- **Unidad** 02
- **Clase** U02 C02
- **Fecha** 07 Abr 2020
- **Cont** Ciclos
- **Cátedra** Asorey
- **Web** http://gitlab.com/asoreyh/unrn-f3b

Contenidos: Termodinámica, alias F3B, alias F4A

Unidad 1

El Calor

Hace calor

Unidad 2

Primer principio

Todo se transforma

Módulo 1 – Unidad 2: Primer Principio
Del 31/Mar al 23/Abr (6 encuentros)

- **Calor y trabajo.** Equivalente mecánico del calor. Experimento de Joule. **Sistemas.** Fuentes de calor. Potenciales termodinámicos. **Primer principio. Flujo de calor. Ciclos.** Muerte térmica. Máquinas térmicas.

Nada se gana, nada se pierde, todo se transforma

- La **conservación de la energía** para un **sistema termodinámico** se expresa de la siguiente forma

$$\boxed{Q = \Delta U + W}$$

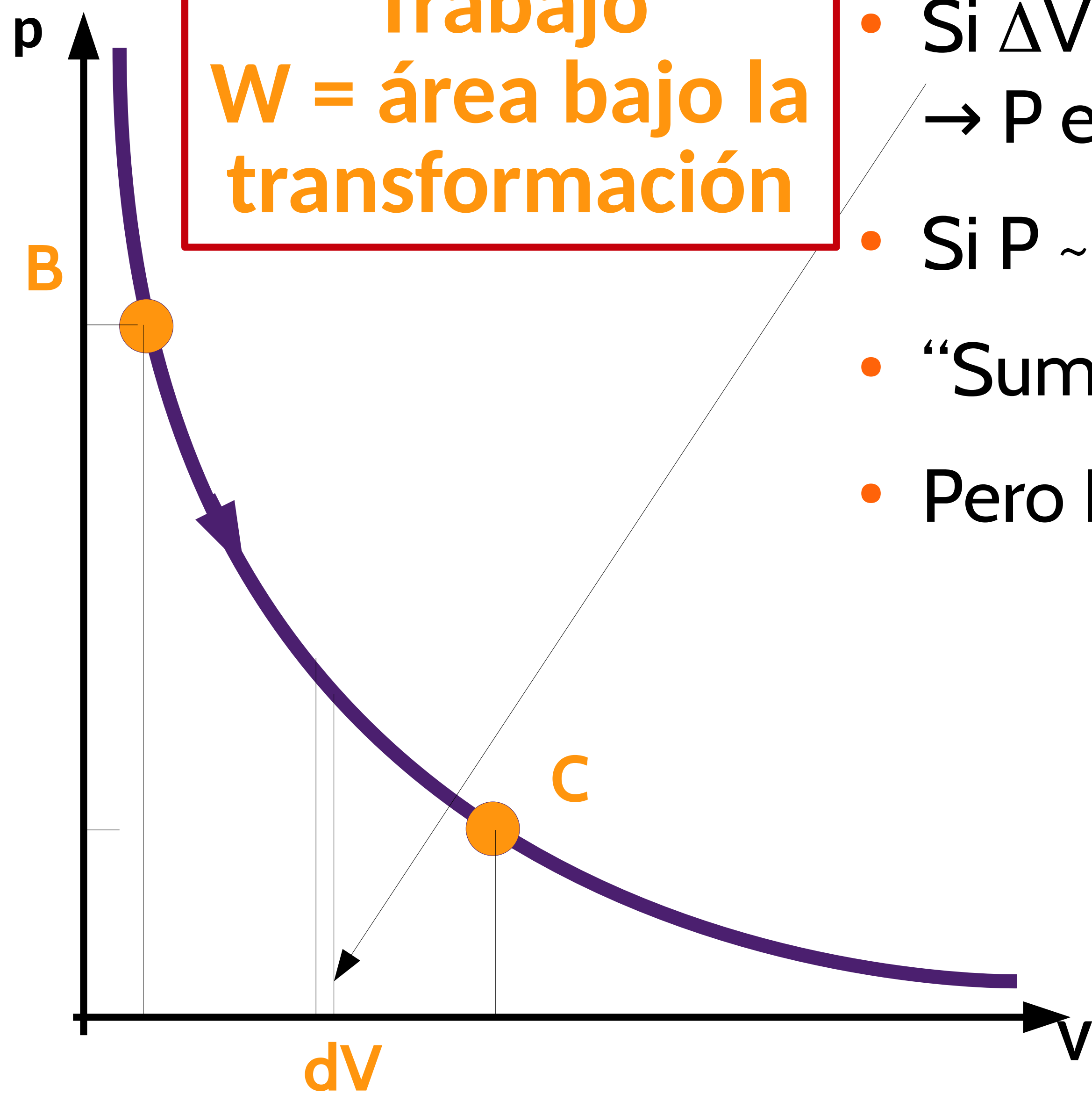
Primer principio de la termodinámica

Q= **Calor cedido al sistema** (signo de ΔT)
ΔU= **Cambio de la energía interna del sistema** (signo de ΔT)
W = **Trabajo realizado por el sistema** (signo de ΔV)

Paréntesis semántico

- **¿Por qué se usa U para la energía interna?**
  - En el Siglo XIX se usaba en general la letra V como símbolos para las energías potenciales (típicamente por la relación entre la energía potencial electrostática y el Voltaje)
  - Rankine introduce en 1853 el concepto de Energía Interna (W. J. Rankine, *On the general law of the transformation of energy*, Proc. of the Philosophical Society of Glasgow, vol. 3, no. 5, pages 276-280, Feb 1853)
  - Usó la letra U para esta forma de energía
    - **Error tipográfico**: la U y la V eran intercambiables en latín
    - **Pragmatismo**: Para diferenciar del volumen V

Transformación isotérmica



Trabajo
W = área bajo la transformación

- Si ΔV pequeño, $\Delta V \rightarrow dV$ $\rightarrow$ P es aprox. constante
- Si P ~ cte $\rightarrow dW = p\,dV$
- "Sumando": $W = \int_{V_B}^{V_C} p\,dV$
- Pero $P = n\,R\,T\,/\,V$:

$$W = \int_{V_B}^{V_C} n\,R\,T\,\frac{dV}{V}$$

$$W = n\,R\,T \int_{V_B}^{V_C} \frac{dV}{V}$$

$$\boxed{W = n\,R\,T \ln\left(\frac{V_C}{V_B}\right)}$$

En resumen.... II

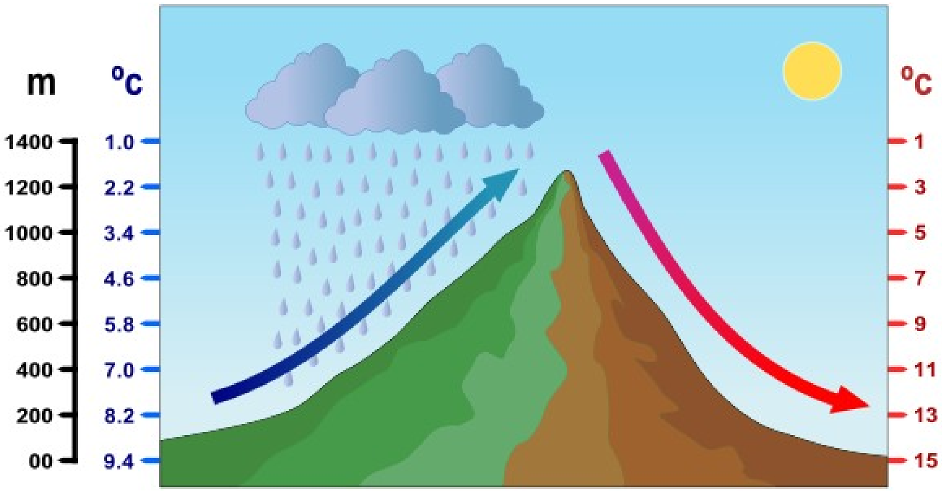
- **Isobara:**
  - $W = p\,\Delta V$
  - $\Delta U = (z/2)\, n\, R\, \Delta T$
  - $Q = \Delta U + W$
- **Isoterma:**
  - $W = n\, R\, T \ln (V_f / V_i)$
  - $\Delta U = 0$
  - $Q = \Delta U + W \rightarrow Q = W$
- **Isocora:**
  - $W = 0$
  - $Q = C_V\, n\, \Delta T$
  - $Q = \Delta U$
- **Adiabática**
  - Índice adiabático

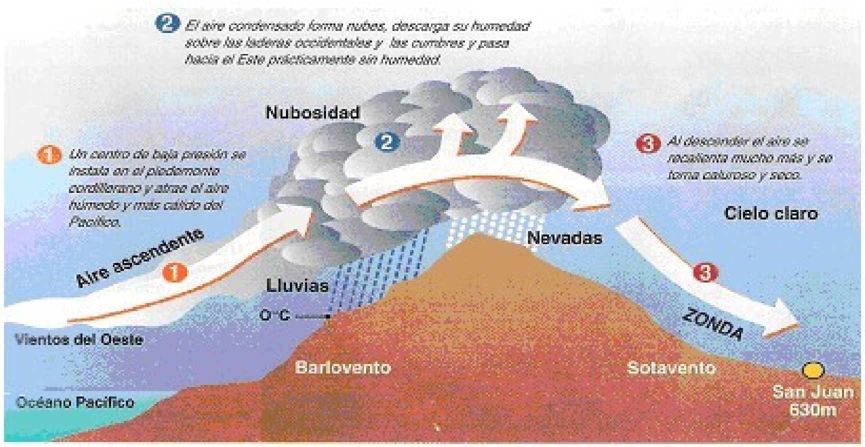
$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} \rightarrow \gamma = \frac{z+2}{z}$$

Último caso: No hay intercambio de calor

- No hay intercambio de calor con el medio
  - Recipiente muy aislado (calorímetro); ó
  - Transformación muy rápida (abriendo una Coca Cola)
- En este caso: $\boxed{Q = 0 \quad \leftarrow \text{ Transformación Adiabática}}$
- $Q = \Delta U + W \rightarrow 0 = \Delta U + W \rightarrow$ $\mathbf{W = -\Delta U}$
- **En una expansión adiabática, el trabajo se realiza a costa de la energía interna del gas**
- Expansión adiabática → Brusco descenso de T
  Y viceversa: en una compresión adiabática, todo el trabajo se convierte en energía interna (Zonda)

El zonda: efecto Föhn





El primer principio dice:

- $Q=0 \rightarrow W = -\Delta U \rightarrow$ límite: $dW = -dU \rightarrow p\,dV=-dU$
- Pero $dU = (z/2)\,d\,(n\,R\,T)$ y por la ec. Estado, $nRT=pV$:

$$dU=\left(\frac{z}{2}\right)d(p\,V)\rightarrow dU=\left(\frac{z}{2}\right)(dp\,V+p\,dV)$$

$$\rightarrow p\,dV=-\frac{z}{2}V\,dp-\frac{z}{2}p\,dV$$

$$p\,dV+\left(\frac{z}{2}\right)p\,dV=-\left(\frac{z}{2}\right)V\,dp\rightarrow\left(\frac{z+2}{2}\right)p\,dV=-\left(\frac{z}{2}\right)V\,dp$$

$$\left(\frac{z+2}{z}\right)p\,dV=-V\,dp\rightarrow\gamma\,p\,dV=-V\,dp\rightarrow-\boldsymbol{\gamma}\left(\frac{\mathbf{dV}}{\mathbf{V}}\right)=\frac{\mathbf{dp}}{\mathbf{p}}$$

¡Ánimo!

- Integrando ambos lados:

$$-\gamma \int_{V_i}^{V_f} \frac{dV}{V} = \int_{p_i}^{p_f} \frac{dp}{p}$$

$$-\gamma \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right) = \ln\left(\frac{p_f}{p_i}\right)$$

$$\ln\left(\frac{V_i}{V_f}\right)^{\gamma} = \ln\left(\frac{p_f}{p_i}\right)$$

$$\left(\frac{V_i}{V_f}\right)^{\gamma} = \left(\frac{p_f}{p_i}\right)$$

Transformación Adiabática

$$\boxed{p_i V_i^{\gamma} = p_f V_f^{\gamma} \rightarrow p V^{\gamma} = cte \rightarrow T V^{\gamma - 1} = cte}$$

La cuenta “a mano”

Por el primer principio $Q = W + \Delta U$ y como $Q = 0 \Rightarrow W = -\Delta U$

Uso Ec. Estado

Luego $dW = -dU \Rightarrow$ y como $dU = \left(\frac{z}{2}\right) nR\,dT = \left(\frac{z}{2}\right) d(nRT) = \left(\frac{z}{2}\right) d(pV)$

$\Rightarrow dW = -dU \rightarrow p\,dV = -\left(\frac{z}{2}\right)\left(V\,dp + p\,dV\right)$. Agrupando

$p\,dV + \left(\frac{z}{2}\right) p\,dV = -\frac{z}{2} V\,dp \rightarrow \left(1 + \frac{z}{2}\right) p\,dV = -\frac{z}{2} V\,dp$

γ

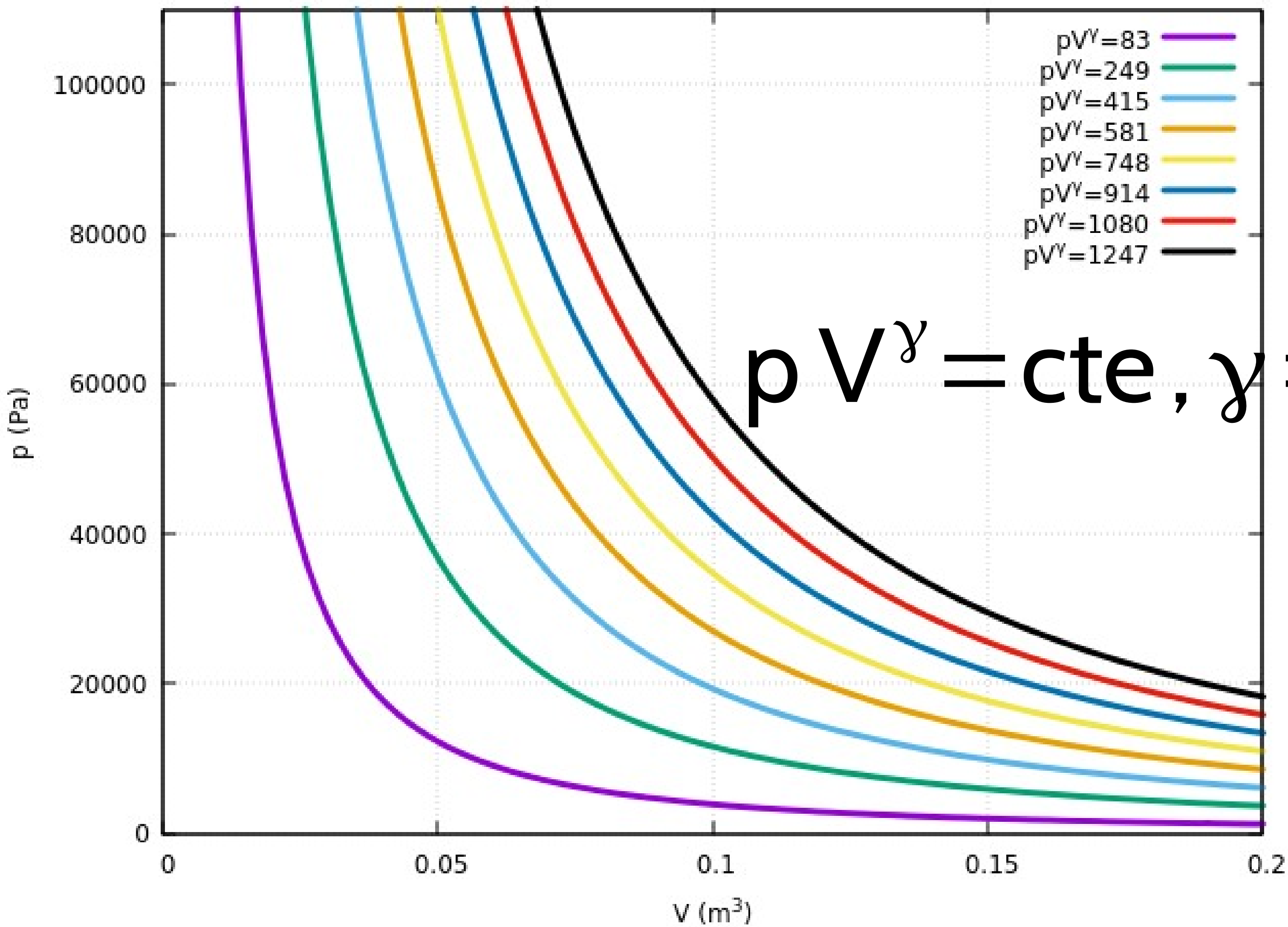
$\Rightarrow \left(\frac{z+2}{\cancel{z}}\right)\left(\frac{\cancel{z}}{z}\right) p\,dV = -V\,dp \rightarrow \left(\frac{z+2}{z}\right) p\,dV = -V\,dp \Rightarrow \gamma\, p\,dV = -V\,dp$

$\Rightarrow -\gamma \frac{\cancel{p}\,dV}{V} = \frac{dp}{p}$. Integrando: $-\gamma \int_{V_i}^{V_f} dV/V = \int_{p_i}^{p_f} dp/p$

$\rightarrow -\gamma \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right) = \ln\left(\frac{p_f}{p_i}\right) \rightarrow \ln\left(\frac{V_i}{V_f}\right)^{\gamma} = \ln\left(\frac{p_f}{p_i}\right) \rightarrow \frac{V_i^{\gamma}}{V_f^{\gamma}} = \frac{p_f}{p_i}$

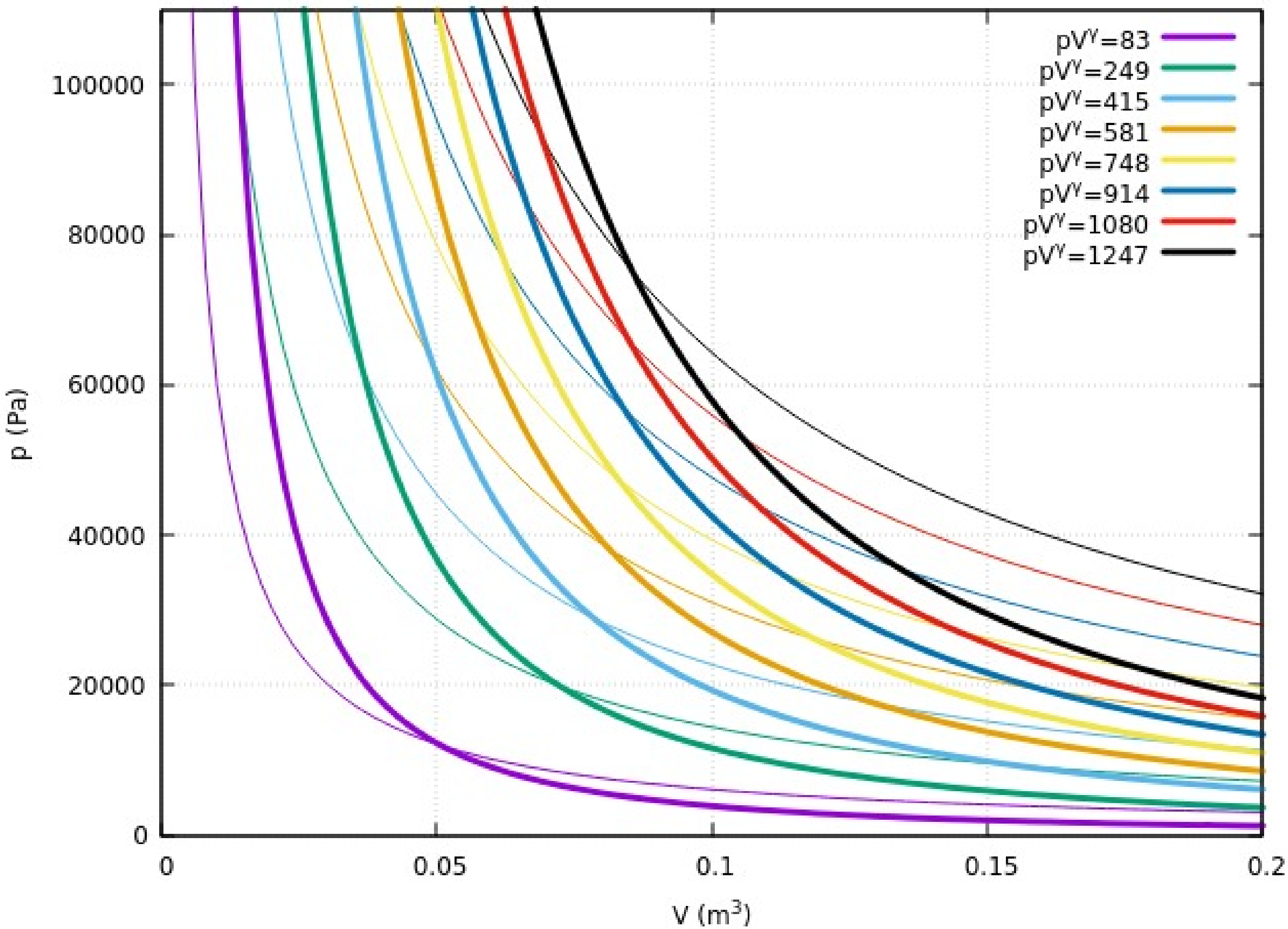
$\Rightarrow p_i V_i^{\gamma} = p_f V_f^{\gamma} \rightarrow \boxed{pV^{\gamma} = cte}$

Curvas adiabáticas



$$p\,V^{\gamma}=\mathrm{cte}\,,\gamma=5/3$$

Adiabáticas vs isotermas



- Se aproximan asintóticamente a los ejes
- Cada adiabática intersecta a una isoterma en un único punto (volveremos...)
- Las adiabáticas son isentrópicas (volveremos...)

Trabajo adiabático

- Según el primer principio y teniendo en cuenta Q=0:

$$W=-\Delta U \rightarrow W=-\frac{z}{2} n R \Delta T \rightarrow W=-\frac{z}{2} n R \left(T_f-T_i\right)$$

$$W=-\frac{z}{2}\left(P_f V_f-P_i V_i\right)$$

$$W=-\left(\frac{P_f V_f-P_i V_i}{\gamma-1}\right)$$

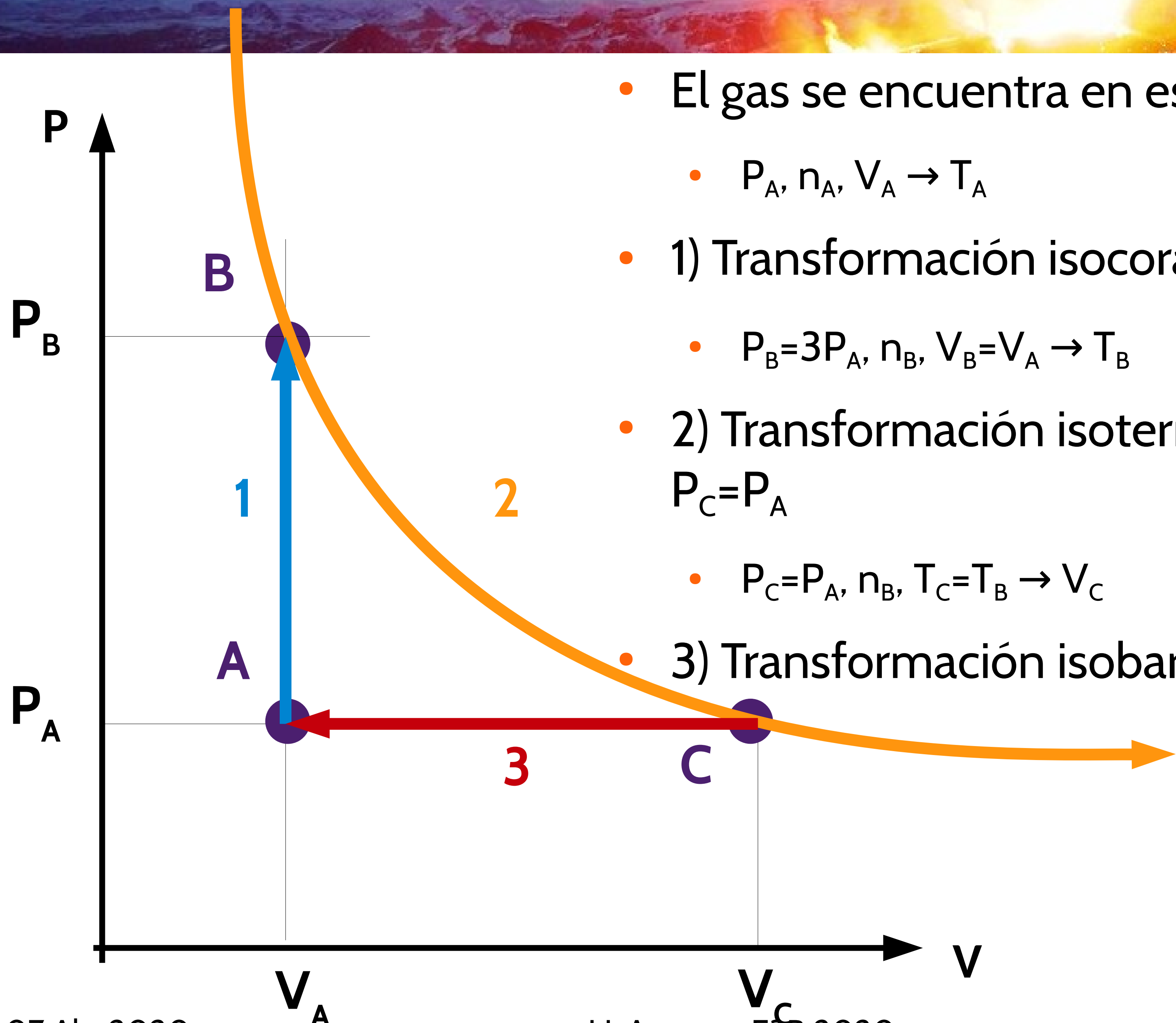
En resumen…. II

- **Isobara:**
  - $W = p\,\Delta V$
  - $\Delta U = (z/2)\, n\, R\, \Delta T$
  - $Q = \Delta U + W$
- **Isoterma:**
  - $W = n\, R\, T \ln (V_f / V_i)$
  - $\Delta U = 0$
  - $Q = \Delta U + W \rightarrow Q = W$
- **Isocora:**
  - $W = 0$
  - $Q = C_V\, n\, \Delta T$
  - $Q = \Delta U$
- **Adiabática**
  - $W = -\Delta U$
  - $\Delta U = (z/2)\, n\, R\, \Delta T$
  - $Q = 0 \rightarrow W = -\Delta U$

$$\boxed{Q = \Delta U + W}$$

$$\boxed{PV = n\, R\, T}$$

Sucesión de transformaciones



- El gas se encuentra en estado A
  - P_A, n_A, $V_A \to T_A$
- 1) Transformación isocora hasta B, P_B=3 P_A
  - $P_B=3P_A$, n_B, $V_B=V_A \to T_B$
- 2) Transformación isoterma hasta C, $P_C=P_A$
  - $P_C=P_A$, n_B, $T_C=T_B \to V_C$
- 3) Transformación isobara hasta A

Cuadro de estados

Estado	p	V	T	n
A 1	p_A	V_A	T_A	n_A
B 2	$p_B=3p_A$	$V_B=V_A$	T_B	n_A
C 3	$p_C=p_A$	V_C	$T_C=T_B$	n_A
→ A	p_A	V_A	T_A	n_A

- Identificar los datos en el problema
- Determinar datos faltantes con las transformaciones
- Calcular datos faltantes con ec. de estado → $pV=nRT$

Cuadro de transformaciones

Transf	Q	W	ΔU
1: isocora	$= \Delta U$	0	$=(a/2)\, n\, R\, (T_B - T_A)$
2: isoterma	$= W$	$=nRT \ln(V_C/V_A)$	0
3: isobara	$= \Delta U + W$	$=P(V_A - V_C)$	$=(a/2)\, n\, R\, (T_A - T_C)$

- Identificar aquellos valores que no cambian en cada transformación
- Dejar el calor Q para el final (evita confusiones)
- En un ciclo $\Delta U_{total} = 0 \leftarrow$ El gas vuelve a su estado inicial $U_f = U_i$

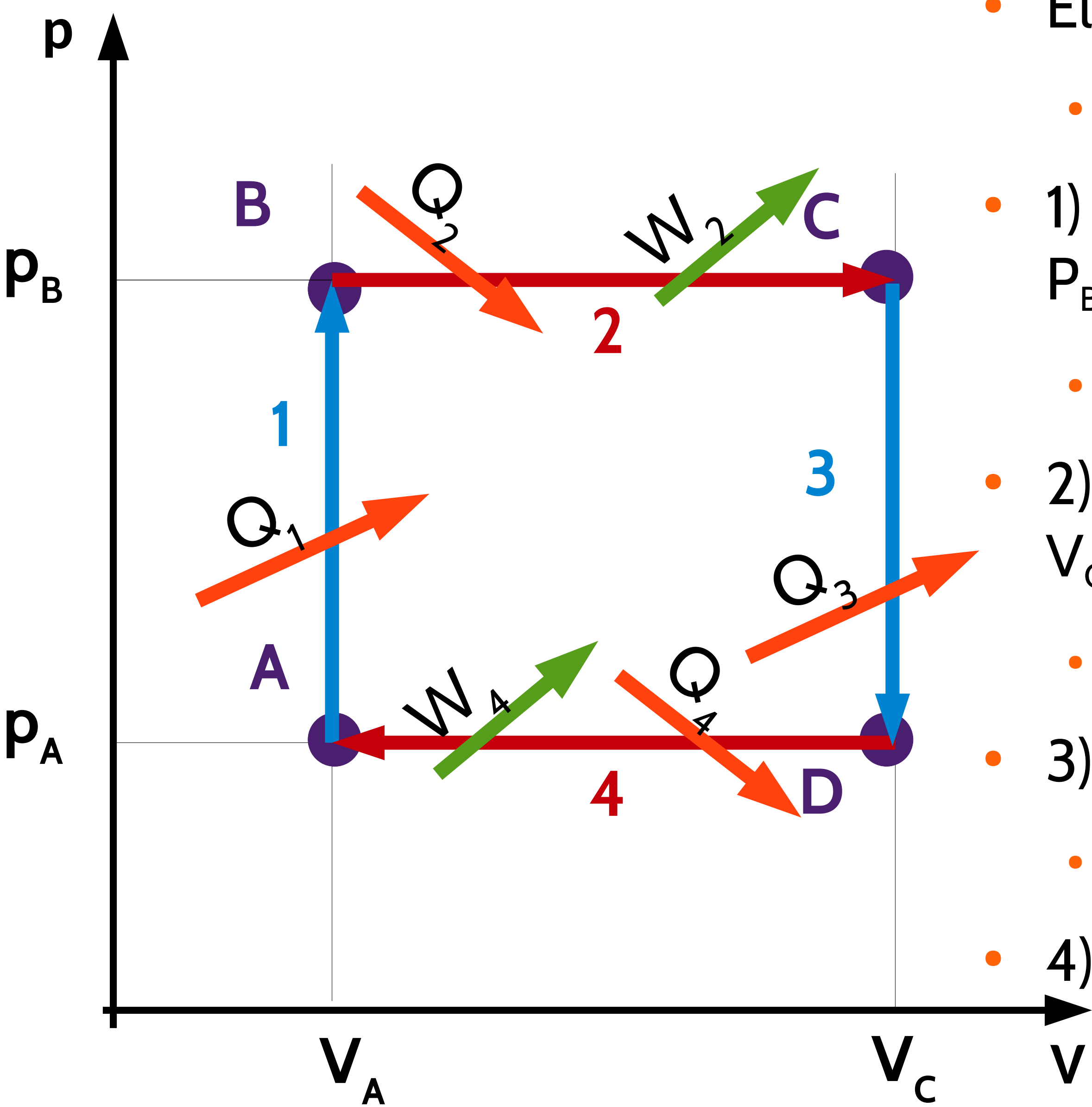
Entendiendo el ciclo

- A medida que el ciclo avanza, el sistema intercambia calor (Q) y trabajo mecánico (W) con el medio
- El sistema "almacena" energía en forma de energía interna (→ Temperatura → Energía Cinética)
- Al finalizar el ciclo, $U_f = U_i \rightarrow \Delta U = 0$
- Para el ciclo completo, el primer principio garantiza

$$\mathbf{Q = W}$$

- Pero esos valores son "netos"

Otro ciclo, el cuadrado letal
n=cte



- El gas se encuentra en estado A
  - P_A, n_A, $V_A \rightarrow T_A$
- 1) Transformación isócora hasta B, $P_B=3\ P_A$
  - $P_B=3P_A$, n_A, $V_B=V_A \rightarrow T_B$
- 2) Transformación isóbara hasta C, $V_C=3V_A$
  - $P_C=P_B$, n_A, $V_C=3V_B \rightarrow T_C$
- 3) Transformación isócora hasta D
  - $V_D=V_C$, n_A, $P_D= P_A \rightarrow T_D$
- 4) Transformación isóbara hasta A

Cuadro de estados

Estado	p	V	T	n
A	p_A	V_A	T_A	n_A
1:B	$p_B=3p_A$	$V_B=V_A$	T_B	n_A
2:C	$p_C=p_B$	$V_C=3V_B$	T_C	n_A
3:D	$p_D=p_A$	$V_D=V_C$	T_D	n_A
4:A	p_A	V_A	T_A	n_A

Cuadro de transformaciones

Transf	Q	W	ΔU
$1_{A\to B}$:isócora	$= \Delta U$	0	$=(z/2)\, n\, R\, (T_B - T_A)$
$2_{B\to C}$:isóbara	$=\Delta U + W$	$=p_B\, (V_C - V_B)$	$=(z/2)\, n\, R\, (T_C - T_B)$
$3_{C\to D}$:isócora	$= \Delta U$	0	$=(z/2)\, n\, R\, (T_D - T_C)$
$4_{D\to A}$:isóbara	$=\Delta U + W$	$=p_D\, (V_D - V_A)$	$=(z/2)\, n\, R\, (T_A - T_D)$

Signos

- **Calor**
  - $Q>0$ ← Calor entra al sistema desde una fuente
  - $Q<0$ ← Calor sale del sistema → No es aprovechable
- **Trabajo**
  - $W>0$ ← Trabajo producido por el sistema → Útil
  - $W<0$ ← Trabajo realizado sobre el sistema → Costo
- ¿Qué obtuve luego de un ciclo? → Trabajo Neto
- ¿Que tuve que poner para lograr el ciclo? → Calor $Q>0$

Rendimiento

- Definimos al rendimiento como

$$\eta = \frac{\text{Lo que obtuve}}{\text{Lo que tuve que poner}}$$

- En términos del ciclo,

$$\eta = \frac{W_{neto}}{Q_{>0}}$$