PROBLEMAS DE

TERMODINÁMICA TÉCNICA

José Segura
Juan Rodríguez

EDITORIAL REVERTÉ

PROBLEMAS DE
TERMODINÁMICA
TÉCNICA

José Segura
Profesor Titular de Física Aplicada de la Universidad de la Laguna
Juan Rodríguez
Profesor Asociado de Ingeniería Química de la Universidad de la Laguna

EDITORIAL
REVERTÉ

Barcelona · Bogotá · Buenos Aires · México

Edición en papel
© Editorial Reverté, S. A., 1993
ISBN: 978-84-291-4353-9

Edición ebook (PDF)
© Editorial Reverté, S. A., 2021
ISBN: 978-84-291-9080-9

Propiedad de
EDITORIAL REVERTÉ, S. A.
Loreto, 13-15. Local B
08029 Barcelona. ESPAÑA
Tel: (34) 93 419 33 36
reverte@reverte.com
www.reverte.com

Tablas disponibles en nuestra web. www.reverte.com

1085

PRÓLOGO

Este libro titulado "Problemas de Termodinámica Técnica" constituye el complemento indispensable de la obra "Termodinámica Técnica" de J. Segura, también editada por esta misma Editorial. En efecto, toda obra de carácter científico - técnico ha de presentar el contenido más amplio posible que le haga adquirir la dimensión de globalidad que la justifique. Es por ello por lo que aparece ante el lector estudioso este libro de problemas, con la misma intencionalidad que se contiene en el prólogo del texto de teoría al que estamos haciendo referencia.

Su desarrollo es tal que resuelve todos los problemas que se plantean al finalizar cada uno de los capítulos del libro de teoría, y cuyas soluciones numéricas se ofrecen asimismo en un anexo al final de la obra. Hemos querido mantener en el Indice el mismo orden a pesar de que en el texto de referencia existen capítulos eminentemente teóricos, en los que no se plantean problemas de naturaleza práctica al final de los mismos. De ahí que el Indice de ambos libros sea coincidente -como es lógico- por tratarse de dos tomos de una misma obra. Se emplea asimismo idéntica nomenclatura y en la solución de los problemas se hace referencia constantemente a propiedades o expresiones que se han demostrado o desarrollado previamente en el texto de teoría. También nos ha parecido conveniente proceder a la inclusión de Tablas y Diagramas, imprescindibles para la resolución de la mayor parte de los problemas que en este libro se plantean.

Los autores hemos sido profesores de esta disciplina en la Escuela Superior de la Marina Civil de Santa Cruz de Tenerife y testigos de la evolución de estas enseñanzas en un dilatado proceso de integración en la Universidad Española. Consiguientemente, el nuevo nivel de los estudios de la Marina Civil en sus diversas especialidades requiere de aportaciones metodológicas, que ayuden al reciclaje de los antiguos titulados y a la obtención de dicha cota académica a los actuales alumnos de la Escuelas Superiores de la Marina Civil. Por otro lado, nuestra experiencia nos lleva a suponer que la obra en su conjunto constituye una aportación de utilidad para aquellos alumnos de Facultades o Escuelas Técnicas que cursen estudios vinculados, de una u otra forma, a contenidos de naturaleza termoenergética.

En diversos momentos durante el transcurso de la elaboración de este libro, hemos tenido la intención de incrementar el número de problemas de cada capítulo; sin embargo, razones de índole metodológica nos han aconsejado ceñirnos a los que ya se habían propuesto en el texto de teoría, por considerar que con ello se completaba una estructura didáctica, dibujada con el perfil medio deseable para un estudiante universitario de las características de aquél hacia el cual se dirige la obra.

Por último los autores queremos expresar nuestro agradecimiento a la Editorial Reverté S. A. que permite convertir en realidad literaria nuestro común quehacer docente y a la Srta. Cristina Suárez, de la empresa Copicentro XERACH de La Laguna (Tenerife), que tanta profesionalidad ha puesto en la confección del original.

José Segura Clavell
Juan Rodríguez Sevilla

INDICE

Capítulo 1

Conceptos fundamentales (I)

EJERCICIO 1.1

Un cuerpo de 20 kg se mueve con una velocidad de 50 m/s. Determínese su energía cinética en J y en kJ, y su energía cinética específica en kJ/kg.

Solución :

La energía cinética de un hipotético punto material de masa m que se mueve a la velocidad c, viene dada por :

$$E_c = \frac{1}{2} m\, c^2$$

con lo que para un cuerpo de 20 kg que posea la velocidad de 50 m/s, la energía cinética será

$$E_c = \frac{1}{2} m\, c^2 = \frac{1}{2} 20\text{ kg} \;.\; 2500 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 25.000\text{ J} = 25\text{ kJ}$$

resultando una energía cinética específica, ε_c, de

$$\varepsilon_c = \frac{25}{20} \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 1{,}25 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

EJERCICIO 1.2

3 kg de un cierto fluido se encuentran encerrados en un cilindro provisto de un émbolo móvil. Inicialmente ocupan un volumen de 0,5 m^3 y después se expanden hasta 1,5 m^3. Determínese el volumen específico inicial y final del fluido.

Solución :

Según pudo verse en el apartado 1.6, el volumen específico es una variable intensiva que resulta de dividir el volumen por la masa. Por tanto, aplicada esta definición al presente ejercicio en el que $m = 3$ kg, $V_1 = 0{,}5\ m^3$ y $V_2 = 1{,}5\ m^3$, resultará :

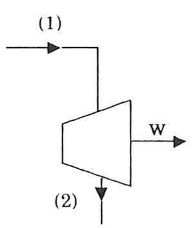
$$v_1 = \frac{V_1}{m} = \frac{0{,}5}{3}\ \frac{m^3}{kg} = 0{,}167\ \frac{m^3}{kg} = \text{volumen específico inicial}$$

$$v_2 = \frac{V_2}{m} = \frac{1{,}5}{3}\ \frac{m^3}{kg} = 0{,}5\ \frac{m^3}{kg} = \text{volumen específico final}$$

EJERCICIO 1.3

El trabajo producido por una turbina es de 100 kJ por kilogramo de vapor. Si el consumo de éste es de 10.000 kg por hora, calcúlese: a) el trabajo específico en kJ /kg, b) la potencia en kW.

Solución :



En la turbina que se esquematiza en la figura adjunta se produce el trabajo de 100 kJ por cada kg. de vapor que incide en ella. Por tanto:

a) El trabajo específico desarrollado por la turbina es

$$w = 100\ \frac{kJ}{kg}$$

b) Al ser el flujo de vapor de $\dot{m} = 10.000\ \frac{kg}{hr} = 2{,}7778\ \frac{kg}{s}$, la potencia de la turbina será :

$$Pot = w\ \left(\frac{kJ}{kg}\right) \cdot \dot{m}\ \left(\frac{kg}{s}\right) = 100\ \frac{kJ}{kg} \cdot 2{,}7778\ \frac{kg}{s} = 277{,}78\ kW$$

EJERCICIO 1.4

Una conducción es recorrida por vapor de agua recalentado, a una velocidad de 40 m/s. ¿Cuál es la energía cinética específica del vapor?

Solución :

La energía cinética de una cierta masa de vapor m que recorre la conducción con la velocidad c, es

$$E_c = \frac{1}{2} m c^2$$

luego, la energía cinética específica será :

$$\varepsilon_c = \frac{1}{2} c^2$$

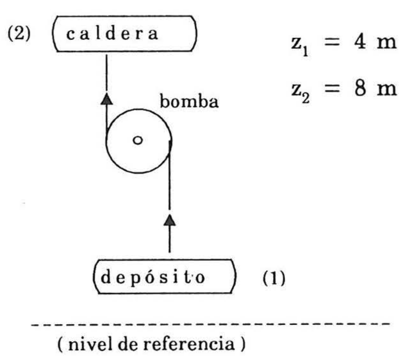
y con los datos del ejercicio, $c = 40 \frac{m}{s}$:

$$\varepsilon_c = \frac{1}{2} c^2 = \frac{1}{2} 1600 \frac{m^2}{s^2} = 800 \frac{kg}{kg} \frac{m^2}{s^2} = 800 \frac{J}{kg} = 0{,}8 \frac{kJ}{kg}$$

EJERCICIO 1.5

Una bomba de alimentación de una caldera toma el agua desde un nivel de 4 m sobre un plano de referencia dado y la manda al colector de la caldera que se encuentra a 12 m por encima de dicho plano. Calcúlese la variación específica de energía potencial experimentada por el agua.

Solución :



$z_1 = 4$ m

$z_2 = 8$ m

La energía potencial de un cuerpo de masa m que se encuentra a una distancia z del nivel de referencia es :

$$E_p = m g z$$

por lo que la energía potencial específica o energía potencial por unidad de masa se calcula según

$$\varepsilon_p = g z$$

La variación de energía potencial específica experimentada por el agua al pasar desde el depósito al colector de la caldera es, entonces :

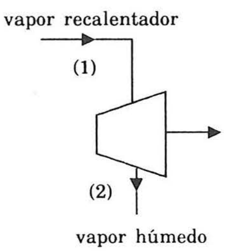
$$\Delta\varepsilon_p = g\,(z_2 - z_1) = 9{,}8\ \frac{m}{s^2}\cdot 8\,m = 78{,}4\,kg\cdot\frac{m^2}{s^2}\cdot\frac{1}{kg} =$$

$$= 78{,}4\ \frac{J}{kg} = 0{,}0784\ \frac{kJ}{kg}$$

EJERCICIO 1.6

Un turbogenerador consume 800 kg de vapor por hora y desarrolla una potencia de 100 kW. Calcúlese el trabajo efectuado por cada kilogramo de vapor.

Solución :



El turbogenerador en cuestión, que se representa esquematizado en la figura adjunta, desarrolla una potencia de 100 kW y se ve recorrido por un flujo másico de vapor de

$$\dot{m} = 800\ \frac{kg}{hr} = \frac{800}{3600}\ \frac{kg}{s} = \frac{2}{9}\ \frac{kg}{s}$$

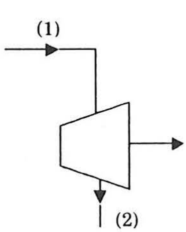
Por tanto, el trabajo específico que produce será :

$$w = \frac{Pot\ (\frac{kJ}{s})}{\dot{m}\ (\frac{kg}{s})} = \frac{100\ \frac{kJ}{s}}{\frac{2}{9}\ \frac{kg}{s}} = 450\ \frac{kJ}{kg}$$

EJERCICIO 1.7

Una turbina utiliza 50 kJ de cada kilogramo de vapor que incide en ella y desarrolla una potencia de 100 kW. Calcúlese el número de kilogramos de vapor que se precisan por hora.

Solución :



En el presente ejercicio se sabe que cada kg. de vapor que incide en la turbina proporciona a ésta la energía de 50 kJ y supone la producción de una potencia de 100 kW. Esto es :

$$w = 50 \ \frac{kJ}{kg}$$

$$Pot = 100 \ kW = 100 \ \frac{kJ}{s}$$

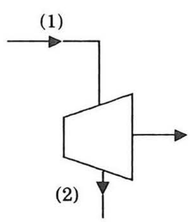
Luego, el flujo másico de vapor que permitirá tal producción será :

$$\dot{m} = \frac{Pot \ (\frac{kJ}{s})}{w \ (\frac{kJ}{kg})} = \frac{100 \ \frac{kJ}{s}}{50 \ \frac{kJ}{kg}} = 2 \ \frac{kg}{s} = 7200 \ \frac{kg}{hr}$$

EJERCICIO 1.8

En una turbina entra vapor de alta presión (A. P.) con una velocidad de 80 m/s y sale con 400 m/s. Calcúlese la variación experimentada por la energía cinética específica del vapor.

Solución :



El vapor de alta presión entra en la turbina con una velocidad de 80 m/s y sufre una aceleración tal, que sale de aquélla con la velocidad de 400 m/s :

$$c_1 = 80 \ \frac{m}{s}$$

$$c_2 = 400 \ \frac{m}{s}$$

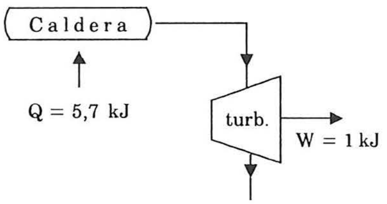
La variación de energía cinética experimentada por el vapor es :

$$\Delta \varepsilon_c = \frac{1}{2}(c_2^2 - c_1^2) = \frac{1}{2}(400^2 - 800^2) \ \frac{J}{kg} = 76.800 \ \frac{J}{kg} = 76,8 \ \frac{kJ}{kg}$$

EJERCICIO 1.9

Una turbina de vapor gasta 1,5 g de vapor en producir 1 kJ de energía eléctrica; para la obtención de 1 kg de vapor se precisa la inversión global de 3800 kJ de energía. Determínese el rendimiento de la instalación.

Solución :



En el esquema de la figura adjunta representamos el proceso que se indica en el enunciado del ejercicio. De acuerdo con él, cada 1,5 gr. de vapor recalentado procedentes de la caldera, al pasar a través de la turbina, producen 1 kJ de energía; mientras que la obtención de 1 gr. de vapor en la caldera requiere el consumo de 3,8 kJ de energía.

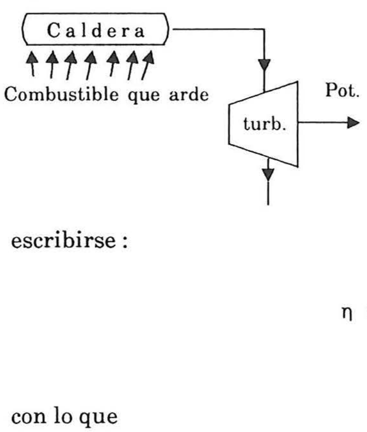
Es evidente que la obtención de 1,5 gr de vapor recalentado en la caldera requiere el aporte energético de 5,7 kJ y que debido a esos 1,5 grs se produce 1 kJ en la turbina. Luego, el rendimiento de la instalación será :

$$\eta_t = \frac{1}{5{,}7} = 0{,}1754 \qquad (\eta_t = 17{,}54\,\%)$$

EJERCICIO 1.10

Una central eléctrica de 200 MW de potencia utiliza en su funcionamiento un combustible de 40.000 kJ/kg de poder calorífico. Si el rendimiento conjunto de la central es del 30 por 100, ¿cuál es el gasto horario de combustible?

Solución :



Un esquema simplificado de la central térmica puede responder al de la figura adjunta. En ella se produce la potencia de 200 MW y se emplea un combustible en el calentamiento de la caldera, de poder calorífico (consultar el capítulo 22) de 40.000 kJ/kg.

Al ser del 30% el rendimiento de la central, podrá escribirse :

$$\eta = 0{,}30 = \frac{\text{Pot}}{\text{E. consumida}}$$

con lo que

$$\text{E. consumida} = \frac{\text{Pot}}{0{,}30} = \frac{200}{0{,}3}\ \text{MW} = 666{,}67 \cdot 10^3\ \text{kW}$$

conduciéndonos este valor a la ecuación :

$$40.000\ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot \dot{m} = 666{,}67 \cdot 10^3\ \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

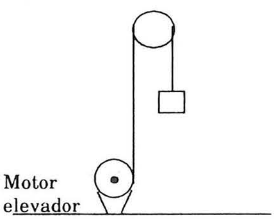
donde m representa la cantidad de combustible consumido en la unidad de tiempo :

$$m = \frac{666{,}67 \cdot 10^3 \ \frac{kJ}{s}}{40.000 \ \frac{kJ}{kg}} = 16{,}67 \ \frac{kg}{s}$$

EJERCICIO 1.11

¿Cuánto costará la energía necesaria para elevar un aparato a lo alto de una torre de 400 m de altura si el precio de la energía eléctrica es de 30 pta. por kW-h y el rendimiento del mecanismo de elevación es del 70 por 100?

Solución :



Para elevar un cuerpo determinado hasta una altura de 400 m se precisa, por unidad de masa, la energía de

$$\mathcal{E} = g\,(z_2 - z_1) = 9{,}8 \ \frac{m}{s^2} \cdot 400\,m = 3920 \ \frac{J}{kg} = 3{,}92 \ \frac{kJ}{kg}$$

Puesto que el rendimiento del mecanismo de elevación es del 70%, se verificará :

$$0{,}70 = \frac{\text{Energía necesaria}}{\begin{array}{c}\text{Energía desarrollada}\\ \text{por el mecanismo}\end{array}} = \frac{3{,}92 \ \frac{kJ}{kg}}{\text{E. desarrollada}}$$

$$\text{E. desarrollada} = \frac{3{,}92}{0{,}70} \ \frac{kJ}{kg} = 5{,}60 \ \frac{kJ}{kg} = \frac{5{,}60}{3600} \ \frac{kW - hr}{kg}$$

Por tanto, el coste económico de la instalación será

$$\text{Coste} = \frac{5{,}60 \cdot 30}{3600} \ \frac{pts}{kg} = 0{,}05 \ \frac{pts}{kg}$$

Capítulo 2

Conceptos fundamentales (II)

EJERCICIO 2.1

Un motor eléctrico precisa 1 kW-h para funcionar durante un cierto período de tiempo, durante el cual produce 3400 kJ de trabajo mecánico. ¿Qué cantidad de energía se ha disipado por fricción y por el bobinado del motor?

Solución :

Si en un cierto período de tiempo el motor produce 3400 kJ y precisa el consumo de 1 kW-hr (3600 kJ), resulta evidente que la energía que se pierde es de 200 kJ. El rendimiento del motor es, entonces :

$$\eta = \frac{3400}{3600} = 0{,}9444 \qquad (94{,}44\%)$$

EJERCICIO 2.2

Una bala de 60 g sale por la boca del cañón de un rifle con una velocidad de 800 m/s. ¿Qué cantidad de energía se ha disipado una vez que la bala ha alcanzado el estado de reposo?

Solución :

La energía cinética de la bala de 60 grs. de masa al salir del fusil con la velocidad de 80 m/s es :

$$E_c = \frac{1}{2}\, m\, c^2 = \frac{1}{2}\, 6 \cdot 10^{-2}\ \mathrm{kg} \cdot 64 \cdot 10^4\ \frac{m^2}{s^2} = 19.200\ \mathrm{J} = 19{,}2\ \mathrm{kJ}$$

La bala al chocar con el blanco y alcanzar el estado de reposo habrá disipado esta cantidad de energía.

EJERCICIO 2.3

Una bala de plomo que lleva una velocidad de 300 m/s llega al blanco y queda en reposo. ¿Cuál será la elevación de temperatura de la bala si no existen pérdidas? El calor específico del plomo es de 130 J/kg K.

Solución :

Este ejercicio amplía el anterior en el sentido de valorar la energía disipada en el impacto, mediante la determinación de la elevación de temperatura experimentada por la bala. Al ser la velocidad de la bala en el instante anterior del impacto de 300 m/s, su energía cinética específica es

$$\varepsilon_c = \frac{1}{2}\, c^2 = \frac{1}{2}\, 9 \cdot 10^4 \,\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}} = 45\, \frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}}$$

La cantidad de "calor" generada en el impacto por cada unidad de masa, se expresa por

$$q = \bar{c}_{Pb} \cdot \Delta t$$

en la que $\bar{c}_{Pb}$ representa el calor específico medio del plomo cuyo valor es de 130 J /(kg K) = 0,13 kJ / (kg K)

Al admitirse que no hay pérdidas, se verificará :

$$0{,}13 \;\; \Delta t = 45$$

de donde $$\Delta t = 346{,}15 \text{ grados}$$

Esto es, como consecuencia derivada del impacto, la bala experimenta una elevación de temperatura de 346,15 grados.

EJERCICIO 2.4

Se quiere obtener 80 g de agua a 20 °C mezclando agua a 15 °C con agua a 90 °C. ¿Qué cantidades deberán tomarse de cada una de ellas?

Solución :

Nos encontramos ante un simple ejercicio de calorimetría de mezcla, en el que admitiremos que toda la energía cedida por la masa de agua más caliente es aprovechada por la más fría :

$$\left.\begin{array}{l} m_1 \text{ grs. de agua a } 15\,^oC \\ m_2 \text{ grs. de agua a } 90\,^oC \end{array}\right\} \text{ 80 grs. de agua a } 20\,^\circ C$$

De acuerdo con los datos recogidos en la Tabla III, se cumple que el calor específico medio del agua en el intervalo de 20 - 90 °C es de

$$\bar{c} = 4{,}1860 \frac{kJ}{kg\,K} = 4{,}1860 \frac{J}{gr.\,K}$$

y el correspondiente al intervalo de 15 - 20 °C de :

$$\bar{c} = 4{,}1836 \frac{kJ}{kg\,K} = 4{,}1836 \frac{J}{gr.\,K}$$

Por lo que ocurrida la mezcla se puede establecer :

$$Q_{ced} = m_2\, \bar{c}\, (90 - 20) = m_2 \cdot 4{,}1860 \cdot 70 \;\; kJ)$$

$$Q_{abs} = m_1\, \bar{c}\, (20 - 15) = m_1 \cdot 4{,}1836 \cdot \;\; 5 \;\; kJ)$$

$$m_2 \cdot 70 \cdot 4{,}1860 = m_1 \cdot 5 \cdot 4{,}1836$$

y al ser $m_2 = 80 - m_1$ se obtiene :

$$m_1 = 74{,}7 \text{ grs}$$
$$m_2 = 5{,}3 \text{ grs}$$

EJERCICIO 2.5

¿Cuánto tiempo podría hacerse funcionar un motor de 1840 kW, accionado por la energía liberada por 1 km^3 de agua del océano, cuando la temperatura de ésta desciende 1 °C, si toda la energía se convirtiese en energía mecánica? ¿Por qué no se utiliza este enorme depósito de energía? Densidad del agua salada : 1,024 g/cm^3.

Solución :

Según el ejemplo 2.2 resuelto en el libro de teoría, el calor específico del agua salada se cifra en

$$\bar{c} = 4{,}02 \frac{kJ}{kg\,K}$$

El volumen de 1 km^3 de agua del mar de densidad 1,024 gr/cm^3 (1024 kg/m^3) contendrá la masa de

$$m = V.\rho = 10^9 \ m^3 \cdot 1024 \ \frac{kg}{m^3} = 1{,}024 \cdot 10^{12} \ kg$$

La energía térmica que puede extraerse de 1 km^3 de agua del mar al enfriarse 1°C, es :

$$Q = 1{,}024 \cdot 10^{12} \ kg \cdot 4{,}02 \ \frac{kJ}{kg\,K} \cdot 1\,K = 4{,}12 \cdot 10^{12} \ kJ$$

por lo que el tiempo que estaría funcionando un motor de 1840 kW accionado por tal energía es :

$$t = \frac{4{,}12 \cdot 10^{12} \ kJ}{1840 \ \frac{kJ}{s}} = 2{,}23 \cdot 10^9 \ seg \simeq 622.055 \ hrs$$

A pesar del resultado realmente espectacular a que hemos llegado, no resulta posible el aprovechamiento y uso posterior de tan ingente caudal energético por parte, por ejemplo, de un motor marino; por cuanto tal ocurrencia implicaría la violación del segundo principio de la termodinámica.

EJERCICIO 2.6

¿Qué cantidad de calor es preciso comunicar a 6 kg de acero, de calor específico medio 480 J/kg K, para calentarlo de 16 °C hasta 90 °C? Exprésese el resultado en kJ.

Solución :

Los datos correspondientes a este problema son :

$$m = 6\,kg. \qquad\qquad t_1 = 16\,^{o}C$$

$$\bar{c} = 480 \ \frac{J}{kg\,K} = 0{,}48 \ \frac{kJ}{kg\,K} \qquad\qquad t_2 = 90\,^{o}C$$

La cantidad de calor pedida es, entonces :

$$Q = m \ \bar{c} \ (T_2 - T_1) = 6\,kg. \ 0{,}48 \ \frac{kJ}{kg\,K} \cdot 74\,K = 213{,}12 \ kJ$$

EJERCICIO 2.7

Determínese el calor específico medio de un líquido sabiendo que para calentar 6 kg del mismo desde 20 °C hasta 80 °C se han requerido 800 kJ.

Solución :

Si para calentar 6 kg. del líquido en cuestión desde los 20 °C hasta los 80 °C se ha requerido 800 kJ, su calor específico medio será de :

$$800\,\text{kJ} = 6\,\text{kg} \cdot \bar{c} \cdot 60\,\text{K}$$

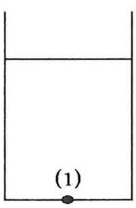
de donde

$$\bar{c} = 2{,}222\ \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

EJERCICIO 2.8

Un aceite de densidad 0,83 kg/dm^3 se encuentra en un recipiente de 2,25 m de profundidad. ¿Cuál es la presión en kN/m^2 que ejerce el aceite sobre el fondo del recipiente?

Solución :



Teniendo en cuenta que :

$$\rho = 0{,}83\ \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} = 0{,}83 \cdot 10^3\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$z = 2{,}25\,\text{m}$$

la presión ejercida por el aceite en el fondo del recipiente es

$$p = \rho\, g\, z$$

$$p = 0{,}83 \cdot 10^3\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9{,}81\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 2{,}25\,\text{m} = 18{,}30 \cdot 10^3\ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 18{,}30\ \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

EJERCICIO 2.9

La lectura de un barómetro es de 768 mm Hg. Conviértase este valor a MN/m^2.

Solución :

Bastará simplemente con la aplicación de la ecuación $p = \rho g z$:

$$p = \rho g z = 13{,}6 \cdot 10^3 \frac{kg}{m^3} \cdot 9{,}81 \frac{m}{s^2} \cdot 768 \cdot 10^{-3}\, m = 102463{,}49 \frac{N}{m^2} =$$

$$= 102{,}464 \frac{kN}{m^2} = 102{,}464 \cdot 10^{-3} \frac{MN}{m^2}$$

EJERCICIO 2.10

En el condensador de una turbina de vapor se mantiene la presión absoluta en el valor 0,05 kg/cm^2. ¿Qué marcarán dos manómetros de evacuación graduados uno de ellos en kN/m^2 y el otro en kg/cm^2, si en el primer caso el barómetro marca 742 mm Hg y en el segundò 758 mm Hg?

Solución :

En el primer caso :

$$P_{abs.} = 0{,}05 \frac{kg}{cm^2} = 0{,}05 \cdot 9{,}8 \cdot 10^4 \frac{N}{m^2} = 0{,}49 \cdot 10^4 \frac{N}{m^2} = 4{,}9 \frac{kN}{m^2}$$

$$P_{atmosf.} = \rho g z = 13{,}6 \cdot 10^3 \frac{kg}{m^3} \cdot 9{,}81 \frac{m}{s^2} \cdot 742 \cdot 10^{-3}\, m = 98{,}99 \frac{kN}{m^2}$$

por lo que la presión manométrica es :

$$P_{manom.} = P_{atm.} - P_{abs.} = 98{,}99 \frac{kN}{m^2} - 4{,}9 \frac{kN}{m^2} = 94{,}09 \frac{kN}{m^2}$$

En el segundo caso :

$$P_{abs.} = 0{,}05 \frac{kg}{cm^2}$$

$$P_{barom.} = 13{,}6 \cdot 10^3 \frac{kg}{m^3} \cdot 9{,}81 \frac{m}{s^2} \cdot 758 \cdot 10^{-3}\, m = \frac{13{,}6 \cdot 9{,}81 \cdot 758}{9{,}81} \frac{kg}{m^2}$$

$$= 10.308{,}8 \frac{kg}{m^2} = 1{,}03088 \frac{kg}{cm^2}$$

y por tanto :

$$P_{manom.} = P_{atm.} - P_{abs.} = (1{,}03088 - 0{,}05) \frac{kg}{cm^2} = 0{,}98088 \frac{kg}{cm^2}$$

Capítulo 3

Temperatura y su medida

EJERCICIO 3.2

¿A qué temperatura coincide la lectura de un termómetro Farenheit con la de un termómetro Celsius?

Solución :

De acuerdo con la condición establecida en el problema,

$$t_F = t_c$$

Al ser $t_F = (9/5)\, t_c + 32$, se tendrá :

$$5\,t = 9\,t + 32 \cdot 5 \quad ; \quad -4\,t = 160 \quad ; \quad t = -40 \text{ grados}$$

EJERCICIO 3.3

La temperatura del freón-12 en el evaporador de una máquina frigorífica es de 24 °F. Obténgase la temperatura en las escalas Celsius y Kelvin.

Solución :

Para $t_F = 24$, se tiene :

$$t_c = \frac{5}{9}(t_F - 32) = \frac{5}{9}(24 - 32) = -4{,}44\ °C$$

$$T = -4{,}44 + 273{,}15 = 268{,}71\ K$$

EJERCICIO 3.4

En la escala absoluta de temperatura T, la separación entre la temperatura del hielo fundente y el cero absoluto es de 273,15 grados. Supóngase que se quiere definir una escala de temperatura absoluta T´ tal que la separación entre el cero absoluto y la temperatura del hielo fundente sea de 300 grados. ¿Cuál sería la temperatura de ebullición del agua en esta escala?

Solución:

Al ser ambas escalas lineales, la relación existente entre las temperaturas medidas en dichas escalas debe ser también lineal:

$$T' = aT + b$$

En el cero absoluto de temperatura $T'_0 = T_0 = 0$, por lo que se desprende la necesidad de $b = 0$.

De acuerdo con los datos del problema ($T_H = 273{,}15$ y $T_H = 300$) debe verificarse:

$$300 = a \cdot 273{,}15 \quad ; \quad a = 1{,}0983$$

y por tanto:

$$T' = 1{,}0983\, T$$

En el caso propuesto, para $T = 373{,}15$ resulta:

$$T' = 1{,}0983 \cdot 373{,}15 = 409{,}83 \text{ grados}$$

EJERCICIO 3.5

Un termómetro de hidrógeno a volumen constante indica una presión 72 cm de Hg a 0 °C y 104,7 cm de Hg a 100 °C. ¿Qué temperatura tendrá un gas encerrado en un recipiente en el que la presión absoluta es de 96 cm de Hg? Supóngase que la relación entre la temperatura y la presión es lineal.

Solución:

Puesto que la función que liga la temperatura con la presión es lineal:

$$t = ap + b$$

para:

$$t_0 = 0\,°C \quad , \quad p_0 = 72 \text{ cm Hg}$$
$$t_{100} = 100\,°C \quad , \quad p_{100} = 104{,}7 \text{ cm Hg}$$

se obtiene, de acuerdo con la ecuación 3.2 del texto de teoría, el siguiente resultado:

$$t = 100\,\frac{p - p_0}{p_{100} - p_0} = 100\,\frac{96 - 72}{104{,}7 - 72} = 73{,}39\,°C$$

Capítulo 4

Estado gaseoso

EJERCICIO 4.1

Un gas a la presión y volumen iniciales de 450 kN/m^2 y 0,27 m^3, se expande hasta alcanzar la presión de 80 kN/m^2 a una temperatura constante. ¿Cuál es su nuevo volumen?

Solución :

$$p_1 = 450 \frac{kN}{m^2} \qquad \longrightarrow \qquad p_2 = 80 \frac{kN}{m^2}$$

$$V_1 = 0{,}27\,m^3 \qquad\qquad V_2 = ?$$

Considerando que se trata de un gas perfecto que experimenta una transformación isoterma, se verificará :

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

y, por tanto :

$$V_2 = V_1 \frac{p_1}{p_2} = 0{,}27\,m^3 \frac{450 \dfrac{kN}{m^2}}{80 \dfrac{kN}{m^2}} = 1{,}5188\,m^3$$

EJERCICIO 4.2

Una cierta cantidad de gas a la presión de 400 kN/m^2 y a la temperatura de 40 °C ocupa el volumen de 0,528 m^3. Si $r = 0{,}32$ kJ/kg K, determínese la masa del gas.

Solución :

Dadas las características p, V, T del gas, la determinación de su masa resulta inmediata sin más que utilizar la ecuación de estado de los gases perfectos. En efecto :

$$p\,V = m\,r\,T$$

$$m = \frac{p.V}{r.T} = \frac{400\ \dfrac{kN}{m^2} \cdot 0{,}528\ m^3}{0{,}32\ \dfrac{kJ}{kg\,K} \cdot 313{,}15\ K} = 2{,}108\ kg$$

EJERCICIO 4.3

Un gas cuya presión, volumen y temperatura iniciales son respectivamente 150 kN/m^2, 0,2 m^3 y 25 °C, se comprime de forma tal que su presión y temperatura alcanzan los valores de 750 kN/m^2 y 60 °C. Determínese el nuevo volumen del gas.

Solución :

$$\begin{array}{lcl} p_1 = 150\ \dfrac{kN}{m^2} & & p_2 = 750\ \dfrac{kN}{m^2} \\ V_1 = 0{,}2\ m^3 & \longrightarrow & V_2 = ? \\ T_1 = 298{,}15\ K\ (25\ °C) & & T_2 = 333{,}15\ K\ (60\ °C) \end{array}$$

Aplicando simplemente la ecuación de estado de los gases perfectos :

$$\frac{p_1\,V_1}{T_1} = \frac{p_2\,V_2}{T_2}$$

se obtiene :

$$V_2 = V_1\ \frac{p_1}{p_2} \cdot \frac{T_1}{T_2} = 0{,}2\ m^3\ \frac{150}{750} \cdot \frac{333{,}15}{298{,}15} = 0{,}0447\ m^3$$

EJERCICIO 4.4

La presión absoluta del nitrógeno que llena un determinado recipiente a la temperatura ambiente de 25 °C es de 24 bar. Teniendo en cuenta que la presión máxima a la que se puede operar sin peligro es de 60 bar, determínese hasta qué temperatura se podrá calentar el gas.

Solución :

$$\begin{array}{lcl} T_1 = 298{,}15\ K\ (25\ °C) & & T_2 = ? \\ p_1 = 24\ bar & \longrightarrow & p_2 = 60\ bar \end{array}$$

Puesto que el nitrógeno llena un determinado recipiente y se calienta, su presión aumentará a medida que lo hace su temperatura. Por tanto la temperatura máxima que podrá lograrse será aquella para la cual la presión fuese de 60 bar.