Nombre: **N° de lista:**

RUT: **Sección:**

Firma:

Código de Honor UC

"Como miembro de la comunidad de la Pontificia Universidad Católica de Chile, me comprometo a respetar los principios y normativas que la rigen. Asimismo, me comprometo a actuar con rectitud y honestidad en las relaciones con los demás integrantes de la comunidad y en la realización de todo trabajo, particularmente en aquellas actividades vinculadas a la docencia, al aprendizaje y la creación, difusión y transferencia del conocimiento. Además, me comprometo a velar por la dignidad e integridad de las personas, evitando incurrir en y, rechazando, toda conducta abusiva de carácter físico, verbal, psicológico y de violencia sexual. Del mismo modo, asumo el compromiso de cuidar los bienes de la Universidad"

Instrucciones para el desarrollo de la evaluación

- La evaluación debe rendirla en la sala informada para la sección en la que está inscrito/a.
- Los/as cuidadores/as de prueba **gestionaran la ubicación de los estudiantes en sala**, con el fin de optimizar el espacio y prevenir faltas a la integridad académica.
- Debe completar sus datos personales en **todas las hojas de respuesta**, las hojas de respuesta sin sus datos no serán consideradas para la corrección.
- La evaluación tiene una **duración máxima de 120 minutos**, es su responsabilidad llegar de manera puntual ya que no se otorgará tiempo adicional.
- Preguntas de enunciado en voz alta durante los primeros 90 minutos.
- El trabajo es individual y está absolutamente **prohibida la colaboración o la copia.**
- No se puede prestar nada.
- Se puede usar una calculadora simple.
- Está estrictamente **prohibido el uso de dispositivos electrónicos avanzados** (teléfonos celulares, tablets, relojes inteligentes, etc) estos deben estar apagados y dentro de la mochila/bolso del estudiante debajo de la silla. El uso de celular, cualquiera sea este, durante la prueba implica un 1.0 directo en la evaluación.
- Los cuidadores no están autorizados a proporcionar sugerencias o ayuda.
- Recuerde que para optar al puntaje máximo es requisito que cada paso del desarrollo sea explicado y presentado de manera ordenada.

- Al finalizar la evaluación, **deberá entregar todos los cuadernillos** de respuesta incluyendo los no utilizados.
- **Cualquier falta a la integridad académica** detectada en la evaluación **será derivada al Comité de Integridad Académica** de la Facultad de Física quienes analizarán cada caso de manera individual.
- Para subir el pdf de la evaluación al canvas del curso, se asignarán 10 minutos adicionales al término de la evaluación.
- Luego de subir el pdf a canvas debe dejar la prueba física en el puesto y retirarse de la sala.

Por protocolo de la Facultad de Física, si se presenta alguna **dificultad de salud o emocional**, el/la cuidador/a de la prueba está **obligado/a a llamar al número de emergencia del campus** (+56 955045000) para que personal capacitado pueda evaluar la situación y prestar la ayuda necesaria al estudiante.

Pontificia Universidad Católica de Chile
Instituto de Física
FIS1523 Termodinámica
5 de septiembre del 2025

Interrogación Nro. 1

1. Formulario

Dilatación térmica:

$$L(T) = L_0\left[1 + \alpha(T - T_0)\right],$$
$$V(T) = V_0\left[1 + \beta(T - T_0)\right],$$

α y β son, respectivamente, los coeficientes de dilatación térmica lineal y volumétrica.

Transferencia de calor y cambio de temperatura:

$$Q = mc\Delta T$$

donde m es la masa y c el calor específico.

Escala Kelvin se relaciona con la Celsius mediante:

$$T(\mathrm{K}) = T(^\circ\,\mathrm{C}) + 273.$$

Relación entre fuerza y presión:

$$P = \frac{F}{A}.$$

Presión atmosférica

$$P_{\mathrm{atm}} = 101325\,\mathrm{Pa}.$$

Fuerza de flotación o boyante:

$$B = \rho_{\mathrm{liquido}} g V_{\mathrm{desplazado}}$$

Variación de la presión en un fluido de densidad ρ con la profundidad h,

$$P(h) = P_0 + \rho g h.$$

Cambios de estado:

$$Q_f = mL_f$$
$$Q_v = mL_v$$

donde L_f y L_v son, respectivamente, el calor latente de fusión y vaporización.

Ecuación de Estado de gases ideales:

$$PV = nRT = NK_BT$$

donde $R = 8.314$ J/mol·K, $k_B = 1.38{\cdot}10^{-23}$ J/K, y n es el número de moles y N el número de partículas. Alternativamente,

$$Pv = RT$$

donde $v = V/m$.

Problema 1

Un kg de aire en un conjunto de cilindro-pistón experimenta dos procesos en serie desde un estado inicial donde $P_1 = 0{,}5$ MPa, $T_1 = 227°$C:

- Proceso 1-2: Expansión a temperatura constante hasta que el volumen sea el doble del volumen inicial.
- Proceso 2-3: Calentamiento a volumen constante hasta que la presión sea nuevamente de 0,5 MPa.

Suponiendo un comportamiento de gas ideal:

a) Realice un diagrama P-V del proceso completo.

b) Determine la presión en el estado 2, en MPa,

c) Determine la temperatura en el estado 3, en °C.

d) El trabajo total hecho por el gas

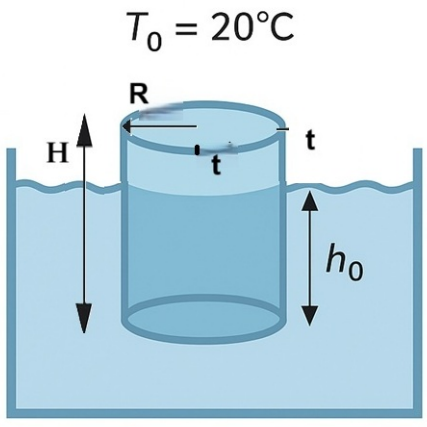
Problema 2

Un cilindro hueco, cerrado y sellado, de aluminio se encuentra flotando con su eje en posición vertical. Una parte del cilindro, de longitud h_0, esta sumergida en un baño de etanol a temperatura $T_0 = 20°$C (ver figura). Se desprecia la masa del aire interior. Sean:

$$\rho_{\text{Al}} = 2700 \text{ kg/m}^3, \qquad \rho_{\text{etanol}} = 789 \text{ kg/m}^3 \quad (a 20°\text{C}),$$

$$\beta_{\text{Al}} = 6{,}9 \times 10^{-5} \ K^{-1} \qquad \beta_{\text{etanol}} = 1{,}1 \times 10^{-3} \ K^{-1},$$

El cilindro a $T_0 = 20°$C tiene radio exterior $R = 3{,}0$ cm, altura exterior $H = 20{,}0$ cm y un espesor uniforme $t = 4{,}12$ mm (mismas tapas superior e inferior de espesor t).



Incisos:

(a) Demuestre que la masa del cilindro es $m = 0{,}437$ kg.

(b) Calcular h_0.

(c) Al aumentar la temperatura a $T = T_0 + \Delta T$, determinar la expresión de la densidad del etanol $\rho_{\text{etanol}}(\Delta T)$ en función de la temperatura.

(d) Al aumentar la temperatura a $T = T_0 + \Delta T$, determinar la expresión de la fracción sumergida del cilindro $h(\Delta T)/H$ en función de la temperatura. ¿Aumenta o disminuye con la temperatura?

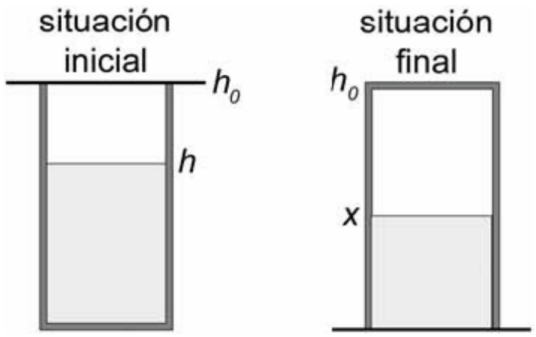
(e) Determinar la temperatura T^* a partir de la cual el cilindro se hunde.

Problema 3

Un vaso cilíndrico de altura total h_0 y área de sección transversal A, contiene inicialmente agua hasta una altura h (medida desde el fondo del vaso en posición normal). Sobre el agua hay aire a presión atmosférica P_{atm}. El vaso se tapa con una tarjeta (se desprecia su peso), se invierte y luego se deja de sostener la tarjeta. Parte del agua cae y la tarjeta queda adherida, quedando en el interior una altura final de agua x medida desde la tarjeta.

Supuestos:

- No escapa aire durante todo el proceso (la masa de aire se conserva).
- Las paredes son diatérmicas, por lo que la temperatura inicial y final del aire son las mismas.
- Se desprecia el peso de la tarjeta y todo rozamiento con el borde.
- La densidad del agua es ρ y la aceleración de la gravedad es g.
- El aire lo puede considerar como un gas ideal.



Datos conocidos del problema: h_0 (altura del vaso), h (altura inicial de agua), A (área de sección transversal), ρ (densidad del agua), g (gravedad), P_{atm} (presión atmosférica).

a) Determine la presión final del aire P_f en función de x y de los datos conocidos del problema.

b) Imponga equilibrio mecánico en la tarjeta y deduzca una ecuación cuadrática para x.

c) Con los valores $h_0 = 0{,}30\text{m}$, $h = 0{,}15\text{m}$, $A = 25\text{cm}^2$, $\rho = 1000\text{kg/m}^3$, $g = 9{,}8\text{m/s}^2$, $P_{\text{atm}} = 1{,}013 \times 10^5\text{Pa}$, calcule el valor físico de x, la masa de agua caída $m_{\text{caída}}$ y P_f (tres cifras significativas).

d) Al resolver (b) aparecen **dos raíces** para x. Indique **por qué** una se descarta (criterios físicos) y **por qué** esta solución no física aparece.

Nombre: **N° de lista:**

RUT: **Sección:**

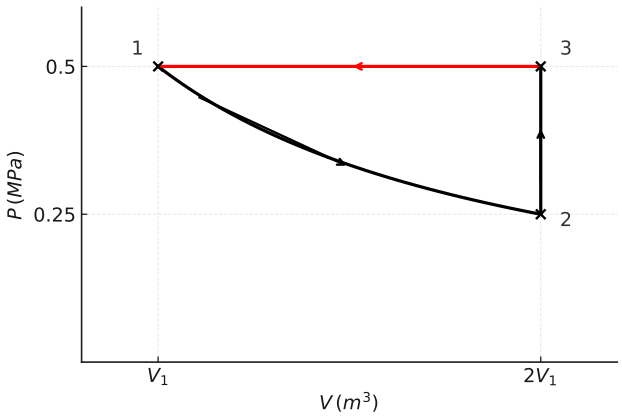
Firma:

PAUTA

Problema 1:

Durante la interrogación se indicó que $V_1 = 1\text{m}^3$, pero se pueden dejar los resultados en términos de V_1 sin reemplazar su valor numérico.

a) (1.5 pts)



Debido a una confusión, algunos alumnos cerrarón el proceso. Considerar correcto el cierre del proceso marcado en rojo de la figura

b) (1.5 pts) De la ecuación de gases ideales, como la temperatura es constante:

$$P_1V_1 = nRT_1 = nRT_2 = P_2V_2 = 2P_2V_1 \Rightarrow P_2 = \frac{P_1}{2} = 0{,}25\text{MPa} \tag{1}$$

c) (1.5 pts) Nuevamente, usando ley de gases ideales:

$$V_2 = \frac{nRT_2}{P_2} = \frac{nRT_3}{P_3} \Rightarrow T_3 = \frac{P_3}{P_2}T_2 = \frac{P_1}{P_2}T_2 = 2T_2 = 2T_1 = 2(500)K = 1000K \tag{2}$$

donde hemos convertido 227°C=500 K.

d) (1.5 pts) Dependiendo de si cerro el ciclo con la curva roja o no, se siguen dos caminos:

- Procesos en **negro**: El trabajo total es:

$$W_t = \int_{V_1}^{V_3} PdV = \int_{V_1}^{V_2} PdV + \int_{V_2}^{V_3} PdV = \int_{V_1}^{2V_1} PdV \tag{3}$$

donde hemos usado $V_2 = 2V_1$ y $V_2 = V_3$. Entre V_1 y V_2 el proceso es isotérmico por lo que $P(V) = \frac{nRT}{V}$ y el trabajo es

$$W = nRT_1 \int_{V_1}^{2V_1} \frac{dV}{V} = P_1V_1 \ln(2) = 0{,}5 \times 10^6 \ln(2)V_1(\text{Pa}) = 346573{,}59V_1(\text{Pa}) \tag{4}$$

Por lo tanto:

$$W = 346573,59 \cdot V_1(\text{Pa}) = 346573,59\text{J} \tag{5}$$

- Procesos **negros** y rojo: El trabajo total será:

$$W_t = \int_{V_1}^{V_1} PdV = \int_{V_1}^{V_2} PdV + \int_{V_2}^{V_3} PdV + \int_{V_3}^{V_1} PdV = \int_{V_1}^{2V_1} PdV + \int_{2V_1}^{V_1} PdV \tag{6}$$

Donde hemos usado $V_2 = 2V_1 = V_3$. Entre V_1 y V_2 el proceso es isotérmico por lo que la presión es $P(V) = \frac{nRT}{V}$ y entre V_3 y V_1 es isobarico por lo que el trabajo es:

$$W_T = nRT_1 \int_{V_1}^{2V_1} + P_3 \int_{2V_1}^{V_1} dV = P_1V_1 \ln(2) - P_1V_1 = P_1V_1(\ln(2) - 1) = -153426,4 \cdot V_1(\text{Pa}) \tag{7}$$

Por lo tanto, el trabajo total en el ciclo $1 \to 2 \to 3 \to 1$ es:

$$W_T = -153426,4 \cdot V_1(\text{Pa}) = -153426,4\text{J} \tag{8}$$

Nombre: **N° de lista:**

RUT: **Sección:**

Firma:

Problema 2:

a) (1 pt) La masa del cilindro hueco corresponde a $m_c = \rho_{Al} V_c$. El volumen del cilindro hueco se puede obtener considerando el volumen de un cilindro macizo grande menos el volumen de un cilindro macizo que está al interior. En la practica, esto significa:

$$V_c = \pi R^2 H - \pi (R-t)^2 (H-2t) = 0{,}00016 \text{m}^3 \tag{9}$$

Por lo tanto, la masa del cilindro es:

$$m_c = \rho_{Al} V_c = 2700 \cdot 0{,}00016 = 0{,}437 \text{kg}. \tag{10}$$

b) (1.5 pts) La suma de fuerzas que actúan sobre el cilindro es: $\sum F = B - F_g = 0$, donde B es la fuerza de flotación y F_g el peso del cilindro. Entonces, usando el principio de Bernoulli se tiene:

$$\rho_{\text{etanol}} g V_{\text{sumergido}} - m_c g = 0 \tag{11}$$

El volumen sumergido corresponde:

$$V_{\text{sumergido}} = \pi R^2 h_0 \tag{12}$$

Entonces

$$\rho_{\text{etanol}} g \pi R^2 h_0 - m_c g = 0 \tag{13}$$

Por lo tanto

$$h_0 = \frac{m_c}{\rho_{\text{etanol}} \pi R^2} = 0{,}196 \text{m} \tag{14}$$

c) (1.5 pts) Supongamos un volumen inicial de etanol. Al cambiar la temperatura, el volumen cambiara:

$$V = V_0 (1 + \beta \Delta T) \tag{15}$$

Entonces, considerando que la masa es constante, usando la definición de densidad:

$$\rho(\Delta T) = \frac{m}{V(\Delta T)} = \frac{m}{V_0(1+\beta \Delta T)} = \frac{\rho_0}{1+\beta \Delta T} \tag{16}$$

Aplicando esto para el etanol tenemos:

$$\rho_{\text{etanol}} = \frac{\rho_{0,\text{etanol}}}{1 + \beta_{\text{etanol}} \Delta T} = \frac{789}{1 + 1{,}1 \times 10^{-3} \Delta T} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \tag{17}$$

donde $\rho_{0,\text{etanol}}$ es la densidad del etanol a 20°C.

d) (1.5 pts) Al cambiar la temperatura, los volúmenes (y por lo tanto las densidades) cambian. Usando $\sum F = B - F_g = 0$ para el cilindro:

$$\rho_{\text{etanol}}(\Delta T) g V_{\text{sumergido}}(\Delta T) - m_c g = 0 \tag{18}$$

donde $\rho_{\text{etanol}}(\Delta T)$ se obtuvo en el inciso anterior y $V_{\text{sumergido}} = A(\Delta T)h(\Delta T)$ Por lo tanto:

$$\rho_{\text{etanol}}(\Delta T)A(\Delta T)h(\Delta T) = m_c \quad \Rightarrow \quad h(\Delta T) = \frac{m_c}{\rho_{\text{etanol}}(\Delta T)A(\Delta T)} \tag{19}$$

Por lo tanto, podemos escribir:

$$f(\Delta T) = \frac{h(\Delta T)}{H(\Delta T)} = \frac{m_c}{\rho_{\text{etanol}}(\Delta T)H(\Delta T)A(\Delta T)} = \frac{m_c}{\rho_{0,\text{etanol}}V_{t,i}}\frac{1+\beta_{\text{etanol}}\Delta T}{1+\beta_{\text{Al}}\Delta T} \tag{20}$$

Donde se usó que $H(\Delta T)A(\Delta T) = V_{\text{t}}(\Delta T) = V_{\text{t,i}}(1+\beta_{\text{Al}}\Delta T)$, con $V_t(\Delta T)$ el volumen total de un cilindro de área $A(\Delta T)$ y altura $H(\Delta T)$ y $V_{t,i}$ el volumen total inicial: $V_{t,i} = \pi R^2 H$

Ya que $\beta_{\text{etanol}} > \beta_{\text{Al}}$, considerando un aumento ΔT en la temperatura, tenemos que $1+\beta_{\text{etanol}}\Delta T \geq 1+\beta_{\text{Al}}\Delta T$, luego se tiene que aumentar la fracción sumergida.

e) (0.5 pts) Buscamos la temperatura T^* que hace:

$$\frac{h(T^*-T_0)}{H(T^*-T_0)} = 1 \tag{21}$$

Explicitamente esto es:

$$\frac{m_c}{\rho_{0,\text{ etanol}}V_{t,i}}\frac{1+\beta_{\text{etanol}}(T^*-T_0)}{1+\beta_{\text{Al}}(T^*-T_0)} = 1 \Rightarrow T^* = T_0 + \frac{1-r_0}{r_0\beta_{\text{Al}}-\beta_{\text{etanol}}} = 39{,}51°\text{C}, \tag{22}$$

donde hemos llamado

$$r_0 = \frac{m_c}{\rho_{0,\text{ etanol}}V_{t,i}} = \frac{m_c}{\rho_{0,\text{etanol}}\pi R^2 H} \tag{23}$$

Nombre: **N° de lista:**

RUT: **Sección:**

Firma:

Problema 3

a) (2.0 pts) Considerando el aire como gas ideal y que el proceso de invertir el vaso es isotérmico entonces

$$P_f = P_i \frac{V_i}{V_f} \tag{24}$$

donde $P_i = P_{\text{atm}}$, $V_i = A(h_0 - h)$, $V_f = A(h_0 - x)$, con A el área transversal del vaso. Por lo tanto

$$P_f = P_{\text{atm}} \frac{h_0 - h}{h_0 - x}. \tag{25}$$

b) (2.0 pts) Al invertir el vaso, la tarjeta no cae debido a la fuerza que ejerce la presión atmosférica. Es decir, la presión atmosférica actúa hacia arriba. Entonces, el equilibrio mecánico es:

$$\sum F = P_{\text{atm}} A - P_f A - \rho g x A = 0 \Rightarrow P_f = P_{\text{atm}} - \rho g x \tag{26}$$

donde hemos usado que P_f es la presión que ejerce el aire en la situación final. Reemplazando lo obtenido en el item a) se tiene:

$$P_{\text{atm}} \frac{h_0 - h}{h_0 - x} = P_{\text{atm}} - \rho g x \Rightarrow \rho g x^2 - x(P_{\text{atm}} + \rho g h_0) + P_{\text{atm}} h = 0 \tag{27}$$

c) (1.5 pts) Utilizando los valores numéricos, la ecuación cuadratica es

$$9800 x^2 - 104240 x + 15195 = 0 \tag{28}$$

cuyas soluciones son:

$$x_1 = 0{,}148\text{m}, \quad x_2 = 10{,}489\text{m} \tag{29}$$

utilizando x_1, entonces la masa de agua caida será:

$$m_{\text{caída}} = \rho A(h - x) = 0{,}005\text{kg} = 5\text{g} \tag{30}$$

y la presión final es:

$$P_f = P_{\text{atm}} \frac{h_0 - h}{h_0 - x} = 99967{,}1\text{Pa} \tag{31}$$

d) (0.5 pts) Las alturas deben cumplir $0 < x \leq h \leq h_0$. Dados los datos del problema, encontramos que las soluciones a la ecuación cuadratrica son:

$$x_1 = 0{,}148\text{m}, \quad \text{y} \quad x_2 = 10{,}489\text{m} \tag{32}$$

Donde solo x_1 cumple con la condición $x \leq h = 0{,}15\text{m}$. La altura x_2 es mayor que la altura del vaso, por lo que no es física.