

**Guía de Ejercicios PEP n°1**  
**Principios de los Procesos Químicos I**  
**Ingeniería de Ejecución Química**  
**Universidad de Santiago de Chile**

**Prof. Julio Romero**

**Problema 1**

Un gas real a 270°C y 25 atm de presión presenta un volumen molar un 15% menor que el calculado por medio de la ecuación de estado de los gases ideales. Se le solicita indicar:

- a) El factor de compresibilidad a esta temperatura y presión;
- b) El volumen molar del gas real;
- c) ¿Cuáles son las fuerzas predominantes: atractivas o repulsivas? Justifique su respuesta.

**Problema 2**

Calcule la presión de un cilindro de 50 litros que contiene 30 kg de CO<sub>2</sub> y se encuentra a temperatura ambiente (25°C) a través de los siguientes métodos:

- a) Ecuación de van der Waals
- b) Principio de los estados correspondientes utilizando el diagrama del factor de compresibilidad (Z).

**Problema 3**

En cada inmersión los pulmones de una ballena deben contener una masa fija de aire por un período de tiempo relativamente largo.

Al realizar el descenso, sus pulmones se van contrayendo por efecto de la presión ejercida por el agua. Si a nivel del mar, los pulmones de la ballena pueden contener 18 m<sup>3</sup> de aire cuando la temperatura es de 20°C. ¿Cuál será el volumen de sus pulmones cuando alcance los 200 m de profundidad? Suponga que la temperatura desciende en un grado Celsius cada 10 m. Realice el cálculo a través de los siguientes métodos:

- a) Ecuación de gases ideales;
- b) Ecuación de van der Waals;
- c) Principio de los estados correspondientes (ver diagrama adjunto) .

**Datos:** Para el cálculo de las propiedades críticas del aire aplique las condiciones pseudocríticas, es decir:

$$P_{c,aire} = P_{c,oxígeno} x_{oxígeno} + P_{c,nitrógeno} x_{nitrógeno}$$

$$T_{c,aire} = T_{c,oxígeno} x_{oxígeno} + T_{c,nitrógeno} x_{nitrógeno}$$

donde

- i)  $P_{c,aire}$ ,  $P_{c,oxígeno}$  y  $P_{c,nitrógeno}$  son las presiones críticas del aire, oxígeno y nitrógeno respectivamente
- ii)  $T_{c,aire}$ ,  $T_{c,oxígeno}$  y  $T_{c,nitrógeno}$  son las temperaturas críticas del aire, oxígeno y nitrógeno respectivamente
- iii)  $x_{oxígeno}$  y  $x_{nitrógeno}$  son las fracciones molares de oxígeno y nitrógeno en el aire (21% molar en oxígeno y 79% molar en nitrógeno).

#### Problema 4

Demuestre que la ecuación de estado de Berthelot, dada por la siguiente expresión:

$$P = \frac{RT}{V_m - b} - \frac{a}{TV_m}$$

se ajusta al comportamiento crítico.

Además, encuentre:

- Los valores de  $P_c$ ,  $T_c$  y  $V_{mc}$  en función de los parámetros  $a$  y  $b$
- Indique las unidades de  $a$  y  $b$  en sistema internacional
- Indique el valor de  $Z_c$  para el cual es válida la aplicación de esta ecuación.

#### Problema 5

Un kilogramo de aire se calienta a través de un proceso reversible a presión constante desde un estado inicial, en el cual se encuentra a 1 bar y 300 K hasta alcanzar el triple de su volumen. Calcule el trabajo ( $W$ ), el flujo de calor requerido ( $q$ ) en calorías y el cambio de energía interna ( $\Delta U$ ) en Joules para el proceso.

El valor de la capacidad calorífica bajo las condiciones del proceso es de  $29 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ .

Para efectos de cálculo, considere que el aire posee una composición molar de 79% de nitrógeno y 21% de oxígeno. Realice todos los supuestos que considere necesarios.

#### Problema 6

Un dispositivo constituido de un émbolo móvil se utiliza para la generación de trabajo. Inicialmente, el dispositivo contiene un gas con una presión de 10 atm y un volumen de  $0.5 \text{ dm}^3$  y se expande contra una presión constante de 5 bar hasta alcanzar una presión de 5 atm y un volumen de  $1 \text{ dm}^3$ . Para ello se le entregó al sistema un calor equivalente a 125 Joules.

Indique:

- si el trabajo ( $W$ ) es negativo o positivo y que significa el valor obtenido.
- Si el proceso es reversible o irreversible.
- El cambio de energía interna del sistema.
- El cambio de entalpía.

Si el mismo dispositivo realiza el máximo trabajo posible a una presión inicial de 10 atm entre  $0.5 \text{ dm}^3$  y  $1 \text{ dm}^3$  y a una temperatura constante de 550 K ¿Cuál es el valor del trabajo efectuado?

#### Problema 7

Determine una expresión para estimar el trabajo ( $W$ ) efectuado en una expansión isotérmica reversible de un gas desde un volumen inicial  $V_i$  hasta un volumen final  $V_f$ , que sigue el comportamiento P-V-T de acuerdo a una ecuación del virial truncada al tercer coeficiente:

$$P = \frac{RT}{V_m} \left\{ 1 + \frac{B}{V_m} + \frac{C}{V_m^2} + \dots \right\}$$

Sabiendo que el valor de B y C, determine el trabajo efectuado por una mol de gas

### Problema 8

Calcule el trabajo (W) efectuado por 300 gramos de nitrógeno gaseoso, que se encuentra inicialmente a 15 bar y 600 K, cuando se expande reversible e isotérmicamente hasta triplicar su volumen, suponiendo que se comporta de acuerdo a la ecuación del virial. Compare el resultado obtenido con la estimación realizada por gas ideal.

Realice todos los supuestos que considere necesarios

**Dato:** El segundo coeficiente del virial (B) para el nitrógeno en estas condiciones es  $21.7 \text{ cm}^3 \text{ mol}^{-1}$ .

### Problema 9

Deduzca la expresión para calcular el trabajo (W) reversible realizado por un a gas de van der Waals bajo condiciones isotérmicas.

Utilizando la expresión deducida, calcule el trabajo realizado por 10 moles de amoníaco que se expanden reversible e isotérmicamente entre un volumen de  $0.5 \text{ dm}^3$  y  $3.2 \text{ dm}^3$  cuando la temperatura es  $550^\circ\text{C}$ . Compare el resultado con el valor de trabajo obtenido suponiendo que el amoníaco se comporta como un gas ideal.

Finalmente, señale el diámetro aproximado de una molécula de amoníaco.

### Problema 10

Para calentar una pieza se cuenta con un calefactor de 1 KW. La pieza se encuentra actualmente a  $10^\circ\text{C}$  y se desea aumentar su temperatura en  $30^\circ\text{C}$ , indique en cuantos minutos se alcanzará esta temperatura, sabiendo que:

- Las dimensiones de la pieza son 2.5m de alto x 5m de largo x 4m de ancho;
- La capacidad calorífica,  $C_{\text{aire}}$ , en el intervalo de temperaturas es de  $22 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ;
- La energía solar aporta una cantidad de calor equivalente a  $0.1 \text{ KW}$  por  $\text{m}^2$  de paredes y de techo;
- Considere despreciables las pérdidas de calor a través del suelo, puertas y ventanas.

Realice todas las suposiciones que considere necesarias justificando su aplicación.

### Problema 11

En un recipiente cerrado de forma esférica se dejará enfriar una cierta cantidad de etanol ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ) desde  $50^\circ\text{C}$  hasta  $15^\circ\text{C}$ . El recipiente posee un radio de 50 cm. El calor que se pierde a través de las paredes del recipiente equivale a 10 Watts por cada centímetro cuadrado de superficie de contacto del recipiente con la atmósfera.

La capacidad calorífica del etanol es función de la temperatura y puede estimarse a través de la siguiente ecuación:

$$C\left(\frac{\text{J}}{\text{kmol} \cdot \text{K}}\right) = 1.0264 * 10^5 - 1.3963 * 10^2 T - 3.0341 * 10^{-2} T^2 + 2.0386 * 10^{-3} T^3 ; \quad T (\text{K})$$

Estimar el tiempo (en minutos) necesario para el enfriamiento requerido bajo las condiciones indicadas. Realice todos los supuestos que considere necesarios.

**Dato:** La densidad promedio del etanol en estas condiciones es de  $789 \text{ kg/m}^3$ .

### Problema 12

Se le solicita diseñar un sistema de aire acondicionado para un salón de eventos donde se puede alojar un gran número de personas. El salón tiene 20 m de ancho, 35 metros de largo y las paredes alcanzan una altura de 5.5 metros, en él se puede realizar reuniones por períodos prolongados de tiempo con una capacidad para 200 personas.

El salón está ubicado en lugar de clima templado, recibiendo como promedio una cantidad de calor de 220 Watts por cada metro cuadrado de superficie de paredes y techo (la transferencia de calor a través del suelo se considera despreciable). El especialista en climatización le señala que el aporte térmico promedio de cada persona es de 50 Watts/persona.

La capacidad calorífica del aire en estas condiciones es de  $20 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ .

Realizando todos los supuestos que considere necesarios, señale:

- a) La potencia efectiva de un sistema de aire acondicionado (suponiendo que ésta corresponde al flujo de calor eliminado) para mantener la temperatura constante si el salón está ocupado al máximo de su capacidad.
- b) El cambio de temperatura después de 2 horas si el salón se encuentra lleno de gente y se utiliza un sistema de aire acondicionado que permite eliminar 350 KW de calor. La temperatura inicial es de  $18^\circ\text{C}$ .