

### Ejercicio 5.15.4

← volver

1.  $\Phi_1 = 0.1 \cdot \frac{\pi(0.05)^2}{4} = 1.9635 \times 10^{-4} \text{ Wb}$ ;  $\Phi_2 = 0$ .
2.  $\Delta t = \frac{N|\Delta\Phi|}{\varepsilon} = \frac{400(1.9635 \times 10^{-4})}{5000} = 1.57 \times 10^{-5} \text{ s}$  (0.0157 ms).

## E.6 · Unidad 6 · Circuitos eléctricos de corriente directa y capacitores

### Ejercicio 6.6.1

← volver

1. a) Rama derecha = 12;  $12 \parallel 12 = 6$ , así que  $R_{af} = 5 + 6 + 3 = 14 \Omega$ .
2. b)  $i = \frac{28}{14} = 2 \text{ A}$ .
3. c)  $V_{be} = 6(2) = 12 \text{ V}$ .
4. d)  $i_1 = \frac{12}{12} = 1 \text{ A}$ .
5. e)  $E = 4(1)^2(180) = 720 \text{ J}$ .

### Ejercicio 6.6.2

← volver

1.  $R_{123} = 18$ ;  $R_{eq} = \frac{18(15)}{33} = 8.18 \Omega$ , así que  $i = 1.467 \text{ A}$ .
2.  $i_4 = \frac{12}{15} = 0.8 \text{ A}$ ;  $i_{123} = \frac{12}{18} = 0.667 \text{ A}$ .
3.  $V_1 = 6.67 \text{ V}$ ,  $V_2 = 3.33 \text{ V}$ ,  $V_3 = 2.00 \text{ V}$ ,  $V_4 = 12 \text{ V}$ . Comprobación:  $6.67 + 3.33 + 2 = 12$ .

### Ejercicio 6.6.3

← volver

1.  $i_3 = \frac{V_{be}}{R_4} = \frac{16}{2} = 8 \text{ A}$ .
2.  $P_{R1} = R_1 i_1^2$ , de donde  $i_1 = \sqrt{20/5} = 2 \text{ A}$ .
3. LVK en la malla de la figura:  $-40 + 4i_2 + 2i_3 = 0$ , de donde  $i_2 = \frac{40-16}{4} = 6 \text{ A}$ .

### Ejercicio 6.6.4

← volver

1. Malla izquierda:  $-20 + 10\,000I_1 + 15\,000I_3 + 10\,000I_1 = 0$ , es decir,  $20\,000I_1 + 15\,000I_3 = 20$ .
2. Malla derecha:  $20\,000I_2 - 15 - 15\,000I_3 = 0$ .
3. Nodo:  $I_1 = I_2 + I_3$ .
4. Con la calculadora:  $I_1 = 0.925 \text{ mA}$ ,  $I_2 = 0.825 \text{ mA}$ ,  $I_3 = 0.1 \text{ mA}$ .

### Ejercicio 6.6.5

← volver

1. Plantea LCK en un nodo y LVK en las dos mallas (6.3.3) y resuelve el sistema:  $i_1 = 3 \text{ A}$ ,  $i_2 = 1.667 \text{ A}$ ,  $i_3 = -1.333 \text{ A}$ . El signo menos indica que  $i_3$  circula al revés de la flecha.
2.  $P_{\varepsilon 1} = 6(3) = 18 \text{ W}$ .

## E.7 · Unidad 7 · Circuitos eléctricos de corriente alterna (lo mínimo)

### Ejercicio 7.6.1

← volver

1. Sin  $\xi_2$ , la fuente  $\xi_1$  ve una resistencia de  $R = 35 \text{ k}\Omega$ .
2.  $I = \frac{20 \text{ sen } \omega t}{35\,000} = 0.571 \text{ sen } \omega t \text{ mA}$ .

$R_2 = 20 \text{ k}\Omega$ . Determine  $I_1$ ,  $I_2$  e  $I_3$  por Kirchhoff. (El inciso c), con fuente alterna, está en la Unidad 7.)

**Resultado:**  $I_1 = 0.925 \text{ mA}$ ,  $I_2 = 0.825 \text{ mA}$ ,  $I_3 = 0.1 \text{ mA}$ .

→ Resolución en el Apéndice E, p. 88.

### Ejercicio propuesto 6.6.5

Adaptado de: segundo examen final 2020-1, problema 3.

En un circuito de dos mallas con dos fuentes, determine  $i_1$ ,  $i_2$ ,  $i_3$  y la potencia de  $\varepsilon_1$ . Los valores de la figura original no se reproducen aquí; el ejercicio se incluye por su resultado, útil para comprobar el método de 6.3.3.

**Resultado:**  $i_1 = 3 \text{ A}$ ,  $i_2 = 1.667 \text{ A}$ ,  $i_3 = -1.333 \text{ A}$ ;  $P_{\varepsilon 1} = 18 \text{ W}$ .

→ Resolución en el Apéndice E, p. 88.

## 6.7 Errores frecuentes

1. **Serie solo si no hay nodo en medio.** Dos resistencias en la misma «línea» con un cable que sale entre ellas **no** están en serie.
2. **Paralelo:** de dos iguales,  $R/2$ ; de dos distintas, producto entre suma (no la suma).
3. **Minutos a segundos** en la energía.
4. **Prefijos:**  $\text{k}\Omega$ ,  $\text{mA}$ ,  $\mu\text{F}$ ,  $\mu\text{C}$  se escriben con potencias de 10.
5. **Corriente negativa en Kirchhoff:** no es un error; solo indica el sentido contrario a la flecha.
6. **Corriente de la rama:** la potencia de una resistencia se calcula con la  $i$  de su rama, no con la total (también para «¿cuál disipa más?»).
7. **Capacitores al revés que resistencias:** en paralelo se suman; en serie, los inversos.
8. **Capacitores en serie** comparten **carga**, no voltaje; en paralelo comparten **voltaje**.
9. **Orden de subíndices:**  $V_{cf} = V_c - V_f$ ; el orden da el signo (véase el Apéndice C.6).
10. **Resistencia interna:** la fem da  $\varepsilon i$ ; al resto del circuito llega  $(\varepsilon - ri)i$ .

## 6.8 Formulario de emergencia de la unidad

- $V = Ri \cdot R = \rho L/A \cdot \text{serie } \sum R \cdot \text{paralelo } \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$
- $P = \varepsilon i = Ri^2 = V^2/R \cdot E = P\Delta t$
- LCK: entra = sale · LVK:  $-\varepsilon + \sum Ri = 0$  (signos de 6.3.3)
- $q = CV \cdot C = \varepsilon A/d \cdot \text{capacitores: paralelo } \sum C_i, \text{ serie } \frac{1}{C} = \sum \frac{1}{C_i} \cdot U = \frac{1}{2} CV^2$
- Inductores: como resistencias (Unidad 5)

## 6.9 Procedimiento recomendado en el examen

1. Nodos con letras en el dibujo.
2. Cada reducción con nombre y número.
3.  $i_{total}$ , luego el voltaje de cada bloque y luego las corrientes de rama. En capacitores:  $q_{total}$ , luego el  $V$  de cada bloque y luego la  $q$  de cada uno.
4. Comprobación de la suma de corrientes (o de cargas).
5. Cada resultado recuadrado.

4.  $\Delta S_{BC} = mc_p \ln \frac{121.88}{609.42} = -46.85 \text{ J/K}$ .  
 5. Ciclo:  $\Delta S_{CA} = -(13.38 - 46.85) = +33.47 \text{ J/K}$ .

#### Ejercicio 3.6.4

← volver

1. Las temperaturas límite del ciclo del ejercicio 2.6.2 son 837.4 K y 523.37 K.  
 2.  $\eta_C = 1 - \frac{523.37}{837.4} = 0.375$ .

#### Ejercicio 3.6.5

← volver

1.  $\Delta s = c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{p_2}{p_1}$ .  
 2.  $\Delta s = 1005 \ln \frac{300}{320} - 287 \ln \frac{1}{5} = -64.86 + 461.91 = 397.05 \text{ J/(kg K)}$ .

### E.4 · Unidad 4 · Ciclos termodinámicos: Otto, Diesel y Rankine

#### Ejercicio 4.6.1

← volver

1. En Otto,  $\eta = 1 - r^{1-k} = 1 - 12^{-0.4} = 0.630$ .

#### Ejercicio 4.6.2

← volver

1. a)  $T_2 = T_1 r^{k-1} = 298.15(15)^{0.4} = 880.8 \text{ K}$ .  
 2. b)  $r_c = \frac{T_3}{T_2} = \frac{1110}{880.8} = 1.260$ .  
 3. c)  $q_{23} = c_p(T_3 - T_2) = 1003.7(1110 - 880.8) = 230.1 \text{ kJ/kg}$ .  
 4. d) Con  $T_4 = 412.16 \text{ K}$  (ejercicio 4.5.2):  $q_{41} = c_v(T_1 - T_4) = 717(298.15 - 412.16) = -81.7 \text{ kJ/kg}$ , así que  $\eta = 1 - \frac{81.7}{230.1} = 0.645$ .

#### Ejercicio 4.6.3

← volver

1. Solo entra calor en 1→2:  $q_{sum} = 999.49 \text{ kJ/kg}$  (ejercicio 4.5.5).  
 2.  $\eta = \frac{|w_{neto}|}{q_{sum}} = \frac{244.66}{999.49} = 24.5 \%$ .

### E.5A · Unidad 5A · Electromagnetismo — Parte A: electrostática y fuerza sobre cargas en movimiento

#### Ejercicio 5.6.1

← volver

1. a)  $\vec{F}_e = q_e \vec{E}_A = (-1.6 \times 10^{-19})(135 \times 10^6 \hat{j}) = -2.16 \times 10^{-11} \hat{j} \text{ N}$ .  
 2.  $(-\hat{i}) \times (-\hat{j}) = \hat{i} \times \hat{j} = \hat{k}$ , así que  $\vec{v} \times \vec{B} = (2.9 \times 10^6)(0.625) \hat{k} = 1.8125 \times 10^6 \hat{k}$ .  
 3. b)  $\vec{F}_m = (-6 \times 10^{-6})(1.8125 \times 10^6) \hat{k} = -10.875 \hat{k} \text{ N}$ .

#### Ejercicio 5.6.2

← volver

1. a)  $\vec{r} = (3, -4, 0)$  y  $r = 5 \text{ m}$ , así que  $\vec{E} = \frac{9 \times 10^9 (2 \times 10^{-6})}{25} \cdot \frac{(3, -4)}{5} = (432 \hat{i} - 576 \hat{j}) \text{ N/C}$ .  
 2. b)  $V_{BC} = kq_1 \left( \frac{1}{2} - \frac{1}{6} \right) + kq_2 \left( \frac{1}{6} - \frac{1}{2} \right) = 6000 - 3000 = 3000 \text{ V}$ .  
 3. c)  $B = \frac{4\pi \times 10^{-7} (10)}{2\pi(1)} = 2 \times 10^{-6} \text{ T}$ ; con el sentido de la corriente de la figura,  $\vec{B} = -2 \times 10^{-6} \hat{k} \text{ T}$ .

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

**Objetivo (programa de la asignatura).** El alumno realizará balances de energía en circuitos eléctricos sencillos, de corriente alterna.

#### Instrucciones de emergencia

- **Frecuencia:** aparece como inciso en 2 de los 12 finales colegiados de 2012 a 2014, siempre al final de un problema de la Unidad 6.
- **Tiempo:** de 30 a 45 minutos para esta unidad.
- **Ruta corta:**
  1. Lee la sección 7.1 (10 min).
  2. Sigue el ejemplo 7.4 tapando la resolución.
  3. Resuelve el ejercicio 7.5.1 (10 min).

### 7.1 Conceptos y expresiones

**Fuente alterna en un circuito resistivo.** La fuente de corriente directa se sustituye por un voltaje que varía con el tiempo:

$$v(t) = V_m \cos(\omega t)$$

donde  $V_m$  es el valor **pico** (máximo) y  $\omega$  la frecuencia angular, en [rad/s];  $\omega = 2\pi f$ .

Si el circuito solo tiene resistencias, la resistencia equivalente  $R_{eq}$  se obtiene igual que en la Unidad 6 y la corriente sigue al voltaje en cada instante:

$$i(t) = \frac{v(t)}{R_{eq}} = I_m \cos(\omega t), \quad I_m = \frac{V_m}{R_{eq}}$$

**Valores eficaces (RMS).** Son los valores de corriente directa que disiparían la misma potencia media en una resistencia:

$$V_{ef} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}, \quad I_{ef} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{V_{ef}}{R_{eq}}$$

**Potencia media en una resistencia.** Con los valores eficaces, las expresiones son las de corriente directa:  $P = V_{ef} I_{ef} = R I_{ef}^2$ .

### 7.2 Cómo reconocer el problema

| Si el enunciado dice...                                       | Se trata de...                                 | Procedimiento |
|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------|
| «si $\varepsilon$ se cambia por $v(t) = V_m \cos(\omega t)$ » | el mismo circuito resistivo con fuente alterna | 7.3           |
| «corriente eficaz», «valor RMS»                               | $I_{ef} = \frac{V_m}{\sqrt{2} R_{eq}}$         | 7.3           |

## Apéndice E · Resoluciones de los ejercicios propuestos

### E.1 · Unidad 1 · Conceptos fundamentales: presión, fluidos y calorimetría

#### Ejercicio 1.6.1

← volver

1. Regresión:  $m = 9847.62 \text{ Pa/m}$ ,  $b = -5.238 \text{ Pa}$ .
2.  $\gamma = 9847.62 \text{ N/m}^3$ ,  $\rho = \frac{9847.62}{9.78} = 1006.9 \text{ kg/m}^3$ ,  $\delta = 1.0069$ ,  $v = 9.931 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{kg}$ .
3.  $P_{\text{man}} = 78\,100 - 77\,100 = 1000 \text{ Pa}$ , de donde  $z = \frac{1000+5.238}{9847.62} = \mathbf{0.102 \text{ m}}$ .

#### Ejercicio 1.6.2

← volver

1. Regresión:  $m = 9810 \text{ Pa/m}$ ,  $b \approx 0$ .
2.  $\rho = m/g$ : con  $g = 9.78$ ,  $\mathbf{1003.07 \text{ kg/m}^3}$ ; con  $g = 9.81$ ,  $1000 \text{ kg/m}^3$ . Indica cuál usas.

#### Ejercicio 1.6.3

← volver

1.  $\frac{mg}{A_1} = \rho_{ac}gh$ , de donde  $h = \frac{\delta \cdot 1000 \cdot a^3}{A_1 \rho_{ac}} = \frac{7.85(1000)(0.05)^3}{(0.01)(920)} = \mathbf{0.1067 \text{ m}}$ .
2.  $g = \frac{\gamma}{\rho} = \frac{76\,773}{7850} = \mathbf{9.78 \text{ m/s}^2}$ .

#### Ejercicio 1.6.4

← volver

1.  $P_{\text{atm}} = 13\,600(9.78)(0.56) = 74\,484.48 \text{ Pa}$ .
2.  $P_A = 95\,000 + 74\,484.48 = \mathbf{169.48 \text{ kPa}}$ .
3.  $\rho_{\text{gli}} = \frac{0.3783}{3 \times 10^{-4}} = 1261 \text{ kg/m}^3$ ; con la columna vacuométrica,  $P_B = 169\,484.48 - 1261(9.78)(0.4) = \mathbf{164.55 \text{ kPa}}$ .

#### Ejercicio 1.6.5

← volver

1. Regresión  $Q = f(T)$ :  $m = 422.034 \text{ J/}^\circ\text{C}$ ,  $b = 2874.58 \text{ J}$ .
2.  $m_{\text{hielo}} = \frac{422.034}{2220} = \mathbf{0.190 \text{ kg}}$ .
3.  $Q = 0.190(333\,000) = \mathbf{63.3 \text{ kJ}}$ .

#### Ejercicio 1.6.6

← volver

1.  $Q = 1938.56 T - 55\,703.72$ .
2.  $c = \frac{1938.56}{0.463} = 4186.96 \text{ J/(kg }^\circ\text{C)}$ , así que es **agua**.
3.  $Q(35) = 1938.56(35) - 55\,703.72 = \mathbf{12\,146 \text{ J}}$ .

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

#### Ejercicio 2.6.1

← volver

1. Volumen constante:  $\frac{P}{mT}$  es constante.
2. a)  $P_2 = P_1 \frac{m_2}{m_1} \frac{T_2}{T_1} = 5 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{358.15}{298.15} = \mathbf{3.0031 \text{ atm}} = 304\,289 \text{ Pa}$ .
3. b) Sin sacar gas:  $P_3 = 5 \cdot \frac{358.15}{298.15} = \mathbf{6.0062 \text{ atm}} = 608\,578 \text{ Pa}$ .

#### Ejercicio 2.6.2

← volver

### 7.6 Ejercicios propuestos

Resuélvelo sin ver la solución. La resolución completa está en el **Apéndice E, sección E.7**.

#### Ejercicio propuesto 7.6.1

Adaptado de: segundo examen final 2019-2, problema 4 c).

En el circuito del ejercicio propuesto 6.6.4 se elimina  $\xi_2$  y  $\xi_1$  se sustituye por  $\xi_1 = 20 \text{ sen } \omega t \text{ V}$ . Determine la corriente.

**Resultado:**  $I = 0.571 \text{ sen } \omega t \text{ mA}$ .

→ Resolución en el Apéndice E, p. 88.

### 7.7 Errores frecuentes

1. **Pico contra eficaz:** en  $v(t) = 12 \cos(200\pi t)$ , el pico es 12; el eficaz es  $12/\sqrt{2}$ , no 12.
2. **No recalculer el circuito:** la resistencia equivalente es la misma que con corriente directa; solo cambia la fuente.
3. **Dividir entre  $\sqrt{2}$  dos veces:** si se pasa  $V_m$  a  $V_{ef}$ , la corriente que resulta ya es eficaz.
4. **La frecuencia no interviene** en un circuito solo con resistencias:  $\omega$  se conserva en  $i(t)$ , pero no cambia los valores eficaces.

### 7.8 Formulario de emergencia de la unidad

- $v(t) = V_m \cos(\omega t) \cdot \omega = 2\pi f \cdot i(t) = v(t)/R_{eq}$
- $V_{ef} = V_m/\sqrt{2} \cdot I_{ef} = I_m/\sqrt{2} = V_{ef}/R_{eq}$
- $P = V_{ef}I_{ef} = RI_{ef}^2$

### 7.9 Procedimiento recomendado en el examen

1. Copia la  $R_{eq}$  del inciso anterior.
2. Escribe  $i(t)$  completa, con su función del tiempo.
3. Indica explícitamente cuál valor es pico y cuál es eficaz.
4. Recuadra el resultado.

**C.5B · Unidad 5B · Electromagnetismo — Parte B: campo magnético e inductancia**

**Final colegiado 2014-2, tipo B, problema 4 b):** en la resolución publicada aparece  $L_{ab} = 0.5 \text{ H}$  (la figura indica  $0.05 \text{ H}$ ) y, con ese dato,  $L_2 = 0.3 \text{ H}$  y  $L_1 = 0.6 \text{ H}$ . El método es el mismo; con el valor de la figura, los valores correctos son  $L_2 = 0.975 \text{ H}$  y  $L_1 = 1.95 \text{ H}$ .

**C.6 · Unidad 6 · Circuitos eléctricos de corriente directa y capacitores**

**Final colegiado 2013-1, tipo A, problema 5 b):** en la resolución publicada aparece  $\varepsilon = R_{bc}I$ ; la expresión correcta es  $\varepsilon = R_{ac}I$ . El valor numérico,  $I = 10 \text{ A}$ , es correcto.

**Final colegiado 2014-2, tipo A, problema 3 e):** en la resolución publicada aparece  $+10 \text{ V}$ , que corresponde a  $V_{fc}$ ; el valor correcto es  $V_{cf} = -10 \text{ V}$ .

**Final colegiado 2014-2, tipo B, problema 4 b):** véase el Apéndice C.5B (valor de la inductancia entre a y b).

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

| Examen         | Termodinámica                                                                        | Electromagnetismo                                                                                         |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2012-1, tipo A | manómetro y vacuómetro · cascada (sistema abierto) · ciclo Diesel                    | alambre y campo uniforme · circuito · carga a partir de $\vec{E}$                                         |
| 2012-2, tipo A | tapa con vacío · primera ley por trayectorias · ciclo Otto                           | campo y trabajo para mover una carga · alambre y solenoide, $q\vec{v} \times \vec{B}$                     |
| 2013-1, tipo A | tanque esférico (volumen específico) · politrópico · ciclo Diesel                    | placas paralelas y $q\vec{v} \times \vec{B}$ · circuito                                                   |
| 2013-2, tipo A | pistón con resistor · ciclo isotérmico-isométrico                                    | circuito con dos baterías · solenoide y alambre, flujo                                                    |
| 2014-1, tipo A | mercurio y agua · rueda de paletas y entropía · ciclo con tabla                      | circuito · solenoide y alambre                                                                            |
| 2014-2, tipo A | tanque con manómetro y barómetro · hielo y agua con entropía                         | circuito · solenoide y alambre que anula $B$                                                              |
| 2012-1, tipo B | hidrógeno con rueda de paletas · níquel y agua con entropía · refrigerador de Carnot | Coulomb, potencial y campo · solenoide, inductancia en serie                                              |
| 2012-2, tipo B | prensa hidráulica · continuidad en tubería · isotérmico y entropía                   | energía potencial de un protón · capacitores · alambre y solenoide                                        |
| 2013-1, tipo B | tubo en U · helio · fusión de plata (entropía) · ciclo Rankine                       | capacitores · dos conductores: campo y fuerza                                                             |
| 2013-2, tipo B | depósito con tres líquidos · máquina térmica y Clausius                              | circuito con corriente eficaz · alambre y partícula alfa                                                  |
| 2014-1, tipo B | esfera hueca (¿flota?) · isobárico con moles · aire acondicionado de Carnot          | cargas a partir de $\vec{E}$ · conductor en un imán                                                       |
| 2014-2, tipo B | tobera adiabática · ciclo Otto                                                       | cargas: campo, fuerza, potencial, energía, $q\vec{v} \times \vec{B}$ · capacitores, inductores y circuito |

Si no se encuentra el camino, escribe las ecuaciones LCK y LVK aunque no se resuelvan, y dibuja el circuito reducido. El planteamiento correcto también cuenta.

**Ejercicio 5.6.3**

← volver

1.  $E_1 = \frac{9 \times 10^9 (1.6 \times 10^{-6})}{0.4^2} = 90\,000 \text{ N/C}$  en  $+\hat{i}$  (positiva, se aleja).
2.  $E_2 = \frac{9 \times 10^9 (1.6 \times 10^{-6})}{0.3^2} = 160\,000 \text{ N/C}$  en  $-\hat{j}$  (negativa, hacia ella).
3. a)  $\vec{F} = q_p \vec{E} = (0.09 \hat{i} - 0.16 \hat{j}) \text{ N}$ .
4. b)  $\vec{F}_m = 1.6 \times 10^{-6} (25)(0.6) \hat{i} \times \hat{j} = 24 \times 10^{-6} \hat{k} \text{ N}$ .

**Ejercicio 5.6.4**

← volver

1. b)  $C = \frac{8.85 \times 10^{-12} (11.3)}{10^{-4}} = 1 \mu\text{F}$ , así que  $V_{BC} = \frac{20 \times 10^{-6}}{10^{-6}} = 20 \text{ V}$ .
2. c)  $B = \frac{4\pi \times 10^{-7} (2)}{2\pi (1.25)} = 3.2 \times 10^{-7} \text{ T}$ , en  $+\hat{i}$ .
3. Con  $\vec{B} = (3.2 \times 10^{-7}, 0, 0) \text{ T}$  y  $\vec{v}$  en m/s:  $\vec{v} \times \vec{B} = (0, 0.0192, -0.0128)$ .
4. d)  $\vec{F} = -1.6 \times 10^{-19} (0, 0.0192, -0.0128) = (-3.072 \times 10^{-21} \hat{j} + 2.048 \times 10^{-21} \hat{k}) \text{ N}$ .

**Ejercicio 5.6.5**

← volver

1. En el punto medio, los campos de las dos cargas se suman en la misma dirección solo si tienen **signos contrarios**.
2.  $E_A = 2k \frac{q}{r^2}$  con  $r = 0.1 \text{ m}$ , así que  $q = \frac{3.6 \times 10^6 (0.01)}{2(9 \times 10^9)} = 2 \mu\text{C}$ ;  $q_1 = 2 \mu\text{C}$  y  $q_2 = -2 \mu\text{C}$ .

**E.5B · Unidad 5B · Electromagnetismo – Parte B: campo magnético e inductancia****Ejercicio 5.15.1**

← volver

1. a)  $B = \frac{4\pi \times 10^{-7} (2000)(3)}{0.16} = 0.04712 \hat{i} \text{ T}$ .
2. b)  $\Phi = 0.04712 (3.1416 \times 10^{-4}) = 14.80 \mu\text{Wb}$ .
3. c)  $L = \frac{4\pi \times 10^{-7} (2000)^2 (3.1416 \times 10^{-4})}{0.16} = 9.8696 \text{ mH}$ . Comprobación:  $\frac{2000(14.80 \times 10^{-6})}{3} = 9.87 \text{ mH}$ .
4. d)  $L_{eq} = 9.87 + 5 = 14.87 \text{ mH}$ .
5. e)  $|\mathcal{E}| = 9.8696 \times 10^{-3} (100) = 0.987 \text{ V}$ ; por Lenz,  $V_A < V_B$ , así que  $V_{AB} = -0.987 \text{ V}$ .

**Ejercicio 5.15.2**

← volver

1.  $B = \frac{4\pi \times 10^{-7} (300)(12)}{0.3} = 0.01508 \text{ T}$ . Por el sentido de la figura, la resolución publicada lo escribe como  $-0.015 \hat{i} \text{ T}$ .
2.  $A = \pi (0.0125)^2 = 4.909 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ , así que  $L = \frac{4\pi \times 10^{-7} (300)^2 (4.909 \times 10^{-4})}{0.3} = 0.185 \text{ mH}$ .
3.  $U = \frac{1}{2} (1.8506 \times 10^{-4}) (12)^2 = 13.32 \text{ mJ}$ .

**Ejercicio 5.15.3**

← volver

1. a)  $\ell = \frac{\mu_0 N^2 \pi d^2}{4L} = \frac{4\pi \times 10^{-7} (760)^2 \pi (0.025)^2}{4(1.5491 \times 10^{-3})} = 0.23 \text{ m}$ .
2. b)  $i = \sqrt{\frac{2(4 \times 10^{-3})}{1.5491 \times 10^{-3}}} = 2.2725 \text{ A}$ , así que  $P = 40(2.2725) = 90.9 \text{ W}$ .

| Si el enunciado dice...                                    | Se trata de...                              | Procedimiento |
|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------|
| «sin la segunda fuente y con $\xi_1 = V_m \sin \omega t$ » | una sola fuente alterna:<br>$i(t) = v(t)/R$ | 7.3           |

### 7.3 Procedimiento

1. Reduce el circuito como en la Unidad 6 hasta la resistencia que ve la fuente. Casi siempre ya se calculó en un inciso anterior.
2. Identifica el valor pico  $V_m$ : es el número que multiplica al coseno (o al seno).
3. Escribe  $i(t) = \frac{v(t)}{R_{eq}}$ , con la misma función del tiempo.
4. Calcula el eficaz:  $I_{ef} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$ , o bien  $V_{ef} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$  y después  $I_{ef} = \frac{V_{ef}}{R_{eq}}$ .
5. Si se pide la corriente en una rama que no es la de la fuente, reparte como en la Unidad 6 usando valores eficaces.

### 7.4 Ejemplo resuelto

Adaptado de: primer examen final colegiado 2013-2, tipo B, problema 3 e).

En el circuito del ejercicio 6.5.6 ( $R_{ed} = 10 \Omega$ ;  $R_1 = 6 \Omega$  está en la rama de la fuente), la fuente  $\varepsilon = 30$  V se cambia por  $v(t) = 12 \cos(200\pi t)$  V. Determine la corriente eficaz en  $R_1$ .

#### Resolución.

1. La resistencia que ve la fuente ya se conoce:  $R_{ed} = 10 \Omega$ , y  $R_1$  lleva la corriente total.
2.  $i(t) = \frac{12 \cos(200\pi t)}{10} = 1.2 \cos(200\pi t)$  A.
3.  $I_{ef} = \frac{1.2}{\sqrt{2}} = \mathbf{0.8485 \text{ A}}$ .
4. Por el otro camino:  $V_{ef} = \frac{12}{\sqrt{2}} = 8.485$  V, dividido entre  $10 \Omega$ , da el mismo resultado.

### 7.5 Ejercicios de examen (resueltos)

#### Ejercicio 7.5.1 · Corriente eficaz con tres resistores en paralelo

Adaptado de: primer examen final colegiado 2014-1, tipo A, problema 4 d).

- El circuito del ejercicio 6.5.4: tres resistores de  $150 \Omega$  en paralelo,  $R_{eq} = 50 \Omega$ .
- La fuente  $\varepsilon = 1.5$  V se cambia por  $v(t) = 2.5 \cos(120\pi t)$  V.

Determine la corriente eficaz.

#### Resolución.

1.  $V_{ef} = \frac{2.5}{\sqrt{2}} = 1.768$  V.
2.  $I_{ef} = \frac{1.768}{50} = \mathbf{0.0354 \text{ A}}$ .

1.  $mR = \frac{15\,000(0.05)}{523.37} = 1.433 \text{ J/K}$ .
2. Estado 2:  $P_2 = 15\,000 \text{ Pa}$ ;  $T_2 = \frac{15\,000(0.08)}{1.433} = 837.4 \text{ K}$ .
3. Estado 3:  $T_3 = 837.4 \text{ K}$ ;  $V_3 = \frac{1.433(837.4)}{8000} = 0.15 \text{ m}^3$ .
4. Estado 4:  $V_4 = 0.15 \text{ m}^3$ ;  $T_4 = 523.37 \text{ K}$ ;  $P_4 = \frac{1.433(523.37)}{0.15} = 5000 \text{ Pa}$ .
5. b)  $W_{23} = -mRT_2 \ln \frac{V_3}{V_2} = -1.433(837.4) \ln \frac{0.15}{0.08} = \mathbf{-754.33 \text{ J}}$ .
6. c)  $W_{41} = -mRT_1 \ln \frac{0.05}{0.15} = +823.95 \text{ J}$ , así que  $Q_{41} = -W_{41} = \mathbf{-823.95 \text{ J}}$  (rechaza calor).

#### Ejercicio 2.6.3

← volver

1. a)  $m = \frac{V_1}{v_1} = \frac{10^{-3}}{1.2} = \mathbf{8.333 \times 10^{-4} \text{ kg}}$ .
2. b)  $T = \frac{PV}{mR}$ :  $T_1 = 321.95$ ,  $T_2 = 1254.36$ ,  $T_3 = 10\,034.8$ ,  $T_4 = 2575.6 \text{ K}$ .
3. c)  $W_{neto} = -(300\,000 - 77\,000)(8 - 1) \times 10^{-3} = \mathbf{-1561 \text{ J}}$ .
4. d) Entra calor en  $1 \rightarrow 2$  (isométrico) y en  $2 \rightarrow 3$  (isobárico):  $Q_{12} = mc_v(T_2 - T_1) = 557.1 \text{ J}$ ;  
 $Q_{23} = mc_p(T_3 - T_2) = 7346.3 \text{ J}$ ;  $Q_{sum} = \mathbf{7903.5 \text{ J}}$ .
5. e)  $\eta = \frac{1561}{7903.5} = \mathbf{0.1975}$  (19.75 %).

#### Ejercicio 2.6.4

← volver

1.  $\rho_1 = \frac{P_1}{RT_1} = \frac{5 \times 10^5}{287(320)} = 5.444 \text{ kg/m}^3$ .
2.  $A_1 = \frac{\pi(0.025)^2}{4} = 4.909 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ .
3.  $\dot{m} = 5.444(30)(4.909 \times 10^{-4}) = \mathbf{0.0802 \text{ kg/s}}$ .

### E.3 · Unidad 3 · Segunda ley de la termodinámica: máquinas, refrigeradores y entropía

#### Ejercicio 3.6.1

← volver

1.  $T_A = 573.15 \text{ K}$  y  $T_B = 348.15 \text{ K}$ .
2.  $1 \rightarrow 2$ :  $\Delta U = 0$ ;  $\Delta S = \frac{20\,000}{573.15} = 34.89 \text{ J/K}$ .
3.  $2 \rightarrow 3$ :  $Q = 0$ ;  $\Delta U = -7 \text{ kJ}$ ;  $\Delta S = 0$ .
4.  $3 \rightarrow 4$ :  $Q_B = (-34.89)(348.15) = \mathbf{-12.147 \text{ kJ}}$ ;  $\Delta U = 0$ ;  $W = +12.147 \text{ kJ}$ .
5.  $4 \rightarrow 1$ :  $Q = 0$ ;  $\Delta S = 0$ .
6. b)  $\eta_C = 1 - \frac{348.15}{573.15} = \mathbf{0.3926}$  (cerca de 39 %). Comprobación:  $1 - \frac{12.147}{20} = 0.3927$ .

#### Ejercicio 3.6.2

← volver

1.  $T_A = 333 \text{ K}$  y  $T_B = 293.15 \text{ K}$ , así que  $\eta = 1 - \frac{293.15}{333} = \mathbf{0.1197}$ .
2.  $\Delta S_{12} = \frac{153\,795}{333} = 461.85 \text{ J/K}$ ; los adiabáticos dan 0, así que  $\Delta S_{34} = \mathbf{-461.85 \text{ J/K}}$ .

#### Ejercicio 3.6.3

← volver

1.  $m = 0.028966 \text{ kg}$ .
2.  $\Delta S_{AB} = mR \ln 5 = 0.028966(287) \ln 5 = \mathbf{13.38 \text{ J/K}}$ .
3.  $T_B = \frac{101\,325(0.05)}{0.028966(287)} = 609.42 \text{ K}$ ; isobárico:  $T_C = T_B \frac{V_C}{V_B} = 121.88 \text{ K}$ .

## Apéndice A · Formulario y constantes

### Constantes:

- $g$ : la que dé el enunciado (en Ciudad Universitaria,  $9.78 \text{ m/s}^2$ ).
- $\rho_{agua} = 1000 \text{ kg/m}^3$  ·  $\rho_{Hg} = 13\,600 \text{ kg/m}^3$ .
- $1 \text{ atm} = 101\,325 \text{ Pa}$  ·  $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$  ·  $T[\text{K}] = T[^\circ\text{C}] + 273.15$ .
- Aire como gas ideal:  $R = 286.7$ ,  $c_p = 1003.7$ ,  $c_v = 717 \text{ J/(kg K)}$ ,  $k = 1.4$ .
- $\bar{R} = 8.314 \text{ J/(mol K)}$ .
- $k_e = 9 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2$  ·  $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/(\text{N m}^2)$  ·  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T m/A}$ .
- $q_e = -1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ .

| Tema                         | Expresiones                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Presión (U1)                 | $P_{abs} = P_{atm} + P_{man}$ · $P_{abs} = P_{atm} - P_{vac}$ · $P_2 - P_1 = -\rho g(z_2 - z_1)$<br>$\gamma = \rho g$ · $\delta = \rho/1000$ · $v = V/m = 1/\rho$ · $P_{atm} = \rho_{Hg} g h$ · $\frac{F}{A} = \frac{f}{a}$                                                                   |
| Calor (U1)                   | $Q = mc\Delta T$ · $Q = m h_{fus}$ · sistema aislado: $\sum Q = 0$                                                                                                                                                                                                                            |
| Primera ley (U2)             | $Q + W = \Delta U$ (lo que entra al sistema es positivo) ·<br>$W = -\int P dV$ · $\Delta U = m c_v \Delta T$ · $W_{eje} = \dot{W} t$ · $W_{elec} = V i t$ ·<br>politrópico $W = \frac{mR(T_2 - T_1)}{n-1}$ · abierto: $\dot{m} = \rho v A$ ,<br>$0 = \Delta e_c + \Delta e_p + \Delta h$      |
| Segunda ley (U3)             | $\eta = \frac{ W }{ Q_A }$ · $\eta_C = 1 - \frac{T_B}{T_A}$ · $\beta_{R,C} = \frac{T_B}{T_A - T_B}$ · $ Q_A  =  W  +  Q_B $ ·<br>$\Delta S = \frac{Q}{T}$ · $\Delta S = mc \ln \frac{T_2}{T_1}$ · $\Delta S = m c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - m R \ln \frac{P_2}{P_1}$ · $\Delta S_{univ} \geq 0$ |
| Ciclos (U4)                  | adiabático $T_2 = T_1 r^{k-1}$ , $P_2 = P_1 r^k$ · Otto $q_{sum} = c_v(T_3 - T_2)$ ,<br>$\eta = 1 - r^{1-k}$ · Diesel $q_{sum} = c_p(T_3 - T_2)$                                                                                                                                              |
| Electrostática (U5A)         | $F = k \frac{ q_1 q_2 }{r^2}$ · $\vec{E} = k \frac{q}{r^2} \hat{r}$ · $V = k \frac{q}{r}$ · $U = qV$ · $W = q(V_B - V_A)$ ·<br>placas $E = \frac{q}{\epsilon_0 A}$ · $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$                                                                                      |
| Campo magnético (U5B)        | alambre $B = \frac{\mu_0 i}{2\pi a}$ · solenoide $B = \frac{\mu_0 N i}{\ell}$ · $\vec{B}_{tot} = \sum \vec{B}$ · $\Phi = BA$ ·<br>$L = \frac{\mu_0 N^2 A}{\ell}$ · $\vec{F} = i\vec{\ell} \times \vec{B}$ · $\epsilon = -L \frac{di}{dt}$                                                     |
| Circuitos y capacitores (U6) | $V = Ri$ · serie $\sum R$ · paralelo $\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ · $P = Vi = Ri^2$ · $E = Pt$ ·<br>Kirchhoff · $C = \frac{\epsilon A}{d}$ · $q = CV$ · serie $\frac{1}{C} = \sum \frac{1}{C_i}$ · paralelo<br>$C = \sum C_i$ · $U = \frac{1}{2} CV^2$                                         |
| Corriente alterna (U7)       | $V_{ef} = V_p/\sqrt{2}$ · $I_{ef} = I_p/\sqrt{2}$                                                                                                                                                                                                                                             |

## Apéndice D · Fuentes y bibliografía

### Exámenes de los que se adaptaron los ejercicios:

- Primeros exámenes finales colegiados de *Principios de Termodinámica y Electromagnetismo*, semestres 2012-1, 2012-2, 2013-1, 2013-2, 2014-1 y 2014-2, tipos A y B, con sus resoluciones publicadas. Facultad de Ingeniería, UNAM.
- Primeros y segundos exámenes finales comunes de *Principios de Termodinámica y Electromagnetismo*, *Fundamentos de Termodinámica y Electromagnetismo* y *Sistemas Termodinámicos y Electromagnetismo*, semestres 2019-1, 2019-2 y 2020-1, con sus resoluciones publicadas. Facultad de Ingeniería, UNAM.

### Material de consulta:

- Bárcenas Escobar, M.; Gámez Leal, R.; Hernández Quintero, A. *Cuaderno de ejercicios de Principios de Termodinámica y Electromagnetismo*. Facultad de Ingeniería, UNAM, 2012.
- Maldonado Susano, M. C. *Principios de Termodinámica y Electromagnetismo* (apuntes de los temas 1 a 5).
- Aguirre Maldonado, E.; Jaramillo Morales, G. A. *Cuaderno de ejercicios de Electricidad y Magnetismo*. Facultad de Ingeniería, UNAM.
- Programa de la asignatura *Principios de Termodinámica y Electromagnetismo* (clave 1314), plan de estudios 2010. Facultad de Ingeniería, UNAM.

## Apéndice C · Fe de erratas

Diferencias entre las resoluciones publicadas de los exámenes y los valores verificados en este cuaderno.

### C.1 · Unidad 1 · Conceptos fundamentales: presión, fluidos y calorimetría

#### Final colegiado 2013-2, tipo B, problema 1:

- la presión del gas aparece como «10 640.64 kPa»; son **Pa**;
- $P_A$  aparece como 12 987.64 Pa; el valor correcto es **12 987.84 Pa**.

**Segundo examen final 2019-2, problema 1 b):** el volumen específico aparece como 0.9931; el valor correcto es  $9.931 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{kg}$ .

**Primer examen final 2020-1, turno vespertino, problema 1:** la resolución usa  $g = 9.81$ , aunque el enunciado no lo indica.

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

**Final colegiado 2013-1, tipo B, problema 2:** en la resolución publicada aparecen en la sustitución  $\rho_1 = 0.1315 \text{ kg/m}^3$  y  $R = 2007 \text{ J/(kg K)}$ ; los valores correctos son  $\rho_1 = \mathbf{0.1271 \text{ kg/m}^3}$  y  $R = \mathbf{2077 \text{ J/(kg K)}}$ . La temperatura final, 1073.66 K, no depende de esos valores y coincide.

#### Final colegiado 2014-2, tipo B, problema 1:

- el gasto másico aparece como 0.6577 kg/s; el valor correcto es  $\mathbf{6.577 \times 10^{-4} \text{ kg/s}}$  (error de un factor  $10^3$ );
- en la sustitución de  $T_2$  aparece 433.15 K como temperatura de entrada; el valor correcto es **453.15 K**. El resultado publicado, 299.72 K, sí es correcto;
- el área de salida aparece como 0.00127 m<sup>2</sup>, porque arrastra el error del gasto másico; el valor correcto es  $\mathbf{1.272 \times 10^{-6} \text{ m}^2}$ .

### C.3 · Unidad 3 · Segunda ley de la termodinámica: máquinas, refrigeradores y entropía

**Final colegiado 2014-2, tipo A, problema 2 d):** en la suma de entropías aparece «+(-85.4593)»; el término correcto es +85.4593 J/K. El resultado publicado, 6.8284 J/K, sí es correcto.

**Final colegiado 2012-1, tipo B, problema 2 b):** en la resolución publicada aparece 0.2461 J/K; con  $T_{eq}$  sin redondear, el valor es **0.2455 J/K** (la diferencia viene del redondeo en una resta de números parecidos).

**Segundo examen final 2019-2, problema 2:**  $Q_{34}$  aparece como -12.129 kJ; el valor correcto es **-12.147 kJ**.

### C.4 · Unidad 4 · Ciclos termodinámicos: Otto, Diesel y Rankine

#### Final colegiado 2014-2, tipo B, problema 3:

- en la resolución publicada aparece  $\eta = 0.6597$  (65.97 %); el valor correcto es **0.6297**, que es lo que da su propio cociente  $\frac{1120.94}{1780}$ ;
- el trabajo de expansión aparece como -1487.244 kJ/kg, calculado con  $\frac{P_4 v_4 - P_3 v_3}{k-1}$  y  $P_4 = 365.7 \text{ kPa}$ ; la diferencia con -1487.5 kJ/kg es solo de redondeo.

#### Final colegiado 2012-2, tipo A, problema 3:

- en la resolución publicada aparece «20 °C = 273.15 K», aunque los cálculos usan 293.15 K; el valor correcto es **293.15 K**;
- $P_3$  aparece como 4383.36 kPa porque se redondea  $v_2 = 0.0737$ ; con  $v_2 = 0.07372$  el valor es **4381.9 kPa**;
- $\Delta s_{23}$  aparece como 252.64 J/(kg K); el valor correcto es **252.73 J/(kg K)**.

**Final colegiado 2013-1, tipo A, problema 3:** los datos de 3.8 L y 27 °C no son exactamente consistentes con 4.2 g de aire; la resolución publicada calcula  $T_2$  con  $PV = mRT$  (885.66 K) en lugar de  $T_1 r^{0.4}$  (886.7 K).

**Final colegiado 2014-1, tipo A, problema 3:** con  $Pv = RT$ , el estado 1 da 348.8 K; el enunciado y la resolución publicada usan 350 K.

**Final colegiado 2013-1, tipo B, problema 4:** en la resolución publicada aparece  $q_{23} = -1793.03 \text{ kJ/kg}$ ; el valor correcto es **-1793.01 kJ/kg**.

### C.5A · Unidad 5A · Electromagnetismo – Parte A: electrostática y fuerza sobre cargas en movimiento

**Final colegiado 2012-1, tipo A, problema 6:** en la resolución publicada aparece el campo sustituido como  $120 \times 10^{-3} \text{ N/C}$ ; el valor correcto es  $120 \times 10^3 \text{ N/C}$ . El resultado final,  $Q = -12 \text{ nC}$ , sí es correcto.

**Final colegiado 2014-1, tipo B, problema 4:** en la resolución publicada aparece  $\vec{E}_C = -80\hat{i} - 45\hat{j}$  al inicio; el valor correcto es  $(-120\hat{i} - 45\hat{j}) \times 10^3 \text{ N/C}$ , que es el que se usa en los cálculos.

**Final colegiado 2014-2, tipo B, problema 2 b):** en la resolución publicada la fuerza aparece en N/C; la unidad correcta es N.

**Primer examen final 2019-2, turno matutino, problema 3 a):** en la resolución publicada aparece -21.6; el valor correcto es  $-2.16 \times 10^{-11} \text{ N}$ .

**Primer examen final 2020-1, turno vespertino, problema 3 a):** en la resolución publicada se usan 0.04 m y 0.03 m (conversión incorrecta de centímetros) y aparece  $(9\hat{i} - 16\hat{j}) \text{ N}$ ; el valor correcto es  $(0.09\hat{i} - 0.16\hat{j}) \text{ N}$ .