2. b) $\dot{m} = 2.617(20)\frac{\pi(0.004)^2}{4} = \mathbf{6.577 \times 10^{-4}\ kg/s}$.
3. c) $\Delta h = -\frac{555.35^2 - 20^2}{2} = \mathbf{-154.007\ kJ/kg}$.
4. d) $\Delta T = \frac{-154\,007}{1003.7} = -153.43$ K, así que $T_2 = 453.15 - 153.43 = \mathbf{299.71\ K}$.
5. e) $\rho_2 = \frac{80\,000}{286.7(299.71)} = 0.931$ kg/m³ y $A_2 = \frac{\dot{m}}{\rho_2 v_2} = \mathbf{1.272 \times 10^{-6}\ m^2}$.

2.6 Ejercicios propuestos

Resuélvelos sin ver la solución. Las resoluciones completas están en el **Apéndice E, sección E.2**.

Ejercicio propuesto 2.6.1

Adaptado de: primer examen final 2019-2, turno matutino, problema 2.

Un gas en un tanque rígido está a 5 atm y 25 °C. Se saca la mitad del gas y el resto se calienta a 85 °C (1 atm = 101 325 Pa). Determine:

- a) la nueva presión;
- b) la presión a 85 °C si no se hubiera sacado gas.

Resultado: 3.0031 atm (304 289 Pa); 6.0062 atm (608 578 Pa).

→ Resolución en el Apéndice E, p. 84.

Ejercicio propuesto 2.6.2

Adaptado de: primer examen final 2020-1, turno matutino, problema 2 a)–c).

Una máquina opera con los procesos 1⟶2 isobárico, 2⟶3 isotérmico, 3⟶4 isométrico y 4⟶1 isotérmico:

- estado 1: $V = 0.05$ m³, $P = 15\,000$ Pa, $T = 523.37$ K;
- $V_2 = 0.08$ m³ y $P_3 = 8000$ Pa.

Determine:

- a) P, V y T de todos los estados;
- b) W_{23};
- c) el calor que rechaza en 4⟶1.

Resultado: estado 2: 15 000 Pa, 0.08 m³, 837.4 K; estado 3: 8000 Pa, 0.15 m³, 837.4 K; estado 4: 5000 Pa, 0.15 m³, 523.37 K; $W_{23} = -754.33$ J; $Q_{41} = -823.95$ J. (El inciso d) está en la Unidad 3, ejercicio 3.6.4.)

→ Resolución en el Apéndice E, p. 85.

Ejercicio propuesto 2.6.3

Adaptado de: primer examen final 2019-2, turno vespertino, problema 2.

Un ciclo rectangular opera con aire ($c_p = 1004$, $c_v = 717$, $R = 287$ J/(kg K)) y $v_1 = 1.2$ m³/kg:

- estado 1: 77 000 Pa, 10^{-3} m³;
- estado 2: 300 000 Pa, 10^{-3} m³;
- estado 3: 300 000 Pa, 8×10^{-3} m³;

CUADERNO DE ESTUDIO INTENSIVO

Curso de Emergencia

Principios de Termodinámica y Electromagnetismo

Teoría breve, procedimientos y ejercicios de examen resueltos

Fritanga Collective

Versión 0.3.1 · 2026 · CC BY-NC-SA 4.0

Ejercicio 2.5.6 · Hidrógeno con rueda de paletas

Adaptado de: primer examen final colegiado 2012-1, tipo B, problema 1.

Un cilindro con émbolo tiene una rueda de paletas dentro:

- 48.9 g de H_2 a 24 °C, $v = 2.045$ m³/kg y 6 bar;
- la rueda suministra 735 W a presión constante;
- en 10 min el H_2 llega a 0.11538 m³ y libera 409.24 kJ de calor.

Determine ΔU del hidrógeno.

Resolución.

1. $W_{eje} = +735(600) = +441$ kJ.
2. $V_1 = vm = 2.045(0.0489) = 0.1$ m³, así que $W_{exp} = -P\Delta V = -(6 \times 10^5)(0.01538) = -9.228$ kJ.
3. $\Delta U = Q + W_{eje} + W_{exp} = -409.24 + 441 - 9.228 =$ **22.532 kJ**. (El dato de 24 °C no se usa.)

Ejercicio 2.5.7 · Expansión isotérmica de aire

Adaptado de: primer examen final colegiado 2012-2, tipo B, problema 3 a).

1.4 kg de aire a 1.5 MPa y 900 K se expanden isotérmica y reversiblemente hasta 18 veces el volumen inicial. Determine el calor e indique si el aire lo recibe o lo entrega. (La parte de entropía está en la Unidad 3, ejercicio 3.5.7.)

Resolución.

1. Isotérmico: $\Delta U = 0$, así que $Q = -W$.
2. $W = -mRT \ln \frac{V_2}{V_1} = -1.4(286.7)(900) \ln 18 = -1044.12$ kJ.
3. $Q =$ **+1044.12 kJ**: el aire **lo recibe**.

Ejercicio 2.5.8 · Compresión de helio

Adaptado de: primer examen final colegiado 2013-1, tipo B, problema 2.

Un pistón contiene 10 g de helio ($R = 2.077$ kJ/(kg K)) a 80 kPa y 30 °C. Se comprime hasta 850 kPa y $V_2 = V_1/3$. Determine:

- a) la densidad inicial;
- b) la temperatura final.

Resolución.

1. a) $\rho_1 = \frac{P_1}{RT_1} = \frac{80\,000}{2077(303.15)} =$ **0.1271 kg/m³**.
2. b) $\frac{PV}{T}$ constante: $T_2 = T_1 \frac{P_2}{P_1} \frac{V_2}{V_1} = 303.15 \cdot \frac{850}{80} \cdot \frac{1}{3} =$ **1073.66 K**.

Ejercicio 2.5.9 · Expansión isobárica de 0.2 mol

Adaptado de: primer examen final colegiado 2014-1, tipo B, problema 2.

En un sistema cerrado, 0.2 mol de aire se expanden a $P = 100$ kPa constante de 2 L a 3.2 L. Determine:

- a) ΔT, e indique si la temperatura aumentó o disminuyó;
- b) el calor, e indique si el aire lo entrega o lo recibe.

Presentación y cómo usar este cuaderno

↑ Volver al índice

Este cuaderno está pensado para quien tiene que aprobar **Principios de Termodinámica y Electromagnetismo** en poco tiempo: en un examen extraordinario, en un final o tras varias semanas sin estudiar la materia.

Sigue el orden de los temas del programa de la asignatura:

1. Conceptos fundamentales.
2. Primera ley de la termodinámica.
3. Segunda ley de la termodinámica.
4. Ciclos termodinámicos.
5. Electromagnetismo.
6. Circuitos de corriente directa.
7. Circuitos de corriente alterna.

Cada unidad se enseña igual que en clase: objetivo, conceptos, ejemplo resuelto y ejercicios. La diferencia es que todo está recortado a lo que se pregunta en los exámenes.

Objetivo de la asignatura (programa). El alumno analizará los conceptos, principios y leyes fundamentales de la termodinámica y de los circuitos eléctricos para aplicarlos en la resolución de problemas elementales de ingeniería, haciendo especial énfasis en el concepto de energía y sus transformaciones.

De dónde salen los ejercicios.

- Se resolvieron y verificaron los problemas de **12 exámenes finales colegiados (2012-1 a 2014-2)** y de **8 finales de 2019–2020**.
- Cada ejercicio indica el examen del que se adaptó.
- Las resoluciones son propias. Cuando el valor obtenido no coincide con el de una resolución publicada, la diferencia se anota en el Apéndice C (Fe de erratas).

Cómo usar este cuaderno

Cada unidad tiene la misma estructura:

1. Un recuadro de **Instrucciones de emergencia**: cuánto sale en el examen, cuánto tiempo dedicarle y la ruta corta.
2. **Conceptos y expresiones**, en tono de libro.
3. **Cómo reconocer el problema**: una tabla que lleva del enunciado al procedimiento.
4. **Procedimientos**, paso a paso.
5. **Ejemplo resuelto**.
6. **Ejercicios de examen resueltos.**
7. **Ejercicios propuestos**, solo con el resultado. Las resoluciones completas están en el Apéndice E.
8. **Errores frecuentes**, **formulario de la unidad** y **procedimiento recomendado en el examen**.

Ruta de 5 semanas (unas 12 horas por semana).

2.5 Ejercicios de examen (resueltos)

Ejercicio 2.5.1 · Trayectorias abc y cda

Adaptado de: primer examen final colegiado 2012-2, tipo A, problema 2.

Un diagrama P–V muestra un rectángulo con b arriba a la izquierda, a arriba a la derecha, c abajo a la izquierda y d abajo a la derecha, y una curva de a a c por dentro. El gas tiene masa constante.

- por la curva $a \to c$: $W = +35$ J y $Q = -63$ J;
- por abc (recta $a \to b$ a P_b, luego $b \to c$ a volumen constante): $W = +54$ J.

Determine:

- a) Q por la trayectoria abc;
- b) Q por la trayectoria cda, si $P_c = \frac{1}{2}P_b$.

Resolución.

1. Por la curva: $\Delta U_{ac} = Q + W = -63 + 35 = -28$ J. ΔU no depende de la trayectoria.
2. a) $Q_{abc} = \Delta U_{ac} - W_{abc} = -28 - 54 = \mathbf{-82\ J}$.
3. b) $W_{ab} = +54$ J (compresión a P_b) y $W_{bc} = 0$. El tramo $c \to d$ abarca el mismo ΔV a la mitad de presión y es una **expansión**, así que $W_{cd} = -27$ J; $W_{da} = 0$.
4. $\Delta U_{ca} = +28$ J, de donde $Q_{cda} = 28 - (-27) = \mathbf{+55\ J}$.

Ejercicio 2.5.2 · Tanque esférico con membrana

Adaptado de: primer examen final colegiado 2013-1, tipo A, problema 1.

Un tanque esférico rígido de radio $r = 1.9276$ m tiene una membrana que lo divide en dos secciones con el mismo gas:

- sección 1: $V_1 = 8$ m³, $v_1 = 0.5051$ m³/kg;
- sección 2: el resto del tanque, con más gas.

Se rompe la membrana y en el equilibrio $v = 0.7964$ m³/kg. Determine:

- a) la masa total;
- b) el volumen específico v_2 antes de romperse la membrana.

Resolución.

1. $V_T = \frac{4}{3}\pi(1.9276)^3 = 30.0$ m³.
2. a) $m_T = \frac{V_T}{v} = \frac{30}{0.7964} = \mathbf{37.67\ kg}$.
3. b) $m_1 = \frac{8}{0.5051} = 15.838$ kg, así que $m_2 = 21.831$ kg; $V_2 = 30 - 8 = 22$ m³ y $v_2 = \frac{22}{21.831} = \mathbf{1.0077\ m^3/kg}$.

Ejercicio 2.5.3 · Proceso politrópico

Adaptado de: primer examen final colegiado 2013-1, tipo A, problema 2.

Un sistema cerrado con aire pasa de 400 kPa y 326.85 °C a 150 kPa y 126.85 °C mediante un proceso politrópico con $n = 1.85$. Determine:

- a) Δu;
- b) q, e indique si el aire lo recibe o lo rechaza.

Resolución.

Unidad 0 · Antes de empezar: qué viene en el examen

↑ Volver al índice

> **Instrucciones de emergencia**
> - **Tiempo:** 20 minutos. Léela completa antes de cualquier otra unidad.
> - **Para qué:** decidir dónde invertir el tiempo. No todos los temas valen lo mismo.

0.1 Cómo es el examen

Según los finales colegiados de 2012 a 2014:

- **Duración y material:** 2 horas, sin consulta, solo calculadora.
- **Problemas:** de 4 a 6, cada uno con su puntuación indicada. Aproximadamente la mitad son de termodinámica y la mitad de electromagnetismo.
- **Constantes:** algunos exámenes incluyen al final las constantes físicas necesarias. Los valores de g y de la presión atmosférica los da el enunciado; en Ciudad Universitaria suelen ser 9.78 m/s² y alrededor de 77 kPa.
- **Resoluciones publicadas:** escriben los datos con unidades entre corchetes, declaran el sistema termodinámico («sistema cerrado / abierto / aislado») y expresan los vectores con $\hat{\imath}, \hat{\jmath}, \hat{k}$. Conviene escribir igual.

0.2 Qué tan seguido sale cada tema

Frecuencia en los 12 finales colegiados de 2012 a 2014:

Unidad	Tema	Frecuencia
5, Parte B	Campo magnético: alambres, solenoide, superposición, inductancia, fuerza sobre conductores	**11 de 12**
1	Presión y fluidos: manómetros, barómetro, prensa, densidad; calorimetría	**9 de 12**
2	Primera ley: sistemas cerrados (paletas, resistor, pistón), gas ideal; sistemas abiertos	**8 de 12**, más 3 de sistemas abiertos
4	Ciclos: Otto, Diesel, ciclos con tabla, Rankine	**7 de 12**
5, Parte A	Electrostática: Coulomb, campo, potencial, energía, placas, $q\vec{v} \times \vec{B}$	**7 de 12**
6	Circuitos de corriente directa y capacitores	**7 de 12** (capacitores en 3)
3	Segunda ley: máquinas, refrigeradores, entropía	**6 de 12**, más la entropía dentro de los ciclos
7	Corriente alterna (valores eficaces)	inciso en **2 de 12**

Observaciones:

Si el enunciado dice…	Se trata de…	Procedimiento
«a presión constante», isobárico, émbolo libre	proceso isobárico	2.3.1 y 2.3.2
«tanque rígido», isométrico, isocórico	proceso isométrico (P/T constante)	2.3.1 y 2.3.2
«PV = constante», isotérmico	proceso isotérmico	2.3.2
«adiabático», «aislado», «sin calor»	$Q = 0$	2.3.2
«PV^n = constante»	proceso politrópico	2.3.2
«pistón de masa m», cilindro vertical	isobárico con $P = P_{atm} + \frac{mg}{A}$	2.3.1 y 2.3.3
«volumen específico» v	$m = V/v$, $\rho = 1/v$	2.3.1
«mol», n	$PV = nR_uT$ y $m = nR_u/R$	2.3.1
«rueda de paletas», «resistor», «pila»	trabajo de eje o energía eléctrica	2.3.3
figura con varias trayectorias entre dos estados	ΔU no depende de la trayectoria	2.3.4
«ciclo», diagrama P–V cerrado, eficiencia	ciclo	2.3.4
«tubería», «se bifurca», «gasto», «flujo másico»	continuidad	2.3.5
«tobera», «cascada», temperatura en el fondo	balance de energía en sistema abierto	2.3.6

2.3 Procedimientos

2.3.1 Tabla de estados

1. Pasa todo al SI: kPa a Pa, bar a 10^5 Pa, L a 10^{-3} m³, °C a K (+273.15).
2. Con el estado que tenga P, V y T completos, calcula $mR = \frac{PV}{T}$ (o $m = \frac{PV}{RT}$).
3. Para cada estado nuevo, usa lo que se conserva en el proceso y luego $PV = mRT$ para la variable que falta.
4. Si se da el volumen específico: $m = V/v$.

2.3.2 Trabajo y calor de un proceso

1. Identifica el tipo de proceso.
2. Escribe la fila correspondiente de la tabla de procesos (sección 2.1.1).
3. Calcula W y comenta su signo («expansión, $W < 0$»).
4. Calcula $\Delta U = mc_v\Delta T$ y despeja $Q = \Delta U - W$.

2.3.3 Balance con trabajo de eje o energía eléctrica

1. Decide dónde está la frontera del sistema y dilo por escrito.
2. Trabajo de eje que entra: $W_{eje} = +\dot{W}\,\Delta t$.
3. Si además el volumen cambia a P constante, añade $W_{exp} = -P\,\Delta V$.
4. Plantea $\Delta U = Q + W_{eje} + W_{exp}$ y despeja la incógnita.
5. Pistón vertical: $P = P_{atm} + \frac{mg}{A}$ y desplazamiento $\Delta x = \frac{|W|}{PA}$.

Unidad 1 · Conceptos fundamentales: presión, fluidos y calorimetría

↑ Volver al índice

Objetivo (programa de la asignatura). El alumno analizará algunos de los conceptos básicos de la física identificando sus dimensiones y unidades en el SI.

Instrucciones de emergencia

- **Frecuencia:** aparece en 9 de los 12 finales colegiados de 2012 a 2014. Casi siempre es el problema 1.
- **Tiempo:** de 2 a 3 horas para esta unidad.
- **Ruta corta:**
  1. Lee la sección 1.1 (15 min).
  2. Sigue el ejemplo 1.4 tapando la resolución.
  3. Resuelve los ejercicios 1.5 con cronómetro (25 min cada uno).

1.1 Conceptos y expresiones

Masa, peso específico y densidad.

Propiedad	Definición	Unidad en el SI
Densidad	$\rho = \frac{m}{V}$	[kg/m³]
Volumen específico	$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho}$	[m³/kg]
Peso específico (módulo)	$\gamma = \rho g$	[N/m³]
Densidad relativa	$\delta = \frac{\rho}{\rho_{agua}}$, con $\rho_{agua} = 1000$ kg/m³	adimensional, [1]

Presión. Es la fuerza normal por unidad de área, $P = F/A$, en pascales [Pa] = [N/m²].

- **Presión absoluta:** se mide respecto al vacío.
- **Presión manométrica:** se mide respecto a la atmósfera del lugar.
- **Presión vacuométrica:** es la manométrica cuando el sistema está por debajo de la atmosférica.

$$P_{abs} = P_{atm} + P_{man}, \qquad P_{abs} = P_{atm} - P_{vac}$$

- **Barómetro de mercurio:** $P_{atm} = \rho_{Hg}\, g\, h$.
- **Ciudad Universitaria:** la presión atmosférica es cercana a 77 kPa (por la altitud de unos 2 240 m) y $g = 9.78$ m/s². A nivel del mar, $P_{atm} = 101\,325$ Pa. **Siempre se usan los datos del enunciado.**

Gradiente de presión (hidrostática). Entre dos puntos de un mismo fluido en reposo:

$$P_2 - P_1 = -\rho g\,(z_2 - z_1)$$

Unidad 2 · Primera ley de la termodinámica: sistemas cerrados y abiertos

↑ Volver al índice

Objetivo (programa de la asignatura). El alumno realizará balances de energía en sistemas termodinámicos, mediante la aplicación de la primera ley de la termodinámica.

Instrucciones de emergencia

- **Frecuencia:** aparece en 8 de los 12 finales colegiados de 2012 a 2014 (sistemas cerrados), más 3 de sistemas abiertos. Suele ser el problema 1 o el 2.
- **Tiempo:** de 3 a 4 horas para esta unidad.
- **Ruta corta:**
  1. Lee la sección 2.1 con la tabla de procesos a la vista (20 min).
  2. Sigue el ejemplo 2.4 tapando la resolución.
  3. Resuelve los ejercicios 2.5 con cronómetro (20 min cada uno).

2.1 Conceptos y expresiones

2.1.1 Sistemas cerrados

Gas ideal. Un gas encerrado (en un cilindro con émbolo o en un tanque) cambia de estado. Cada estado cumple

$$PV = mRT, \qquad Pv = RT, \qquad PV = nR_uT$$

con T **en kelvin** y P **absoluta en pascales**. Si m y R no cambian, $mR = \frac{PV}{T}$ es la misma en todos los estados.

Magnitud	Expresión	Unidad en el SI
Volumen específico	$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho}$	$[\mathrm{m^3/kg}]$
Constante del aire	$R = 287$ (en las resoluciones de 2012 a 2014, $R = 286.7$)	$[\mathrm{J/(kg\,K)}]$
Constante universal	$R_u = 8.314$; $m = \frac{nR_u}{R}$	$[\mathrm{J/(mol\,K)}]$
Calores específicos del aire	$c_p = 1005$, $c_v = 718$ (en 2012 a 2014, $c_p = 1003.7$, $c_v = 717$)	$[\mathrm{J/(kg\,K)}]$
Relaciones	$c_p - c_v = R$, $\gamma = \frac{c_p}{c_v} = 1.4$	—

Primera ley. Con la convención de signos del curso:

$$\Delta U = Q + W, \qquad W = -\int P\,dV$$

- **Expansión:** $W < 0$ (el gas entrega trabajo).

2. Expresa todo en presión **absoluta** ($P_{abs} = P_{atm} + P_{man}$).
3. Entre dos puntos del mismo fluido: $P_{arriba} = P_{abajo} - \rho g\,\Delta z$.
4. No se suman columnas de gas.
5. Despeja la incógnita y comprueba el signo: más abajo, más presión.

1.3.2 Equilibrio de fuerzas, Pascal y flotación

- **Tapa o émbolo:** $\sum F = 0$ con $F = PA$ en cada cara.
- **Prensa:** iguala presiones al mismo nivel. Con un bloque encima: $P = \frac{mg}{A}$ y $m = \delta \cdot 1000 \cdot V$.
- **Flotación:** si la densidad promedio es menor que $1000\ \mathrm{kg/m^3}$, el cuerpo flota en agua.

1.3.3 Modelo lineal

1. Ajusta la recta, con la calculadora en modo de regresión lineal o con las fórmulas de 1.1.
2. Escribe el modelo **con unidades**, por ejemplo $P_{man}\,[\mathrm{Pa}] = 9847.62\,[\mathrm{Pa/m}]\ z\,[\mathrm{m}] - 5.238\,[\mathrm{Pa}]$.
3. Interpreta la pendiente: $\gamma \to \rho = \gamma/g \to \delta$, v; o bien $mc \to c$ o m.
4. Para predecir, sustituye en el modelo completo, incluida la ordenada b.

1.3.4 Mezclas en recipiente aislado

1. $\sum Q = 0$: lo que se calienta aporta $Q > 0$ y lo que se enfría, $Q < 0$.
2. Escribe el recorrido de cada sustancia desde su temperatura inicial hasta T_{eq}:
   - hielo: $mc_{hielo}(0 - T_i) \longrightarrow$ fusión $+m\,h_{fus} \longrightarrow$ agua $mc_{agua}(T_{eq} - 0)$;
   - vapor que se condensa: $mc_{vap}(100 - T_i) \longrightarrow$ condensación $-m\,h_{vap} \longrightarrow$ agua $mc_{agua}(T_{eq} - 100)$;
   - recipiente o metal: $mc\,(T_{eq} - T_i)$.
3. Junta todo en una ecuación igual a cero y despeja.
4. **Comprueba** que T_{eq} quede entre las temperaturas iniciales y sea coherente con las fases que supusiste.

Valores usuales (usa siempre los del enunciado):

- $c_{hielo} = 2220$, $c_{agua} = 4186$, $c_{vap} \approx 1900$–$2050\ \mathrm{J/(kg\,^\circ C)}$
- $h_{fus} = 333\ \mathrm{kJ/kg}$, $h_{vap} \approx 2250$–$2257\ \mathrm{kJ/kg}$

1.4 Ejemplo resuelto

Adaptado de: primer examen final, 2019-1, turno matutino, problema 1.

Un tanque contiene un líquido de altura $L = 40$ cm y, encima, aire a una presión vacuométrica de 17 000 Pa. La presión absoluta en el fondo es 70 000 Pa, $P_{atm} = 77$ kPa y $g = 9.78\ \mathrm{m/s^2}$. Un manómetro diferencial de mercurio está conectado al aire. Determine:

- a) la presión manométrica y absoluta del aire;
- b) el desnivel del manómetro;
- c) el peso específico y la densidad relativa del líquido;
- d) la altura de un barómetro de mercurio en el lugar.

Ejercicio propuesto 1.6.3

Adaptado de: primer examen final 2020-1, turno matutino, problema 1.

Una prensa hidráulica contiene aceite ($\rho = 0.92$ g/cm³). Su émbolo de 100 cm² sostiene un cubo de acero ($\delta = 7.85$) de 5 cm de arista. Determine:

- a) la altura del aceite en la otra rama;
- b) g, si el peso específico del acero es 76.773 kN/m³.

Resultado: $h = 0.1067$ m; $g = 9.78$ m/s².

→ Resolución en el Apéndice E, p. 84.

Ejercicio propuesto 1.6.4

Adaptado de: segundo examen final 2020-1, problema 1.

El manómetro del tanque A marca 95 kPa y $P_{atm} = 56$ cm de Hg. Dentro hay glicerina ($m = 0.3783$ kg, $V = 3\times10^{-4}$ m³) con una columna de 0.4 m. Determine la presión absoluta en A y en B.

Resultado: 169.48 kPa y 164.55 kPa.

→ Resolución en el Apéndice E, p. 84.

Ejercicio propuesto 1.6.5

Adaptado de: primer examen final 2019-2, turno matutino, problema 1.

Se calentó hielo y se registró:

- Q [J]: 800, 1600, 2300, 3000
- T [°C]: −5, −3, −1, 0

Con $c_{hielo} = 2220$ y $h_{fus} = 333$ kJ/kg, determine:

- a) la masa de hielo;
- b) el calor para fundirlo todo.

Resultado: 0.190 kg; 63.3 kJ.

→ Resolución en el Apéndice E, p. 84.

Ejercicio propuesto 1.6.6

Adaptado de: segundo examen final 2019-1, problema 1.

A 463 g de una sustancia se les suministró calor:

- T [°C]: 31, 33, 37, 40, 41
- Q [J]: 5000, 8000, 15 000, 22 000, 24 300

Determine:

- a) el modelo y c;
- b) la sustancia (alcohol 2511.6, glicerina 2260.44, agua 4186 J/(kg °C));
- c) Q para llegar a 35 °C.

Resultado: $c = 4186.96$ J/(kg °C), agua; 12 146 J.

→ Resolución en el Apéndice E, p. 84.

Ejercicio 1.5.3 · Mercurio y agua a nivel del mar

Adaptado de: primer examen final colegiado 2014-1, tipo A, problema 1.

Un cilindro de 1 m de alto, abierto y a nivel del mar ($P_{atm} = 101\,325$ Pa), contiene agua arriba y mercurio abajo. L es la profundidad a la que empieza el mercurio. La presión absoluta en el fondo es 2 atm y $g = 9.8$ m/s². Determine L.

Resolución.

1. Las columnas son: agua, L; mercurio, $1 - L$. Entonces $P_f = P_{atm} + \rho_{ag} g L + \rho_{Hg} g (1 - L)$.
2. $L = \frac{P_{atm} - P_f + \rho_{Hg} g}{g(\rho_{Hg} - \rho_{ag})} = \frac{101\,325 - 202\,650 + 133\,280}{9.8(12\,600)}$.
3. $L = 0.2588$ **m** (25.88 cm); el mercurio ocupa 0.7412 m.

Ejercicio 1.5.4 · Tanque con manómetro diferencial

Adaptado de: primer examen final colegiado 2014-2, tipo A, problema 1.

Es el mismo planteamiento que el ejemplo 1.4.

Líquido con $L = 25$ cm, aire a una presión vacuométrica de 18 000 Pa, presión absoluta en el fondo de 60 000 Pa, $P_{atm} = 77$ kPa y $g = 9.78$. Determine:

- a) P_{man} y P_{abs} del aire;
- b) el desnivel del manómetro de mercurio;
- c) γ y δ del líquido;
- d) la altura barométrica.

Resolución.

1. a) $P_{man} =$ **−18 000 Pa**; $P_{abs} =$ **59 kPa**.
2. b) $\Delta z = \frac{59\,000 - 77\,000}{-13\,600(9.78)} =$ **0.1353 m**.
3. c) $\gamma = \frac{59\,000 - 60\,000}{-0.25} =$ **4000 N/m³**; $\delta = \frac{4000}{1000(9.78)} =$ **0.409**.
4. d) $h = \frac{77\,000}{13\,600(9.78)} =$ **0.5789 m**.

Ejercicio 1.5.5 · Prensa hidráulica

Adaptado de: primer examen final colegiado 2012-2, tipo B, problema 1.

El émbolo pequeño mide $d = 4.5$ cm y el grande $D = 62$ cm. Determine:

- a) la fuerza en el émbolo pequeño que equilibra 20 kN en el grande;
- b) cuánto se mueve el émbolo grande si el pequeño se desplaza 9 dm.

Resolución.

1. a) $f = \left(\frac{d}{D}\right)^2 F = \left(\frac{4.5}{62}\right)^2 (20\,000) =$ **105.359 N**.
2. b) Con el mismo volumen desplazado: $L = \left(\frac{d}{D}\right)^2 \ell = \left(\frac{4.5}{62}\right)^2 (0.9) =$ **4.7412 mm**.

Ejercicio 1.5.6 · Tubo en U con agua

Adaptado de: primer examen final colegiado 2013-1, tipo B, problema 1.

Un tubo en U de sección uniforme contiene mercurio ($\delta = 13.6$), con ambos extremos abiertos. Se vierten 20.4 cm de agua en el brazo derecho; $g = 9.78$. ¿Cuánto sube el mercurio del brazo izquierdo?

Índice

Presentación y cómo usar este cuaderno 3

Unidad 0 · Antes de empezar: qué viene en el examen 5

Unidad 1 · Conceptos fundamentales: presión, fluidos y calorimetría 7

Unidad 2 · Primera ley de la termodinámica: sistemas cerrados y abiertos 16

Unidad 3 · Segunda ley de la termodinámica: máquinas, refrigeradores y entropía 27

Unidad 4 · Ciclos termodinámicos: Otto, Diesel y Rankine 37

Unidad 5 · Electromagnetismo — Parte A: electrostática y fuerza sobre cargas en movimiento 46

Unidad 5 · Electromagnetismo — Parte B: campo magnético e inductancia 55

Unidad 6 · Circuitos eléctricos de corriente directa y capacitores 65

Unidad 7 · Circuitos eléctricos de corriente alterna (lo mínimo) 75

Apéndice A · Formulario y constantes 78

Apéndice B · Qué vino en cada final colegiado (2012–2014) 79

Apéndice C · Fe de erratas 80

Apéndice D · Fuentes y bibliografía 83

Apéndice E · Resoluciones de los ejercicios propuestos 84

Resolución.

1. a) $T = \frac{PV}{nR_u}$: $T_1 = 120.28$ K y $T_2 = 192.45$ K, así que $\Delta T =$ **+72.17 K** (aumentó).
2. $m = \frac{nR_u}{R} = \frac{0.2(8.314)}{286.7} = 0.0058$ kg, de donde $\Delta U = mc_v\Delta T = 300.10$ J.
3. $W = -P\Delta V = -10^5(0.0012) = -120$ J.
4. b) $Q = \Delta U - W = 300.10 + 120 =$ **+420.10 J**: el aire lo **recibe**.

Ejercicio 2.5.10 · Cascada de Joule

Adaptado de: primer examen final colegiado 2012-1, tipo A, problema 2.

El agua en lo alto de una cascada está a 12 °C y cae 60 m; $g = 9.8$ m/s². Determine la temperatura máxima del agua en el fondo.

Resolución.

1. Sistema abierto con $\dot{Q} = \dot{W} = 0$ y $\Delta e_c \approx 0$: $0 = g(z_2 - z_1) + c\,(T_2 - T_1)$.
2. $T_2 = T_1 + \frac{gz_1}{c} = 12 + \frac{9.8(60)}{4186} =$ **12.14 °C**. Solo sube 0.14 °C, demasiado poco para que el termómetro de Joule lo detectara.

Ejercicio 2.5.11 · Tubería que se bifurca

Adaptado de: primer examen final colegiado 2012-2, tipo B, problema 2.

Un líquido circula por un tubo que se estrecha y luego se divide en dos:

- $d_1 = 20$ cm, que se estrecha a $d_2 = 15$ cm;
- después se divide en $d_3 = 10$ cm y $d_4 = 5$ cm;
- $v_1 = 1$ m/s y $v_4 = 3$ m/s.

Determine la rapidez en 3.

Resolución.

1. $v_2 = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 v_1 = \left(\frac{20}{15}\right)^2 (1) = 1.7778$ m/s.
2. $d_2^2 v_2 = d_3^2 v_3 + d_4^2 v_4$, de donde $v_3 = \frac{0.15^2(1.7778) - 0.05^2(3)}{0.1^2} =$ **3.25 m/s**.

Ejercicio 2.5.12 · Tobera adiabática

Adaptado de: primer examen final colegiado 2014-2, tipo B, problema 1.

Por una tobera adiabática (sin trabajo, $\Delta e_p \approx 0$, régimen permanente) circula aire:

- entrada: 180 °C, 340 kPa, 20 m/s, diámetro de 0.4 cm;
- salida: 80 kPa y 555.35 m/s.

Determine:

- a) la densidad a la entrada;
- b) el gasto másico;
- c) Δh;
- d) la temperatura de salida;
- e) el área de salida.

Resolución.

1. a) $\rho_1 = \frac{340\,000}{286.7(453.15)} =$ **2.617 kg/m³**.

- **Cada día:** 2 bloques de 90 minutos, de dos unidades distintas, y 30 minutos de cierre. En el cierre se anotan los errores del día y se elige el primer ejercicio del día siguiente.
- **Cada sábado:** un examen completo de 2 horas, cronometrado y sin consultar, y la revisión con las resoluciones.

Semana	Unidades
1	5 Parte B (campo magnético) y 1 (presión)
2	2 (primera ley) y 6 (circuitos y capacitores)
3	4 (ciclos) y 5 Parte A (electrostática)
4	3 (segunda ley), 7 (corriente alterna) y repaso de errores
5	Exámenes completos y Apéndice A de memoria

El orden va de lo que más puntos da a lo que menos (véase la Unidad 0).

Ruta de 2 semanas.

- Unidades 5 Parte B, 1, 2 y 6, con sus ejercicios de examen.
- Un examen completo cada 3 días.
- Formulario del Apéndice A todos los días.

Regla de emergencia. Nunca dos días seguidos sin estudiar. Un día mínimo (30 minutos y un ejercicio) cuenta como día cumplido.

Licencia

© 2026 luigisrs.me. Publicado por Fritanga Collective. Esta obra está bajo una licencia **Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)**: `https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es`

Puedes copiarla, distribuirla y adaptarla con fines no comerciales, siempre que cites al autor (luigisrs.me) y compartas las adaptaciones con la misma licencia.

Los enunciados de los exámenes se citan como fuente y pertenecen a sus autores. Las referencias completas están en el Apéndice D.

1. $T_1 = 600$ K y $T_2 = 400$ K. a) $\Delta u = c_v \Delta T = 717(-200) =$ **−143 400 J/kg**.
2. $w = \frac{P_2 v_2 - P_1 v_1}{n-1} = \frac{R(T_2 - T_1)}{n-1} = \frac{286.7(-200)}{0.85} = -67\,459$ J/kg (negativo: es una expansión, $v_2/v_1 = 1.78$).
3. b) $q = \Delta u - w = -143\,400 + 67\,459 =$ **−75 941 J/kg**: el aire **lo rechaza**.

Ejercicio 2.5.4 · Pistón con resistor

Adaptado de: primer examen final colegiado 2013-2, tipo A, problema 1.

Un cilindro vertical tiene un pistón y, dentro, un resistor alimentado por una pila:

- $A = 30$ cm², pistón de 150 kg;
- corriente de 8 A, pila de 6 V, durante 3 min;
- el gas cede 5.8 kJ de calor y su energía interna aumenta 2.4 kJ;
- $P_{amb} = 78$ kPa, $g = 9.78$ m/s², proceso reversible.

Determine:

- a) la presión absoluta del gas;
- b) el tipo de proceso;
- c) el calor que entrega el resistor;
- d) el trabajo de expansión, e indique si el gas se expande o se comprime;
- e) el desplazamiento del émbolo.

Resolución.

1. a) $P = P_{atm} + \frac{mg}{A} = 78\,000 + \frac{150(9.78)}{0.003} =$ **567 kPa**.
2. b) La presión no depende del estado del gas: proceso **isobárico**.
3. c) $Q_R = V\,i\,\Delta t = 6(8)(180) =$ **8.64 kJ**. La resolución publicada lo cuenta como **calor**, porque el sistema es solo el gas.
4. d) $Q = 8.64 - 5.8 = 2.84$ kJ, así que $W = \Delta U - Q = 2.4 - 2.84 =$ **−0.44 kJ**. Como $W < 0$, el gas **se expande**.
5. e) $W = -PA\,\Delta x$, de donde $\Delta x = \frac{440}{567\,000(0.003)} =$ **0.2587 m**.

Ejercicio 2.5.5 · Nitrógeno con rueda de paletas

Adaptado de: primer examen final colegiado 2014-1, tipo A, problema 2 a).

Un depósito rígido contiene N_2 a 100 kPa y 17 °C:

- una rueda de paletas hace 6900 J de trabajo de eje hasta que $P = 130$ kPa;
- se pierde 1 kJ de calor;
- $c_v = 743$ J/(kg K) (valor de la resolución publicada).

Determine la masa de nitrógeno. (La parte de entropía de este problema está en la Unidad 3, ejercicio 3.5.8.)

Resolución.

1. Depósito rígido: P/T constante, así que $T_2 = 290.15 \cdot \frac{130}{100} = 377.195$ K.
2. $\Delta U = Q + W = -1000 + 6900 = 5900$ J (el trabajo de eje **entra**: signo +).
3. $m = \frac{\Delta U}{c_v \Delta T} = \frac{5900}{743(87.045)} =$ **0.0912 kg**.

- La mitad del examen es electromagnetismo, y casi siempre incluye un problema de campo magnético.
- Los ciclos de motor (Otto, Diesel, Rankine) sí aparecen en los finales de esta asignatura.
- **Los problemas se reciclan:** algunos planteamientos se repiten casi idénticos en distintos semestres, con otros datos. Resolver exámenes anteriores es la mejor preparación.

0.3 Orden de estudio por puntos

1. **Unidad 5, Parte B** (campo magnético) y **Unidad 1** (presión): entre las dos cubren casi todos los exámenes.
2. **Unidad 2** (primera ley) y **Unidad 6** (circuitos): las más mecánicas.
3. **Unidad 4** (ciclos): una receta fija para Otto y Diesel.
4. **Unidad 5, Parte A** (electrostática).
5. **Unidad 3** (segunda ley) y **Unidad 7** (corriente alterna).

Si el tiempo no alcanza, se recorta en este orden:

1. Rankine.
2. La corriente alterna.
3. Los sistemas abiertos.

No conviene recortar:

- el campo magnético;
- la presión;
- la primera ley;
- los ciclos Otto y Diesel.

0.4 En el examen (120 minutos)

1. Lee todo el examen (5 min) y **reparte el tiempo según la puntuación** de cada problema.
2. Empieza por el problema que reconozcas mejor, normalmente presión o campo magnético.
3. Escribe los datos con unidades, el sistema y la ecuación general **antes** de sustituir.
4. Cada inciso se califica por separado. Plantea la fórmula y sustituye aunque el inciso anterior no haya salido.
5. Reserva 10 minutos al final para revisar unidades y signos.

0.5 Formulario de emergencia

El formulario completo de todas las unidades está en el **Apéndice A**. Conviene escribirlo de memoria, desde cero, unos minutos cada día.

2.3.4 Trayectorias y ciclos

1. **Trayectorias:** calcula ΔU con la trayectoria que tenga Q y W completos; vale para todas las demás.
2. **Ciclo:** llena la tabla de estados (2.3.1).
3. Calcula W y Q de **cada** proceso (2.3.2).
4. $W_{neto} = \sum W$ (o $-$área del rectángulo si el ciclo es rectangular en P–V).
5. Q_{sum}: suma solo de los Q **positivos**.
6. $\eta = \frac{|W_{neto}|}{Q_{sum}}$.

2.3.5 Continuidad

1. Áreas con $A = \frac{\pi d^2}{4}$ (diámetros, no radios).
2. Gas: $\rho = \frac{P}{RT}$ con P absoluta y T en kelvin.
3. $\dot{m} = \rho v A$; si se bifurca, $\dot{m}_2 = \dot{m}_3 + \dot{m}_4$.
4. Líquido: $d_1^2 v_1 = d_2^2 v_2$ y, en la bifurcación, $d_2^2 v_2 = d_3^2 v_3 + d_4^2 v_4$.

2.3.6 Balance de energía en sistemas abiertos

1. Escribe $\dot{Q} + \dot{W} = \dot{m}(\Delta e_c + \Delta e_p + \Delta h)$ y tacha lo que sea cero (adiabático, sin trabajo, $\Delta e_p \approx 0$ o $\Delta e_c \approx 0$).
2. Despeja Δh en J/kg.
3. Pasa a temperatura con $\Delta T = \frac{\Delta h}{c_p}$ (o c para agua).
4. Si piden un área de salida: $\rho_2 = \frac{P_2}{RT_2}$ y $A_2 = \frac{\dot{m}}{\rho_2 v_2}$.

2.4 Ejemplo resuelto

Adaptado de: primer examen final, 2019-1, turno matutino, problema 2.

Un gas en un cilindro con émbolo está a $P_1 = 5$ bar y $V_1 = 0.5$ m³. Se le suministra calor a presión constante hasta duplicar su volumen; después se expande con $PV =$ constante hasta duplicar otra vez el volumen. Determine:

- a) el trabajo del proceso isobárico;
- b) el trabajo del segundo proceso;
- c) la presión final;
- d) el trabajo total;
- e) el diagrama P–V.

Resolución.

1. Datos en el SI: $P_1 = 5 \times 10^5$ Pa, $V_2 = 1$ m³, $V_3 = 2$ m³.
2. a) Isobárico: $W_{12} = -(5 \times 10^5)(1 - 0.5) = \mathbf{-250\ kJ}$.
3. b) Isotérmico ($PV =$ constante): $W_{23} = -P_2 V_2 \ln \frac{V_3}{V_2} = -(5 \times 10^5)(1) \ln 2 = \mathbf{-346.57\ kJ}$.
4. c) $P_3 = \frac{P_2 V_2}{V_3} = \frac{5 \times 10^5}{2} = \mathbf{250\ kPa}$.
5. d) $W_{total} = -250 - 346.57 = \mathbf{-596.57\ kJ}$ (negativo: el gas entregó trabajo).
6. e) Línea horizontal de $V = 0.5$ a 1 m³ a 500 kPa; luego una hipérbola que baja hasta (2 m³, 250 kPa).

La presión aumenta al bajar. En un **gas** encerrado, la presión se considera la misma en todo el gas.

Principio de Pascal (prensa hidráulica). Dos puntos al mismo nivel de un mismo líquido tienen la misma presión: $\frac{F}{A} = \frac{f}{a}$. El volumen desplazado se conserva: $A\,L = a\,\ell$.

Calorimetría.

- Calor sensible: $Q = mc\,\Delta T$.
- Calor latente: $Q = m\,h_{fus}$ (fusión) o $Q = m\,h_{vap}$ (vaporización).
- En un recipiente aislado: $\sum Q = 0$.

Modelos lineales con datos experimentales. Cuando el problema da una tabla y pide el «modelo matemático», se ajusta una recta por mínimos cuadrados:

$$m = \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{n\sum x^2 - (\sum x)^2}, \qquad b = \frac{\sum y - m\sum x}{n}$$

La **pendiente** es la propiedad física que se busca:

- en fluidos, $P_{man} = \gamma z$, así que la pendiente es γ;
- en calorimetría, $Q = (mc)\,T + b$, así que la pendiente es mc.

1.2 Cómo reconocer el problema

Si el enunciado dice…	Se trata de…	Procedimiento
tanque, manómetro en U, vacuómetro, barómetro	presiones por columnas	1.3.1
dos compartimientos con un medidor entre ellos	el medidor intermedio lee $P_A - P_B$	1.3.1
tubo en U y «se vierte agua en un brazo»	el mercurio baja z en un brazo y sube z en el otro: desnivel $2z$	1.3.1
varios líquidos apilados	columnas sucesivas, de arriba hacia abajo	1.3.1
«fuerza para levantar la tapa», «vacío parcial»	equilibrio de fuerzas: $P_{int}A + F = P_{atm}A$	1.3.2
prensa, émbolo, bloque encima	principio de Pascal	1.3.2
«¿flota?», esfera hueca	densidad promedio $\rho = m_T/V_T$ contra ρ_{agua}	1.3.2
tabla z contra P o T contra Q, «modelo matemático»	regresión lineal	1.3.3
«se mezclan», recipiente aislado, temperatura de equilibrio	$\sum Q = 0$	1.3.4

1.3 Procedimientos

1.3.1 Presiones por columnas

1. Dibuja el sistema y **numera los puntos**: fondo, superficie, salida del manómetro…

- **Compresión, rueda de paletas, trabajo de eje que entra:** $W > 0$.
- **En cualquier proceso de gas ideal:** $\Delta U = mc_v\Delta T$.
- **Ciclo:** $\Delta U_{ciclo} = 0$; si en el diagrama P–V gira en sentido horario, $W_{neto} = -$(área encerrada).

Tabla de procesos.

Proceso	Constante	$W = -\int P\,dV$	Q	ΔU
Isobárico	P	$-P(V_2 - V_1)$	$mc_p\Delta T$	$mc_v\Delta T$
Isométrico	V	0	$mc_v\Delta T$	$mc_v\Delta T$
Isotérmico	T	$-mRT\ln\frac{V_2}{V_1} = -P_1V_1\ln\frac{V_2}{V_1}$	$-W$	0
Adiabático	$Q = 0$	$\Delta U = \frac{P_2V_2 - P_1V_1}{\gamma - 1}$	0	$mc_v\Delta T$
Politrópico	PV^n	$\frac{P_2V_2 - P_1V_1}{n-1}$	$\Delta U - W$	$mc_v\Delta T$

Otras formas de energía.

- Trabajo de eje (rueda de paletas de potencia $\dot W$): $W_{eje} = +\dot W\,\Delta t$. Se **suma** al trabajo $-\int P\,dV$.
- Energía eléctrica (resistor alimentado con V e i): $E_{el} = V\,i\,\Delta t$. Es **calor** si el sistema es solo el gas y **trabajo eléctrico** si el resistor está dentro del sistema.

Ciclo y eficiencia.

$$W_{neto} = \sum W, \qquad Q_{sum} = \sum Q_{>0}, \qquad \eta = \frac{|W_{neto}|}{Q_{sum}}$$

2.1.2 Sistemas abiertos

Continuidad. El gasto másico en un conducto es

$$\dot m = \rho v A, \qquad A = \frac{\pi d^2}{4}$$

y, si es gas, $\rho = \frac{P}{RT}$. En régimen permanente, $\dot m_{entra} = \dot m_{sale}$; si el conducto se bifurca, $\dot m_2 = \dot m_3 + \dot m_4$. En un líquido, ρ es constante y $A_1v_1 = A_2v_2$.

Balance de energía. En régimen permanente:

$$\dot Q + \dot W = \dot m\,(\Delta e_c + \Delta e_p + \Delta h), \qquad \Delta e_c = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2}, \quad \Delta e_p = g(z_2 - z_1)$$

- Tobera, cascada o tubo adiabático **sin trabajo**: $0 = \Delta e_c + \Delta e_p + \Delta h$.
- Gas ideal: $\Delta h = c_p\Delta T$. Agua líquida: $\Delta h = c\,\Delta T$ con $c = 4186$ J/(kg K).
- Al mezclar Δh con $v^2/2$, todo va en **J/kg**, no en kJ/kg.

2.2 Cómo reconocer el problema

Resolución.

1. a) $P_{man} = -17$ kPa; $P_{abs} = 77 - 17 = \mathbf{60\ kPa}$.
2. b) Del aire (2) a la rama abierta (3): $P_2 - P_3 = -\rho_{Hg} g\,\Delta z$, de donde $\Delta z = \frac{60\,000 - 77\,000}{-(13\,600)(9.78)} = \mathbf{0.1278\ m}$.
3. c) Del fondo (1) a la superficie del líquido (2): $\gamma = \frac{60\,000 - 70\,000}{-0.4} = \mathbf{25\ 000\ N/m^3}$. Entonces $\rho = \frac{25\,000}{9.78} = 2556.24$ kg/m³ y $\delta = \mathbf{2.5562}$.
4. d) $h = \frac{77\,000}{(13\,600)(9.78)} = \mathbf{0.5789\ m}$ de Hg.

Este problema se ha repetido con otros datos en distintos semestres; véase el ejercicio 1.5.4.

1.5 Ejercicios de examen (resueltos)

Ejercicio 1.5.1 · Compartimientos A y B

Adaptado de: primer examen final colegiado 2012-1, tipo A, problema 1.

Una caja tiene dos compartimientos con gases:

- el manómetro 1 mide A respecto a la atmósfera: 1.5 bar;
- el vacuómetro 3 mide B respecto a la atmósfera: 0.25 bar;
- el medidor 2, montado en la pared entre A y B, lee $P_A - P_B$.

La altura barométrica es 60 cm de Hg ($\rho_{Hg} = 13\,600$ kg/m³) y $g = 9.78$ m/s². Determine:

- a) P_{abs} de A;
- b) P_{abs} de B;
- c) si el medidor 2 funciona como manómetro o como vacuómetro;
- d) su desnivel, si es un tubo en U con mercurio.

Resolución.

1. $P_{atm} = 13\,600(9.78)(0.6) = 79\,804.8$ Pa.
2. a) $P_A = 79\,804.8 + 1.5 \times 10^5 = \mathbf{229\ 804.8\ Pa}$.
3. b) $P_B = 79\,804.8 - 0.25 \times 10^5 = \mathbf{54\ 804.8\ Pa}$.
4. c) $P_A > P_B$: el medidor 2 registra una presión mayor que la de su entorno (B), así que es un **manómetro**.
5. d) $\Delta h = \frac{P_A - P_B}{\rho_{Hg} g} = \frac{175\,000}{13\,600(9.78)} = \mathbf{1.3157\ m}$.

Ejercicio 1.5.2 · Tapa con vacío parcial

Adaptado de: primer examen final colegiado 2012-2, tipo A, problema 1.

Un recipiente hermético tiene vacío parcial y una tapa de masa despreciable de 77 cm². Se requieren 480 N para levantarla y $P_{atm} = 10^5$ Pa. Determine la presión absoluta del aire dentro.

Resolución.

1. Equilibrio de la tapa a punto de abrirse: $P_{int} A + F = P_{atm} A$.
2. $A = 0.0077$ m², así que $P_{int} = 10^5 - \frac{480}{0.0077} = \mathbf{37\ 662.34\ Pa}$.

1.7 Errores frecuentes

1. **Restar presiones manométricas y absolutas mezcladas.** Convierte todo a absoluta antes de operar.
2. **Signo de la vacuométrica:** es presión por debajo de la atmosférica, $P_{abs} = P_{atm} - P_{vac}$.
3. **Unidades:** cm a m, y g/cm³ a kg/m³ (×1000), antes de sustituir.
4. **Valor de g y de P_{atm}:** se usan los del enunciado. Un problema a nivel del mar usa 101 325 Pa y, a veces, 9.8 m/s².
5. **Densidad relativa:** no tiene unidades; se escribe [1].
6. **Regresión:** «$P = f(z)$» significa $x = z$ y $y = P$.
7. **Columnas de gas:** no se suman.
8. **Tubo en U:** el desnivel es $2z$, no z.
9. **Prensa:** fuerzas y desplazamientos van con $(d/D)^2$ en sentidos opuestos. Usa diámetros, no radios.
10. **Volumen específico de un líquido:** $\rho = 1/v$.

1.8 Formulario de emergencia de la unidad

- $P_{abs} = P_{atm} + P_{man} \cdot P_{abs} = P_{atm} - P_{vac} \cdot P_2 - P_1 = -\rho g(z_2 - z_1)$
- $\gamma = \rho g \cdot \delta = \rho/1000 \cdot v = 1/\rho$
- $P_{atm} = \rho_{Hg} g h \cdot \rho_{Hg} = 13\,600$ kg/m³ · 1 atm = 101 325 Pa · 1 bar = 10^5 Pa
- $P = F/A \cdot A = \pi d^2/4 \cdot$ prensa: $\frac{F}{A} = \frac{f}{a}$ y $AL = a\ell$
- $Q = mc\Delta T \cdot Q = mh_{fus} \cdot \sum Q = 0$ en un sistema aislado
- Regresión: m y b (sección 1.1)

1.9 Procedimiento recomendado en el examen

1. Datos en unidades del SI, con las unidades entre corchetes.
2. Esquema con los puntos numerados.
3. La ecuación $P_2 - P_1 = -\rho g(z_2 - z_1)$, escrita **antes** de sustituir.
4. Si hay tabla, el modelo con unidades.
5. Cada resultado recuadrado.

Si no se encuentra el camino, escribe las ecuaciones generales ($P_{abs} = P_{atm} + P_{man}$, el gradiente entre dos puntos, o «pendiente = $\gamma = \rho g$»). El planteamiento correcto también cuenta.

Resolución.

1. El mercurio baja z en un brazo y sube z en el otro, así que el desnivel es $2z$.
2. En la interfaz: $\rho_{ag} g\, z_{ag} = \rho_{Hg} g\,(2z)$, de donde $z = \frac{z_{ag}}{2\delta_{Hg}} = \frac{0.204}{2(13.6)} = \mathbf{7.5\ mm}$.

Ejercicio 1.5.7 · Depósito con tres líquidos

Adaptado de: primer examen final colegiado 2013-2, tipo B, problema 1.

Un depósito cilíndrico ($r = 12$ cm) tiene gas arriba y tres líquidos inmiscibles. Un manómetro de mercurio conectado al gas marca 8 cm. De arriba hacia abajo:

- x: $\rho = 800$ kg/m³, 30 cm, con A en su fondo;
- y: $\nu = 0.001$ m³/kg, 20 cm, con B en su fondo;
- z: $\delta = 13.6$, 10 cm, con C en el fondo.

$g = 9.78$ y $P_{atm} = 78\,200$ Pa. Determine:

- a) P_{man} del gas;
- b) P_{man} en A;
- c) P_{man} en B;
- d) P_{abs} en C;
- e) la fuerza sobre el fondo.

Resolución.

1. a) $P_{gas} = 13\,600(9.78)(0.08) = \mathbf{10\ 640.64\ Pa}$.
2. b) $P_A = 10\,640.64 + 800(9.78)(0.3) = \mathbf{12\ 987.84\ Pa}$.
3. c) $\rho_y = 1/\nu = 1000$, así que $P_B = 12\,987.84 + 1000(9.78)(0.2) = \mathbf{14\ 943.84\ Pa}$.
4. d) $P_{man,C} = 14\,943.84 + 13\,600(9.78)(0.1) = 28\,244.64$ Pa, de donde $P_{abs,C} = \mathbf{106\ 444.64\ Pa}$.
5. e) $F = P_{abs,C}\,\pi r^2 = 106\,444.64\,\pi(0.12)^2 = \mathbf{4815.44\ N}$.

Ejercicio 1.5.8 · ¿Flota la esfera?

Adaptado de: primer examen final colegiado 2014-1, tipo B, problema 1.

Una esfera hueca de acero llena de aire pesa 7.5 N y tiene un volumen total de 1 L. $\rho_{acero} = 7800$ kg/m³, $\rho_{aire} = 1$ kg/m³ y $g = 9.78$. Determine:

- a) la masa del aire, en gramos;
- b) la densidad total, y si flota en agua.

Resolución.

1. $m_T = \frac{7.5}{9.78} = 0.7669$ kg.
2. Plantea el sistema $V_{ac} + V_{aire} = 0.001$ y $7800V_{ac} + V_{aire} = 0.7669$. Resulta $V_{aire} = 9.018 \times 10^{-4}$ m³.
3. a) $m_{aire} = \mathbf{0.9018\ g}$.
4. b) $\rho_T = \frac{0.7669}{0.001} = \mathbf{766.9\ kg/m^3}$, menor que 1000: **sí flota**.

Ejercicio 1.5.9 · Masa de hielo

Adaptado de: primer examen final colegiado 2014-2, tipo A, problema 2 a).

En un recipiente adiabático se mezcla hielo a −15 °C con 560 g de agua a 30 °C, y el equilibrio queda en 20 °C. Datos: $c_{hielo} = 2220$, $c_{agua} = 4186$ J/(kg °C), $h_{fus} = 333$ kJ/kg. Determine la masa de hielo. (La parte de entropía de este problema está en la Unidad 3.)

Resolución.

1. Hielo: $m_H[2220(15) + 333\,000 + 4186(20)] = 450\,020\, m_H$.
2. Agua: $0.56(4186)(20 - 30) = -23\,441.6$ J.
3. $m_H = \frac{23\,441.6}{450\,020} = \mathbf{0.0521\ kg}$ (52.1 g).

Ejercicio 1.5.10 · Níquel y agua

Adaptado de: primer examen final colegiado 2012-1, tipo B, problema 2 a).

En un recipiente aislado se mezclan 180 g de níquel a 22 °C (la temperatura ambiente) con 60 g de agua a 50 °C. $c_{Ni} = 445$ y $c_{agua} = 4186$ J/(kg K). Determine la temperatura de equilibrio.

Resolución.

1. $T = \frac{m_N c_N T_N + m_a c_a T_a}{m_N c_N + m_a c_a}$, con $m_N c_N = 80.1$ J/°C y $m_a c_a = 251.16$ J/°C.
2. $T = \frac{1762.2 + 12\,558}{331.26} = \mathbf{43.23\ °C}$ (316.38 K).

1.6 Ejercicios propuestos

Resuélvelos sin ver la solución. Las resoluciones completas están en el **Apéndice E, sección E.1**.

Ejercicio propuesto 1.6.1

Adaptado de: segundo examen final 2019-2, problema 1.

Se midió la presión manométrica a distintas profundidades:

- z [m]: 0, 0.03, 0.06, 0.09, 0.12, 0.15
- P_{man} [Pa]: 0, 285, 590, 875, 1170, 1480

Determine:

- a) el modelo $P_{man} = f(z)$;
- b) γ, ρ, δ y ν del fluido;
- c) la profundidad donde $P_{abs} = 78\,100$ Pa, si $P_{atm} = 77\,100$ Pa.

Resultado: $P_{man} = 9847.62\, z - 5.238$; $\rho = 1006.9$ kg/m³; $z = 0.102$ m.

→ Resolución en el Apéndice E, p. 84.

Ejercicio propuesto 1.6.2

Adaptado de: primer examen final 2020-1, turno vespertino, problema 1.

Con diez lecturas, $h = 0.05, 0.10, \ldots, 0.50$ m y $P_{man} = 490.5, 981, \ldots, 4905$ Pa, determine la densidad del fluido.

Resultado: 1003.07 kg/m³ con $g = 9.78$ (1000 kg/m³ con $g = 9.81$).

→ Resolución en el Apéndice E, p. 84.