

**Física 2 - Examen**  
20 de febrero de 2021

**Justifique y explique claramente su trabajo.**

*Indique las unidades de las magnitudes en los resultados intermedios y finales.*

*Identifique todas las hojas antes de entregar.*

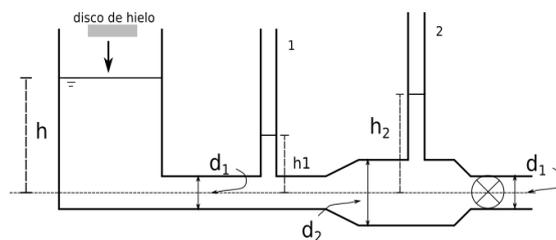
*El examen consta de 3 ejercicios. Para aprobar se requiere un ejercicio completo correctamente resuelto, y al menos la mitad del puntaje total.*

*En todos los problemas numéricos, use al menos 3 cifras significativas en sus respuestas.*

**Datos útiles para el examen:**

- Constante de los gases:  $R = 8,314 \text{ J/molK}$
- Densidad del agua  $\rho_a = 1000 \text{ kg/m}^3$ .
- Densidad del hielo  $\rho_h = 900 \text{ kg/m}^3$ .
- Calor latente de fusión (agua/hielo):  $L_f = 333 \text{ kJ/kg}$ .
- Calor específico del agua líquida:  $c_{liq} = 4182 \text{ J/(kgK)}$
- Calor específico del hielo:  $c_{hielo} = 2090 \text{ J/(kgK)}$
- Velocidad de sonido en el aire:  $v_s = 343 \text{ m/s}$
- Presión atmosférica:  $P_o = 101,325 \text{ kPa}$

1. Considere un tanque de 50 cm de diámetro abierto a la atmósfera, el cual contiene una apertura en su base, que se conecta a un caño horizontal de sección circular de diámetro  $d_1 = 5 \text{ cm}$ . En un tramo el caño se ensancha hasta tener un diámetro  $d_2 = 6 \text{ cm}$ . El caño contiene en su parte superior dos aperturas donde se acoplan dos tubos verticales (1 y 2), como se muestra en la figura. Los tubos verticales están abiertos a la atmósfera. La salida del tanque es controlada por una válvula, cuya salida se encuentra abierta a la atmósfera.



Inicialmente, el tanque se encuentra lleno de agua líquida hasta una altura  $h = 30 \text{ cm}$  y la válvula está cerrada. El agua y todo el sistema se encuentran a  $0^\circ\text{C}$ . Se coloca sobre el tanque un gran disco de hielo, de 25 cm de diámetro y 15 cm de altura. Considere que las secciones transversales de los tubos 1 y 2 son muy chicas, de manera que el volumen de agua contenido en ellos es despreciable para cualquier altura de líquido

- a) Si la válvula se encuentra cerrada, ¿cuáles deben ser las alturas  $h_1$  y  $h_2$  antes de adicionar el bloque de hielo?
- b) Determine la presión sobre la válvula después de haber colocado el disco de hielo en el tanque de agua mientras que la válvula permanece cerrada. ¿Cuáles deben ser las alturas  $h_1$  y  $h_2$  en estas condiciones?
- c) Ahora, considere que todo el hielo se ha derretido, el agua sigue a  $0^\circ\text{C}$  y la altura del agua en el tanque no ha variado con respecto al ítem b). Entonces se abre la válvula y se permite que el agua salga a la atmósfera. Determine la velocidad inicial de salida del agua. Considere un flujo uniforme y libre de viscosidades.
- d) Para la situación del ítem anterior, justifique sin necesidad de hacer cuentas, cual de las alturas  $h_1$  y  $h_2$  es mayor. Calcule la diferencia entre ellas.

**2.** Se tiene una masa  $m = 23\text{ g}$  de gas nitrógeno ( $N_2$ ), considerado como un gas ideal diatómico de masa molar  $M_{N_2} = 28\text{ g/mol}$ , en equilibrio termodinámico, a una presión  $P_1 = 500\text{ kPa}$ , en un dispositivo cilindro-pistón. El pistón y las paredes del cilindro se mantienen térmicamente aislados, excepto por su base, que es inicialmente diaterma. El pistón puede moverse sin fricción. El sistema funciona de manera tal que es posible operarlo en forma cíclica. El ciclo consta de cuatro etapas, que se describen a continuación. Todas las etapas pueden ser consideradas cuasiestáticas.

- I. Se pone en contacto térmico la base del cilindro con una gran cantidad de mezcla de agua en estado sólido y líquido a  $0^\circ\text{C}$ , y se permite que el pistón se mueva libremente hasta que el gas alcanza el equilibrio térmico con el agua. Durante este proceso se derriten  $3\text{ g}$  de hielo, mientras se mantiene la mezcla de sólido y líquido. Este proceso lleva al sistema del estado 1 al estado 2.
  - II. Manteniendo el contacto térmico con la mezcla de hielo y agua líquida, el gas se expande hasta alcanzar el estado 3.
  - III. Se retira la mezcla de hielo y agua, se aísla térmicamente la base del cilindro y se comprime el sistema hasta alcanzar el estado 4, cuyo volumen es de  $V_4 = 5,5$  litros.
  - IV. Se saca la aislación térmica de la base y se pone al gas en contacto térmico con el ambiente que se encuentra a  $T_{amb} = 300\text{ K}$ . Durante esta etapa el gas sigue un proceso en el que la presión depende linealmente del volumen ( $P = \alpha V + \beta$ , con  $\alpha$  y  $\beta$  constantes). Se sabe que el cambio de energía interna para esta etapa es nulo.
- a) Determine la presión, la temperatura y el volumen de los estados 1, 2, 3 y 4. Dibuje el ciclo en un diagrama P-V, indicando las isotermas de interés.
  - b) Determine el trabajo hecho sobre el sistema y el calor intercambiado para cada etapa del ciclo y para el ciclo completo.
  - c) Justifique si el ciclo opera como una máquina térmica o como un refrigerador. Calcule la eficiencia o el coeficiente de rendimiento, según corresponda.
  - d) Explique, sin hacer cuentas, si se trata de un ciclo reversible o irreversible. Calcule el cambio de entropía del universo para todo el ciclo e indique si el resultado obtenido es consistente con su respuesta.
  - e) Responda a las siguientes preguntas justificando, sin hacer cuentas.
    - I. Si en el proceso IV pudiera cambiar el ambiente por una nueva reserva térmica a cualquier temperatura, ¿cuál sería la temperatura que elegiría para obtener el menor cambio de entropía del universo para todo el ciclo? ¿Cómo sería el nuevo proceso que llevaría el sistema del estado 4 al 1?
    - II. Este nuevo ciclo, ¿es más o menos eficiente que el original?

**3.** Una cuerda de densidad de masa  $\rho = 0,5 \text{ kg/m}$  se estira con una tensión  $T = 50 \text{ N}$ . En un extremo ( $x = 0 \text{ m}$ ) se lo hace oscilar transversal y sinusoidalmente con una amplitud  $A = 0,02 \text{ m}$  y un período  $\tau = 0,1 \text{ s}$  de forma que las ondas viajan en la dirección  $+x$ .

- a) ¿Cuál es la velocidad de las ondas en la cuerda y su longitud de onda? Si en el instante inicial  $t = 0$  el punto para  $x = 0$  tiene desplazamiento de  $y = 0,01 \text{ m}$  y  $\partial y/\partial t|_{x=0} < 0$ , ¿cuál es la ecuación que describe el movimiento de la onda?
- b) ¿Cuál es la frecuencia de oscilación de la cuerda?
- c) ¿Cuál es la potencia promedio entregada por el forzante?

Considere ahora que la cuerda tiene un largo de 10 metros y vibra con sus extremos fijos.

- d) ¿La frecuencia obtenida anteriormente corresponde a alguno de los armónicos de la cuerda? En caso negativo, ¿cuál sería la frecuencia más cercana a la que encontró y que corresponda a un modo normal de vibración de la cuerda?
- e) Considerando que la cuerda vibra en el modo obtenido en el ítem anterior, indique el número de nodos y la posición de estos en la cuerda.
- f) Ahora considere que la cuerda se pone a vibrar estirándola desde su punto central y soltándola. ¿Qué armónicos podrían ser observados en este caso? Justifique su respuesta.