel prop: $v_1 / T_1 = v_2 / T_2 = v / T$
- ❖ $du = c_v dT$
- ❖ $dw = P dv$; $w = P (v_2 - v_1)$
- ❖ $dq_p = c_p dT = dh$
- ❖ $dq = du + Pdv = c_v dT + P dv$
- ❖ $dh = c_p dT$
- ❖ $dh = du + d(pv) = c_v dT + P dv$

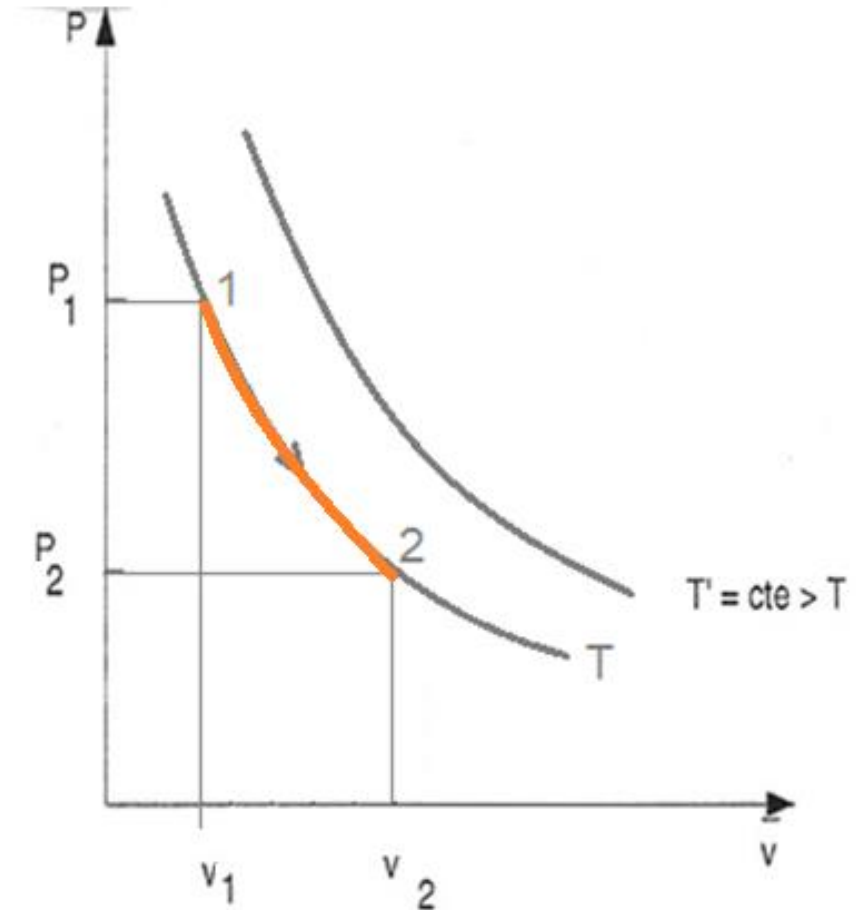
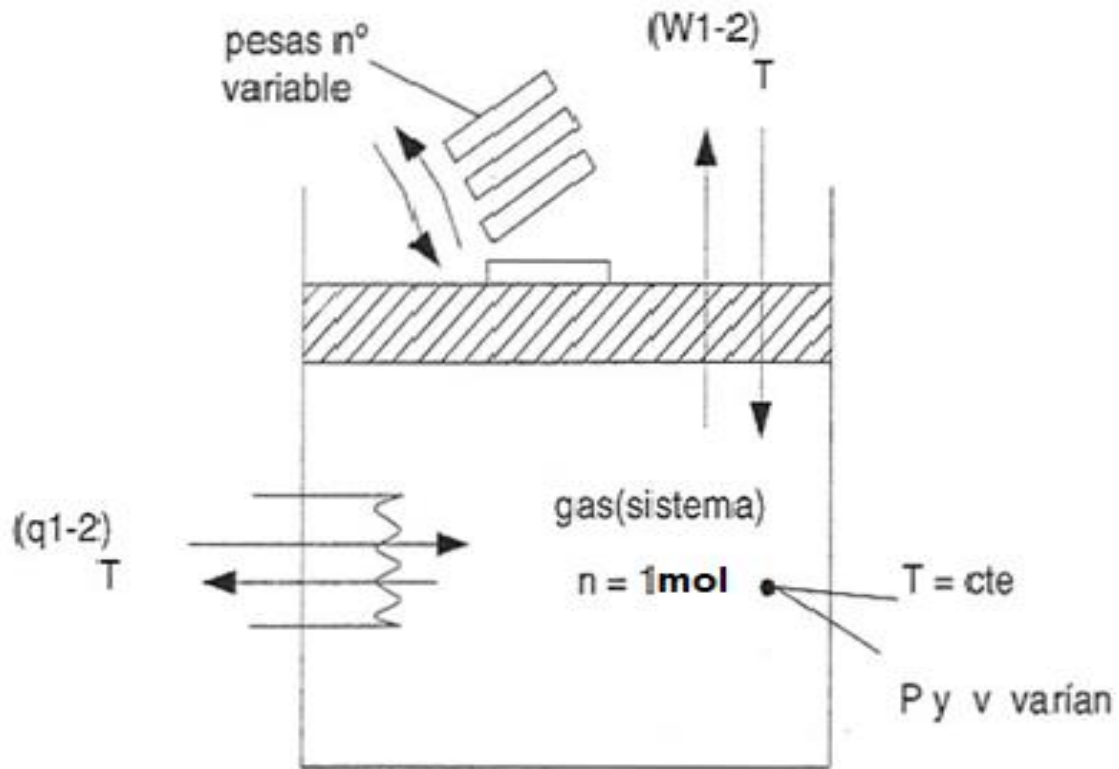
SARE:

- ❖ $dq_p = dh + v dP = dh = c_p dT$
- ❖ $dw_c = -v dP = 0$



TRANSFORMACIONES ISOTÉRMICAS

($T = \text{CONSTANTE}$)



$$P v = R_u T$$
$$T = \text{constante}$$

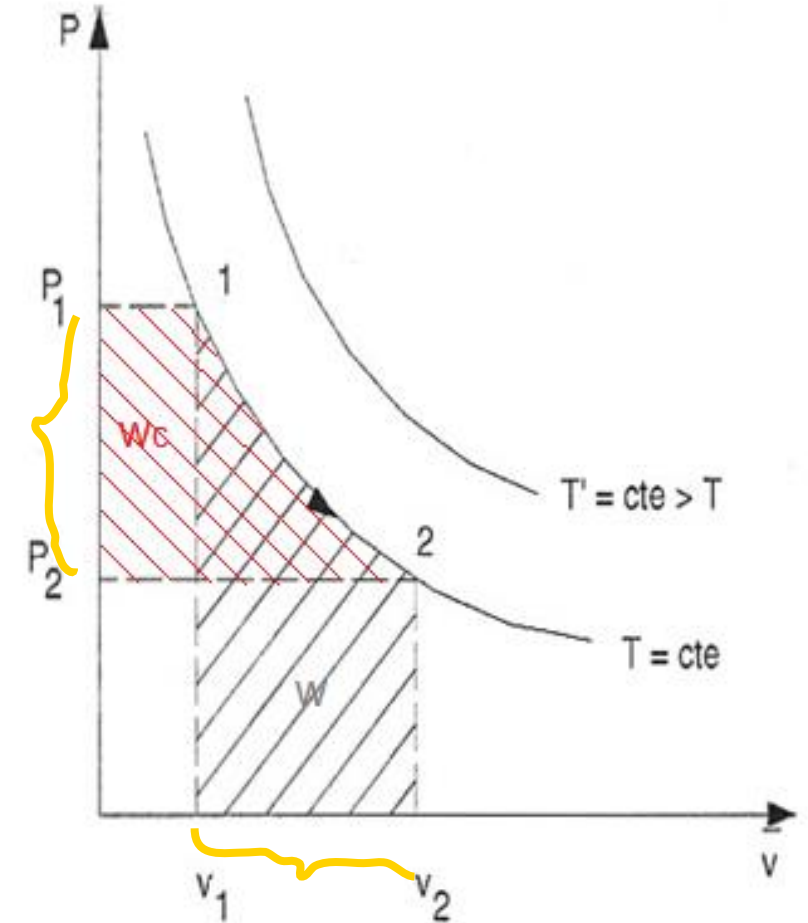
$$P_1 v_1 = P_2 v_2 = P v = \text{cte}$$

TRANSFORMACIONES ISOTÉRMICAS

- ❖ Rel. Prop.: $P_1 v_1 = P_2 v_2 = P v = R_u T = \text{cte}$
- ❖ $du = c_v dT = 0 \rightarrow u = \text{cte}$
- ❖ $dw = P dv = R_u T/v dv = R_u T dv/v = P v dv/v$
- ❖ $w_{1-2} = P_1 v_1 \ln v_2/v_1 = P_1 v_1 \ln P_1/P_2$
- ❖ $dq = du + dw = dw \quad (c = dq/dT \rightarrow \infty)$
- ❖ $dh = c_p dT = 0 \rightarrow h = \text{cte}$

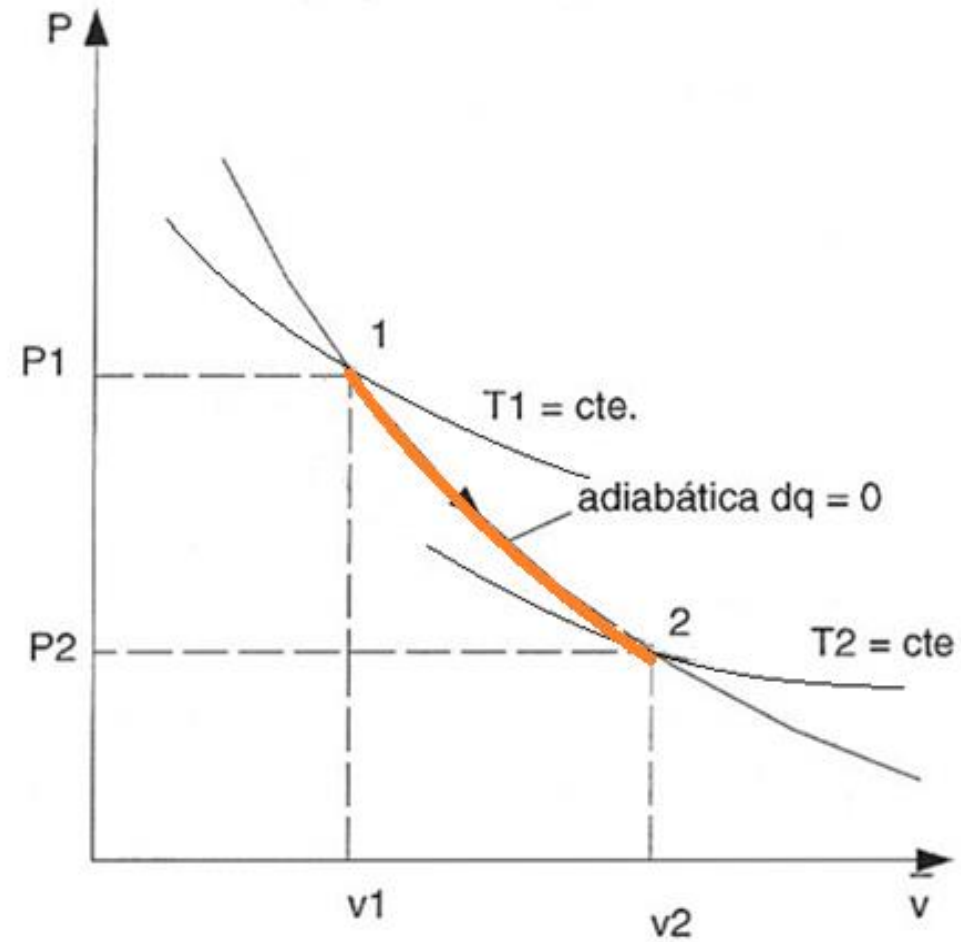
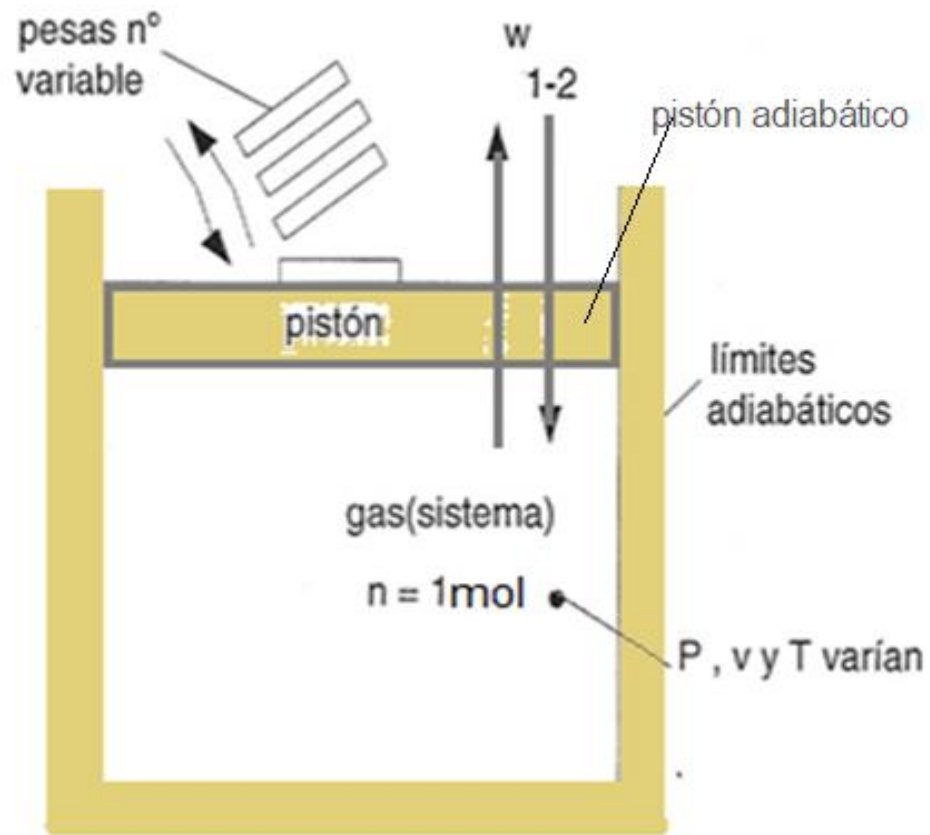
SARE:

- ❖ $dw_c = -v dP = -R_u T/P dP = -R_u T dP/P = -P v dP/P$
- ❖ $w_c = P_1 v_1 \ln P_1/P_2 = w_{1-2}$



TRANSFORMACIONES ADIABÁTICAS

($Q = 0$)



TRANSFORMACIONES ADIABÁTICAS (Q = 0)

Primer Principio: $dq = du + Pdv = 0 = c_v dT + P dv \Rightarrow c_v dT = -P dv$ (Si $T \uparrow$, $v \downarrow$)

Como $P = R_u T/v \Rightarrow c_v dT = -R_u T/v dv \Rightarrow c_v dT/T = -R_u dv/v$

Como $R_u = c_p - c_v \Rightarrow dT/T = (c_v - c_p) / c_v dv/v \Rightarrow dT/T = (1 - c_p/c_v) dv/v$

Como $K = c_p/c_v \Rightarrow dT/T = (1 - K) dv/v$

$$\ln T_2/T_1 = \ln (v_2/v_1)^{(1-K)}$$

$$\ln T_2/T_1 = \ln (v_1/v_2)^{(K-1)}$$

$$T_1 v_1^{(K-1)} = T_2 v_2^{(K-1)} = T v^{(K-1)} = \text{constante}$$

Como $T = P v / R_u \Rightarrow T v^{(K-1)} = [P v / R_u] v^{(K-1)} = [P / R_u] v^K = \text{cte}$

$$\Rightarrow P v^K = \text{constante}$$

Como $v = R_u T/P \Rightarrow T (R_u T/P)^{(K-1)} = T^{(1+K-1)} P^{(1-K)} = \text{cte} \Rightarrow T P^{(1-K)/K} = \text{cte}$

TRANSFORMACIÓN ADIABÁTICA

- ❖ Rel Prop.: $P v^K = P_1 v_1^K = \text{ctte}$; $T v^{k-1} = \text{ctte}$; $T P^{(1-k)/k} = \text{ctte}$
- ❖ $K = c_p / c_v > 1$ (Gases monoatómicos: $K=1,67$; Gases biatómicos: $K \approx 1,4$; gases poliatómicos sencillos: $K \approx 1,3$)

- ❖ $du = c_v dT$

- ❖ $dw = P dv = P_1 v_1^K dv / v^K$; $w = [P_1 v_1^K / (-K+1)] [v_2^{(-k+1)} - v_1^{(-k+1)}]$

$$w = [P_1 v_1^K v_1^{(1-K)} / (-K+1)] [(v_2^{(1-K)} / v_1^{(1-K)}) - 1]$$

$$w = [P_1 v_1 / (1-K)] [(v_2^{(1-K)} / v_1^{(1-K)}) - 1]$$

$$w = [P_1 v_1 / (K-1)] [(1 - (v_2 / v_1)^{(1-K)})]$$

$$w = [P_1 v_1 / (K-1)] [(1 - (v_1 / v_2)^{(K-1)})] ; (v_1 / v_2)^{(K-1)} = T_2 / T_1$$

$$w = [P_1 v_1 / (K-1)] [(1 - T_2 / T_1)] = [R_u T_1 / (K-1)] [(1 - T_2 / T_1)]$$

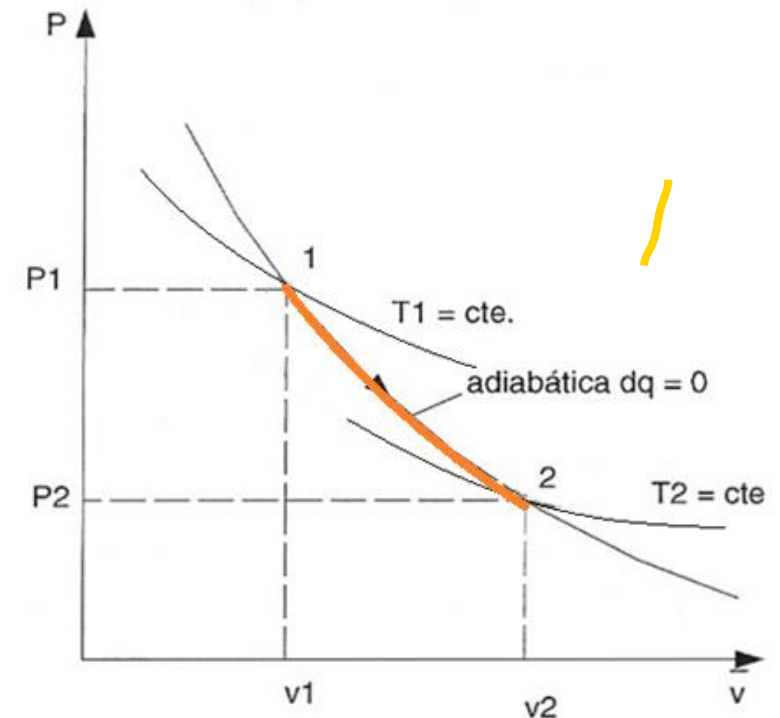


TRANSFORMACIÓN ADIABÁTICA

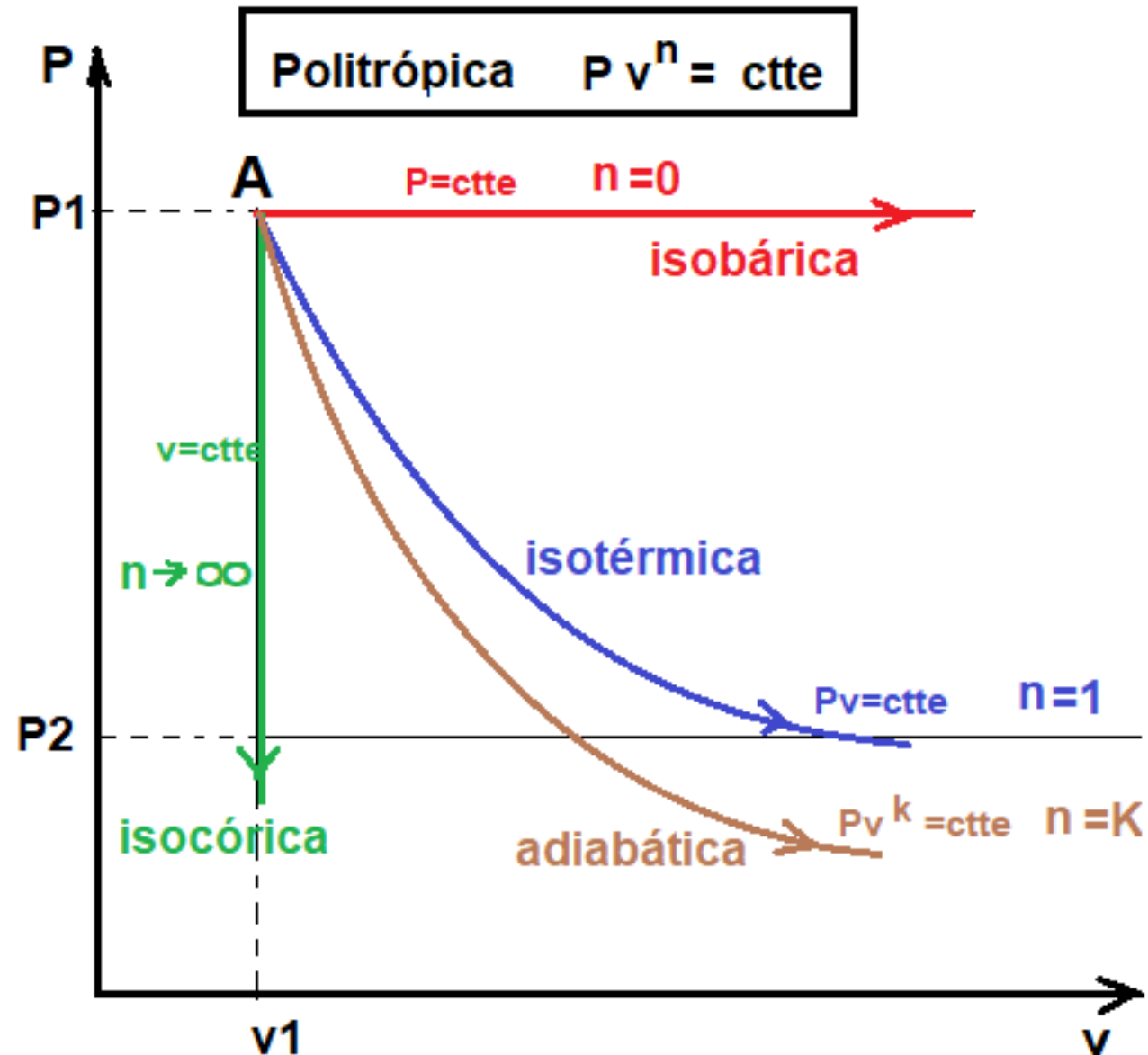
- ❖ Rel Prop.: $P v^K = \text{cte}$; $T v^{k-1} = \text{cte}$; $T P^{(1-k)/k} = \text{cte}$
- ❖ $K = c_p / c_v$
- ❖ $du = c_v dT$
- ❖ $dw = P dv = P_1 v_1^K dv / v^K$
- ❖ $w = [P_1 v_1 / (K-1)] (1 - T_2/T_1)$
- ❖ $dw = - du = - c_v dT = - c_v (T_2 - T_1)$
- ❖ $dq = 0$
- ❖ $dh = c_p dT$

SARE:

- ❖ $dw_c = - v dP$; $w_c = k w$

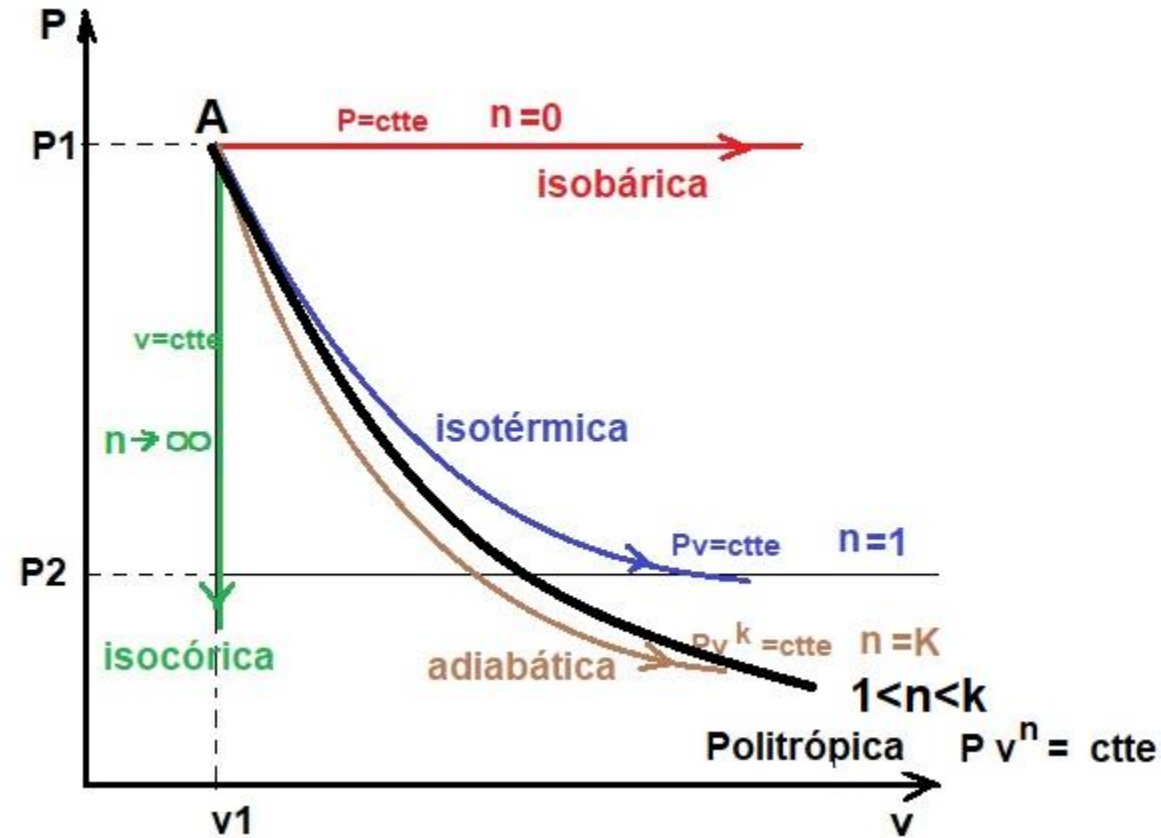


TRANSFORMACIONES POLITRÓPICAS



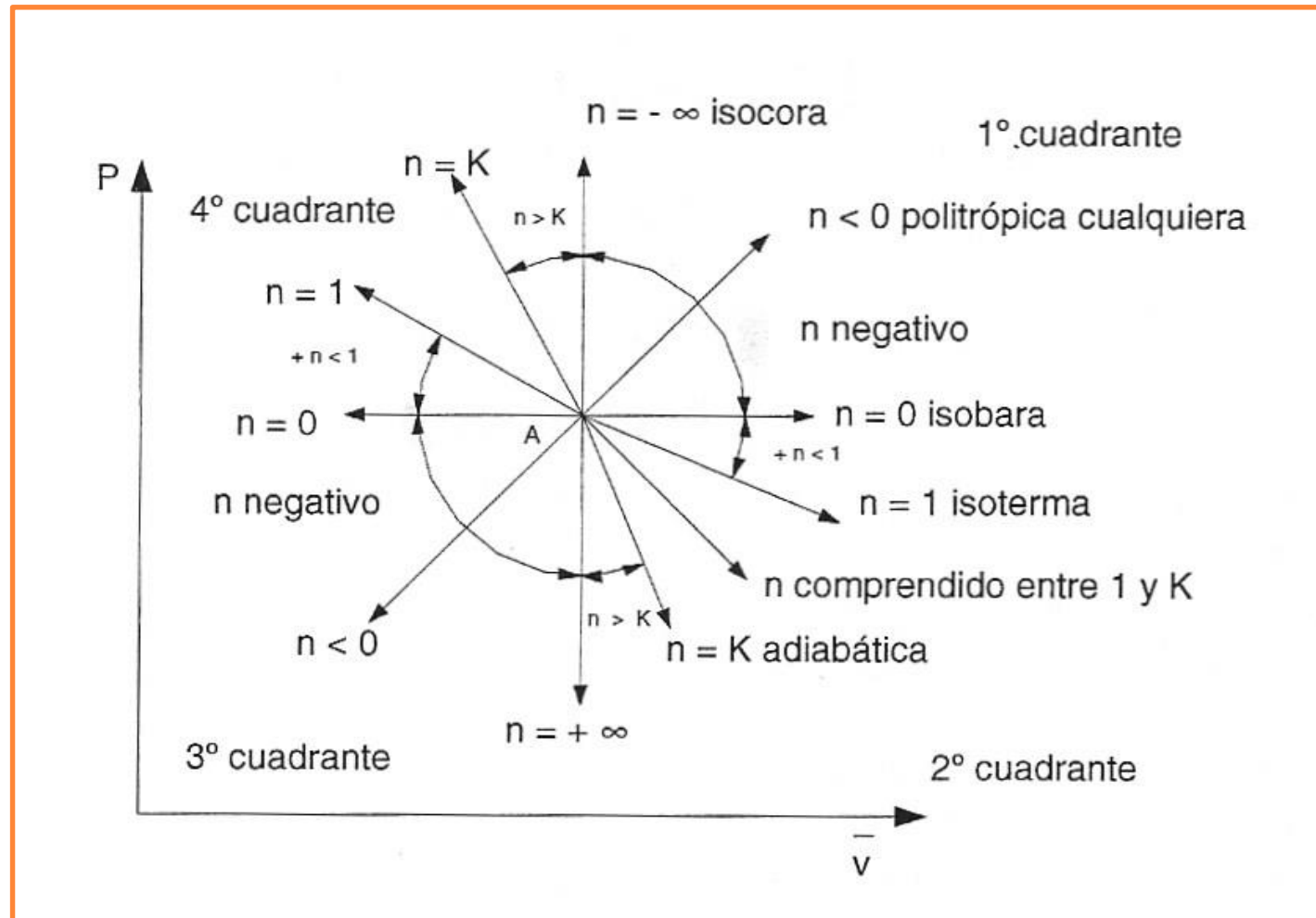
TRANSFORMACIONES POLITRÓPICAS

$$P_1 v_1^n = P v^n = \text{Cte} ; \quad T v^{n-1} = \text{Cte} ; \quad T P^{(1-n)/n} = \text{Cte}$$



TRANSFORMACIONES POLITRÓPICAS

$$P_1 v_1^n = P v^n = \text{Cte} ; \quad T v^{n-1} = \text{Cte} ; \quad T P^{(1-n)/n} = \text{Cte}$$



TRANSFORMACIONES POLITRÓPICAS

- ❖ Rel Prop. $P_1 v_1^n = P v^n = \text{ctte}$
 $T v^{n-1} = \text{ctte} ; T P^{(1-n)/n} = \text{ctte}$

Conociendo las propiedades P y v de dos estados:

$$P_1 v_1^n = P_2 v_2^n \Rightarrow \log P_1 + n \log v_1 = \log P_2 + n \log v_2$$
$$n (\log v_1 - \log v_2) = \log P_2 - \log P_1$$

$$n = \frac{\log \frac{P_2}{P_1}}{\log \frac{v_1}{v_2}}$$

- ❖ $du = c_v dT$
- ❖ $dw = P dv = P_1 v_1^n dv / v^n$
- ❖ $w_{1-2} = [P_1 v_1 / (n-1)] (1 - T_2/T_1)$
- ❖ $dq = du + dw$
- ❖ $dq = c dT \quad c = ?$

TRANSFORMACIONES POLITRÓPICAS

$$q_{1-2} = \dot{c} (T_2 - T_1)$$

$$q_{1-2} = (u_2 - u_1) + w_{1-2} = (u_2 - u_1) + R_u T_1 / (n-1) \left[(1 - T_2/T_1) \right]$$

$$c (T_2 - T_1) = c_v (T_2 - T_1) + [R_u T_1 / (n-1)] \left[(T_1 - T_2)/T_1 \right]$$

$$c (T_2 - T_1) = c_v (T_2 - T_1) - [R_u / (n-1)] (T_2 - T_1)$$

$$c (T_2 - T_1) = c_v (T_2 - T_1) - [(c_p - c_v) / (n-1)] (T_2 - T_1)$$

$$c (T_2 - T_1) = (T_2 - T_1) [c_v - (c_p - c_v) / (n-1)]$$

$$c (T_2 - T_1) = (T_2 - T_1) [(nc_v - c_v - c_p + c_v) / (n-1)]$$

$$c (T_2 - T_1) = (T_2 - T_1) [(nc_v - kc_v) / (n-1)]$$

$$c = c_v \frac{(n - k)}{(n - 1)}$$

TRANSFORMACIONES POLITRÓPICAS

❖ Rel Prop. $P_1 v_1^n = P v^n = \text{ctte}$
 $T v^{n-1} = \text{ctte} ; T P^{(1-n)/n} = \text{ctte}$

❖ $du = c_v dT$

❖ $dw = P dv = P_1 v_1^n dv / v^n$

❖ $w_{1-2} = [P_1 v_1 / (n-1)] (1 - T_2/T_1)$

❖ $dq = c dT = du + dw$

❖ $c = c_v (n-k) / (n-1)$

❖ $dh = c_p dT$

SARE:

❖ $w_c = n w$

FIN

