

Guía 3 - Termodinámica¹

A. Calor y temperatura

| Elemento | | densidad | calor específico/latente |
|------------------|---------|---------------------------|--|
| Agua | líquida | 1 g/cm ³ | $c_{agua}=1 \text{ cal}/(\text{g}^\circ\text{C})$ |
| | vapor | | $c_{vapor}=0.5 \text{ cal}/(\text{g}^\circ\text{C})$ |
| | sólida | 0.9168 g/cm ³ | $c_{hielo}=0.5 \text{ cal}/(\text{g}^\circ\text{C})$ |
| | | | $L_f=80 \text{ cal/g}$ fusión |
| | | | $L_v=540 \text{ cal/g}$ vaporización |
| Aire seco | | 0.00129 g/cm ³ | $c_{aire}=0.24 \text{ cal}/\text{g}^\circ\text{C}$ |
| Aluminio | | 2.7 g/cm ³ | $c_{Al}= 921 \text{ J}/(\text{kg}^\circ\text{C})$ |
| Platino | | 21.4 g/cm ³ | $c_{Pt}= 0.032 \text{ cal}/(\text{g}^\circ\text{C})$ |
| Plomo | | 11.4 g/cm ³ | $c_{Pb}= 0.030 \text{ cal}/(\text{g}^\circ\text{C})$ |

Table 1: **Datos de interés**

1. ¿Cuánto calor se entrega para aumentar la temperatura de 3 kg de aluminio de 20 °C a 50°C?

Resp: 82.9 kJ

2. El volumen de agua en un tanque abierto es de 2×10^6 litros. ¿Qué cantidad de calor cede el agua al ambiente durante una tarde en que su temperatura desciende de 20°C a 18°C?

Resp: $-1.67 \cdot 10^{10} \text{ J}$

3. ¿Qué cantidad de calor entrega un radiador para elevar la temperatura de 10 °C a 20 °C en una habitación de 8 m x 4 m, con 2.5 m de altura hasta el techo?

Resp: $1.38 \cdot 10^6 \text{ J}$

4. La temperatura del aire en áreas costeras se ve influida considerablemente por el gran calor específico del agua. Una razón es que el calor liberado cuando 1 m³ de agua se enfría 1 °C aumentará la temperatura de un volumen enormemente más grande de aire en 1 °C. Calcule este volumen de aire.

5. Se consideran los siguientes casos que involucran cambio de estado del agua:

- (a) Se entrega calor suficiente para que 2 kg de hielo a -20°C pasen a vapor a 120°C . Calcule la cantidad de calor entregado

¹Claudia Montanari, *Guía ejercicios de Física para Paleontólogos* 2016

- (b) Un trozo de 200 g de platino a 150°C se coloca en un recipiente adiabático que contiene agua a 50°C . La capacidad calorífica del recipiente puede despreciarse. Calcule la temperatura de equilibrio que alcanza la mezcla
- (c) En un recipiente adiabático se coloca un bloque de hielo de 50 g a -30°C . Se agregan 250 g de esquilas de plomo a 150°C . Se espera a que se alcance el equilibrio térmico. ¿En que estado estará el agua? Calcule la temperatura de equilibrio.

Resp: a) 1480 kcal; b) 53.1°C ; c) temperatura final 0°C , 4.7 g de agua y 45.3 g de hielo

6. Se ponen 10g de agua (vapor) a 150°C , 50g de agua (hielo) a -30°C , 100g. de agua (líquida) a 50°C y 200g de aluminio a 110°C ($C_{Al} = 0.22 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$), en contacto térmico dentro de un recipiente adiabático de 200g de masa y capacidad calorífica específica $0,2 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$ que inicialmente está a una temperatura de 20°C .

- (a) Halle la temperatura final del sistema.
- (b) ¿Qué cantidad de calor ha absorbido cada uno de los cuerpos? ¿Y el sistema como un todo?

Resp: a) 51.4°C ; b) $Q(\text{hielo})=7320 \text{ cal}$, $Q(\text{vapor})=-6136 \text{ cal}$, $Q(\text{agua líquida})=140 \text{ cal}$, $Q(\text{aluminio})=-2579 \text{ cal}$, $Q(\text{recipiente})=1256 \text{ cal}$

B. Gases Ideales

Unidades:

$$1 \text{ atm}=1.013 \text{ bar}=14.5 \text{ psi} \quad (1 \text{ psi}=\text{lb}/\text{pulg}^2);$$

$$1 \text{ atm l}=24.22 \text{ cal}=101.33 \text{ J};$$

$$R=8.314 \text{ J/K}=0.082 \text{ atm l/K}=62.4 \text{ mmHg/K}=1.987 \text{ cal/K};$$

7. Un gas ideal se mantiene en un recipiente a volumen constante. Al principio, su temperatura es de 10.0 C y su presión de 2.5 atm . ¿Cuál es la presión cuando la temperatura es de 80°C ?

Resp: 3.3 atm

8. Un globo lleno de helio tiene un volumen de 1 m^3 . A medida que asciende por la atmósfera de la Tierra su volumen se expande. ¿Cuál es su nuevo volumen si su temperatura y presión originales son 20°C y 1 atm y su temperatura y presión finales son -40°C y 0.1 atm ?

Resp: 7.95 m^3

9. Un auditorio tiene dimensiones de $10\text{ m} \times 20\text{ m} \times 30\text{ m}$. ¿Cuántas moléculas de aire se necesitan para llenar el auditorio a $20\text{ }^\circ\text{C}$ y 101 kPa de presión? Si el aire seco es 80% N_2 y 20% O_2 ¿Cuál es su masa?

Resp: 1.5×10^{29} moléculas y 718.4 kg

10. Un cuarto de volumen V contiene aire cuya masa molar promedio es M . Si la temperatura del cuarto se eleva de T_1 a T_2 , ¿Qué masa de aire, saldrá del cuarto? Suponga que la presión del aire en el cuarto se mantiene en P_0 .

11. La llanta de un automóvil se infla usando aire originalmente a $10\text{ }^\circ\text{C}$ y presión de $1\text{ atm}=14.5\text{ psi}$ (que es la unidad de presión usual para /'esto). Durante el proceso el aire se comprime hasta 28% de su volumen original y la temperatura aumenta a $40\text{ }^\circ\text{C}$. ¿Cuál es la presión en la llanta? Luego de manejar a alta velocidad, la temperatura del aire dentro de la llanta se eleva a $85\text{ }^\circ\text{C}$ y su volumen interior aumenta 2% . ¿Cuál es la nueva presión en la llanta?

Resp: 57.3 psi ; 64.2 psi

12. En sistemas de vacío con la tecnología más avanzada se logran presiones tan bajas como $1 \times 10^{-6}\text{ Pa}$. Calcule el número de moléculas en un recipiente de 1 m^3 a esta presión si la temperatura es de $27\text{ }^\circ\text{C}$. Recuerde que el número de Avogadro es $N_A=6.022 \times 10^{23}$ moléculas/mol.

Resp: 2.4×10^{14} moléculas

C. 1er Principio de la Termodinámica

Recuerde: $1\text{ cal} = 4.186\text{ J}$

13. Un mol de gas ideal monoatómico se dilata a temperatura constante 300 K desde un volumen de 2 litros hasta duplicarlo. Luego se comprime a presión constante hasta volver al volumen inicial, y por último se lo calienta a volumen constante hasta que alcanza nuevamente el estado inicial. Suponiendo que todo el proceso fue reversible, calcule para cada una de las evoluciones:

- (a) el trabajo realizado por el gas,
- (b) el calor que intercambia con el medio exterior,
- (c) la variación de energía interna.

Resp: (a) $W_{12}=24.6\text{ atm l}$; $W_{23}=12.3\text{ atm l}$; $W_{31}=0$; (b) $Q_{12}=24.6\text{ atm l}$; $Q_{23}=-6.15\text{ atm l}$; $Q_{31}=18.45\text{ atm l}$; $\Delta U_{12}=0$; $\Delta U_{23}=-18.45\text{ atm l}$; $\Delta U_{31}=18.45\text{ atm l}$

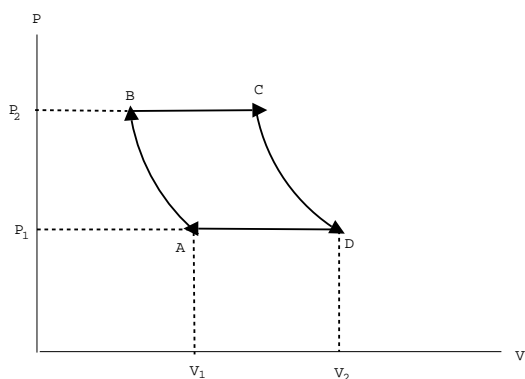


Figure 1: Problema 14

14. Un gas ideal realiza un ciclo reversible que consta de dos etapas isobáricas y dos etapas isotérmicas, como se muestra en la Figura 1. Demuestre que el trabajo neto realizado en el ciclo es: $W_{neto} = P_1 (V_2 - V_1) \ln \frac{P_2}{P_1}$.
15. Un gas ideal se somete al proceso cíclico mostrado en la Figura 2.
- Dibuje un diagrama PV para este ciclo e identifique las etapas durante las cuales se absorbe calor y aquellas durante las cuales se emite calor.
 - ¿Cuál el calor entregado, el trabajo realizado y la variación de energía interna en el ciclo completo?

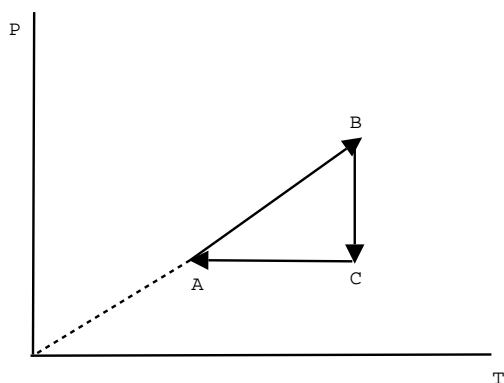


Figure 2: Problema 15

16. Un mol de un gas ideal se calienta a presión constante de modo que su temperatura se triplica. Luego se calienta el gas a temperatura constante de manera que su volumen se triplica. Suponga que ambos procesos se realizan en forma lenta y reversible. Encuentre la razón entre el trabajo efectuado durante el proceso isotérmico y el realizado durante el proceso isobárico.

Resp: 1.65

17. Un mol de un gas ideal monoatómico ($c_p = 5R/2$) ocupa un volumen de 120 dm^3 a una presión de $12,8 \text{ kPa}$. Se le entrega calor de manera que el gas se expande isobárica y reversiblemente hasta ocupar un volumen de 300 dm^3 . Calcule:

- (a) el trabajo realizado por el gas,
- (b) la variación de energía interna del gas.

Resp: $W = 2,3 \text{ kJ}$; $\Delta U = 3,45 \text{ kJ}$

18. Un cilindro con tapa contiene 3 moles de O_2 a presión 1 atm y temperatura 20°C . La presión exterior también es 1 atm . Calcular el calor requerido para elevar la temperatura del O_2 hasta 26°C :

- (a) si la tapa está trabada
- (b) si la tapa puede desplazarse sin rozamiento contra la presión externa constante

Resp:a) $Q = 90 \text{ cal}$; b) $Q = 126 \text{ cal}$

19. Un recipiente rígido y adiabático de volumen 2 m^3 está dividido por una pared interna en dos partes iguales. Un gas ideal monoatómico ocupa la mitad del mismo. La presión del gas es 100 kPa y su temperatura, 300 K . La otra mitad del recipiente se ha efectuado vacío. Se quita la pared que separa ambas mitades dejando que el gas se expanda libremente.

- (a) Calcule el trabajo realizado por el gas y la variación de su energía interna.
- (b) ¿Cuál es la temperatura final del gas?
- (c) ¿Cuáles de las respuestas anteriores no cambian si el gas no es ideal?

Resp: a) $W = Q = \Delta U = 0$; b) $T_f = 300 \text{ K}$; c) si no es ideal $W = Q = \Delta U = 0$ pero T_f cambia.

20. Se suministran calor de 30 kcal a 10 moles de un gas ideal monoatómico, que se expande contra una presión exterior constante de 1254 hPa hasta ocupar 5 veces su volumen inicial. ¿Cuál era el volumen inicial ocupado por el gas?

Resp: 100 litros

21. Un gas ideal se expande isotérmicamente (reversible) desde el estado A ($V=1 \text{ l}$; $P=3 \text{ atm}$ y $U=456 \text{ J}$) hasta el estado B ($V=3 \text{ l}$ y $P=1 \text{ atm}$). Luego se calienta a volumen constante hasta el estado C ($P=2 \text{ atm}$ y $U=912 \text{ J}$).

- (a) ¿Es un gas monoatómico? ¿Cómo podría revisar esto?
- (b) Represente el proceso en un diagrama de P en función de V .

- (c) Calcule el trabajo realizado por el gas en cada etapa.
- (d) Determine el calor absorbido o cedido durante el proceso.

Resp: es un gas monoatómico con $c_v=3/2R$; $W_{AB}=3.3 \text{ atm l}$; $W_{BC}=0$; $Q_{AB}=3.3 \text{ atm l}$; $Q_{BC}=4.5 \text{ atm l}$

22. Un gas ideal se comprime a la mitad de su volumen original mientras su temperatura se mantiene constante.

- (a) ¿Cuál es el cambio en la energía interna del gas durante su compresión ?. ¿Fue un proceso reversible o irreversible? Influye en el valor de ΔU ?
- (b) Si el gas entrega calor de 1000 J durante la compresión , ¿cuánto trabajo se realiza sobre el gas?

Resp: $\Delta U = 0$; $W=1000 \text{ J}$.

23. Se tiene un cilindro con un pistón sin rozamiento que contiene 1 m^3 de un gas ideal monoatómico ($\gamma = 5/3$) a presión atmosférica ($1.01 \times 10^5 \text{ N/m}^2$). Se comprime el gas hasta que el volumen sea 0.4 m^3 . ¿Cuánto trabajo se realizó para comprimir este gas?

- (a) Si el proceso es isotérmico reversible.
- (b) Si el proceso es a $P = P_{\text{ext}} = \text{cte}$.
- (c) Si el proceso es adiabático reversible.

Resp: a) $W = -92.5 \text{ kJ}$; b) $W = -60.6 \text{ kJ}$; c) $W = -128 \text{ kJ}$

24. Calcule el trabajo realizado y el calor absorbido (o entregado) por 1 m^3 de gas ideal a presión atmosférica cuando se lo somete a los siguientes procesos:

- (a) Desde las condiciones iniciales se comprime el gas isotérmica y reversiblemente hasta 20 veces la presión inicial.
- (b) Desde las condiciones iniciales se calienta el gas a volumen constante hasta 20 veces la presión inicial. Luego se lo lleva reversiblemente, a presión constante hasta el volumen final del caso anterior.
- (c) Dibuje el diagrama P-V.

Resp: a) $Q=W = -303.5 \text{ kJ}$; b) $Q=W = -1925 \text{ kJ}$

25. (Optativo) La temperatura de 5kg de N_2 gaseoso se eleva desde 10°C a 130°C . Los calores específicos del gas N_2 son: $C_p = 0.248 \text{ kcal}/(\text{kg K})$; $C_v = 0.177 \text{ kcal}/(\text{kg K})$. Asuma que puede tratarlo como gas ideal.

- (a) Halle la cantidad de calor necesaria para ello, el incremento de energía interna y el trabajo exterior realizado sobre el gas si se realiza el proceso a presión constante.
- (b) Calcule la cantidad de calor necesaria si el proceso se lleva a cabo a volumen constante.

Resp: a) $\Delta U=106.2$ kcal; $Q=148.8$ kcal; $W_{ext}= -42.6$ kcal; b) $\Delta U=106.2$ kcal= Q

26. (Optativo) En un cilindro de un motor de automóvil, justo después de la combustión, el gas se confina en un volumen de $V_i = 40 \text{ cm}^3$ y tiene una presión inicial de 3×10^6 Pa. Luego el émbolo se mueve hacia afuera hasta un volumen final de $V_f = 300 \text{ cm}^3$ y el gas se expande sin perder calor en un proceso reversible. Si $\gamma = 1.4$ para el gas:

- (a) ¿Cuál es la presión final?
- (b) ¿Cuánto trabajo hace el gas al expandirse?

Resp: a) $1.8 \cdot 10^5$ Pa; b) 166 J

D. 2do Principio de la Termodinámica

D.1 Ciclos y máquinas térmicas

27. Una máquina térmica efectúa 200 J de trabajo en cada ciclo y tiene una eficiencia del 30%. ¿Cuántas calorías se liberan y se absorben por ciclo?

Resp: 159.3 cal y -111.5 cal

28. El calor que absorbe una máquina es tres veces mayor que el trabajo que realiza.

- (a) ¿Cuál es su eficiencia térmica ?
- (b) ¿Qué fracción del calor absorbido es liberado hacia el depósito frío ?

29. Una central eléctrica trabaja con una eficiencia de 32% durante el verano, cuando el agua de mar para enfriamiento está a 20°C . La planta utiliza vapor a 350°C para accionar las turbinas. Suponiendo que la eficiencia de la planta cambia en la misma proporción que la eficiencia ideal, ¿cuál es la eficiencia de la planta en el invierno cuando el agua de mar se encuentra a 10°C ?

Resp: 33.2%

30. Una central eléctrica trabaja en un ciclo de Carnot (reversible) con una eficiencia de 25% cuando la temperatura del depósito caliente es de 500°C . Si deseamos mejorar la eficiencia hasta el 30%, ¿cuál sería la temperatura del depósito caliente, suponiendo que todo lo demás permanece inalterado?

Resp: 555°C

D.2 Variación de la entropía

31. En el punto A de un ciclo de Carnot (reversible) 2.3 moles de un gas monoatómico tiene una presión de 1400 kPa, un volumen de 10 litros y una temperatura de 720 K. Se expande isotérmicamente hasta el punto B y después se expande adiabáticamente hasta el punto C, donde su volumen es 24 litros. Una compresión isotérmica lo lleva al punto D, donde su nuevo volumen es 15 litros. Un proceso adiabático regresa al gas al punto A.
- (a) Determine todas las presiones, volúmenes y temperaturas desconocidas llenando la siguiente Tabla 1.
 - (b) Encuentre el calor absorbido o entregado, el trabajo realizado y el cambio en la energía interna para cada una de las etapas, AB, BC, CD y DA.
 - (c) Demuestre que $\frac{W_{neto}}{Q_{abs}} = 1 - \frac{T_C}{T_A}$, la eficiencia de Carnot.
 - (d) ¿Cuál fue la variación de la entropía del gas? ¿Y del universo? ¿Cómo lo relaciona con el 2do Principio de la Termodinámica

| | P | V | T |
|---|----------|-----------|-------|
| A | 1400 kPa | 10 litros | 720 K |
| B | | | |
| C | | 24 litros | |
| D | | 15 litros | |

Table 2: Problema 31

- Resp:** a) $T_C=558.72$ K; $P_B=875$ kPa; $P_C=445.17$ kPa; $P_D=712.27$ kPa; $V_B=16$ l;
b) $\Delta U_{AB}=0$, $Q_{AB} = W_{AB}=6.47$ kJ; $\Delta U_{BC}=-4.63$ kJ= $-W_{BC}$, $Q_{BC}=0$; $\Delta U_{CD}=0$, $Q_{CD} = W_{CD}=-5.02$ kJ; $\Delta U_{DA}=4.63$ kJ= $-W_{DA}$, $Q_{DA}=0$;
c) $W_{neto}=1.45$ kJ, $Q_{abs} = Q_{AB}$;
d) $\Delta S_{AB}=8.987$ J/K, $\Delta S_{BC}=0$, $\Delta S_{CD}=-8.987$ J/K, $\Delta S_{DA}=0$, $\Delta S_{total}=0$ (lógico es un ciclo), $\Delta S_{universo}=0$ (proceso reversible, 2do Principio).

32. Se comprime un mol de un gas ideal en forma reversible e isotérmica a 20°C de temperatura efectuando para ello un trabajo de 5000J.
- (a) ¿Cuál es el cambio en la entropía del sistema?
 - (b) ¿Cuál es el cambio en la entropía del universo?

Resp: a) 17 J/K; b) 0

33. Se tiene una heladera que realiza un ciclo reversible trabajando entre 4°C (interior de la heladera) y 27°C (ambiente externo).

- (a) ¿Cuánto vale su eficiencia?
- (b) ¿Cuánto vale el trabajo necesario para que funcione extrayendo 200 cal por ciclo de la fuente fría?
- (c) ¿Cuál es el cambio en la entropía de la máquina en un ciclo? ¿y de las fuentes?
- (d) ¿Cuál es el cambio en la entropía del universo en un ciclo?

Resp: a) 12; b) -16.6 cal; c) 0, -0.722 cal/K, +0.722 cal/K; d) 0

34. (Optativo) Diez moles de un gas ideal ($\gamma = 5/3$) que se encuentra inicialmente a 27°C y 1 atm, se comprimen en forma reversible a la mitad del volumen inicial.

- (a) Calcule Q, W, ΔU y ΔS del sistema cuando el proceso se realiza isotérmicamente.
- (b) Calcule Q, W, ΔU y ΔS del sistema cuando el proceso se realiza adiabáticamente.

Compare los resultados y relacionelo con el 2do Principio de la termodinámica

Resp: a) $Q=W= -17.3$ kJ, $\Delta U=0$, $\Delta S=-57.7$ K/K; b) $Q=0$, $W= -22$ kJ, $\Delta U=22$ kJ, $\Delta S=0$

35. Se ponen 10g de agua (vapor) a 150°C , 50g de agua (hielo) a -30°C , 100g. de agua (líquida) a 50°C y 200g de aluminio a 110°C ($C_{Al} = 0.22$ cal/g $^{\circ}\text{C}$), en contacto térmico dentro de un recipiente adiabático de 200g de masa y capacidad calorífica específica 0,2 cal/g $^{\circ}\text{C}$ que inicialmente está a una temperatura de 20°C (problema 6). Halle la variación total de entropía de cada componente y total en este proceso. Si el recipiente es adiabático, la variación de entropía es 0?

Resp: $S(\text{hielo})= 26.19$ cal/K; $S(\text{vapor})= -16.51$ cal/K; $S(\text{agua líquida})=0.43$ cal/K; $S(\text{aluminio})= -7.31$ cal/K; $S(\text{recipiente})= 4.07$ cal/K; $S(\text{Total})= 6.87$ cal/K ¿0 (Bien! son procesos irreversibles)

36. Una máquina térmica trabaja entre una fuente caliente a 400K y otra fría a 200K, extrayendo en cada ciclo 10 kcal de la fuente caliente. La eficiencia de la máquina es el 40% de la máxima posible. Calcule para cada ciclo

- (a) El trabajo que se obtiene y el calor entregado a la fuente fría.
- (b) ΔS de la máquina, de cada fuente y del universo.
- (c) repita los cálculos si la máquina térmica es reversible. Analice el resultado en relación al 2do principio de la termodinámica.

Resp: a) $W=2$ kcal, $Q_f=-8$ kcal; b) $\Delta S_{Universo}=15$ cal/K; c) $W=5$ kcal, $Q_f=-5$ kcal; $\Delta S_{Universo}=0$

37. Suponga 1 kg de hielo a -20°C en un ambiente a 20°C . Al cabo de un rato termina como agua líquida a 20°C . Calcule la variación de entropía del agua (hielo hasta líquida) y del universo. Considere el 2do principio de la termodinámica y diga si el proceso fue reversible o irreversible.

Resp: $\Delta S_{agua}=401.7$ cal/K; $\Delta S_{ambiente}=-37.54$ cal/K; $\Delta S_{Universo}=364.2$ cal/K