



1. ENERGY

(and introductory exercises with perfect gases and liquids)

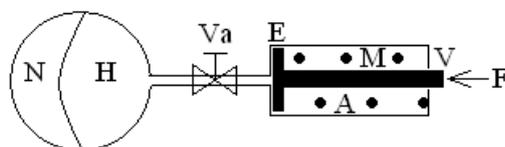
1. ENERGÍA (Y EJERCICIOS DE INTRODUCCIÓN CON GASES Y LÍQUIDOS PERFECTOS)

- 1.1. En la preparación del baño de un bebé le puede surgir este problema a los padres: ¿qué temperatura máxima puede alcanzar un baño de 20 litros de agua a 25 °C al añadirle 4 litros de agua hirviendo?
- 1.2. ¿Qué temperatura máxima alcanzará una taza de loza de 100 gramos al echarle el café, supuesto equivalente a 100 gramos de agua hirviendo?
- 1.3. Con una placa eléctrica de 1 kW se ha tardado 5 minutos en llevar a ebullición 0,5 litros de agua. Establecer el balance energético y apuntar el destino de las pérdidas.
- 1.4. Para cierto neumático se recomienda una sobrepresión de llenado de 150 kPa. Estimar la variación de presión debida a un calentamiento de 40 °C por efecto de la rodadura.
- 1.5. Considérese el mar y la atmósfera terrestre, y admítase que la variación de la temperatura con la altura es lineal y tal que a 3 km de profundidad vale 4 °C, a nivel del mar vale 15 °C, a 11 km de altura vale -56,5 °C y a partir de 20 km de altura vuelve a aumentar. Se pide:
 - a) Recuérdese la ecuación del equilibrio hidrostático para determinar la variación de la presión con la altura. ¿Influye la variación de la gravedad con la altura?
 - b) El estado descrito ¿es de equilibrio, o meramente estacionario? ¿Cómo se interpreta que el perfil de temperatura tenga un máximo local a nivel del mar, a la luz de la transmisión de calor y el balance energético?
 - c) ¿Qué espesor de hidrosfera tiene la misma capacidad térmica que toda la atmósfera?
 - d) Si el barómetro de un avión marca media atmósfera, ¿a qué altura vuela?
- 1.6. En un colector solar de 20 m², una corriente de aire recibe calor a razón de $\dot{Q} = \dot{Q}_0 \sin[\pi(t-6)/12]$, siendo $\dot{Q}_0 = 500 \text{ W/m}^2$ y t la hora del día (se supone que desde las 6 de la tarde a las 6 de la mañana se desconecta el colector). El aire cede calor a un acumulador térmico de 2 m³ de agua, con el que se trata de suministrar calor desde las 6 de la tarde a las 6 de la mañana a un local que está a 20 °C en un ambiente a 10 °C. Suponiendo que la temperatura mínima del acumulador es de 30 °C, se pide:
 - a) Intensidad de la carga térmica admisible y temperatura del acumulador en función del tiempo, suponiendo que el consumo de energía térmica es constante en el periodo indicado. Representación gráfica.
 - b) Variación de la temperatura del acumulador con el tiempo, suponiendo que el consumo de energía térmica en el periodo indicado es proporcional a la diferencia entre la temperatura del acumulador y la del local, calculando el factor de proporcionalidad. Representación gráfica.
 - c) Indicar cómo se calcularía la variación de la temperatura del acumulador con el tiempo, suponiendo que el consumo de energía térmica en el periodo indicado es proporcional a la diferencia entre la temperatura del acumulador y la del local, y teniendo en cuenta unas pérdidas

del acumulador proporcionales a la diferencia entre su temperatura y la del ambiente (conocida la constante de proporcionalidad).

- 1.7. Dentro de un recipiente de 10 litros hay un gas desconocido que está inicialmente a una sobrepresión de 50 kPa respecto a la atmosférica. En una maniobra rápida, se deja escapar algo de gas hasta que la presión manométrica es de 40 kPa, cerrándose la válvula entonces y observándose que la presión manométrica se estabiliza en 48 kPa. Se pide:
- Deducir qué tipo de gas hay dentro a partir de la relación de capacidades térmicas a presión y a volumen constante del gas.
 - Temperatura interior en el momento de cerrar la válvula.
 - Masa de gas perdido.
 - Calor intercambiado por el gas durante todo el proceso.
- 1.8. En un cilindro vertical de 5 cm de diámetro, abierto por arriba, un émbolo de 10 kg encierra una masa de 0,2 gramos de una mezcla gaseosa reactiva, que en un cierto instante se hace reaccionar, desprendiéndose 200 J en un intervalo de tiempo muy pequeño. Suponiendo que se puede considerar en todo momento (antes y después de reaccionar) que las propiedades medias de la mezcla gaseosa son $c_v=717 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ y $M=0,029 \text{ kg/mol}$, se pide:
- Altura inicial del émbolo y presión inicial del gas.
 - Estado termodinámico que alcanzaría el gas encerrado inmediatamente después de la reacción (supuesto que no ha tenido tiempo de moverse).
 - Altura final que alcanzará el émbolo al cabo de mucho tiempo.
 - Altura máxima alcanzada por el émbolo y estado del gas en ese instante.
 - Altura alcanzada después de las oscilaciones, pero antes del equilibrado térmico, y estado del gas.
 - Velocidad máxima alcanzada por el émbolo.
 - Integrar las ecuaciones del movimiento del émbolo y representar la posición en función del tiempo, suponiendo que la fuerza de fricción es proporcional a la velocidad del émbolo, con un coeficiente de 10 N/(m/s).
- 1.9. Se dispone de un cilindro horizontal de 15 cm^2 de sección y 40 cm de largo, cerrado por un extremo. En el otro extremo se coloca un émbolo de hierro de 1 cm de espesor y se empuja hasta conseguir llevarlo a 5 cm del fondo, comprimiendo el aire encerrado. Se pide:
- Trabajo que sería necesario aportar (neto, p.e., desde un depósito mecánico reversible) suponiendo que la compresión fuese muy rápida.
 - Como en a), pero suponiendo que la compresión fuese muy lenta.
 - Exergía de la configuración final.
 - Supóngase que desde este último estado se suelta el émbolo; calcular la aceleración inicial y la posición en la que se alcanzaría la velocidad máxima.
 - Velocidad máxima y velocidad a la salida.
 - Representar la posición y la velocidad en función del tiempo
- 1.10. Un cierto globo esférico de 2 gramos de goma elástica puede hincharse hasta un diámetro de 5 cm sin aplicar una sobrepresión apreciable, necesitando a partir de ahí una sobrepresión de 15 mmHg por cada cm de aumento de diámetro. Inicialmente se tiene el globo lleno de hidrógeno con un diámetro de 15 cm, el cual se introduce en un cilindro vertical de 20 cm de diámetro y 30 cm de altura, abierto por arriba, el cual se tapa con un émbolo (tapa deslizante que ajusta perfectamente). Se pide:

- a) Presión inicial del hidrógeno y flotabilidad del globo.
- b) Masa del émbolo necesaria para que el globo flote en el interior del cilindro.
- c) Estado final si el émbolo es de 30 kg.
- 1.11. Dentro de un cilindro vertical de 30 litros y 1 dm^2 de sección, sellado por ambos extremos, existe un émbolo de 4 kg que separa dos masas iguales de aire. Inicialmente la presión en la parte superior es la atmosférica, y entonces se suelta desde la parte superior del cilindro una pesa de 8 kg. Se pide:
- a) Presión inicial en la parte inferior, altura del émbolo, tiempo que tarda en chocar la pesa y velocidad con la que llega y con la que empieza a moverse el émbolo.
- b) Altura final del émbolo, presiones finales y flujo de calor hasta el equilibrio final.
- c) Altura del émbolo y presiones tras el equilibrio mecánico suponiendo que toda la disipación se concentra en el émbolo.
- d) Altura mínima alcanzada por el émbolo y presiones en ese instante.
- 1.12. En un cilindro adiabático vertical de 30 cm de diámetro hay 100 gramos de O_2 que a $15 \text{ }^\circ\text{C}$ ocupan 50 litros, limitado superiormente por un émbolo adiabático de 20 kg al que va unido un resorte de constante elástica 10^5 N/m anclado al fondo del cilindro. Mediante una resistencia eléctrica se suministra lentamente 25 kJ al gas. Se pide:
- a) Presión inicial del gas, altura inicial del émbolo y longitud natural del muelle.
- b) Equilibrio final y balance energético.
- 1.13. Se tiene un recipiente rígido de 5 litros abierto a la atmósfera a través de un tubo vertical de 2 cm^2 de sección. En un cierto instante se suelta desde la boca del tubo un cilindro de aluminio de 10 gramos que actúa como émbolo. Se pide:
- a) Estado final de equilibrio termodinámico.
- b) Estado de equilibrio mecánico tras las oscilaciones.
- c) Longitud mínima de tubo para que el émbolo pueda realizar sus oscilaciones.
- d) Periodo de oscilación del émbolo.
- 1.14. La figura representa un actuador hidráulico compuesto de un depósito con 2 kg de nitrógeno, inicialmente a 20 MPa, que actúa a través de una membrana flexible contra un fluido hidráulico H el cual empuja un émbolo E de 3 cm de espesor unido a un vástago V de 3 cm de diámetro que empuja contra una fuerza constante F de 4000 kg. El actuador propiamente dicho es un cilindro de 8 cm de diámetro interior y 50 cm de longitud, encerrando una masa de aire A inicialmente a 0,2 MPa y un muelle M de 55 cm de longitud natural y constante elástica 10^5 N/m . La configuración inicial es la que se muestra en la figura. En un cierto instante se abre la válvula Va. Se pide:
- a) Posición final del émbolo.
- b) Presiones finales.
- c) Intercambio de calor con el exterior.



- 1.15. Con un dispositivo cilindro-émbolo de $0,05 \text{ m}^2$ de sección, encerrando una masa de $0,2 \text{ kg}$ de aire, se quiere levantar una pesa de 200 kg 1 m de altura, para lo cual se introduce calor suficientemente rápido como para poder despreciar las pérdidas al ambiente. Se pide:
- Altura inicial del émbolo.
 - Estado termodinámico final del aire.
 - Relación entre el trabajo de levantar la pesa y el calor suministrado.
- 1.16. Se tiene un cilindro horizontal de 1 cm de diámetro y 50 cm de largo, cerrado por ambos extremos, dentro del cual, un émbolo de acero imantado de 2 cm de espesor separa dos masas iguales de aire, inicialmente a $T_0=T_{\text{amb}}$ y $p_0=p_{\text{amb}}$, y se pretende desplazar el émbolo 1 cm hacia un lado, con ayuda de un dispositivo electromagnético, y después (ya atemperado el sistema) soltarlo. Se pide:
- Determinar la fuerza necesaria y el trabajo requerido para mover el émbolo en el caso de realizar el proceso lentamente.
 - Determinar la fuerza necesaria y el trabajo requerido para mover el émbolo en el caso de realizar el proceso rápidamente.
 - Velocidad y aceleración del émbolo en la posición de suelta y en el instante del primer paso por el punto medio del cilindro.
 - Periodo de las oscilaciones del émbolo.
 - Integrar numéricamente las ecuaciones del movimiento suponiendo que la fuerza de fricción es proporcional a la velocidad del émbolo con un coeficiente de $10 \text{ N}/(\text{m/s})$.
- 1.17. Dentro de un cilindro vertical de $0,01 \text{ m}^2$ de sección hay $0,01 \text{ kg}$ de nitrógeno encerrado con un émbolo superior de acero de baja fricción cuyo peso da lugar a una sobrepresión de 5 kPa , estando el ambiente a $20 \text{ }^\circ\text{C}$ y 93 kPa . Considérese la siguiente evolución: 1) mediante las fuerzas apropiadas se obliga al pistón a reducir lentamente en un 10% el volumen ocupado por el gas, y 2) se libera el anclaje y se permite el libre movimiento del émbolo. Se pide:
- Determinar el espesor del émbolo y su altura inicial.
 - Valores p - V - T en los estados de equilibrio considerados, numerándolos convenientemente.
 - Representación de la evolución en el diagrama p - V .
 - Variación de energía entre los estados antedichos y para todo el ciclo, así como calor y trabajo transferidos entre los sistemas involucrados.
 - Volumen máximo (y presión y temperatura correspondientes) que podría alcanzar el gas al soltar el émbolo.
- 1.1.8. La experiencia enseña que al abrir una botella termo (un frasco Dewar) se nota una fuerte succión, manifestada por la fuerza que hay que hacer y el sonido que se oye. Se trata aquí de evaluar la fuerza (en realidad el par) de apertura en un termo típico de $1/4$ de litro con tapón de rosca de 6 cm de diámetro y 5 mm de paso, en el que se echó agua hirviendo.
- 1.19. Para investigar un cierto compuesto gaseoso de oxígeno se llena con él una ampolla de vidrio y se realizan las siguientes medidas: volumen de gas $498,5 \pm 1 \text{ cm}^3$, presión $40,1 \pm 0,1 \text{ kPa}$ sobre la atmosférica, que es de $93 \pm 1 \text{ kPa}$, temperatura $20,7 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$, masa en vacío 12805 miligramos y masa una vez llena 14089 miligramos, teniendo la balanza una precisión de ± 10 miligramos. Se pide:
- Estimar la masa molar del gas.
 - Estimar la incertidumbre en el valor anterior.
 - Sugerir una fórmula molecular para dicho gas.

- 1.20. Se propone el experimento siguiente. A un matraz de 1000 cm^3 se le conecta un tubo manométrico en forma de U, de 5 mm de diámetro interior y 1 m de longitud total, estando la parte más baja del tubo a 30 cm del otro extremo, y conteniendo 20 cm de columna de agua por cada lado de la U. Además, se ha instalado una resistencia eléctrica de 25Ω y masa despreciable en el interior del matraz, conectada a una fuente de 5 V a través de un interruptor programable. Inicialmente todo está en equilibrio con el ambiente. Se pide:
- d) Hacer un esquema de la instalación propuesta.
 - e) Describir la evolución del aire encerrado al suministrarle un impulso de corriente de 0,5 s de duración, dibujando además la evolución esperada de la posición del menisco.
 - f) Estimar los valores máximos de sobrepresión, expansión y temperatura media alcanzados
 - g) Suponiendo que las incertidumbres mayores son la de la medida manométrica (1 mm de columna de agua) y la del temporizador (0,05 s), estimar la incertidumbre asociada al cálculo de γ (relación de capacidades térmicas) a partir de una medida manométrica de $\Delta z = 2 \text{ cm}$.
- 1.21. En un cilindro abierto por arriba, un émbolo de latón de 11 cm de diámetro y 2 cm de espesor, encierra 0,1 mol de metano inicialmente en equilibrio, en un ambiente a $20 \text{ }^\circ\text{C}$ y 94 kPa. A partir de un cierto instante se eleva la temperatura a volumen constante hasta alcanzar una sobrepresión adicional equivalente a 500 mm de columna de agua y después se deja libre el émbolo. Se pide:
- a) Presión y altura inicial.
 - b) Presión y temperatura tras el calentamiento.
 - c) Presión, altura y temperatura tras el equilibrio mecánico.
 - d) Presión, altura y temperatura tras el equilibrio térmico total.
 - e) Representación de la evolución en el diagrama p - V .
 - f) Altura mínima y periodo del movimiento del émbolo (tras la suelta) en el límite de baja fricción.
- 1.22. Considérese un equipo de buceo autónomo (SCUBA, del inglés Self Contained Underwater Breathing Apparatus) consistente básicamente en una botella de aire comprimido de 15 litros inicialmente cargada hasta 20 MPa. Considérese que el buceador aspira 0,5 litros por segundo de aire en condiciones ambiente (es decir, a la presión exterior del cuerpo, que es prácticamente la presión interior en el aparato respiratorio, digestivo, etc.). Se pide:
- a) Calcular la autonomía de buceo a 10 m y a 30 m de profundidad.
 - b) Calcular el flujo de calor a través de una pared de acero de 5 mm de espesor de acero frente a un salto térmico de $1 \text{ }^\circ\text{C}$, y estimar el tiempo que se tardaría con ese flujo en calentar $1 \text{ }^\circ\text{C}$ el aire inicialmente encerrado, comentando el resultado.
 - c) Calcular el incremento relativo de diámetro de las burbujas que expulsa el buceador, supuesto que son esféricas y no intercambian masa con el agua) cuando llegan a la superficie del mar, sabiendo que el ascenso es relativamente lento.
- 1.23. Se dispone de un bidón de 200 litros abierto a la atmósfera a través de su boca en la tapa. Se le da la vuelta (el orificio queda abajo) y se obliga a que se sumerja rápidamente a 15 m de profundidad en el mar. Se pide:
- a) Calcular el volumen que ocupará el aire atrapado en los casos límite de adiabaticidad e isothermicidad.
 - b) Calcular el tiempo que necesitaría estar funcionando en la superficie del mar un pequeño compresor volumétrico conectado al bidón, hasta que se observaran las primeras burbujas, suponiendo que comprime 100 litros por minuto de aire ambiente, con una relación de presiones de 4.

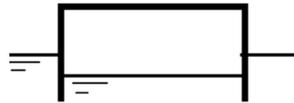
- c) Determinar la potencia demandada por el compresor, y la correspondiente a la compresión isoterma hasta la presión del bidón.

1.24. Una botella de 30 litros contiene aire inicialmente a 15 MPa. A partir de un cierto instante se abre la válvula y, tras un proceso rápido, cuando la presión interior llega a 12 MPa se vuelve a cerrar. Se pide:

- a) Masas inicial y final de aire encerrado.
b) Presión interior al cabo de mucho tiempo y calor intercambiado.

1.25. Se trata de analizar el efecto de la temperatura sobre el nivel de equilibrio de un objeto que flota sobre el agua con la boca abierta por abajo, como se indica en la figura. Para ello se va a considerar un objeto de chapa de hierro de 0,2 mm de espesor, 20 cm de diámetro y 10 cm de altura flotando verticalmente. Supóngase que a una cierta temperatura la cara superior está a 5 cm sobre la superficie del agua. Se pide:

- a) Nivel del líquido en el interior y masa de aire encerrado.
a) Influencia de la temperatura. Calcular la variación de la altura del objeto con la temperatura.



1.26. Considérese un cilindro vertical, abierto por arriba, de 32,5 mm de diámetro y 10 cm de altura, en un ambiente a 20 °C y 93 kPa, y un émbolo de grafito ($\rho=2250 \text{ kg/m}^3$) de 10 mm de espesor, inicialmente con su cara superior enrasada con el borde del cilindro, quedando una cierta cantidad de aire atrapado. Se pide:

- a) Hacer un esquema del estado inicial. Calcular el coeficiente de dilatación del aire encerrado y el incremento de temperatura que daría lugar a la expulsión del émbolo.
b) En las condiciones iniciales, se deja caer una pesa de 300 g desde una altura de 5 cm sobre el émbolo. Razonar si en la evolución se podría salir el émbolo del cilindro, y hacer un esquema de la evolución en los diagramas $p-V$.
c) Deducir la relación $pV^\gamma=\text{cte}$, indicando de qué ecuaciones se parte y qué hipótesis se introducen.
d) Plantear las ecuaciones que permiten calcular la profundidad máxima alcanzable en el problema de la pesa.
e) Resolver el apartado anterior.

1.27. Para mantener la presión de salida constante en una estación de suministro de gas suele usarse un gasómetro, que es un depósito invertido mantenido hidrostáticamente sobre una piscina que actúa de cierre hidráulico. Considérese a este fin un cilindro de hierro de 40 m de diámetro y 20 m de altura, cerrado por arriba y con una masa total de 500 toneladas, encerrando gas natural (aproxímese por metano puro), flotando boca abajo sobre una piscina de agua con 2 m de chapa hundidos (i.e. sobresalen 18 m de depósito). Se pide:

- a) Estimar el espesor de la pared del depósito y la sobrepresión interior del gas.
b) Calcular el desnivel de líquido en el cierre hidráulico y la masa de gas encerrada.
c) Dar una expresión analítica sencilla que permita predecir la influencia de las variaciones de presión y temperatura atmosféricas sobre la altura aparente del gasómetro, a cantidad de gas fija, con aplicación numérica para una variación de 20 °C y de 1 kPa.
d) Calcular la dilatación del depósito debida al efecto de las anteriores variaciones atmosféricas, sabiendo que el coeficiente de dilatación lineal del hierro es $12 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.

- 1.28. La figura representa un termoscopio como el ideado por Galileo en 1592 para medir la temperatura corporal (el paciente sostenía entre sus manos el bulbo, y se observaba el movimiento del menisco). En equilibrio con el ambiente el menisco está a $z=0,25$ m. Se pide:
- Determinar la sensibilidad del aparato de medida respecto a la temperatura (e.g. $\text{mm}/^\circ\text{C}$).
 - Determinar la sensibilidad del aparato de medida respecto a la presión atmosférica.
 - Cambio en los valores anteriores si el líquido fuese mercurio.

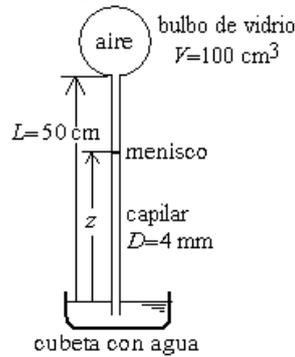


Fig. P-1.28.

- 1.29. Un procedimiento primitivo de hacer fuego se basa en golpear con la mano un vástago que ajusta sobre un cilindro hueco, en cuyo interior hay unas pocas virutas secas. Como modelo de ese proceso, considérese un cilindro vertical de 1 cm de diámetro y 10 cm de altura, cerrado por abajo y apoyado en el suelo, y un émbolo macizo de 10 cm de altura dispuesto justo en la embocadura del cilindro (aunque en realidad se solaparían algo para el guiado, obviamente), de masa despreciable frente a la de una pesa de 1 kg situada a 0,3 m por encima del émbolo, y que en un instante dado se deja caer sobre él. Se pide:
- Balances mecánico y energético durante la compresión.
 - Balances mecánico y energético en el estado de mayor presión, y valor de ésta.
 - Sabiendo que en el fondo del cilindro había unos trocitos de papel, que en contacto con el aire se irán calentando, descomponiendo endotérmicamente (la celulosa empieza a descomponerse a los 550 K) y autoinflamando exotérmicamente (la celulosa se autoinflama a los 700 K), según la temperatura alcanzada, indicar qué se espera que ocurra.
- 1.30. Los antiguos fluidos refrigerantes como el R12 (diclorodifluorometano) han sido substituidos desde 1995 por otros que no destruyen la capa de ozono estratosférica, como el R134a (1,1,1,2-tetrafluoroetano). Para comprobar si una muestra de refrigerante es de R134a se ha realizado el experimento siguiente: en un dispositivo cilindro-émbolo de 3 cm de diámetro se ha dispuesto una muestra gaseosa que, a presión y temperatura ambientes, ocupa 0,3 m del cilindro; entonces se comprime rápidamente hasta que el volumen es la mitad y se miden las variaciones de presión y temperatura interiores, que resultan $\Delta p=123$ kPa y $\Delta T=30$ K. Se pide:
- Explicar el balance energético del proceso.
 - Determinar el coeficiente isentrópico del gas.
 - Analizar la posible redundancia de los datos.
 - Determinar las capacidades térmicas molares del gas (a presión y a temperatura constantes).
- 1.31. Se desea determinar el cociente de capacidades térmicas $\gamma=c_p/c_v$ (exponente isentrópico) de un cierto gas. Para ello se llena con ese gas un recipiente de 0,5 L, previamente evacuado, quedando a 20°C y 100 kPa. A continuación se hacen dos ensayos, ambos mediante el aporte de una pequeña cantidad de energía con una diminuta resistencia eléctrica de 2 W en el interior, que se conecta sólo durante 1 s. El primer ensayo se realiza a presión constante y el volumen

aumenta $1,5 \text{ cm}^3$, mientras que el segundo ensayo se hace a volumen constante y la presión aumenta 39 mm de columna de agua. Se pide:

- a) Plantear el balance energético para el gas, en un caso general, indicando el valor de cada término en función de los datos y las incógnitas, y deducir una expresión general del balance energético en función de la entalpía para un proceso isobárico.
- b) Obtener una expresión analítica para el cociente de capacidades térmicas, y su valor numérico.
- c) Incremento medio de temperatura del gas en cada caso.

1.32. Dentro de un cilindro vertical de $0,01 \text{ m}^2$ de sección hay $0,01 \text{ kg}$ de nitrógeno encerrado con un émbolo superior de 5 kg de acero. Considérese la siguiente evolución: 1) mediante las fuerzas apropiadas se obliga al pistón a reducir lentamente en un 10% el volumen ocupado por el gas, y 2) se libera el anclaje y se permite el libre movimiento del émbolo. Se pide:

- a) Esquema de la evolución en un diagrama altura-tiempo.
- b) Determinar el espesor del émbolo y su altura inicial.
- c) Valores p - V - T en los estados de equilibrio considerados.
- d) Variación de energía entre los estados antedichos y para todo el ciclo, así como calor y trabajo transferidos entre los sistemas involucrados.

1.33. Un manómetro en U, de vidrio de 3 mm de diámetro interior y 6 mm de diámetro exterior, tiene los lados de 1 m de altura y la conexión por abajo de longitud despreciable. El tubo se ha llenado con agua hasta 600 mm de altura en cada lado, y se ha tapado una de las bocas. Se pide:

- a) Determinar el efecto del cambio de presión ambiente sobre las alturas de los meniscos ($\partial z/\partial p_{\text{amb}}$), particularizando para $\Delta p=1 \text{ kPa}$.
- b) Determinar el efecto del cambio de temperatura ambiente sobre las alturas de los meniscos ($\partial z/\partial T_{\text{amb}}$), particularizando para $\Delta T=5 \text{ }^\circ\text{C}$. Puede tomarse para el coeficiente de expansión cúbica del agua $140 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$ y para el de expansión lineal del vidrio $9 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$, ambos a $20 \text{ }^\circ\text{C}$.
- c) Se ha conectado la otra boca a otro sistema del que se desea medir la presión, observándose que las alturas de los meniscos se estabilizan en 834 mm y 368 mm , siendo este último el del extremo cerrado. Determinar la presión del sistema, sabiendo que la presión atmosférica es de 93 kPa y la temperatura ambiente de $25 \text{ }^\circ\text{C}$.

1.34. La figura representa una instalación para cocinar con energía solar. La radiación solar (1), se refleja en un colector de espejo parabólico (2) de $1,6 \text{ m}$ de diámetro, que la concentra sobre un generador de vapor (3), que es un recipiente metálico pintado de negro (absorbedor) donde se echa agua, y que está rodeado de un gran vaso de vidrio pyrex para minimizar la convección del aire exterior. El vapor generado es conducido a través de un tubo flexible de 1 cm de diámetro (5) hasta la olla donde se cocinan los alimentos (6), en donde se hace burbujear directamente. La olla se sitúa en un recipiente de madera (7) para minimizar las pérdidas de calor. El fabricante dice que la carga de agua del generador, 10 litros , dura 5 horas . Se pide:

- a) Suponer que el sistema funciona en régimen estacionario y calcular el calor neto que recibe el absorbedor.
- b) Suponer que la radiación solar incidente es de 1 kW/m^2 (de área frontal) y calcular el rendimiento energético del absorbedor.
- c) Estimar el tiempo que se tarda desde que se llena de agua el absorbedor, hasta que empieza a generar vapor, y cuánto tiempo debe estar fluyendo vapor para poner a hervir una olla con 10 L de agua.
- d) Calcular la velocidad media del vapor en la tubería.

- e) Indicar la temperatura máxima que se puede alcanzar en la olla con esta instalación, y los posibles cambios para aumentarla.

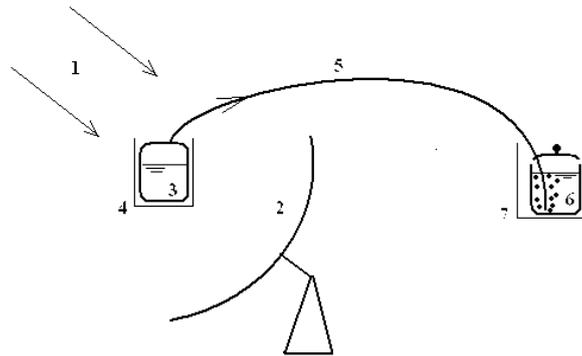


Fig. Problema 1.34.

- 1.35. Se desea comprobar que el aire pesa y medir su densidad, para lo que se realiza el experimento siguiente. Se tiene una esfera de 250 ± 1 mm de diámetro exterior, de aluminio, con una válvula que puede conectarse a un equipo de vacío. Inicialmente, conteniendo aire a 20 ± 1 °C y $95 \pm 0,5$ kPa, la esfera con la válvula tienen una masa de 219 ± 1 g. Después de aspirar algo de aire y esperar al atemperamiento, cuando la presión interior es $50 \pm 0,5$ kPa la masa es 214 ± 1 g, y para $5 \pm 0,5$ kPa 210 ± 1 g. Se pide:
- Determinar la densidad del aire a partir de las medidas extremas, indicando la incertidumbre y comparándola con el modelo de gas ideal.
 - Indicar si el modelo de gas ideal es apropiado, y cómo se podría mejorar la exactitud experimental.
- 1.36. Dentro de un cilindro vertical de 25 cm de diámetro hay dióxido de carbono limitado superiormente por un émbolo que mantiene la presión interior en 120 kPa. Inicialmente el émbolo está a 0,5 m de altura sobre el fondo del cilindro, y el gas a 15 °C. Entonces se conecta a 220 V una resistencia eléctrica en el interior, observándose que al cabo de 3 minutos el volumen ha aumentado un 50%. Suponiendo que se puedan despreciar las pérdidas de calor por las paredes y la fricción del émbolo, se pide:
- Plantear el balance energético del gas, y de la resistencia eléctrica.
 - Temperatura final del gas.
 - Trabajo que realiza o recibe el gas.
 - Valor numérico de cada término del balance energético del gas, y de la resistencia eléctrica.
- 1.37. Considérese el experimento siguiente. Un tubo vertical de 1 m de longitud y 4 mm de diámetro, abierto por ambos lados al ambiente, es introducido ligeramente en un recipiente con agua y se aspira por arriba para que entre algo de agua en el tubo. Se tapan ambos extremos del tubo y se saca del agua (estado 1). Luego se le da la vuelta verticalmente (estado 2). Finalmente, se destapa por arriba y se deja que alcance el equilibrio final (estado 3). Se desea determinar, en función del agua que ha entrado:
- Los perfiles de presiones en el estado 1 y en el estado 2.
 - El estado 3.
 - El esquema de la evolución temporal del menisco de 2 a 3.
 - El periodo de las oscilaciones tras la suelta.
 - Los resultados para el caso de haber aspirado hasta la mitad del tubo.

- 1.38. Se tiene un tubo en U de 80 cm de altura y 5 mm de diámetro, inicialmente lleno de agua hasta rebosar. Se tapa un extremo del tubo, y, en condiciones atmosféricas de 95 kPa y 15 °C, se introduce por ahí hidrógeno lentamente hasta observar que el menisco desciende 30 cm. Al cabo de un tiempo, las condiciones ambientales son de 93 kPa y 30 °C. Se pide:
- Cantidad de sustancia de hidrógeno introducido.
 - Posición del menisco en las nuevas condiciones.
- 1.39. En un recipiente esférico de vidrio de 10 cm de diámetro exterior, abierto al exterior por un tubo de vidrio de 10 mm de diámetro exterior y 20 cm de longitud, se vierten 10 cm³ de agua y, tapando con el dedo la boca del tubo, se le da la vuelta y se introduce la boca 1 cm por debajo del nivel del agua en un gran depósito, y se retira el dedo. Suponiendo que todo el vidrio es de 1 mm de espesor uniforme, se pide:
- Sea z la altura a la que ha quedado el menisco en el tubo, respecto al nivel del agua exterior, y V_0 la capacidad del recipiente (supóngase medio litro). Deducir expresiones linealizadas para las variaciones de z con la presión y temperaturas atmosféricas. Calcular los valores numéricos de los coeficientes de sensibilidad anteriores.
 - Calcular la altura de equilibrio en condiciones estándar.
 - Calcular la variación de temperatura que experimentará el aire encerrado al quitar el dedo.
- 1.40. En un cilindro vertical de 10 cm de diámetro y 0,5 m de altura, abierto por abajo, un émbolo de 10 kg cuya cara superior está a 20 cm del fondo del cilindro, encierra una cierta cantidad de dióxido de carbono. Se pide:
- Hacer un esquema y determinar la presión y cantidad de gas atrapado.
 - Trabajo mínimo necesario para obligar a que la cara interior del émbolo quede a 40 cm del fondo. ¿El gas atrapado recibe o cede calor en este proceso?
 - Masa de la pesa que habría que colgar del émbolo para que en el equilibrio final quedase como se ha dicho en el punto anterior.
 - Hacer un esquema de la evolución del émbolo si al colocar la pesa se suelta bruscamente y determinar alrededor de qué posición oscilaría.
 - Punto más bajo que alcanzaría el émbolo en el caso anterior.
- 1.41. Se tiene un cilindro vertical de 1 cm de diámetro y 20 cm de altura, abierto por abajo, amarrado a un soporte y con un émbolo de 0,1 kg cuya cara superior está a 10 cm del fondo del cilindro, encerrando una cierta cantidad de aire. Se pide:
- Presión y cantidad de gas atrapado.
 - Trabajo mínimo necesario para obligar a que la cara interior del émbolo quede a 15 cm del fondo.
 - Masa de la pesa que habría que colgar del émbolo para que en el equilibrio final quedase como se ha dicho en el punto anterior.
 - Hacer un esquema de la evolución del émbolo si al colocar la pesa se suelta bruscamente y determinar alrededor de qué posición oscilaría.
 - Punto más bajo que alcanzaría el émbolo en el caso anterior.
- 1.42. Se trata de estudiar la compresión que sufre el aire en un recipiente al ponerle un tapón. En particular, considérese un matraz Erlenmeyer de 150 cm³ de capacidad total, con una boca de 30 mm de diámetro, al que se le pone un tapón de goma que, al apretarlo, penetra 20 mm en el cuello. Suponiendo que el aire ambiente está a 25 °C y 95 kPa, que el proceso es suficientemente rápido, y que no escapa nada de aire, se pide:

- a) Presión del aire encerrado, tras colocar el tapón.
 - b) Presión al cabo de mucho tiempo, especificando su incertidumbre.
 - c) Balance energético del gas encerrado, desde antes hasta inmediatamente después de taponar, calculando el valor de cada término.
 - d) Balance energético del gas encerrado, en el proceso completo, calculando el valor de cada término.
- 1.43. Se tiene un cilindro vertical de 4 cm de diámetro, con un émbolo de 50 g cuya cara inferior está inicialmente a 20 cm del fondo del cilindro, encerrando una cierta cantidad de argón. En un cierto instante, se posiciona una pesa de 1,5 kg enrasada sobre el émbolo, y se suelta súbitamente. Se pide:
- a) Presión y cantidad de gas atrapado.
 - b) Punto más bajo que alcanza el émbolo.
 - c) Balance energético del gas desde el instante inicial hasta el del apartado anterior, calculando el valor de cada término.
- 1.44. En un cilindro vertical de 10 cm de diámetro y 50 cm de altura, cerrado por abajo, hay una especie de émbolo de 5 kg, inicialmente anclado al cilindro, encerrando un volumen de 1 L de aire a 300 kPa, todo ello en presencia de la atmósfera normal. En un cierto instante queda liberado el émbolo. Suponiendo que el movimiento es con fricción despreciable, se pide:
- a) Plantear la ecuación del movimiento del émbolo y determinar la aceleración inicial.
 - b) Evolución que sufre el gas encerrado durante la expansión, determinando la presión justo antes de que el émbolo escape del cilindro.
 - c) Plantear el balance energético del émbolo desde el instante inicial hasta que abandona el cilindro.
 - d) Calcular la velocidad de salida.