

# Solucionario Guía de Ejercicios Termodinámica

21 de febrero de 2026

## 1. 2016-1

### Pregunta 26 - 2016-1

**Enunciado:** Determine a qué temperatura son iguales (valores numéricos) las escalas Kelvin y Farenheit.  
**Solución:** Buscamos una temperatura  $X$  tal que:

$$T_K = T_F = X$$

Usamos las conversiones del Handbook:

$$T_K = T_C + 273,15$$

$$T_F = 1,8T_C + 32$$

Igualando a  $X$ : 1.  $X = T_C + 273,15 \implies T_C = X - 273,15$  2.  $X = 1,8T_C + 32$

Sustituyendo (1) en (2):

$$X = 1,8(X - 273,15) + 32$$

$$X = 1,8X - 491,67 + 32$$

$$X = 1,8X - 459,67$$

$$0,8X = 459,67 \implies X = 574,58$$

El valor más cercano es 574,25.

#### Nota Handbook FE:

- **Units and Conversions (Pág. 1):** Fórmulas de conversión de temperaturas.
- $T_K = T_C + 273,15 ; T_F = 1,8T_C + 32$ .

**Respuesta Correcta:** e) (Equivalente a 574,25)

### Pregunta 27 - 2016-1

**Enunciado:** Sistema cerrado, sin trabajo expansión/compresión.

**Solución:** Primera Ley Sistema Cerrado:

$$Q - W = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE$$

Si no hay trabajo ( $W = 0$ ) y  $\Delta KE, \Delta PE \approx 0$ :

$$Q = \Delta U$$

**Nota Handbook FE:**

- **First Law of Thermodynamics (Pág. 147):**  $Q - W = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE$  (Closed System).
- *Special Case: Constant Volume* implica  $W = 0$ .

**Respuesta Correcta: b)**

**Pregunta 28 - 2016-1**

**Enunciado:** Corriente de agua a  $200^{\circ}C$  y 1 MPa. Indique en qué estado se encuentra.

**Solución: Datos:**

- $T = 200^{\circ}C$
- $P = 1 \text{ MPa} = 10 \text{ bar}$

**Procedimiento para determinar el estado:**

**Paso 1:** Consultar temperatura de saturación a la presión dada.

En las tablas de vapor saturado (Saturación por Presión):

- A  $P = 1,0 \text{ MPa}$ :  $T_{sat} = 179,91^{\circ}C \approx 180^{\circ}C$

**Paso 2:** Comparar temperatura real con temperatura de saturación.

$$T_{real} = 200^{\circ}C \quad \text{vs} \quad T_{sat} = 180^{\circ}C$$

**Paso 3:** Aplicar criterio de identificación de estado.

- Si  $T < T_{sat}$ : **Líquido comprimido (subenfriado)**
- Si  $T = T_{sat}$ : **Saturado** (líquido saturado, mezcla, o vapor saturado)
- Si  $T > T_{sat}$ : **Vapor sobrecalentado**

Como  $200^{\circ}C > 180^{\circ}C$ , el agua se encuentra como **Vapor Sobrecalentado**.

**Verificación alternativa (Diagrama P-T):**

- Punto:  $(P = 1,0 \text{ MPa}, T = 200^{\circ}C)$
- Curva de saturación:  $P_{sat}(200^{\circ}C) = 1,554 \text{ MPa}$
- Como  $P < P_{sat}$ , está en región de vapor sobrecalentado

**Nota Handbook FE:**

- **Steam Tables (Pág. 157):** Tablas de vapor saturado (agua).
- Criterio: Si  $T > T_{sat}$  a la presión dada, es vapor sobrecalentado.
- Para propiedades específicas, consultar tablas de vapor sobrecalentado.

**Respuesta Correcta: d)**

## 2. 2016-2

### Pregunta 33 - 2016-2

**Enunciado:** ¿Cuál es la temperatura de un sistema en equilibrio térmico con otro sistema compuesto por una mezcla de agua y vapor de agua a 1 atm de presión?

**Solución: Concepto clave:** Equilibrio térmico significa que ambos sistemas están a la misma temperatura.

**Paso 1: Identificar la temperatura de la mezcla agua-vapor.**

Para una mezcla líquido-vapor en equilibrio (estado saturado):

- La temperatura y presión están relacionadas por la ecuación de Clausius-Clapeyron
- A cada presión corresponde una única temperatura de saturación
- $T = T_{sat}(P)$

**Paso 2: Consultar temperatura de saturación a 1 atm.**

De las tablas de vapor de agua:

- $P = 1 \text{ atm} = 101,325 \text{ kPa}$
- $T_{sat} = 100^\circ C = 373,15 \text{ K} = 212^\circ F$

**Paso 3: Aplicar condición de equilibrio térmico.**

Por la Ley Cero de la Termodinámica:

- Si el sistema A está en equilibrio térmico con el sistema B
- Entonces  $T_A = T_B$

Por lo tanto:

$$T_{sistema} = T_{mezcla} = 100^\circ C$$

**Nota importante:** Cualquier mezcla de agua líquida y vapor en equilibrio a 1 atm SIEMPRE está a  $100^\circ C$ , independientemente de la calidad (proporción de vapor).

**Nota Handbook FE:**

- **Properties of Water (Pág. 157):** A presión atmosférica normal,  $T_{sat} = 100^\circ C$ .
- En zona de mezcla ( $0 < x < 1$ ),  $T$  y  $P$  son dependientes (regla de fases de Gibbs).
- **Zeroth Law (Pág. 143):** Equilibrio térmico implica temperaturas iguales.

**Respuesta Correcta: c)**

### Pregunta 34 - 2016-2

**Enunciado:** Un gas ideal puede ser llevado desde el punto 2 al punto 4 de tres maneras distintas:  $2 \rightarrow 4$ ;  $2 \rightarrow 3 \rightarrow 4$ ;  $2 \rightarrow 1 \rightarrow 4$ . Indique cuál afirmación es correcta.

**Solución: Conceptos fundamentales:**

**Propiedades de estado:** Dependen solo del estado ( $P$ ,  $T$ ,  $V$ ), no del camino.

- Energía interna ( $U$ )
- Entalpía ( $H$ )

- Entropía ( $S$ )
- Volumen ( $V$ ), Presión ( $P$ ), Temperatura ( $T$ )

**Propiedades de trayectoria:** Dependen del camino seguido.

- Calor ( $Q$ )
- Trabajo ( $W$ )

**Análisis de cada proceso:**

Para un gas ideal:  $\Delta U = nC_v\Delta T = nC_v(T_4 - T_2)$

Como  $\Delta U$  solo depende de las temperaturas inicial y final:

$$\Delta U_{2 \rightarrow 4} = \Delta U_{2 \rightarrow 3 \rightarrow 4} = \Delta U_{2 \rightarrow 1 \rightarrow 4}$$

**Sin embargo:**

- El calor transferido  $Q$  es diferente para cada camino
- El trabajo realizado  $W$  es diferente para cada camino (área bajo la curva P-V)

**Verificación con Primera Ley:**

$$Q - W = \Delta U$$

Como  $\Delta U$  es igual para todos los caminos, pero  $Q$  y  $W$  varían, se cumple:

$$Q_1 - W_1 = Q_2 - W_2 = Q_3 - W_3 = \Delta U$$

**Nota Handbook FE:**

- **Thermodynamics (Pág. 143):** Definición de propiedades de estado ( $U, H, S$ ) vs trayectoria ( $Q, W$ ).
- Propiedades de estado son independientes del camino termodinámico.

**Respuesta Correcta:** a) Se realiza el mismo cambio de energía interna para los 3 procesos

### Pregunta 35 - 2016-2

**Enunciado:** La propiedad de una sustancia que aumenta o disminuye cuando se le suministra o retira calor, respectivamente, de una manera reversible, es conocida como:

**Solución:** La propiedad descrita es la **Entropía ( $S$ )**.

**Definición de Clausius:** Para un proceso reversible:

$$dS = \frac{\delta Q_{rev}}{T}$$

**Interpretación:**

- Si se **suministra calor** reversiblemente:  $\delta Q > 0 \Rightarrow dS > 0$  (entropía aumenta)
- Si se **retira calor** reversiblemente:  $\delta Q < 0 \Rightarrow dS < 0$  (entropía disminuye)

**Diferencia con otras propiedades:**

- **Entalpía ( $H$ ):** Relacionada con calor a presión constante, pero no caracteriza procesos reversibles generales

- **Energía interna** ( $U$ ): Cambia con calor Y trabajo, no solo calor
- **Trabajo**: No es una propiedad de estado

**Segunda Ley de la Termodinámica:** Para cualquier proceso:

$$dS \geq \frac{\delta Q}{T}$$

La igualdad aplica solo para procesos reversibles.

**Nota Handbook FE:**

- **Second Law of Thermodynamics (Pág. 151):** Se define en términos de entropía:  $dS \geq \delta Q/T$ .
- Para procesos reversibles:  $dS = \delta Q/T$  (igualdad de Clausius).

**Respuesta Correcta: c)**

### Pregunta 36 - 2016-2

**Enunciado:** Considere una bomba de calor de Carnot que posee un coeficiente de operación de 10. Indique la razón entre la temperatura absoluta más baja y más alta.

**Solución: Definición del COP para bomba de calor (Heat Pump):**

$$COP_{HP} = \frac{Q_H}{W} = \frac{T_H}{T_H - T_L}$$

Donde:

- $Q_H$  = Calor entregado al espacio caliente
- $W$  = Trabajo neto requerido
- $T_H$  = Temperatura del espacio caliente (K)
- $T_L$  = Temperatura del espacio frío (K)

**Paso 1: Plantear ecuación con datos dados.**

$$COP_{HP} = \frac{T_H}{T_H - T_L} = 10$$

**Paso 2: Manipular algebraicamente.**

Reescribiendo:

$$\frac{T_H}{T_H - T_L} = 10$$

$$T_H = 10(T_H - T_L)$$

$$T_H = 10T_H - 10T_L$$

$$10T_L = 9T_H$$

$$\frac{T_L}{T_H} = \frac{9}{10} = 0,9$$

**Interpretación física:**

- Si  $T_H = 300$  K (27°C), entonces  $T_L = 270$  K (-3°C)

- Un COP alto (10) indica que las temperaturas están muy cercanas
- Por cada kJ de trabajo, se entregan 10 kJ de calor

**Verificación:**

$$COP_{HP} = \frac{300}{300 - 270} = \frac{300}{30} = 10$$

**Nota Handbook FE:**

- **Cycles (Pág. 149):** Fórmulas para Vapour Compression y Carnot.
- $COP_{HP,Carnot} = T_H/(T_H - T_L)$  (máximo teórico).
- Relación:  $COP_{HP} = COP_R + 1$  donde  $COP_R$  es para refrigeración.

**Respuesta Correcta: b) 0,9**

### 3. 2017-1

#### Pregunta 33 - 2017-1

**Enunciado:** Comparar A ( $26^{\circ}C$ ), B ( $536,67^{\circ}R$ ), C ( $84,2^{\circ}F$ ).

**Solución:** Convertimos a Celsius (Pág. 1): 1.  $T_A = 26^{\circ}C$ . 2.  $T_B = 536,67^{\circ}R \implies T_K = 298,15 K \implies T_C = 25^{\circ}C$ . 3.  $T_C = 84,2^{\circ}F \implies T_C = 29^{\circ}C$ .

Orden:  $T_B < T_A < T_C$ .

**Nota Handbook FE:**

- **Units and Conversions (Pág. 1):** Factores:  $T_R = 1,8T_K$ ,  $T_F = 1,8T_C + 32$ .

**Respuesta Correcta: d)**

#### Pregunta 34 - 2017-1

**Enunciado:** ¿Cuáles de las siguientes propiedades afectan la cantidad de energía transferida en forma de calor sensible desde o hacia una sustancia?

**Solución:** El **calor sensible** es la energía térmica transferida que produce un cambio de temperatura sin cambio de fase.

La ecuación fundamental es:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

*Nemotecnia:  $Q = c\Delta T m$ . Acuérdate de las siglas CTM*

Donde:

- $Q$  = Calor transferido (J o kJ)
- $m$  = Masa de la sustancia (kg)
- $c$  = Calor específico (J/kg·K o kJ/kg·K)
- $\Delta T$  = Cambio de temperatura (K o  $^{\circ}C$ )

Por lo tanto, las tres propiedades que afectan el calor sensible son:

1. **Masa (m):** A mayor masa, mayor calor requerido

2. **Calor específico ( $c$ )**: Propiedad del material
3. **Cambio de temperatura ( $\Delta T$ )**: Diferencia térmica deseada

**Nota:** El calor *latente* (cambio de fase) NO depende de  $\Delta T$ , sino de la masa y el calor latente de transformación.

**Nota Handbook FE:**

- **Heat Capacity (Pág. 146)**: Definición de  $c_p$  y  $c_v$ .
- **Heat Transfer (Pág. 204)**:  $Q = \dot{m}c_p\Delta T$ .

**Respuesta Correcta: d)**

### Pregunta 35 - 2017-1

**Enunciado:** Indique cuál afirmación es correcta respecto a la segunda ley de la termodinámica, para un proceso irreversible.

**Solución: Segunda Ley de la Termodinámica (Enunciado de Clausius):**

Para cualquier proceso que ocurre en el universo:

$$\Delta S_{universo} = \Delta S_{sistema} + \Delta S_{alrededores} \geq 0$$

**Clasificación de procesos:**

- **Proceso reversible**:  $\Delta S_{universo} = 0$  (equilibrio termodinámico)
- **Proceso irreversible**:  $\Delta S_{universo} > 0$  (proceso real espontáneo)
- **Proceso imposible**:  $\Delta S_{universo} < 0$  (viola la Segunda Ley)

**Para un proceso irreversible:**

$$\Delta S_{universo} > 0$$

La entropía total del universo **siempre aumenta** en procesos irreversibles.

**Notas importantes:**

- La entropía del *sistema* puede aumentar, disminuir o permanecer constante
- La entropía de los *alrededores* puede aumentar, disminuir o permanecer constante
- Pero la suma  $\Delta S_{sistema} + \Delta S_{alrededores} > 0$  para procesos irreversibles

**Ejemplo:** Un refrigerador disminuye la entropía del interior (sistema), pero aumenta más la entropía del exterior (alrededores), resultando en  $\Delta S_{universo} > 0$ .

**Nota Handbook FE:**

- **Second Law of Thermodynamics (Pág. 151)**: Para proceso aislado irreversible,  $\Delta S > 0$ .
- Principio de aumento de entropía: La entropía del universo nunca disminuye.

**Respuesta Correcta: a)**

## Pregunta 36 - 2017-1

**Enunciado:** Una máquina térmica reversible opera entre  $800^{\circ}C$  (fuente) y  $30^{\circ}C$  (sumidero). Determine la mínima tasa de rechazo de calor por kW de potencia neta.

**Solución: Datos:**

- $T_H = 800^{\circ}C = 1073,15 \text{ K}$  (fuente caliente)
- $T_L = 30^{\circ}C = 303,15 \text{ K}$  (sumidero frío)
- $W_{net} = 1 \text{ kW}$  (potencia neta)

**Paso 1: Calcular eficiencia de Carnot.**

Para una máquina térmica reversible (Carnot):

$$\eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{303,15}{1073,15} = 1 - 0,2825 = 0,7175$$

**Paso 2: Calcular calor de entrada.**

De la definición de eficiencia:

$$\eta = \frac{W_{net}}{Q_{in}} \implies Q_{in} = \frac{W_{net}}{\eta} = \frac{1}{0,7175} = 1,394 \text{ kW}$$

**Paso 3: Calcular calor de rechazo.**

Por conservación de energía (Primera Ley):

$$Q_{in} = W_{net} + Q_{out}$$

$$Q_{out} = Q_{in} - W_{net} = 1,394 - 1,0 = 0,394 \text{ kW} \approx 0,4 \text{ kW}$$

**Conceptos Claves y Desglose del Enunciado:**

- **Primera Ley de la Termodinámica (Conservación de Energía):** La energía no se crea ni se destruye, solo se transforma. En una máquina térmica, el calor absorbido desde la fuente caliente ( $Q_{in}$  o  $Q_H$ ) se convierte parcialmente en trabajo útil ( $W_{net}$ ), y la energía *sobrante* que no se pudo transformar se rechaza al sumidero frío ( $Q_{out}$  o  $Q_L$ ). Es decir:  $Q_{in} = W_{net} + Q_{out}$ .
- **Mínima tasa de rechazo de calor:** La Segunda Ley establece que es imposible convertir el 100 % del calor en trabajo; siempre habrá un *desperdicio* en forma de calor rechazado ( $Q_{out} > 0$ ). La máquina de **Carnot** es la máquina térmica teórica más eficiente posible. Al aprovechar la energía al máximo, es la que **menos calor desperdicia**. Por ende, calcular el rechazo en un ciclo reversible (Carnot) nos da el valor **mínimo** absoluto que puede existir.
- **Por kW de potencia neta:** Simplemente fija nuestra base de cálculo. Significa: *Si queremos generar exactamente 1 kW de trabajo ( $W_{net} = 1 \text{ kW}$ ), ¿cuánta energía tendríamos que botar?*

**Ejemplos Prácticos:**

- **Motor de automóvil:** La combustión de gasolina entrega el calor ( $Q_{in}$ ). El movimiento de las ruedas y ejes es el trabajo mecánico ( $W_{net}$ ). El calor que sale ardiente por el tubo de escape y el que disipa el radiador hacia el aire, conforman el calor rechazado ( $Q_{out}$ ). Si el motor fuera reversible (Carnot), desperdiciaría por el escape esa tasa *mínima* calculada.
- **Central Termoeléctrica:** Quema carbón o gas para calentar agua ( $Q_{in}$ ). El vapor mueve turbinas para generar electricidad ( $W_{net}$ ). Luego el vapor se debe enfriar y condensar botando calor a un río, lago o torre de enfriamiento ( $Q_{out}$ ). Si una central genera 1000 MW de electricidad y tiene 40 % de eficiencia, debe botar 1500 MW de calor al ambiente, que calienta el río o la atmósfera.

**Interpretación de los Resultados:** Al calcular el  $Q_{out} \approx 0,4$  kW, la termodinámica nos asegura que para generar 1 kW de potencia útil entre  $800^{\circ}C$  y  $30^{\circ}C$ , **incluso con la mejor tecnología imaginable (reversible)**, estamos obligados a calentar nuestro entorno botando 0.4 kW por cada kW útil. Toda máquina real desperdiciará más que eso.

**Nota Handbook FE:**

- **Cycles (Pág. 149):** Eficiencia de Carnot  $\eta = 1 - T_L/T_H$ .
- Balance de energía:  $Q_H = W + Q_L$ .

**Respuesta Correcta: b) 0,4 kW**

## 4. 2017-2

### Pregunta 33 - 2017-2

**Enunciado:** ¿Cuál de las siguientes afirmaciones acerca de las escalas de temperatura Celsius y Kelvin es CORRECTA?

**Solución:** La relación entre Kelvin y Celsius es:

$$T_K = T_C + 273,15$$

Esta es una transformación lineal con pendiente  $m = 1$  y desplazamiento  $b = 273,15$ .

Para cambios de temperatura:

$$\Delta T_K = T_{K,2} - T_{K,1} = (T_{C,2} + 273,15) - (T_{C,1} + 273,15)$$

$$\Delta T_K = T_{C,2} - T_{C,1} = \Delta T_C$$

Por lo tanto, un grado Kelvin tiene el mismo espaciamiento que un grado Celsius.

**Ejemplo:**

- Calentar agua de  $20^{\circ}C$  a  $30^{\circ}C$ :  $\Delta T = 10^{\circ}C$
- En Kelvin: de  $293,15$  K a  $303,15$  K:  $\Delta T = 10K$

**Nota Handbook FE:**

- **Units (Pág. 1):** Relación lineal con desplazamiento ( $T_K = T_C + 273,15$ ) implica pendientes iguales.
- La diferencia de temperatura es invariante:  $\Delta T_K = \Delta T_C$ .

**Respuesta Correcta: c)**

### Pregunta 34 - 2017-2

**Enunciado:** Un globo que contiene aire frío se coloca en una habitación cerrada a temperatura levemente más alta. El globo NO está en equilibrio térmico con el aire de la habitación HASTA que:

**Solución: Concepto: Equilibrio térmico (Ley Cero de la Termodinámica).**

Dos sistemas están en equilibrio térmico cuando:

- No hay flujo neto de calor entre ellos
- Ambos están a la misma temperatura

- Todas las propiedades macroscópicas son constantes en el tiempo

**Proceso del globo:**

**Estado inicial:**

- $T_{globo} < T_{hab}$  (donde  $T_{hab}$  es la temperatura de la habitación)
- Hay flujo de calor del aire de la habitación hacia el globo
- El globo NO está en equilibrio

**Durante el proceso:**

- El aire dentro del globo se calienta
- Al calentarse, el aire se expande (Ley de Charles)
- El globo aumenta de volumen (se expande)

**Condición de equilibrio:**

- Cuando  $T_{globo} = T_{hab}$
- El flujo de calor cesa
- La expansión se detiene

Por lo tanto, el globo alcanza equilibrio térmico cuando \*\*detiene su expansión\*\*.

**Análisis de opciones:**

- a) Desciende: No relacionado con equilibrio térmico
- b) Comienza a contraerse: Falso, se expande al calentarse
- c) Detiene su expansión: Correcto (equilibrio alcanzado)
- d) Se eleva: Puede ocurrir pero no define equilibrio térmico

**Nota Handbook FE:**

- **Thermodynamics (Pág. 143):** Zeroth Law define equilibrio térmico.
- **Ideal Gas (Pág. 145):**  $V \propto T$  a presión constante (Ley de Charles).

**Respuesta Correcta: c) Detiene su expansión**

**Pregunta 35 - 2017-2**

**Enunciado:** El cambio de entropía de un sistema depende de:

**Solución:** Para responder esta pregunta, analizaremos matemáticamente de qué depende el cambio de entropía ( $\Delta S$ ) utilizando el modelo de **Gas Ideal** proporcionado en el **FE Handbook (Pág. 145)**.

El cambio de entropía total de un sistema cerrado es  $\Delta S = m\Delta s$ . El manual nos entrega dos ecuaciones fundamentales para el cambio de entropía específica ( $\Delta s$ ):

1. En función de Temperatura y Volumen específico ( $v$ ):

$$\Delta s = c_v \ln \left( \frac{T_2}{T_1} \right) + R \ln \left( \frac{v_2}{v_1} \right)$$

2. En función de Temperatura y Presión ( $P$ ):

$$\Delta s = c_p \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) - R \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

De estas ecuaciones es evidente que el cálculo del cambio de entropía requiere conocer los cambios de **Temperatura ( $T$ )**, **Presión ( $P$ )** y **Volumen ( $V$ )**.

**Análisis detallado de las opciones:**

- **a) Masa transferida:** Incorrecto. Un sistema cerrado por definición no transfiere masa (su  $m$  es constante), por lo que esto no es lo que genera el  $\Delta S$ .
- **b) Calor transferido:** Incorrecto como dependencia única analítica. Si bien conceptualmente  $dS \geq \delta Q/T$ , el calor es una propiedad de trayectoria. La entropía es una propiedad de estado, por lo que su cambio neto final depende solo de los puntos de inicio y fin ( $P, V, T$ ), sin importar la trayectoria irreversible real o el calor real transferido en el camino.
- **c) Cambio de temperatura:** Insuficiente. Como muestran las ecuaciones, conocer solo el cambio de temperatura ( $T_2/T_1$ ) no basta; necesitamos conocer también qué ocurrió con el volumen del gas ( $v_2/v_1$ ) o su presión ( $P_2/P_1$ ).
- **d) Cambio de presión y volumen:** Correcto. Por la Ecuación de Estado de los Gases Ideales ( $Pv = RT$ ), la temperatura depende directamente de la presión y el volumen. Por lo tanto, si conocemos cómo cambian la **presión y el volumen**, conocemos implícitamente cómo cambia la temperatura, y nuestro cambio de entropía queda completamente definido.

**Respuesta correcta:** El cambio de entropía de un gas ideal está definido si se conoce el cambio de presión y volumen.

**Nota Handbook FE:**

- **Ideal Gas (Pág. 145):** Fórmulas explícitas para el cálculo de entropía dependiente de  $T, P$  y  $v$ :  
 $\Delta s = c_v \ln(T_2/T_1) + R \ln(v_2/v_1)$  y  $\Delta s = c_p \ln(T_2/T_1) - R \ln(P_2/P_1)$ .

**Respuesta Correcta: d)**

### Pregunta 36 - 2017-2

**Enunciado:** Se tienen 2 motores térmicos reversibles; el primero opera entre  $1000^\circ C$  y  $T_2$ , mientras que el segundo opera entre  $T_2$  y  $400^\circ C$ . El valor de  $T_2$  para que el trabajo de ambos motores sea el mismo es aproximadamente:

**Solución: Configuración:**

- Motor 1:  $T_H = 1000^\circ C = 1273,15 \text{ K}$ ,  $T_{mid} = T_2$
- Motor 2:  $T_{mid} = T_2$ ,  $T_L = 400^\circ C = 673,15 \text{ K}$

**Paso 1: Expresar eficiencias de Carnot.**

$$\eta_1 = 1 - \frac{T_2}{T_H} = 1 - \frac{T_2}{1273,15}$$

$$\eta_2 = 1 - \frac{T_L}{T_2} = 1 - \frac{673,15}{T_2}$$

**Paso 2: Plantear condición  $W_1 = W_2$ .**

Asumiendo mismo flujo de calor  $Q_H$  en el primer motor:

$$W_1 = \eta_1 Q_H$$

El calor rechazado por el motor 1 es la entrada del motor 2:

$$Q_2 = Q_H(1 - \eta_1) = Q_H \frac{T_2}{T_H}$$

$$W_2 = \eta_2 Q_2 = \left(1 - \frac{T_L}{T_2}\right) Q_H \frac{T_2}{T_H}$$

Igualando  $W_1 = W_2$ :

$$\left(1 - \frac{T_2}{T_H}\right) = \left(1 - \frac{T_L}{T_2}\right) \frac{T_2}{T_H}$$

### Paso 3: Simplificar.

Simplificando:

$$T_H - T_2 = T_2 - T_L$$

$$T_2 = \frac{T_H + T_L}{2} = \frac{1273,15 + 673,15}{2} = 973,15 \text{ K}$$

$$T_2 = 973,15 - 273,15 = 700^\circ\text{C}$$

**Resultado:** Para que ambos motores produzcan el mismo trabajo,  $T_2$  debe ser la \*\*media aritmética\*\* de las temperaturas extremas.

#### Nota Handbook FE:

- **Cycles (Pág. 149):** Usar expresiones de eficiencia para derivar trabajo.
- Para motores en serie con trabajos iguales:  $T_{mid} = (T_H + T_L)/2$ .

**Respuesta Correcta: b)  $700^\circ\text{C}$**

## 5. 2018-1

### Pregunta 33 - 2018-1

**Enunciado:** Termómetro  $-35^\circ\text{C}$  a  $280^\circ\text{C}$ .

**Solución:**

$$\Delta T_C = 315^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_R = 1,8 \Delta T_C = 567^\circ\text{R}$$

#### Nota Handbook FE:

- **Units (Pág. 1):** Factor 1.8 para diferencia de temperatura.

**Respuesta Correcta: d)**

### Pregunta 34 - 2018-1

**Enunciado:** Esferas A y B. Igual calor.

**Solución:**

$$Q = mc\Delta T$$

$$c_A \Delta T_A = c_B \Delta T_B$$

$$220(51) = 80 \Delta T_B \implies \Delta T_B = 140,25$$

$$T_{f,B} = 21 + 140,25 = 161,25^\circ C$$

**Nota Handbook FE:**

- **Heat Capacity (Pág. 146):** Definición calor sensible.

**Respuesta Correcta: a)**

### Pregunta 35 - 2018-1

**Enunciado:** Un sistema cerrado realiza procesos en quasi equilibrio mostrados en diagrama P-V. Indique el trabajo realizado por el sistema.

**Solución:** El trabajo en un proceso de frontera móvil (moving boundary work) es:

$$W = \int P dV$$

Geométricamente, es el área bajo la curva en el diagrama P-V.

**Del gráfico identificamos:**

- Punto 1: ( $V_1 = 0,1 \text{ m}^3, P_1 = 100 \text{ kPa}$ )
- Punto 2: ( $V_2 = 0,1 \text{ m}^3, P_2 = 200 \text{ kPa}$ )
- Punto 3: ( $V_3 = 0,4 \text{ m}^3, P_3 = 400 \text{ kPa}$ )
- Punto 4: ( $V_4 = 0,6 \text{ m}^3, P_4 = 400 \text{ kPa}$ )

**Proceso 1→2 (Isocórico):**  $V = \text{constante}$

$$W_{1 \rightarrow 2} = \int_{V_1}^{V_2} P dV = 0 \quad (\text{no hay cambio de volumen})$$

**Proceso 2→3 (Proceso lineal):** Calculamos como área de trapecio:

$$W_{2 \rightarrow 3} = \frac{P_2 + P_3}{2} \times (V_3 - V_2) = \frac{200 + 400}{2} \times (0,4 - 0,1)$$

$$W_{2 \rightarrow 3} = 300 \times 0,3 = 90 \text{ kJ}$$

**Proceso 3→4 (Isobárico):**  $P = 400 \text{ kPa}$

$$W_{3 \rightarrow 4} = P_3 \times (V_4 - V_3) = 400 \times (0,6 - 0,4)$$

$$W_{3 \rightarrow 4} = 400 \times 0,2 = 80 \text{ kJ}$$

**Trabajo total del ciclo:**

$$W_{total} = W_{1 \rightarrow 2} + W_{2 \rightarrow 3} + W_{3 \rightarrow 4} = 0 + 90 + 80 = 170 \text{ kJ}$$

**Nota Handbook FE:**

- **Thermodynamics (Pág. 144):**  $W_b = \int P dv$  (Moving Boundary Work).
- Work is positive for expansion ( $dV > 0$ ) and negative for compression.
- Para proceso isobárico:  $W = P(V_2 - V_1)$ .

**Respuesta Correcta: a)****Pregunta 36 - 2018-1**

**Enunciado:** Si el coeficiente de operación de un ciclo de Carnot invertido de refrigeración es de 0,25, indique cuál sería la eficiencia del ciclo si este se invirtiera.

**Solución: Conceptos clave:**

- Ciclo de refrigeración invertido: extrae calor del espacio frío
- Si se invierte → se convierte en máquina térmica

**Paso 1: Determinar relación de temperaturas desde COP.**

Para refrigerador de Carnot:

$$COP_R = \frac{Q_L}{W} = \frac{T_L}{T_H - T_L} = 0,25$$

Resolviendo:

$$T_L = 0,25(T_H - T_L)$$

$$T_L = 0,25T_H - 0,25T_L$$

$$1,25T_L = 0,25T_H$$

$$\frac{T_L}{T_H} = \frac{0,25}{1,25} = 0,2$$

Por lo tanto:  $T_H = 5T_L$ **Paso 2: Calcular eficiencia del ciclo invertido (máquina térmica).**

Al invertir el ciclo, se convierte en máquina térmica de Carnot:

$$\eta = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - 0,2 = 0,8 = 80\%$$

**Relación general entre COP y  $\eta$  para Carnot:**

$$\eta = \frac{COP_R}{1 + COP_R} = \frac{0,25}{1,25} = 0,2 \quad (\text{NO})$$

Más bien:

$$\eta = 1 - \frac{1}{1 + COP_R} = 1 - \frac{1}{1,25} = 0,8$$

**Verificación:**

- Si  $T_H = 500$  K, entonces  $T_L = 100$  K
- $COP_R = 100/(500 - 100) = 0,25$
- $\eta = 1 - 100/500 = 0,8$

**Nota Handbook FE:**

- **Cycles (Pág. 149):** Relaciones de  $COP$  y  $\eta$  para ciclos reversibles.
- Un ciclo reversible operado en reversa mantiene las mismas temperaturas.

**Respuesta Correcta: c) 80 %**

## 6. 2018-2

### Pregunta 30 - 2018-2

**Enunciado:** Una pera pierde 5 kJ de calor por cada  $^{\circ}\text{C}$  que cae la temperatura. ¿Cuánto calor pierde por cada  $^{\circ}\text{F}$ ?

**Solución:** Sabemos que la relación entre cambios de temperatura es:

$$\Delta T_C = \frac{\Delta T_F}{1,8} \quad \text{o bien} \quad \Delta T_F = 1,8 \times \Delta T_C$$

Esto significa que:

$$1^{\circ}\text{C} = 1,8^{\circ}\text{F}$$

Si la pera pierde 5 kJ por cada  $1^{\circ}\text{C}$ , y  $1^{\circ}\text{C}$  equivale a  $1,8^{\circ}\text{F}$ , entonces:

$$\text{Pérdida por } 1^{\circ}\text{F} = \frac{5 \text{ kJ}}{1,8} = 2,78 \text{ kJ} \approx 2,7 \text{ kJ}$$

**Verificación:**

- Si  $\Delta T = 10^{\circ}\text{C} = 18^{\circ}\text{F}$
- Pérdida total:  $5 \times 10 = 50 \text{ kJ}$
- Por grado F:  $50/18 = 2,78 \text{ kJ/}^{\circ}\text{F}$

**Nota Handbook FE:**

- **Units (Pág. 1):**  $T_F = 1,8T_C + 32$ . Para diferencias:  $\Delta T_F = 1,8\Delta T_C$ .

**Respuesta Correcta: a)**

### Pregunta 31 - 2018-2

**Enunciado:** Corriente de agua con  $\dot{m} = 4 \text{ kg/s}$  ingresa a tubería adiabática a  $25^{\circ}\text{C}$ . Por fricción, la temperatura aumenta a  $25,5^{\circ}\text{C}$ .  $C_p = 4180 \text{ J/(kg.K)}$ . Determine la tasa de generación de entropía.

**Solución:** Para resolver este problema, partimos del **Balance de Entropía** general para un volumen de control (sistema abierto) estipulado por la Segunda Ley de la Termodinámica (FE Handbook Pág. 151):

$$\frac{dS_{cv}}{dt} = \sum \frac{\dot{Q}_j}{T_j} + \sum \dot{m}_i s_i - \sum \dot{m}_e s_e + \dot{S}_{gen}$$

Para derivar nuestra ecuación de trabajo, aplicamos las simplificaciones de nuestro caso particular:

1. **Estado estacionario:** No hay acumulación dentro del sistema, por lo que el cambio en el tiempo es nulo ( $\frac{dS_{cv}}{dt} = 0$ ).

2. **Flujo único:** Solo hay una entrada ( $i = 1$ ) y una salida ( $e = 2$ ), con el mismo flujo másico constante por conservación de masa ( $\dot{m}_i = \dot{m}_e = \dot{m}$ ).

Aplicando estas condiciones a la ecuación general, nos queda:

$$0 = \frac{\dot{Q}}{T_b} + \dot{m}s_1 - \dot{m}s_2 + \dot{S}_{gen}$$

Reordenando para despejar netamente la tasa de generación de entropía ( $\dot{S}_{gen}$ ):

$$\dot{S}_{gen} = \dot{m}(s_2 - s_1) - \frac{\dot{Q}}{T_b}$$

Como nuestro sistema (tubería) se describe explícitamente como **adiabático**, no hay transferencia de calor con el entorno, anulando el término térmico ( $\dot{Q} = 0$ ).

Por lo tanto, la ecuación se reduce finalmente a:

$$\dot{S}_{gen} = \dot{m}(s_2 - s_1)$$

**Para sustancia incompresible** (agua líquida):

$$s_2 - s_1 = c_p \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)$$

**Datos:**

- $\dot{m} = 4 \text{ kg/s}$
- $T_1 = 25^\circ C = 298,15 \text{ K}$
- $T_2 = 25,5^\circ C = 298,65 \text{ K}$
- $c_p = 4180 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$

**Cálculo del cambio específico de entropía:**

$$s_2 - s_1 = 4180 \times \ln\left(\frac{298,65}{298,15}\right)$$

$$s_2 - s_1 = 4180 \times \ln(1,001677)$$

$$s_2 - s_1 = 4180 \times 0,001676 = 7,0 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$$

**Tasa de generación de entropía:**

$$\dot{S}_{gen} = 4 \times 7,0 = 28 \text{ W/K}$$

**Interpretación física:** La fricción genera calor internamente (irreversibilidad), aumentando la temperatura y creando entropía. Este proceso es espontáneo e irreversible ( $\dot{S}_{gen} > 0$ ).

**Nota Handbook FE:**

- **Second Law (Pág. 151):** Entropy Balance for Open System.
- **Heat Capacity (Pág. 146):** For incompressible substances,  $\Delta s = c \ln(T_2/T_1)$ .

**Respuesta Correcta: c)**

## Pregunta 32 - 2018-2

**Enunciado:** Corriente de aire ingresa a tubería de 28 cm de diámetro a 200 kPa, 20°C con velocidad de 5 m/s.  $R = 0,287 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ . Determine el flujo másico.

**Solución: Datos:**

- $D = 28 \text{ cm} = 0,28 \text{ m}$
- $P = 200 \text{ kPa}$
- $T = 20^\circ\text{C} = 293,15 \text{ K}$
- $v = 5 \text{ m/s}$
- $R = 0,287 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K}) = 287 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$

**Paso 1: Relacionar la Ecuación de Gas Ideal con la Densidad.**

El FE Handbook (Pág. 145) nos entrega la ecuación de estado de Gas Ideal en función del volumen específico ( $v$ ):

$$Pv = RT$$

Sabemos que el volumen específico es el volumen por unidad de masa ( $v = V/m$ ), y la densidad es masa por unidad de volumen ( $\rho = m/V$ ). Por lo tanto, el volumen específico es el inverso exacto de la densidad:

$$v = \frac{1}{\rho}$$

Sustituyendo esto en la ecuación del Handbook, obtenemos una versión directa para calcular la densidad:

$$P \left( \frac{1}{\rho} \right) = RT \implies \rho = \frac{P}{RT}$$

**Paso 2: Calcular la densidad del aire.**

$$\rho = \frac{200,000 \text{ Pa}}{287 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K}) \times 293,15 \text{ K}}$$

$$\rho = \frac{200,000}{84,134,05} = 2,377 \text{ kg/m}^3$$

**Paso 3: Calcular área de la sección transversal.**

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (0,28)^2}{4} = \frac{0,2464}{4} = 0,0616 \text{ m}^2$$

**Paso 4: Calcular flujo másico.**

Aplicamos la **Ecuación de Continuidad** (FE Handbook, Pág. 181), que nos dice que el flujo de masa ( $\dot{m}$ ) que atraviesa una sección es el producto de su densidad, área y velocidad:

$$\dot{m} = \rho Av = 2,377 \times 0,0616 \times 5$$

$$\dot{m} = 0,732 \text{ kg/s} \approx 0,73 \text{ kg/s}$$

**Interpretación Práctica:** Esta ecuación es fundamental en el diseño de ductos de ventilación (HVAC) o sistemas de admisión de motores. Nos dice que si el aire está comprimido (alta presión  $\implies$  alta densidad), necesitamos un ducto más pequeño (menor Área) o una menor velocidad para transportar la misma cantidad de masa de aire (kg/s) que si el aire estuviese a presión atmosférica normal.

**Verificación dimensional:**

$$\left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \times (\text{m}^2) \times \left( \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) = \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

**Nota Handbook FE:**

- **Ideal Gas (Pág. 145):**  $Pv = RT$ . Concepto de variable específica ( $v = 1/\rho$ ).
- **Fluid Mechanics (Pág. 181):** Continuity Equation:  $\dot{m} = \rho Av$ .
- **Tip:** Asegurar siempre consistencia estricta de unidades: usar Pa, J/(kg·K), K.

**Respuesta Correcta: d) 0,73 kg/s**

**Pregunta 33 - 2018-2**

**Enunciado:** Ciclo de Rankine ideal opera entre 3,060 MPa y 57,83 kPa. A la salida del condensador: líquido saturado. Bomba reversible, adiabática, fluido incompresible. Determine el trabajo efectuado por la bomba.

**Solución: Datos:**

- $P_1 = 57,83$  kPa (salida condensador = entrada bomba, estado líquido saturado)
- $P_2 = 3,060$  MPa = 3060 kPa (entrada caldera = salida bomba)
- Bomba: reversible, adiabática (isoentrópica)
- Fluido: incompresible

**Paso 1: Consultar volumen específico del líquido saturado.**

De tablas de vapor a las condiciones de entrada de la bomba ( $P_1 = 57,83$  kPa,  $T_{sat} \approx 85^\circ C$ ):

$$v_f \approx 0,001033 \text{ m}^3/\text{kg}$$

**Paso 2: Relacionar con el FE Handbook para trabajo de bombas.**

El trabajo de una bomba ideal puede derivarse de la Primera Ley. En el **FE Handbook (Pág. 148, Steady-Flow Systems)**, el balance de energía para un volumen de control, asumiendo cambios de energía cinética y potencial despreciables y proceso adiabático ( $Q_{in} = 0$ ), se reduce a:

$$h_{in} = h_{out} + w_{out} \implies w_{pump\_in} = h_{out} - h_{in}$$

Para evitar buscar entalpías de líquido comprimido en tablas, el **FE Handbook (Pág. 149, Turbines, Pumps, Compressors)** nos entrega una relación explícita para bombas asumiendo fluido incompresible:

$$h_{es} - h_i = v_i(P_e - P_i)$$

Donde el subíndice  $s$  indica condición isoentrópica (ideal),  $e$  es salida ( $P_2$ ) e  $i$  es entrada ( $P_1$ ).

Por lo tanto, el trabajo consumido específico ideal es netamente:

$$w_p = v_i(P_2 - P_1)$$

**Paso 3: Calcular el trabajo.**

Sustituyendo los valores:

$$w_p = 0,001033 \times (3060 - 57,83)$$

$$w_p = 0,001033 \times 3002,17 = 3,101 \text{ kJ/kg}$$

Dado que la bomba **consume** energía para operar, su trabajo neto extraído de un volumen de control sería formalmente negativo ( $w_p = -3,10 \text{ kJ/kg}$ ), pero como el enunciado pide el trabajo *efectuado por la bomba* (consumido en valor absoluto):

$$|w_p| = 3,10 \text{ kJ/kg}$$

**Nota sobre signos:**

- Trabajo **sobre** la bomba (entrada): negativo
- Trabajo **por** la bomba (salida): positivo
- En ciclo Rankine, la bomba consume energía:  $w_{in} = 3,10 \text{ kJ/kg}$

**Nota Handbook FE:**

- **Thermodynamics (Pág. 148):** Steady-Flow Systems balance (Primera Ley).
- **Thermodynamics (Pág. 149):** Turbines, Pumps, Compressors. Ecuación explícita para el cambio de entalpía ideal en bombas (y trabajo reversible):  $h_{es} - h_i = v_i(P_e - P_i)$ .

**Respuesta Correcta: b) 3,10 kJ/kg**

## 7. 2019-1

### Pregunta 22 - 2019-1

**Enunciado:** Indique cuál es el efecto esperado en el tamaño del orificio de un anillo de oro, si lo coloca en el freezer, a medida que baja la temperatura del anillo.

**Solución: Concepto: Expansión/contracción térmica uniforme.**

Cuando un material sólido se enfriá, todas sus dimensiones se contraen proporcionalmente.

**Ley de expansión térmica lineal:**

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T$$

Donde:

- $\alpha$  = coeficiente de expansión térmica lineal
- $L_0$  = longitud inicial
- $\Delta T$  = cambio de temperatura

**Análisis del anillo:**

Imagine el anillo como si fuera un disco sólido completo:

- Al enfriarse, el disco completo se contrae
- Tanto el diámetro exterior como el interior disminuyen
- La proporción se mantiene constante

**Conclusión:** El orificio del anillo \*\*disminuye\*\* de tamaño cuando la temperatura baja.

**Analogía útil:** Piense en una fotografía que se reduce uniformemente: tanto los objetos como los espacios vacíos se reducen.

**Cálculo cuantitativo para el oro:**

- $\alpha_{oro} \approx 14 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
- Si  $T$  disminuye de  $20^\circ\text{C}$  a  $-18^\circ\text{C}$  ( $\Delta T = -38^\circ\text{C}$ )
- Para un orificio de  $D_0 = 2 \text{ cm}$ :

$$\Delta D = 14 \times 10^{-6} \times 2 \times (-38) = -0,00106 \text{ cm}$$

- El orificio se reduce aproximadamente 0.01 mm

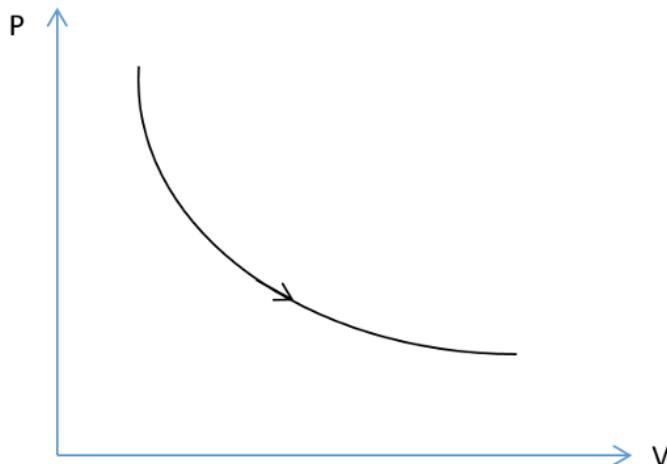
**Nota Handbook FE:**

- **Mechanics of Materials (Pág. 134):** Thermal Deformation  $\delta_t = \alpha L \Delta T$ .
- La contracción térmica es uniforme en todas las dimensiones.

**Respuesta Correcta: b) El tamaño del orificio disminuye**

**Pregunta 23 - 2019-1**

**Enunciado:** El gráfico P-V representa un proceso de expansión realizado por un gas ideal en un sistema adiabático. Indique cuál alternativa describe CORRECTAMENTE el trabajo realizado por el gas y el cambio de energía interna.



**Solución:** Aplicamos la Primera Ley de la Termodinámica:

$$Q - W = \Delta U$$

**Condición adiabática:** No hay transferencia de calor

$$Q = 0$$

Por lo tanto:

$$-W = \Delta U \Rightarrow \Delta U = -W$$

**Análisis del proceso de expansión:**

- En una **expansión**, el gas realiza trabajo sobre el entorno
- Por convención:  $W > 0$  (trabajo *realizado por* el sistema)
- Sustituyendo:  $\Delta U = -W < 0$
- Por lo tanto: La energía interna **disminuye**

**Interpretación física:** El gas usa su energía interna para realizar trabajo de expansión. Como no recibe calor del exterior (adiabático), su temperatura disminuye.

Para un gas ideal:  $\Delta U = nC_v\Delta T$ , entonces  $\Delta T < 0$  (enfriamiento).

**Nota Handbook FE:**

- **First Law (Pág. 147):**  $Q - W = \Delta U$ . For adiabatic ( $Q = 0$ ) expansion ( $W > 0$ ),  $\Delta U < 0$ .
- Sign convention:  $W > 0$  cuando el sistema realiza trabajo.

**Respuesta Correcta: d) Trabajo realizado por el gas, energía interna disminuye**

**Pregunta 24 - 2019-1**

**Enunciado:** Indique qué ocurre con la entropía mientras más probable es la ocurrencia de un estado de equilibrio.

**Solución:** Existen dos formas de interpretar la evolución hacia el equilibrio:

**1. Interpretación Estadística (Microscópica):** A nivel molecular, la entropía está definida por la relación de Boltzmann:

$$S = k_B \ln \Omega$$

Donde  $\Omega$  es el número de microestados posibles (maneras en que se pueden ordenar las partículas).

- Un macroestado con mayor cantidad de microestados ( $\Omega$ ) es, por estadística, **más probable** que ocurra aleatoriamente.
- El estado de **equilibrio termodinámico** es la configuración de partículas más probable; por consiguiente, concentra el mayor número de microestados ( $\Omega$  máximo).
- Al ser  $\Omega$  máximo en el equilibrio, la entropía  $S$  asume su valor **máximo**.

**2. Interpretación Clásica (Macroscópica):** El enfoque tradicional de la Segunda Ley analiza las transferencias irreversibles, estipulando que un sistema evoluciona espontáneamente hacia el desorden hasta estancarse en el equilibrio.

**Conclusión:** Independiente del enfoque de estudio utilizado, mientras más se aproxima o más probable es el estado de equilibrio, la entropía adopta su valor **máximo**.

**Nota Handbook FE:**

- **Second Law of Thermodynamics (Pág. 151):** El manual adopta el enfoque clásico (macroscópico) estipulando en el *Increase of entropy principle*:  $\Delta S_{isolated} \geq 0$ . La desigualdad enuncia matemáticamente que la entropía del universo progresó irremediablemente hasta estabilizarse en un **máximo** cuando el sistema aislado cruza la barrera del **equilibrio**. Al ser una guía técnica orientada a cálculos directos, el manual FE no menciona la ecuación probabilística de Boltzmann ( $S = k_B \ln \Omega$ ), centrándose exclusivamente en la desigualdad de Clausius.

**Respuesta Correcta: a)**

**Pregunta 25 - 2019-1**

**Enunciado:** Durante un proceso de adición de calor isotérmico de un ciclo de Carnot, 1.000 kJ de calor se agregan al fluido desde una fuente a 500°C. Determine el cambio de entropía del fluido.

**Solución: Proceso isotérmico reversible:**  $T = \text{constante}$

Para un proceso reversible, el cambio de entropía es:

$$dS = \frac{\delta Q_{rev}}{T}$$

Como la temperatura es constante:

$$\Delta S = \frac{Q}{T}$$

**Datos:**

- $Q = 1,000 \text{ kJ}$  (calor agregado al fluido)
- $T = 500^\circ\text{C} = 773,15 \text{ K}$

**Cálculo del cambio de entropía:**

$$\Delta S = \frac{1000 \text{ kJ}}{773,15 \text{ K}} = 1,293 \text{ kJ/K} \approx 1,3 \text{ kJ/K}$$

**Interpretación:**

- Como  $Q > 0$  (calor agregado),  $\Delta S > 0$  (entropía aumenta)
- En el ciclo de Carnot, durante la expansión isotérmica el fluido recibe calor de la fuente caliente y su entropía aumenta
- Este proceso es reversible, por lo que usamos la igualdad de Clausius

**Nota:** La fuente (alrededores) experimenta  $\Delta S_{fuente} = -Q/T = -1,3 \text{ kJ/K}$ , de modo que  $\Delta S_{total} = 0$  (proceso reversible).

**Nota Handbook FE:**

- **Second Law (Pág. 151):** Entropy change for ideal gas  $s_2 - s_1 = c_p \ln(T_2/T_1) - R \ln(P_2/P_1)$ .
- For isothermal ( $T_2 = T_1$ ),  $\Delta S = -R \ln(P_2/P_1)$  or simply  $Q/T$  for reversible.
- **Carnot Cycle (Pág. 149):** Isothermal processes at  $T_H$  and  $T_L$ .

**Respuesta Correcta: b)**

## 8. 2019-2

### Pregunta 22 - 2019-2

**Enunciado:** Un médico posee un termómetro de mercurio mal calibrado que indica  $-4^\circ\text{C}$  en el punto de congelación del agua y  $110^\circ\text{C}$  en el punto de ebullición. ¿Qué temperatura marcará cuando el paciente tenga  $40^\circ\text{C}$  de fiebre?

**Solución:** Usamos interpolación lineal entre los puntos de calibración.

**Escala real:**  $T_{real} \in [0^\circ\text{C}, 100^\circ\text{C}]$  (rango de  $100^\circ\text{C}$ )

**Escala errónea:**  $T_{error} \in [-4^\circ\text{C}, 110^\circ\text{C}]$  (rango de  $114^\circ\text{C}$ )

La relación lineal es:

$$T_{error} = a \cdot T_{real} + b$$

Usando los puntos de calibración:

$$-4 = a \cdot 0 + b \implies b = -4$$

$$110 = a \cdot 100 + (-4) \implies 114 = 100a \implies a = 1,14$$

Por lo tanto:

$$T_{error} = 1,14 \cdot T_{real} - 4$$

Para  $T_{real} = 40^\circ\text{C}$ :

$$T_{error} = 1,14 \times 40 - 4 = 45,6 - 4 = 41,6^\circ\text{C}$$

**Nota Handbook FE:**

- **Mathematics (Pág. 11):** Ecuación de la recta:  $y = mx + b$ .
- Calibración requiere dos puntos de referencia conocidos.

**Respuesta Correcta: b)**

## Pregunta 23 - 2019-2

**Enunciado:** ¿A cuál de las siguientes temperaturas la superficie de un lago se encuentra congelada?

**Solución: Condición para congelación del agua:**

El agua pura congela (transición líquido → sólido) a:

$$T_{fus} = 0^\circ C = 273,15 \text{ K} = 32^\circ F$$

Para que la superficie del lago esté congelada:

$$T \leq 0^\circ C$$

**Análisis de opciones:**

a)  $41^\circ F$ :

$$T_C = \frac{41 - 32}{1,8} = 5^\circ C > 0^\circ C$$

→ Líquido

b)  $2^\circ C > 0^\circ C \rightarrow$  Líquido

c)  $482^\circ R$ :

$$T_K = \frac{482}{1,8} = 267,8 \text{ K}$$

$$T_C = 267,8 - 273,15 = -5,35^\circ C < 0^\circ C$$

→ \*\*Sólido (congelado)\*\*

d)  $280K$ :

$$T_C = 280 - 273,15 = 6,85^\circ C > 0^\circ C$$

→ Líquido

**Nota importante:**

- A presión atmosférica (1 atm), el agua congela exactamente a  $0^\circ C$
- La presión puede modificar ligeramente este valor
- El agua puede existir en estado *superenfriado* (líquido bajo  $0^\circ C$ ) bajo condiciones especiales

**Nota Handbook FE:**

- **Properties of Water (Pág. 157):** Punto triple del agua:  $0.01^\circ C$  a 611.7 Pa.
- A 1 atm: congelación a  $0^\circ C$ , ebullición a  $100^\circ C$ .

**Respuesta Correcta: c)  $482^\circ R$**

## Pregunta 24 - 2019-2

**Enunciado:** Para que dos cuerpos se encuentren en equilibrio térmico, indique cuál de las siguientes propiedades debe ser la misma en todo el sistema.

**Solución: Ley Cero de la Termodinámica:**

Dos sistemas están en \*\*equilibrio térmico\*\* si y solo si tienen la misma temperatura.

**Definición formal:**

- Si el sistema A está en equilibrio térmico con B
- Y el sistema B está en equilibrio térmico con C
- Entonces A está en equilibrio térmico con C

- Esta relación de equivalencia define la temperatura

**Análisis de opciones:**

- \*\*Presión\*\*: NO necesariamente igual
  - Dos objetos pueden estar a diferente presión pero en equilibrio térmico
  - Ejemplo: globo de helio y aire ambiente (misma T, diferente P)
- \*\*Calor específico\*\*: NO debe ser igual
  - Es una propiedad del material, no del estado
  - Objetos de diferentes materiales pueden estar en equilibrio térmico
- \*\*Volumen\*\*: NO debe ser igual
  - Objetos de diferentes tamaños pueden estar en equilibrio térmico
- \*\*Temperatura\*\*: SÍ, debe ser la misma
  - Condición necesaria y suficiente para equilibrio térmico
  - Cuando  $T_A = T_B$ , no hay flujo neto de calor

**Criterio de equilibrio térmico:**

$$T_1 = T_2 \Leftrightarrow \dot{Q}_{1 \rightarrow 2} = 0$$

**Nota Handbook FE:**

- **Thermodynamics (Pág. 143):** Zeroth Law: *Two systems in thermal equilibrium with a third system are in thermal equilibrium with each other.*
- La temperatura es la propiedad que caracteriza el equilibrio térmico.

**Respuesta Correcta: d) Temperatura**

**Pregunta 25 - 2019-2**

**Enunciado:** Un gas ideal realiza un proceso isocórico en un sistema cerrado. El calor transferido y el trabajo están dados por:

**Solución:** Proceso isocórico significa volumen constante:  $V = \text{constante}$   
**Trabajo de frontera móvil:**

$$W = \int P dV$$

Como  $dV = 0$ :

$$W = 0$$

**Primera Ley de la Termodinámica:**

$$Q - W = \Delta U$$

Sustituyendo  $W = 0$ :

$$Q = \Delta U$$

**Para un gas ideal:**

$$\Delta U = nC_v\Delta T = mc_v\Delta T$$

Por lo tanto:

$$Q = C_v\Delta T$$

Donde  $C_v$  es la capacidad calorífica a volumen constante.

**Resumen del proceso isocórico:**

- Trabajo:  $W = 0$  (no hay cambio de volumen)
- Calor:  $Q = C_v \Delta T$  (todo el calor cambia la energía interna)

**Nota Handbook FE:**

- **First Law (Pág. 147):** Constant Volume Process.
- **Heat Capacity (Pág. 146):**  $C_v = \frac{\partial U}{\partial T}|_v$  para gas ideal.

**Respuesta Correcta:** d)  $C_v \Delta T, 0$

## 9. 2023-2

### Pregunta 34 - 2023-2

**Enunciado:** En Gran Bretaña la escala de temperatura utilizada es la escala Rankine. Determine en dicha escala, el valor de la temperatura correspondiente al punto de congelación y de ebullición del agua, respectivamente.

**Solución:** La escala Rankine ( $^{\circ}\text{R}$ ) es la escala absoluta de temperatura equivalente a la escala Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ), de la misma manera que Kelvin (K) es la escala absoluta para Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ). El tamaño del grado Rankine es idéntico al del grado Fahrenheit.

La fórmula de conversión desde Fahrenheit hacia Rankine consiste en sumar la temperatura del cero absoluto en Fahrenheit:

$$T(^{\circ}\text{R}) = T(^{\circ}\text{F}) + 459,67$$

Para responder la pregunta, evaluamos los puntos clave del agua a nivel del mar (1 atm):

**1. Punto de Congelación del Agua:** En la escala Fahrenheit, el agua se congela a  $32^{\circ}\text{F}$ . Aplicando la conversión:

$$T_{\text{congelación}} = 32 + 459,67 = 491,67 \approx 491,7^{\circ}\text{R}$$

**2. Punto de Ebullición del Agua:** En la escala Fahrenheit, el agua ebullde a  $212^{\circ}\text{F}$ . Aplicando la conversión:

$$T_{\text{ebullición}} = 212 + 459,67 = 671,67 \approx 671,7^{\circ}\text{R}$$

Por lo tanto, la respuesta es  $491,7^{\circ}\text{R}$  y  $671,7^{\circ}\text{R}$ .

**Nota Handbook FE:**

- **Units (Pág. 1):** La tabla de conversiones define explícitamente  $T_{\text{R}} = T_{\text{F}} + 459,67$ . Además, documenta de manera literal los estados base del agua: *Water freezes at  $32^{\circ}\text{F}$  ( $491,67^{\circ}\text{R}$ ) and boils at  $212^{\circ}\text{F}$  ( $671,67^{\circ}\text{R}$ ).*

**Respuesta Correcta:** d)

### Pregunta 35 - 2023-2

**Enunciado:** Considere un puente de acero ( $\alpha = 12 \times 10^{-6} /^{\circ}\text{C}$ ), longitud 1.400 metros en el punto más frío. El puente se expone a temperaturas entre  $-10^{\circ}\text{C}$  y  $40^{\circ}\text{C}$ . Indique el cambio de longitud más cercano.

**Solución: Datos:**

- $L_0 = 1400 \text{ m}$  (longitud en el punto más frío)
- $\alpha = 12 \times 10^{-6} /^{\circ}\text{C}$  (coeficiente de expansión térmica lineal del acero)
- $T_{\min} = -10^{\circ}\text{C}$

- $T_{max} = 40^\circ C$
- $\Delta T = 40 - (-10) = 50^\circ C$

**Fórmula de expansión térmica lineal:**

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T$$

**Cálculo:**

$$\Delta L = 12 \times 10^{-6} \times 1400 \times 50$$

$$\Delta L = 12 \times 10^{-6} \times 70,000$$

$$\Delta L = 0,84 \text{ m} = 84 \text{ cm}$$

**Interpretación física:**

- El puente se expande 84 cm al calentarse de  $-10^\circ C$  a  $40^\circ C$
- Esta expansión significativa requiere juntas de dilatación
- Sin juntas, se generarían esfuerzos compresivos enormes

**Verificación dimensional:**

$$\frac{1}{^\circ C} \times m \times {}^\circ C = m$$

**Nota de ingeniería:** Los puentes tienen juntas de expansión para permitir este movimiento sin generar esfuerzos que puedan causar fallas estructurales.

**Nota Handbook FE:**

- **Mechanics of Materials (Pág. 131):** Thermal Deformation  $\delta_t = \alpha L \Delta T$ .
- Para acero:  $\alpha \approx 12 \times 10^{-6} / {}^\circ C$ .

**Respuesta Correcta: c) 0,84 m**

**Pregunta 36 - 2023-2**

**Enunciado:** Un gas ideal a 200 K experimenta expansión isobárica a 2,5 kPa, aumentando su volumen de  $2 \text{ m}^3$  a  $4 \text{ m}^3$ . Se transfieren 20 kJ por calor. Determine la temperatura final.

**Solución: Proceso isobárico:** Presión constante  $P = 2,5 \text{ kPa}$

Para un gas ideal, la ecuación de estado es:

$$PV = nRT$$

En un proceso isobárico ( $P = \text{constante}$ ):

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

**Datos:**

- $T_1 = 200 \text{ K}$
- $V_1 = 2 \text{ m}^3$
- $V_2 = 4 \text{ m}^3$
- $P = 2,5 \text{ kPa}$  (constante)

### Cálculo de temperatura final:

$$T_2 = T_1 \times \frac{V_2}{V_1} = 200 \times \frac{4}{2} = 200 \times 2 = 400 \text{ K}$$

### Verificación con Primera Ley:

- Trabajo:  $W = P(V_2 - V_1) = 2,5 \times (4 - 2) = 5 \text{ kJ}$
- Primera Ley:  $Q = \Delta U + W = nC_v\Delta T + 5$
- Los 20 kJ de calor son consistentes con el aumento de temperatura

### Nota Handbook FE:

- **Ideal Gas (Pág. 145):** Equation of State  $Pv = RT$ .
- Para proceso isobárico:  $V/T = \text{constante}$  (Ley de Charles).

**Respuesta Correcta: d)**

### Pregunta 37 - 2023-2

**Enunciado:** Estime la entropía específica de una corriente a 0,6 MPa y  $700^\circ C$  usando tablas de vapor del Handbook.

#### Solución: Datos:

- $P = 0,6 \text{ MPa} = 6 \text{ bar}$
- $T = 700^\circ C$

#### Paso 1: Determinar el estado.

De tablas de saturación a  $P = 0,6 \text{ MPa}$ :

- $T_{sat} = 158,85^\circ C$

Como  $T = 700^\circ C > T_{sat} = 158,85^\circ C$ , el agua es **vapor sobrecalentado**.

#### Paso 2: Consultar tablas de vapor sobrecalentado.

En las tablas de vapor sobrecalentado del FE Handbook (Pág. 157):

A  $P = 0,6 \text{ MPa}$ :

- A  $T = 600^\circ C$ :  $s \approx 8,31 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$
- A  $T = 800^\circ C$ :  $s \approx 8,73 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$

#### Paso 3: Interpolación linealmente.

Para  $T = 700^\circ C$  (punto medio entre 600 y 800):

$$s_{700} = s_{600} + \frac{T - T_1}{T_2 - T_1}(s_{800} - s_{600})$$

$$s_{700} = 8,31 + \frac{700 - 600}{800 - 600}(8,73 - 8,31)$$

$$s_{700} = 8,31 + 0,5 \times 0,42 = 8,31 + 0,21 = 8,52 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$$

El valor más cercano es **8.5107 kJ/(kg·K)**.

### Verificación del estado:

- A  $P = 0,6 \text{ MPa}$ ,  $s_g = 6,76 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$  (vapor saturado)

- Como  $s = 8,51 > s_g = 6,76$ , confirma que es vapor sobrecalentado

**Nota Handbook FE:**

- Steam Tables (Pág. 157):** Check  $s$  vs  $s_g$ . If  $s > s_g$  at given P, it is Superheated.
- Para vapor sobrecalentado, interpolar entre temperaturas disponibles.

**Respuesta Correcta: d)**

**Pregunta 38 - 2023-2**

**Enunciado:** Una corriente se encuentra como líquido saturado a  $235^{\circ}C$ . Usando tablas de vapor del Handbook, indique el valor más cercano de la entalpía.

**Solución: Datos:**

- Estado: **Líquido saturado**
- $T = 235^{\circ}C$

**Paso 1: Identificar la propiedad a buscar.**

Para líquido saturado, buscamos  $h_f$  (entalpía del líquido saturado).

**Paso 2: Consultar tablas de saturación por temperatura.**

En las tablas de vapor saturado (Saturación por Temperatura) del FE Handbook (Pág. 157):

A  $T = 235^{\circ}C$ :

- $P_{sat} = 3,062 \text{ MPa}$
- $h_f = 1013,62 \text{ kJ/kg}$  (entalpía líquido saturado)
- $h_g = 2803,3 \text{ kJ/kg}$  (entalpía vapor saturado)
- $h_{fg} = h_g - h_f = 1789,7 \text{ kJ/kg}$  (calor latente)

**Respuesta:**  $h = h_f = 1013,62 \text{ kJ/kg}$

**Análisis de opciones:**

- a) 2,6558 kJ/kg: Demasiado bajo, posiblemente  $s_f$  (entropía)
- b) 1009,89 kJ/kg: Cercano pero ligeramente bajo
- c) 2804,2 kJ/kg: Esto sería  $h_g$  (vapor saturado)
- d) 1013,62 kJ/kg:  $h_f$  exacto

**Nota importante:**

- Líquido saturado  $\rightarrow$  usar  $h_f$
- Vapor saturado  $\rightarrow$  usar  $h_g$
- Mezcla  $\rightarrow$  usar  $h = h_f + x \cdot h_{fg}$  donde  $0 < x < 1$

**Nota Handbook FE:**

- Steam Tables (Pág. 157):** Properties of saturated water.
- Notación:  $f$  = líquido saturado,  $g$  = vapor saturado,  $fg$  = diferencia.

**Respuesta Correcta: d)**

## Pregunta 39 - 2023-2

**Enunciado:** Mezcla líquido-vapor a  $195^{\circ}C$  con entalpía 1500 kJ/kg. Usando tablas de vapor del Handbook, determine la calidad ( $x$ ) de la corriente.

**Solución: Datos:**

- Estado: **Mezcla líquido-vapor** (saturado)
- $T = 195^{\circ}C$
- $h = 1500 \text{ kJ/kg}$

**Definición de calidad:** La calidad  $x$  es la fracción molar de vapor en una mezcla líquido-vapor:

$$0 < x < 1$$

donde  $x = 0$  (líquido saturado) y  $x = 1$  (vapor saturado).

**Paso 1: Consultar tablas de saturación.**

En tablas de vapor saturado a  $T = 195^{\circ}C$ :

- $h_f = 826,7 \text{ kJ/kg}$  (líquido saturado)
- $h_g = 2790,7 \text{ kJ/kg}$  (vapor saturado)
- $h_{fg} = h_g - h_f = 1964,0 \text{ kJ/kg}$  (calor latente)

**Paso 2: Aplicar fórmula de calidad.**

Para sistemas bifásicos:

$$h = h_f + x \cdot h_{fg}$$

Despejando  $x$ :

$$x = \frac{h - h_f}{h_{fg}}$$

**Paso 3: Calcular.**

$$x = \frac{1500 - 826,7}{1964,0} = \frac{673,3}{1964,0} = 0,343 \approx 0,34$$

**Verificación:**

- $h_f = 826,7 \text{ kJ/kg} < h = 1500 \text{ kJ/kg} < h_g = 2790,7 \text{ kJ/kg}$
- $0 < x = 0,34 < 1$  (confirma mezcla bifásica)

**Interpretación física:** La mezcla contiene 34 % de vapor y 66 % de líquido en masa.

**Nota Handbook FE:**

- **Thermodynamics (Pág. 144):** Two-phase systems properties formulation  $\phi = \phi_f + x\phi_{fg}$ .
- Aplica para  $h, s, v, u$  en región de mezcla saturada.

**Respuesta Correcta: a)**

## 10. 2024-2

### Pregunta 34 - 2024-2

**Enunciado:** Se tienen cuatro vasos con diferentes líquidos con temperaturas:  $T_A = 536,67^\circ R$ ,  $T_B = 10^\circ C$ ,  $T_C = 293,15 K$ ,  $T_D = 122^\circ F$ . Ordene de mayor a menor.

**Solución:** Convertimos todas las temperaturas a Celsius para compararlas:

**Temperatura A:**

$$T_A = 536,67^\circ R$$

Primero a Kelvin:  $T_K = \frac{536,67}{1,8} = 298,15 \text{ K}$  Luego a Celsius:  $T_A = 298,15 - 273,15 = 25^\circ C$

**Temperatura B:**

$$T_B = 10^\circ C$$

(Ya está en Celsius)

**Temperatura C:**

$$T_C = 293,15 \text{ K}$$

Conversión:  $T_C = 293,15 - 273,15 = 20^\circ C$

**Temperatura D:**

$$T_D = 122^\circ F$$

Conversión:  $T_D = \frac{122-32}{1,8} = \frac{90}{1,8} = 50^\circ C$

**Ordenamiento de mayor a menor:**

$$T_D(50^\circ C) > T_A(25^\circ C) > T_C(20^\circ C) > T_B(10^\circ C)$$

Por lo tanto:  $T_D > T_A > T_C > T_B$

**Nota Handbook FE:**

- **Units (Pág. 1):**  $T_K = T_C + 273,15$ ;  $T_F = 1,8T_C + 32$ ;  $T_R = 1,8T_K$ .

**Respuesta Correcta: b)**

### Pregunta 35 - 2024-2

**Enunciado:** Suponga que un cuerpo A entra en contacto con un cuerpo B cuando no hay transferencia de calor a los alrededores y que al inicio  $T_A > T_B$ . Al pasar un tiempo prolongado, se espera que la temperatura de B sea:

**Solución: Análisis del proceso:**

**Condiciones iniciales:**

- $T_A > T_B$  (A más caliente que B)
- Sistema aislado (no hay transferencia de calor a los alrededores)
- Los cuerpos A y B están en contacto térmico

**Proceso de equilibración:**

Por la Segunda Ley de la Termodinámica:

- El calor fluye espontáneamente de mayor a menor temperatura
- $Q$  fluye de A hacia B
- A se enfriá:  $T_A$  disminuye
- B se calienta:  $T_B$  aumenta

**Estado final (equilibrio térmico):**

Después de un tiempo prolongado:

$$T_A^{final} = T_B^{final} = T_{equilibrio}$$

Por conservación de energía (sistema aislado):

$$m_A c_A (T_{A,i} - T_{eq}) = m_B c_B (T_{eq} - T_{B,i})$$

**Conclusión:** La temperatura final de B será \*\*igual que la de A\*\* (ambos en equilibrio).

**Análisis de opciones:**

- a) Mayor que A: Imposible (violaría Segunda Ley)
- b) Menor que inicial de B: Falso (B se calienta)
- c) Igual que A: Correcto (equilibrio térmico)
- d) Cero absoluto: Imposible sin proceso especial

**Valor de  $T_{equilibrio}$ :**

$$T_{eq} = \frac{m_A c_A T_{A,i} + m_B c_B T_{B,i}}{m_A c_A + m_B c_B}$$

Donde  $T_{B,i} < T_{eq} < T_{A,i}$

**Nota Handbook FE:**

- **Thermodynamics (Pág. 143):** Zeroth Law de equilibrio térmico.
- **Second Law (Pág. 151):** El calor fluye de mayor a menor temperatura.

**Respuesta Correcta: c) Igual que la de A**

### Pregunta 36 - 2024-2

**Enunciado:** Para un gas ideal que se somete a un proceso a volumen constante, el trabajo y la transferencia de calor son respectivamente:

**Solución: Proceso a volumen constante (isocórico):**  $V = \text{constante}$

**1. Trabajo de frontera móvil:**

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P dV$$

Como  $V$  es constante,  $dV = 0$ , por lo tanto:

$$W = 0$$

**2. Transferencia de calor:** Aplicando la Primera Ley:

$$Q - W = \Delta U$$

$$Q - 0 = \Delta U$$

$$Q = \Delta U$$

Para un gas ideal:

$$\Delta U = nC_v\Delta T$$

Donde  $C_v$  es la capacidad calorífica molar a volumen constante.

Por lo tanto:

$$Q = C_v\Delta T$$

**Resumen:**

- Trabajo:  $W = 0$  (no hay expansión/compresión)
- Calor:  $Q = C_v\Delta T$  (todo el calor se convierte en energía interna)

**Nota:** No se usa  $C_p$  porque este aplica a procesos isobáricos, no isocóricos.

**Nota Handbook FE:**

- **First Law (Pág. 147):** Constant volume process:  $Q = \Delta U = C_v\Delta T$ .
- **Heat Capacity (Pág. 146):**  $C_v$  es la capacidad calorífica a volumen constante.

**Respuesta Correcta:** d)  $0, C_v\Delta T$

### Pregunta 37 - 2024-2

**Enunciado:** Cuando un sólido se derrite y se convierte en un líquido, ¿qué ocurre con la entropía del sistema?

**Solución:** Durante la fusión (cambio de fase sólido → líquido), la **entropía aumenta**.

**Análisis termodinámico:** Para un proceso de fusión a presión y temperatura constantes (equilibrio de fases):

$$\Delta S_{fus} = \frac{Q_{fus}}{T_{fus}} = \frac{m \cdot h_{fg}}{T_{fus}} > 0$$

Donde:

- $h_{fg}$  = Calor latente de fusión (siempre positivo)
- $T_{fus}$  = Temperatura de fusión (constante durante el proceso)
- Como  $Q > 0$  y  $T > 0$ , entonces  $\Delta S > 0$

**Interpretación física (orden molecular):**

- **Sólido:** Moléculas en posiciones fijas, estructura ordenada → Baja entropía
- **Líquido:** Moléculas móviles, mayor desorden molecular → Alta entropía
- Mayor desorden = Mayor número de microestados ( $\Omega$ ) = Mayor entropía

**Ejemplo numérico (fusión del hielo):**

- $h_{fg} = 334 \text{ kJ/kg}$
- $T_{fus} = 273,15 \text{ K}$
- $\Delta s = 334/273,15 = 1,22 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)} > 0$

**Generalización:** En todos los cambios de fase que aumentan el desorden molecular, la entropía aumenta:

- Sólido → Líquido (fusión):  $\Delta S > 0$
- Líquido → Gas (vaporización):  $\Delta S > 0$
- Sólido → Gas (sublimación):  $\Delta S > 0$

**Nota Handbook FE:**

- **Thermodynamics (Pág. 144):** Phase change at constant temperature:  $\Delta S = mh_{fg}/T$ .

**Respuesta Correcta:** a)

## Pregunta 38 - 2024-2

**Enunciado:** En termodinámica se designa como proceso adiabático aquel que no intercambia calor con su entorno. Luego, el cambio de entropía en un proceso adiabático será:

**Solución: Desigualdad de Clausius (Segunda Ley):** Para cualquier proceso:

$$dS \geq \frac{\delta Q}{T}$$

Donde:

- Igualdad (=): Proceso reversible
- Desigualdad (>): Proceso irreversible

**Para un proceso adiabático:**  $\delta Q = 0$

Sustituyendo:

$$dS \geq \frac{0}{T} = 0$$

Por lo tanto:

$$\Delta S \geq 0$$

**Clasificación de procesos adiabáticos:**

1. **Adiabático reversible (isoentrópico):**  $\Delta S = 0$

- No hay fricción ni irreversibilidades
- Proceso idealizado (cuasi-estático)
- Ejemplo: Expansión/compresión ideal en turbina/compresor

2. **Adiabático irreversible:**  $\Delta S > 0$

- Presencia de fricción, turbulencia, diferencias finitas de temperatura
- Procesos reales
- Ejemplo: Expansión con fricción, mezclado adiabático

**Conclusión:** En un proceso adiabático, el cambio de entropía es **mayor o igual a cero:**  $\Delta S \geq 0$

**Nota importante:** Adiabático NO implica isoentrópico. Todo proceso isoentrópico es adiabático reversible, pero no todo proceso adiabático es isoentrópico.

**Nota Handbook FE:**

- **Second Law (Pág. 151):**  $\Delta S \geq \int dQ/T$ . For adiabatic  $dQ = 0$ , so  $\Delta S \geq 0$ .
- Isentropic process:  $\Delta S = 0$  (adiabatic + reversible).

**Respuesta Correcta: c)**

## Pregunta 39 - 2024-2

**Enunciado:** Corriente de agua a  $200^{\circ}\text{C}$  con densidad de  $52 \text{ kg/m}^3$ . ¿En qué estado se encuentra?

**Solución: Datos:**

- $T = 200^{\circ}\text{C}$
- $\rho = 52 \text{ kg/m}^3$  (densidad)

**Paso 1: Convertir densidad a volumen específico.**

$$v = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{52} = 0,01923 \text{ m}^3/\text{kg}$$

**Paso 2: Consultar tablas de saturación.**

En tablas de vapor saturado a  $T = 200^\circ\text{C}$ :

- $v_f = 0,001157 \text{ m}^3/\text{kg}$  (líquido saturado)
- $v_g = 0,12736 \text{ m}^3/\text{kg}$  (vapor saturado)
- $v_{fg} = v_g - v_f = 0,12620 \text{ m}^3/\text{kg}$

**Paso 3: Aplicar criterio de identificación.**

Comparamos  $v$  con los valores de saturación:

$$v_f = 0,001157 < v = 0,01923 < v_g = 0,12736$$

**Criterios:**

- Si  $v < v_f$ : Líquido comprimido
- Si  $v = v_f$ : Líquido saturado
- Si  $v_f < v < v_g$ : **Mezcla líquido-vapor**
- Si  $v = v_g$ : Vapor saturado
- Si  $v > v_g$ : Vapor sobrecalentado

Como  $v$  está entre  $v_f$  y  $v_g$ , el agua se encuentra como **Mezcla líquido-vapor**.

**Cálculo adicional - Calidad:**

$$x = \frac{v - v_f}{v_{fg}} = \frac{0,01923 - 0,001157}{0,12620} = \frac{0,01807}{0,12620} = 0,143$$

La mezcla contiene aproximadamente 14.3 % de vapor en masa.

**Nota Handbook FE:**

- **Steam Tables (Pág. 157):** Propiedades  $v_f$  y  $v_g$  en tablas de saturación.
- If  $v_f < v < v_g$ , state is Saturated Mixture.
- Relación densidad-volumen específico:  $v = 1/\rho$ .

**Respuesta Correcta: c)**