

PROBLEMAS RESUELTOS DE TERMODINAMICA

1. Responder

- ¿Qué es el calor latente de una sustancia? ¿y el calor específico?
- ¿Es posible transformar todo el calor en trabajo en un ciclo? Razona la respuesta.
- ¿En qué casos se mantiene constante la temperatura de un cuerpo al que suministramos calor?

② Calor latente es el calor necesario que hay que suministrar a una

(a) 'unidades de masa (1g) de una sustancia para que cambie de estado.
Por ejemplo: de sólido a líquido o de líquido a vapor.

$$Q = m \cdot \ell$$

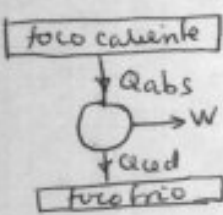
ℓ : calor latente

Calor específico es el calor necesario que hay que suministrar a una
unidades de masa (1g) de una sustancia para que eleve su tempera-
tura en 1°C

$$Q = m c (T_f - T_i)$$

c : calor específico

(b) El segundo principio de la Termodinámica prohíbe extraer
calor de un foco térmico y convertirlo íntegramente en trabajo.



Un motor térmico siempre trabaja entre dos
focos: un foco caliente y un foco frío
Extrae Q_{abs} calor del foco caliente y parte
lo transforma en trabajo W , y la otra parte
la cede al foco frío, Q_{ced}

(c) se mantiene constante la temperatura de un cuerpo al que le
suministramos calor

- 1- Cuando cambia de estado
- 2- En una transformación isoterma

Para un gas ideal $\Delta U = 0$. El calor que le suministramos se transforma
en trabajo

$$\Delta U = Q - W \text{ (primer principio)}$$

2. En un vaso de cobre, que pesa 1.5 kg, contiene un bloque de hielo de 10 kg a la temperatura de -10°C , se inyecta 5 kg de vapor de agua a 100°C .

- Determinar el estado de la mezcla.
- Determinar la variación de entropía

Calor específico del cobre $397 \text{ J/kg }^{\circ}\text{K}$. Calor de fusión del hielo $334\,400 \text{ J/kg}$. Calor específico del agua $4180 \text{ J/kg }^{\circ}\text{K}$. Calor específico del hielo $2090 \text{ J/kg }^{\circ}\text{K}$. Calor de licuefacción del vapor del agua $2\,257\,200 \text{ J/kg}$.

5) 10 kg hielo a -10°C a agua a 100°C

$$10 \cdot 2090 \cdot 10 + 10 \cdot 334.400 + 10 \cdot 4180 \cdot 100 = 7,733,000$$

1.5 kg de cobre de -10°C a 100°C

$$1,5 \cdot 397 \cdot 110 = 65.505$$
$$\text{Total} = 779.8505 \text{ J}$$

Condensan una masa de $m = \frac{779.8505}{2.257.200} = 3,45 \text{ kg}$

el resto 1,54 kg queda como vapor

$$\Delta S = \int_{T_1}^{T_2} \frac{dq}{T} = \int_{T_1}^{T_2} \frac{m \cdot c \cdot dT}{T} = m \cdot c \cdot \ln \frac{T_2}{T_1}$$

10 kg hielo -10°C a $100^{\circ}\text{C} \rightarrow 10 \cdot 2090 \ln \frac{273}{263} + \frac{10 \cdot 334.400}{273} + 10 \cdot 4180 \ln \frac{373}{273}$

$$= 26370$$

1.5 kg de Cobre de -10°C a $100^{\circ}\text{C} \rightarrow 1,5 \cdot 397 \ln \frac{373}{263} = 26370$

una masa de 3,45 kg de vapor que se condensa $\Delta S = \frac{-779.8505}{373} = -20907$

Total $5462,7 \text{ J/K}$

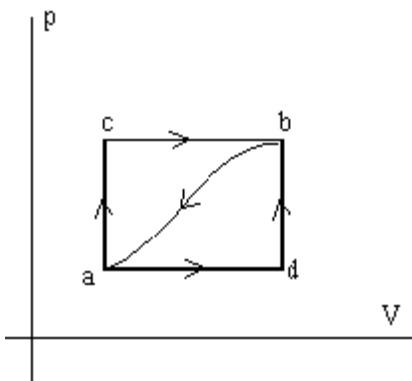
3. Un trozo de hielo de 583 cm^3 a 0°C se calienta y se convierte en agua a 4°C . Calcular

- el incremento de energía interna
- el incremento de entropía que ha experimentado.

Datos: densidad del hielo 0.917 gr/cm^3 , del agua 1 gr/cm^3 , calor de fusión del hielo 80 cal/g .

Handwritten calculations for problem 3:

$$\Delta M = 583 \cdot 0,917 = 534,611 \text{ gr.}$$
$$V_i = 583 \text{ cm}^3 \quad V_j = 534,611 \text{ cm}^3 \quad \Delta V = -48,389 \text{ cm}^3$$
$$\Delta Q = \frac{534,611 \cdot 80 + 534,611 \cdot 1 \cdot 4}{1} \text{ cal} = 187982,1 \text{ J}$$
$$W = \frac{101292,8}{1 \text{ atm}} : 48,389 \cdot 10^{-6} = -4,90 \text{ J}$$
$$\Delta U = Q - W \quad \Delta U = 187987 \text{ J}$$
$$\Delta S = \frac{534,611 \cdot 80}{273} + \int_{273}^{277} 534,611 \cdot 1 \cdot \frac{dT}{T} = 534,611 \left[\frac{1}{273} + \ln \frac{277}{273} \right] = 9,73 \text{ cal/K}$$



4. Cuando un sistema pasa del estado a al b a lo largo de la transformación acb recibe una cantidad de calor de 20000 cal y realiza 7.500 cal de trabajo.

- ¿Cuánto calor recibe el sistema a lo largo de la transformación adb , si el trabajo es de 2500 cal ?
- Cuando el sistema vuelve de b hacia a , a lo largo de la transformación en forma de curva, el trabajo es de 5000 cal . ¿Cuánto calor absorbe o libera el sistema?
- Si $U_a=0$ y $U_d=10000 \text{ cal}$ hállese el calor absorbido en los procesos ad y db .

Nota: no hace falta ningún dato de p y V para resolver el problema

6.

$$a \rightarrow b \left\{ \begin{array}{l} Q_{acb} = 20000 \text{ cal} \\ W_{cb} = 7500 \text{ cal.} \\ W_{ac} = 0 \end{array} \right.$$

$$\Delta U_{ab} = Q_{acb} - W_{acb}$$

$$\Delta U_{ab} = 20.000 - 7500 = 12500 \text{ cal}$$

(a)
$$\Delta U_{ab} = Q_{adb} - W_{adb}$$

$$12500 = Q_{adb} - 2500 \Rightarrow Q_{adb} = 15000 \text{ cal.}$$

$$W_{adb} = 2500 \text{ cal.}$$

(b)
$$\Delta U_{ba} = -12500 \text{ cal}$$

$$W_{ba} = -5000 \text{ cal.}$$

$$\Delta U_{ba} = Q_{ba} - W_{ba}$$

$$-12.500 = Q_{ba} - (-5000)$$

$$Q_{ba} = -17.500 \text{ cal.}$$

(c)
$$\Delta U_{ad} = Q_{ad} - W_{ad}$$

$$10000 = Q_{ad} - 2500$$

$$Q_{ad} = 12500 \text{ cal}$$

$$\Delta U_{ad} = U_d - U_a = 10.000 - 0 = 10.000 \text{ cal}$$

$$W_{ad} = W_{adb} = 2500 \text{ cal ya que } W_{bd} = 0$$

$$\Delta U_{db} = \Delta U_{ab} - \Delta U_{ad} = 12.500 - 10.000 = 2500$$

$$W_{db} = 0$$

$$\Delta U_{db} = Q_{db} + W_{db} \Rightarrow Q_{db} = 2500 \text{ cal.}$$

5. Consideremos helio (gas perfecto monoatómico $c_v = 3R/2$) en el estado inicial A: $P_A = 10^5 \text{ Pa}$, $V_A = 10^{-2} \text{ m}^3$ y $T_A = 300 \text{ K}$. Se llevan a cabo las siguientes transformaciones:

- A \rightarrow B: Transformación isoterma reversible siendo $V_B = 2 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$
- B \rightarrow C: Transformación isócara ($V = \text{cte}$) reversible siendo $T_C = 189 \text{ K}$
- C \rightarrow A: Transformación adiabática reversible, que devuelve al gas a sus condiciones iniciales.

a) Determinar el número de moles de helio, confeccionar una tabla en la que aparezcan los valores P, V y T en los tres estados A, B y C, y dibujar el ciclo en el diagrama P-V.

b) Calcular, en unidades del sistema internacional, de forma directa (siempre que sea posible) el trabajo W, el calor Q, y la variación de energía interna ΔU , del gas para cada uno de los procesos.

c) Determinar el rendimiento de este ciclo como motor térmico y comparar el resultado con el de un motor de Carnot que funcione entre las dos temperaturas extremas del ciclo.

Dato: $R=8.33 \text{ J}/(\text{mol K})$

	$P(\text{Pa})$	$V(\text{m}^3)$	$T(^{\circ}\text{K})$
A	10^5	10^{-2}	300
B	$\frac{1}{2} 10^5$	$2 \cdot 10^{-2}$	300
C	$0.315 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^{-2}$	189

$nR = \frac{10^5 \cdot 10^{-2}}{300} = \frac{10}{3}$

$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{\frac{3}{2}R + R}{\frac{3}{2}R} = \frac{5}{3}$

A → B isoterma
 $\Delta U = 0$
 $W = \int_A^B P dV = \int_A^B \frac{nRT}{V} dV = nRT \ln V \Big|_A^B = nRT (\ln V_B - \ln V_A) = nRT \ln \frac{V_B}{V_A}$
 $W = \frac{10}{3} \cdot 300 \ln \frac{2 \cdot 10^{-2}}{10^{-2}} = 1000 \ln 2 \text{ J}$
 $Q = W = 1000 \ln 2 \text{ J}$

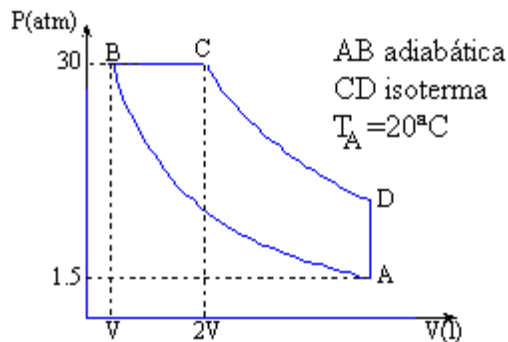
B → C isocoro
 $\Delta U = n C_v (T_C - T_B) = n \cdot \frac{3}{2} R \cdot (189 - 300) = \frac{10}{3} \cdot \frac{3}{2} (-111) = -555 \text{ J}$
 $W = 0$
 $Q = n C_v (T_C - T_B) = -555 \text{ J}$

C → A adiabático $PV^\gamma = \text{cte} = 10^5 \cdot (10^{-2})^{5/3}$
 $\Delta U = n C_v (T_A - T_C) = n \cdot \frac{3}{2} R (300 - 189) = 555 \text{ J}$
 $W = \int_C^A P dV = \int_C^A \frac{\text{cte}}{V^\gamma} dV = \text{cte} \cdot \frac{V^{-\gamma+1}}{-\gamma+1} \Big|_C^A = \frac{\text{cte}}{-\gamma+1} [V_A^{-\gamma+1} - V_C^{-\gamma+1}] =$
 $= \frac{10^5 (10^{-2})^{5/3}}{-\frac{5}{3} + 1} \left[(10^{-2})^{-2/3} - (2 \cdot 10^{-2})^{-2/3} \right] = \frac{3 \cdot 10^5}{-2} \left[1 - 2^{-2/3} \right] (10^{-2}) = -555 \text{ J}$
 $Q = 0$

Proceso	W (J)	Q (J)	ΔU (J)
A → B	693	693	0
B → C	0	-555	-555
C → A	-555	0	555
Ciclo	138	0	0

$\eta = \frac{W}{Q_{\text{abs}}} = \frac{138}{693} \rightarrow 20\%$

Motor de Carnot entre las temperaturas 300 y 189 $\eta = 1 - \frac{189}{300} \rightarrow 37\%$



6. Una máquina térmica trabaja con 3 moles de un gas monoatómico, describiendo el ciclo reversible ABCD de la figura. Sabiendo que $VC = 2 VB$:

- Calcular el valor de las variables termodinámicas desconocidas en cada vértice.
- Deducir las expresiones del trabajo en cada etapa del ciclo.
- Calcular de forma directa en cada etapa del ciclo (siempre que sea posible), el trabajo, el calor y la variación de energía interna.
- El rendimiento del ciclo.

$R = 0.082 \text{ atm l/mol K} = \text{J/mol K}; 1 \text{ cal} = 4.186 \text{ J}; 1 \text{ atm} = 1.013 \cdot 10^5 \text{ Pa}, c_v = 3R/2$

①

	P	V	T
A	1,5	48,052	293
B	30	7,963	921,1
C	30	15,93	1942,3
D	9,95	48,052	1942,3

	ΔU	W	Q
A → B	250,2	-250,2	0
B → C	358,4	239,1	597,3
C → D	0	527,5	527,5
D → A	-608,6	0	-608,6

$c_v = \frac{3}{2}R$ $c_p = \frac{5}{2}R$ $\gamma = \frac{c_p}{c_v} = \frac{5}{3}$
 A) $1,5 \cdot V = 3 \cdot 0,082 \cdot 293$
 A → B $1,5 \cdot 48,052 \cdot \frac{5}{3} = 30 \cdot V^{5/3}$
 C → D $30 \cdot 15,93 = 48,052 \cdot P$

$W = 516,4 \text{ atm} \cdot \text{l}$
 $Q_{\text{abs}} = 1124,8 \text{ "}$
 $Q_{\text{ced}} = 608,6 \text{ "}$
 $\eta = \frac{W}{Q_{\text{abs}}} = 0,46$

$A \rightarrow B$
adiabática.
 $\Delta U = \frac{3}{2} 3 \cdot 0,082 (971,1 - 293) = -250,2$
 $W = -\mu C_v (T_B - T_A) = -3 \cdot \frac{3}{2} 0,082 (971,1 - 293) = -250,2$
 $Q = 0$

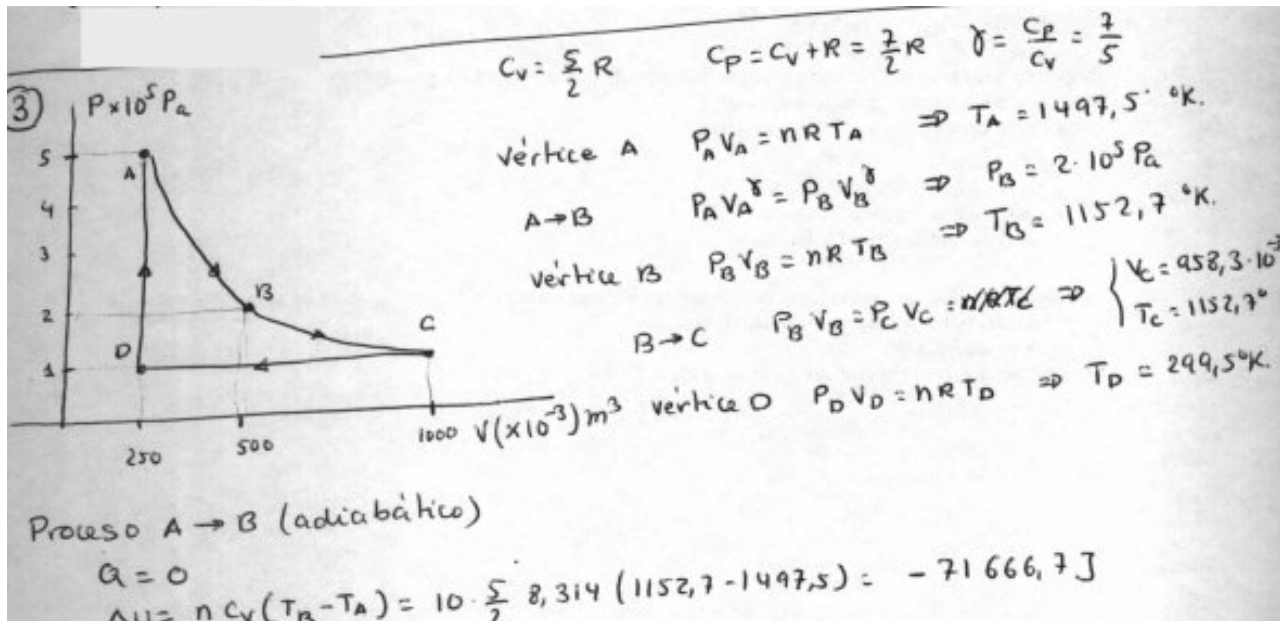
$B \rightarrow C$
 $P = \text{cte}$
 $\Delta U = \frac{3}{2} 3 \cdot 0,082 (1942,3 - 971,1) = 358,4$
 $W = 30 (15,93 - 7,96) = 239,1$
 $Q = \frac{5}{2} 0,082 \cdot 3 (1942,3 - 971,1) = 597,3$

$C \rightarrow D$
isoterma
 $\Delta U = 0$
 $W = \int_{V_C}^{V_D} P dV = 3 \cdot 0,082 \cdot 1942,3 \cdot \ln \frac{48,032}{15,930} = 527,5$
 $Q = W = 527,5$

$D \rightarrow A$
 $V = \text{cte}$
 $\Delta U = \frac{3}{2} 3 \cdot 0,082 (293 - 1942,3) = -608,6$
 $W = 0$
 $Q = \frac{3}{2} 0,082 \cdot 3 (293 - 1942,3) = -608,6$

7. 10 moles de un gas diatómico ($C_v = 5R/2$) se encuentran inicialmente a una presión de $P_A = 5 \cdot 10^5$ Pa y ocupando un volumen de $V_A = 249 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$. Se expande adiabáticamente (proceso AB) hasta ocupar un volumen $V_B = 479 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$. A continuación el gas experimenta una transformación isoterma (proceso BC) hasta una presión $P_C = 1 \cdot 10^5$ Pa. Posteriormente se comprime isobáricamente (proceso CD) hasta un volumen $V_D = V_A = 249 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$. Por último, experimenta una transformación a volumen constante (proceso DA) que le devuelve al estado inicial.
- Representar gráficamente este ciclo en un diagrama P-V.
 - Calcular el valor de las variables termodinámicas desconocidas en los vértices A, B, C y D.
 - Hallar el calor, el trabajo, la variación de energía interna, en Joules, de forma directa y/o empleando el Primer Principio, en cada etapa del ciclo.
 - Calcular el rendimiento.

$$R = 0.082 \text{ atm l}/(\text{mol K}) = 8.314 \text{ J}/(\text{mol K}); 1 \text{ cal} = 4.186 \text{ J}; 1 \text{ atm} = 1.013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$



$$W = \int_{V_A}^{V_B} P dV = \int_{V_A}^{V_B} \frac{c k e}{V^\gamma} dV = c k e \frac{V^{-\gamma+1}}{-\gamma+1} \Big|_{V_A}^{V_B} = \frac{c k e}{-\gamma+1} [V_B^{-\gamma+1} - V_A^{-\gamma+1}] =$$

$$\text{Como } P_A V_A^\gamma = P_B V_B^\gamma = c k e = \frac{1}{-\gamma+1} [P_B V_B^\gamma \cdot V_B^{-\gamma+1} - P_A V_A^\gamma \cdot V_A^{-\gamma+1}] = \frac{1}{-\gamma+1} [P_B V_B - P_A V_A]$$

$$W = \frac{1}{-\frac{7}{5}+1} [2 \cdot 10^5 \cdot 479 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^5 \cdot 249 \cdot 10^{-3}] = 71750 J$$

Comprobación, por principio $\Delta U = Q - W$

Proceso B \rightarrow C (isotermo)
 $\Delta U = 0$ no hay cambio de temperatura
 $W = \int_{V_B}^{V_C} P dV = \int_{V_B}^{V_C} \frac{nRT}{V} dV = nRT \ln V \Big|_{V_B}^{V_C} = nRT (\ln V_C - \ln V_B) = nRT \ln \frac{V_C}{V_B}$
 $W = n \cdot R \cdot 1152,7 \ln \frac{958 \cdot 10^{-3}}{479 \cdot 10^{-3}} = 66458,1 J$
 $Q = W = 66458,1 J$

Proceso C \rightarrow D (isobárico)
 $\Delta U = n C_v (T_D - T_C) = 10 \cdot \frac{5}{2} \cdot 8,314 (299,5 - 1152,7) = -177337,6 J$
 $Q = n C_p (T_D - T_C) = 10 \cdot \frac{7}{2} \cdot 8,314 (299,5 - 1152,7) = -248272,7 J$
 $W = P (V_D - V_C) = 10^5 (249 \cdot 10^{-3} - 958 \cdot 10^{-3}) = -70930 J$

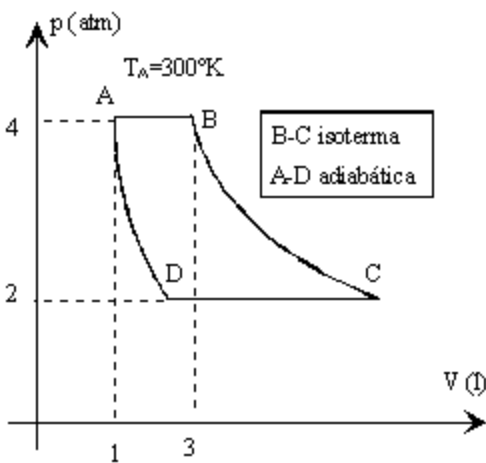
Comprobación $\Delta U \approx Q - W$

Proceso D \rightarrow A (isocoro)
 $W = 0$ no hay cambio de volumen.
 $Q = nC_v (T_A - T_D) = 10 \cdot \frac{5}{2} \cdot 8,314 (1497,5 - 299,5) = 249\,004,3 \text{ J}$
 $\Delta U = nC_v (T_A - T_D) = 249\,004,3 \text{ J}$

	$\Delta U \text{ (J)}$	$Q \text{ (J)}$	$W \text{ (J)}$
A \rightarrow B	-71666,7	0	71.750
B \rightarrow C	0	66458,1	66458,1
C \rightarrow D	-177333,6	-248272,7	-70.930
D \rightarrow A	249.004,3	249.004,3	0
	0		67.278,1

En el ciclo completo $\Delta U \approx 0$
 $W = 67.278,1 \text{ J}$
 $Q_{\text{abs}} = 315462,4 \text{ J}$ (signo +)
 $Q_{\text{ed}} = -248.272,7 \text{ J}$ (signo -)
 vemos $Q_{\text{abs}} + Q_{\text{ed}} \approx W$

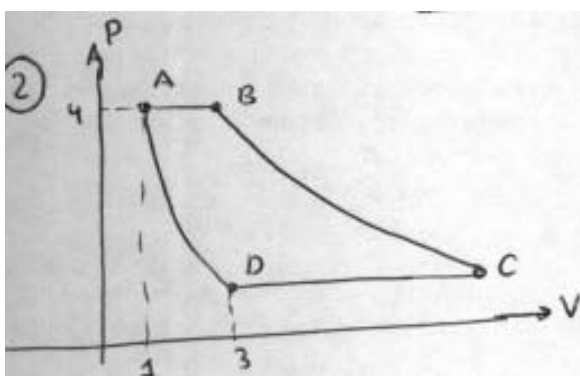
$\eta = \frac{W}{Q_{\text{abs}}} = 0,21$ (21%)



8. En el ciclo de la figura que describe un gas ideal monoatómico

- Calcular el valor de las variables termodinámicas desconocidas en los vértices A, B y C.
- Hallar de forma directa el trabajo en cada etapa.
- El calor, la variación de energía interna y la variación de entropía en cada etapa del ciclo. (Expresar los resultados en Joules).
- Hallar el rendimiento del ciclo.

$R = 0.082 \text{ atm l}/(^{\circ}\text{K mol})$ $1 \text{ cal} = 4.186 \text{ J}$. $1 \text{ atm} = 1.013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$



	$P \text{ (atm)}$	$V \text{ (l)}$	$T \text{ (}^{\circ}\text{K)}$
A	4	1	300
B	4	3	900
C	2	6	900
D	2	1,52	227,3

Adiabática A \rightarrow D. $4 \cdot 1^{5/3} = 2 \cdot V^{5/3} \Rightarrow V = 1,52 \Rightarrow T = 227,3$
 Para un gas monoatómico $\gamma = C_p/C_v$ $C_v = \frac{3}{2}R$ $C_p = C_v + R = \frac{5}{2}R$
 $\mu R = \frac{4 \cdot 1}{300}$



A → B

$$W_{AB} = 4(3-1) = 8 \text{ atm} \cdot \ell$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} \frac{4}{300} (900-300) = 12 \text{ atm} \cdot \ell$$

$$Q = \frac{5}{2} \frac{4}{300} (900-300) = 20 \text{ atm} \cdot \ell$$

$$\Delta S = \int \mu C_p \frac{dT}{T} = \mu C_p \ln \frac{T_B}{T_C} = 0,037 \text{ atm} \cdot \ell / \text{K}$$

B → C

$$W_{BC} = \int P dV = \int_B^C \frac{\mu RT}{V} dV = \mu RT \ln \frac{V_C}{V_B} = 4 \cdot 3 \ln \frac{6}{3} = 8,32 \text{ atm} \cdot \ell$$

$$\Delta U = 0$$

$$Q = W_{BC} = 8,32 \text{ atm} \cdot \ell$$

$$\Delta S = \frac{Q}{T} = 0,0094 \text{ atm} \cdot \ell / \text{K}$$

C → D

$$W_{CD} = 2(1,52-6) = -8,96 \text{ atm} \cdot \ell$$

$$Q = \frac{5}{2} \frac{4}{300} (227,3-900) = -22,41 \text{ atm} \cdot \ell$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} \frac{4}{300} (227,3-900) = -13,45 \text{ atm} \cdot \ell$$

$$\Delta S = \int_C^D \mu C_v \frac{dT}{T} = \mu C_v \ln \frac{T_D}{T_C} = \frac{3}{2} \cdot \frac{4}{300} \cdot \ln \frac{227,3}{900} = -0,046 \text{ atm} \cdot \ell / \text{K}$$

D → A

$$W_{DA} = \int_D^A P dV = \int_D^A \frac{cte}{V^\gamma} dV = cte \frac{V^{-\gamma+1}}{-\gamma+1} \Big|_D^A =$$

$$\frac{cte}{-\gamma+1} [V_A^{-\gamma+1} - V_D^{-\gamma+1}] = \frac{1}{-\gamma+1} [P_A V_A - P_D V_D] = \frac{1}{-5/3+1} [4-3 \cdot 0,4] = -1,45 \text{ atm} \cdot \ell$$

$$cte = P_A V_A^\gamma = P_D V_D^\gamma$$

$$Q = 0$$

$$\Delta U = -W_{DA}$$

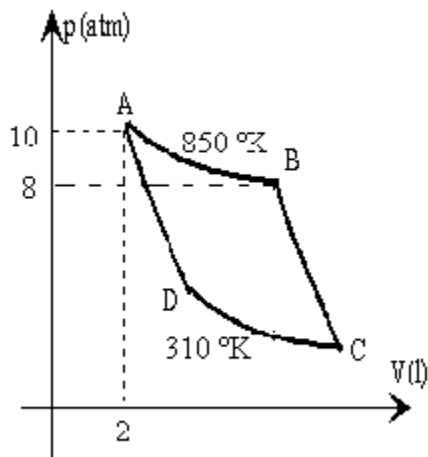
$$\Delta S = 0$$

$1 \text{ atm} \cdot \ell = 101,3 \text{ J}$

	$W(\text{J})$	$Q(\text{J})$	$\Delta U(\text{J})$	$\Delta S(\text{J/K})$
A → B	810,4	2026	1215,6	3,71
B → C	842,8	842,8	0	0,94
C → D	-907,7	-2269,1	-1362,5	-4,65
D → A	-146,9	0	146,9	0

$W = 598,6 \text{ J}$
 $Q_{\text{abs}} = 2868,8 \text{ J}$
 $Q_{\text{ced}} = 2269,1 \text{ J}$
 $\eta = \frac{W}{Q_{\text{abs}}} = 0,21$

9. Un gas diatómico, $c_v = 5R/2$, describe el ciclo de Carnot de la figura. Las transformaciones A-B y C-D son isotermas y las transformaciones B-C y D-A son adiabáticas.



- Hallar los valores de la presión, el volumen, y la temperatura de cada uno de los vértices A, B, C y D a partir de los datos suministrados en la figura.
- Calcular de forma explícita el trabajo en cada una de las transformaciones, la variación de energía interna, y el calor.
- Hallar el rendimiento del ciclo, y comprobar que coincide con el valor dado por la fórmula del rendimiento de un ciclo de Carnot.
- ¿Cuál es la razón por la que un diseñador de motores térmicos debe de conocer el ciclo de Carnot?.

Dato: $R = 8.314 \text{ J}/(\text{K mol}) = 0.082 \text{ atm} \cdot \ell / (\text{K mol})$



①

	P(atm)	V(l)	T(°K)
A	10	2	850
B	8	2,5	850
C	0,23	31,12	310
D	0,29	24,90	310

$C_p = C_v + R$ $C_p = \frac{7}{2} R$
 $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{7}{5}$

n° de moles $10 \cdot 2 = nR \cdot 850$ $nR = \frac{20}{850}$
 A → B isoterma $10 \cdot 2 = 8V_B$ $V_B = 2,5$ l
 B → C : adiabática.

$P_B V_B^\gamma = P_C V_C^\gamma$ $\Rightarrow T_B V_B^{\gamma-1} = T_C V_C^{\gamma-1}$
 $P_B V_B = nRT_B$
 $P_C V_C = nRT_C$

$850 \cdot 2,5^{2/5} = 310 V_C^{2/5}$
 $V_C = 31,12$ l
 $P_C = 0,23$ atm

A → D adiabática
 $T_A V_A^{\gamma-1} = T_D V_D^{\gamma-1}$ $P_D = 0,29$ atm
 $P_D V_D = nRT_D$ $V_D = 24,90$ l
 $850 \cdot 2^{2/5} = 310 \cdot V_D^{2/5}$

	W (atm·l)	Q (atm·l)	ΔU (atm·l)
A → B	4,46	4,46	0
B → C	32,11	0	-31,76
C → D	-1,62	-1,62	0
D → A	31,95	0	31,76
	2,84		0

Primer principio
 $\Delta U = Q - W$
 $\Delta U = n C_v (T_f - T_i)$
 $W = \int_A^B P dV$

Proceso A → B isoterma
 $\Delta U = 0$
 $W = \int_A^B P dV = \int_A^B \frac{nRT}{V} dV = nRT \ln V \Big|_A^B = nRT (\ln V_B - \ln V_A) = nRT \ln \frac{V_B}{V_A}$
 $W = \frac{20}{850} \cdot 850 \ln \frac{2,5}{2} = 4,46$ atm·l
 $Q = W = 4,46$ atm·l

Proceso B → C adiabática
 $Q = 0$
 $\Delta U = n \cdot \frac{5}{2} R (310 - 850) = \frac{20}{850} \cdot \frac{5}{2} \cdot (310 - 850) = -31,76$ atm·l
 $W = \int_B^C P dV = \int_B^C \frac{c}{V^\gamma} dV = c \cdot \frac{V^{-\gamma+1}}{-\gamma+1} \Big|_B^C = \frac{c}{-\gamma+1} [V_C^{-\gamma+1} - V_B^{-\gamma+1}] =$
 $P_C V_C^\gamma = P_B V_B^\gamma = c$
 $= \frac{1}{-\gamma+1} [P_C V_C - P_B V_B]$
 $W = \frac{1}{-\frac{7}{5}+1} [0,23 \cdot 31,12 - 8 \cdot 2,5] = +32,11$ atm·l

Como vemos se cumple $\Delta U = -W$ (2)

Proceso C-D. isoterma

$$\Delta U = 0$$

$$W = nRT \ln \frac{V_D}{V_C} = \frac{20}{850} \cdot 310 \ln \frac{24,90}{31,12} = -1,62 \text{ atm}\cdot\ell$$

$$Q = W = -1,62 \text{ atm}\cdot\ell$$

Proceso D → A adiabático

$$Q = 0$$

$$W = \frac{1}{-\gamma+1} [P_A V_A - P_D V_D] = \frac{1}{-\frac{7}{5}+1} [10 \cdot 2 - 0,29 \cdot 24,90] = -31,95 \text{ atm}\cdot\ell$$

$$\Delta U = n \cdot \frac{5}{2} R (850 - 310) = 31,76 \text{ atm}\cdot\ell$$

Como vemos se cumple $\Delta U = -W$

Resumen del ciclo:

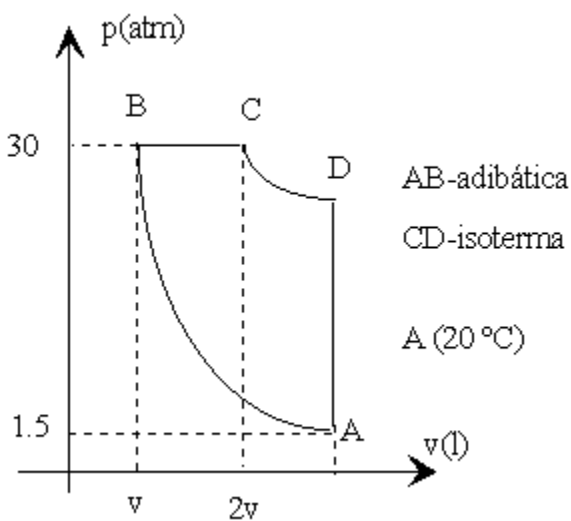
}	Trabajo total.	2,84 atm·ℓ
	Calor absorbido	4,46 atm·ℓ
	Calor cedido	1,62 atm·ℓ

rendimiento $\eta = \frac{W}{Q_{\text{abs}}} = \frac{2,84}{4,46} = 0,64$

Fórmula del rendimiento del ciclo Carnot $\eta = 1 - \frac{T_{\text{fria}}}{T_{\text{caliente}}} = 1 - \frac{310}{850} = 0,64$

Un motor térmico que trabaje entre dos focos a las temperaturas de 850° y 310° , respectivamente, no puede tener un rendimiento superior al 64%.

| | AB | = 2,5



10. Una máquina térmica trabaja sobre 3 moles de un gas monoatómico, realizando el ciclo reversible ABCD de la figura. Si el volumen del gas en el estado C es el doble del volumen del gas en el estado B.

- Calcular las variables desconocidas en cada vértice del ciclo.
- Calcular de forma directa el trabajo en cada etapa del ciclo
- El calor, la variación de energía interna y la variación de entropía
- Hállese el rendimiento del ciclo.



Gas monoatómico $C_v = \frac{3}{2} R$ $C_p = \frac{5}{2} R$ $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{5}{3}$

	P	V	T
A	1,5	48,052	293
B	30	7,963	971,1
C	30	15,93	1942,3
D	9,95	48,052	1942,3

A) $1,5 \cdot V = 3 \cdot 0,082 \cdot 293$
 $A \rightarrow B: 1,5 \sqrt[5]{48,052^{3/3}} = 30 \cdot V^{5/3}$
 $C \rightarrow D: 30 \cdot 15,93 = 48,052 \cdot P$

Proceso	ΔU	W	Q	ΔS
A \rightarrow B	250,2	-250,2	0	0
B \rightarrow C	358,4	239,1	597,3	0,43
C \rightarrow D	0	527,5	527,5	0,27
D \rightarrow A	-608,6	0	-608,6	-0,70

$W = 516,4$
 $Q_{abs} = 1124,8$
 $Q_{ced} = 608,6$
 $\eta = \frac{W}{Q_{abs}} = 0,46$

A \rightarrow B $\Delta U = \frac{3}{2} 3 \cdot 0,082 \cdot (971,1 - 293) = -250,2$
 $W = -\mu C_v (T_B - T_A) \quad W = -3 \cdot \frac{3}{2} 0,082 (971,1 - 293) = -250,2$
 $Q = 0 \quad \Delta S = 0$

B \rightarrow C $\Delta U = \frac{3}{2} 3 \cdot 0,082 (1942,3 - 971,1) = 358,4$
 $W = 30 \cdot (15,93 - 7,96) = 239,1$
 $Q = \frac{5 \cdot 0,082}{2} 3 (1942,3 - 971,1) = 597,3$
 $\Delta S = \int_{T_i}^{T_f} \frac{n C_p dT}{T} = \frac{5}{2} 0,082 \cdot 3 \cdot \ln \frac{1942,3}{971,1} = 0,426$

C \rightarrow D $\Delta U = 0$
 $W = \int_{V_c}^{V_D} P dV = \int_{V_c}^{V_D} \frac{nRT}{V} dV = nRT \ln \frac{V_D}{V_c} = 3 \cdot 0,082 \cdot 1942,3 \ln \frac{48,052}{15,93} = 527,5$
 $Q = W = 527,5$
 $\Delta S = \frac{Q}{T} = 0,27$

D \rightarrow A $\Delta U = \frac{3}{2} 3 \cdot 0,082 (293 - 1942,3) = -608,6$
 $W = 0$
 $Q = \frac{3}{2} 0,082 \cdot 3 (293 - 1942,3) = -608,6$
 $\Delta S = \frac{3}{2} 0,082 \cdot 3 \cdot \ln \frac{293}{1942,3} = -0,70$