

**Guía de ejercicios N°1**  
**Propiedades termodinámicas de sistemas ideales y reales**  
**Termodinámica de Ingeniería Civil Química**  
**Universidad de Santiago de Chile**

**Profesor:** Julio Romero F.

**Ayudante:** Francisca Luna F.

**1)** Calcule el valor del volumen molar (en  $\text{L mol}^{-1}$ ) y del coeficiente de compresibilidad,  $Z$ , para 2-propanol a 14,29 MPa y 250°C a través de los siguientes métodos:

- a) Ecuación de gas ideal;
- b) Ecuación de van der Waals;
- c) Ecuación del virial truncada al tercer coeficiente;
- d) Principio de los estados correspondientes (tabla del factor de compresibilidad generalizado).

**Datos:** Para la resolución de este problema considere los datos de la **Tabla 1**.

**Tabla 1.** Propiedades termodinámicas del 2-propanol.

Propiedad (unidades)	Valor
Masa molar ( $\text{g mol}^{-1}$ )	60,096
Temperatura crítica, $T_c$ (K)	508,3
Presión crítica, $P_c$ (bar)	47,62
Volumen molar crítico, $V_{mc}$ ( $\text{cm}^3 \text{mol}^{-1}$ )	220
Factor de compresibilidad crítico, $Z_c$	0,248
Factor acéntrico, $\omega$	0,668
Segundo coeficiente del virial, $B$ ( $\text{cm}^3 \text{mol}^{-1}$ )	388
Tercer coeficiente del virial, $C$ ( $\text{cm}^6 \text{mol}^{-2}$ )	-26000

**2)** Se tienen 10 moles de anhídrido carbónico los cuales se expanden reversible e isotérmicamente a una temperatura de 150°C hasta cuadruplicar su volumen inicial. Si el gas se encuentra inicialmente a una presión de 100 atm, calcule el trabajo realizado (en Joules) si:

- a) El gas se comporta como un gas ideal;
- b) el gas se comporta como un gas de van der Waals;
- c) el gas se comporta como un gas de Redlich-Kwong;
- d) el gas se comporta como un gas de Peng-Robinson.

**3)** En un pistón provisto de un émbolo móvil se comprimen 1,6 kg de dióxido de azufre de forma reversible e isotérmica a una temperatura de 200°C, hasta reducir 5 veces su volumen inicial. Si la presión inicial es de 35 bar, calcule el trabajo (en Joules) y la presión final (en MPa) del sistema si:

- a) El gas se comporta como un gas ideal;
- b) el gas se comporta como un gas de van der Waals;
- c) el gas se comporta como un gas de Redlich-Kwong;
- d) el gas se comporta como un gas de Soave-Redlich-Kwong.

4) Para alimentar un reactor, se cuenta con un recipiente que contiene  $12 \text{ m}^3$  de benceno el cual se encuentra a una presión absoluta de 1286 psi y a una temperatura de  $232,9^\circ\text{C}$ . Calcule la masa de benceno contenida en el recipiente en kg y el factor de compresibilidad,  $Z$ , de acuerdo a los siguientes métodos:

- Ecuación de gas ideal;
- Ecuación de van der Waals;
- Ecuación de Redlich-Kwong;
- Ecuación de Peng-Robinson;
- Principio de los estados correspondientes (tabla del factor de compresibilidad generalizado).

**Datos:** Para la resolución de este problema considere los datos de la **Tabla 2**.

**Tabla 2.** Propiedades termodinámicas del benceno

Propiedad (unidades)	Valor
Masa molar ( $\text{g mol}^{-1}$ )	78,11
Temperatura crítica, $T_c$ (K)	562,1
Presión crítica, $P_c$ (atm)	48,6
Volumen molar crítico, $V_{mc}$ ( $\text{L mol}^{-1}$ )	0,260
Factor de compresibilidad crítico, $Z_c$	0,274
Factor acéntrico, $\omega$	0,212

5) Un recipiente con una capacidad de 80 L, el cual contiene oxígeno a una temperatura de  $50^\circ\text{F}$  y 103 bar., es trasladado y almacenado en una cámara donde la presión es 200 bar. Calcule la temperatura luego de ser llevado al nuevo lugar, y el calor que se transfiere al recipiente. Realice los cálculos considerando las correcciones de propiedades de acuerdo a las tablas de propiedades generalizadas.

6) En su calidad de jefe de operaciones, Usted debe realizar la adquisición de oxígeno para un hospital que cuenta con un estanque pulmón con un volumen de 200 L. Para efectos de consumos, debe adquirir una cantidad de 75 kg de este gas. El único control con que Usted cuenta para saber si el recipiente está lleno o no es la medida de presión que entrega el manómetro. Suponga que el recipiente se encuentra a una temperatura constante de  $25^\circ\text{C}$  y que la presión atmosférica es de 760 mmHg.

Señale la presión que debe leer en el manómetro al momento de tener el estanque lleno. Realice sus cálculos a través de los siguientes métodos:

- Ecuación de gas ideal;
- Ecuación de van der Waals;
- Ecuación de Redlich-Kwong;
- Ecuación de Peng-Robinson.

7) A un recipiente entran  $150 \text{ lbmol/h}$  de vapor de agua en condición de saturación, con una presión de 321 psia, este recibe un flujo de calor desconocido y se le aplica un trabajo de 20 hp. El flujo volumétrico a la entrada del recipiente es de 20000 gal/h, expandiéndose hasta 30000 gal/h. Calcular la presión final y el flujo de calor, si la temperatura a la salida es de  $720^\circ\text{F}$ . Resuelva el problema utilizando las tablas de discrepancia de propiedades termodinámicas respecto de gas ideal.

**8)** Los neumáticos de los autos de Fórmula 1 se llenan con nitrógeno puro con el objetivo de minimizar pérdidas de gas durante las carreras y poseer condiciones más estables a medida que aumenta su temperatura. Si cada neumático de volumen  $0,5 \text{ m}^3$  se infla antes de la carrera a una presión de 28 psig y  $25^\circ\text{C}$ , calcule la masa de nitrógeno (en kg) que contiene cada uno.

Realice este cálculo mediante:

- a) La ecuación de gas ideal;
- b) La ecuación de van der Waals;
- c) La ecuación de Peng-Robinson.

**Dato:** Asuma que la presión atmosférica es de 950 mbar.

**9)** En una planta de extracción, que utiliza agua supercrítica como solvente, se debe utilizar un flujo másico de agua de  $5,2 \text{ kg/s}$  de agua a 450 bar y  $400^\circ\text{C}$  ¿Cuál es el caudal (L/s) de agua que se alimenta a la planta?

Calcule el caudal de alimentación mediante los siguientes métodos:

- a) La ecuación de gas ideal;
- b) La ecuación de van der Waals;
- c) La ecuación de Soave-Redlich-Kwong;
- d) La ecuación de Peng-Robinson.

**10)** Por último, compare sus resultados con el caudal calculado a partir del valor de volumen específico reportado en las tablas de vapor, señalando cuál de las ecuaciones anteriores resulta ser la más confiable en este caso.

**11)** 750 gramos de  $\text{NH}_3$  son almacenados en un recipiente de 30 litros, el cual se encuentra a  $65^\circ\text{C}$ . Calcule la presión del recipiente mediante:

- a) La ecuación de gas ideal;
- b) La ecuación de estado de Soave-Redlich-Kwong;
- c) Las tablas de propiedades generalizadas.

**12)** En un intercambiador de calor se enfría una corriente  $120 \text{ kg/h}$  de acetato de etilo ( $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$ ) que se obtiene de un reactor. El fluido ingresa a una presión de 36,67 atm y  $500^\circ\text{C}$  y es enfriado isobáricamente en el intercambiador hasta una temperatura de salida de  $200^\circ\text{C}$ . Indique el valor de los caudales (L/h) de entrada y salida de acetato de etilo en el intercambiador. Para ello utilice los siguientes métodos:

- a) La ecuación de estado de van der Waals;
- b) La ecuación de estado de Peng-Robinson;
- c) El factor de compresibilidad generalizado.

**Dato:** El valor del factor acéntrico del acetato del etilo es 0,362.

**13)** Usted debe seleccionar un cilindro de gas para contener 30 kg de anhídrido carbónico. Si el gas contenido en el cilindro está a 60 bar y  $15^\circ\text{C}$  ¿Cuál es el volumen del cilindro? ¿Contiene líquido o gas? ¿A cuánto debería caer la presión del cilindro para observar el equilibrio la presencia de un volumen significativo de  $\text{CO}_2$  gaseoso?

**14)** En una caldera se desea evaporar un flujo de 5L/min de agua, la cual ingresa a 1 atm y 20°C y se desea obtener vapor saturado a 1 atm, señale la energía necesaria que se debe aportar a la caldera.

**15)** Se utiliza amoníaco como fluido refrigerante, una cámara de refrigeración cuenta con un sistema evaporador de este fluido, el cual retira de la cámara el calor latente de vaporización. Si el amoníaco se evapora a una temperatura de -30°C y el flujo de refrigerante es de 550 g/s ¿Cuál es la capacidad de evaporación de la cámara?

**16)** Se tienen 110 g de N<sub>2</sub>O a una temperatura de 129,6 °C. Para este gas se conoce la funcionalidad entre el factor de compresibilidad, Z, y la presión reducida del gas:

$$Z = 1.0 - 0.18P_r + 0.04P_r^2$$

A partir de esta información, se le solicita determinar:

- La presión en atm a la cual se obtiene la mayor desviación de la idealidad.
- El volumen en Litros cuando la presión es 200 atm, calculado mediante la función Z(P<sub>r</sub>).
- El volumen en pies cúbicos (ft<sup>3</sup>) a la presión de 200 atm, calculado mediante la ecuación de van der Waals.
- El volumen en metros cúbicos (m<sup>3</sup>) a la presión de 200 atm, calculado mediante la ecuación de Peng Robinson.

Para realizar estos cálculos considere los siguientes datos de propiedades críticas y factor acéntrico para N<sub>2</sub>O: P<sub>c</sub> = 71,7 atm; T<sub>c</sub> = 309,6 K; ω = 0,165.

**17)** Se le solicita evaluar la situación termodinámica de una olla a presión con una capacidad máxima de 6 litros. Si se llena la olla con 3 litros de agua líquida a 1 atm y 20°C y la olla operará hirviendo el agua a 3 atm, calcule el consumo de energía en kJ cuando la olla llegó al punto de hervor del agua vaporizando la mitad de la masa de líquido originalmente contenido.

Para este cálculo utilice las tablas de vapor de agua, indique si el valor real de consumo de energía para calentar la olla debería ser mayor o menor al calculado por Usted, justificando su respuesta.

**Datos:** Considere que la densidad inicial del agua a 1 atm y 20°C es igual a 1,0 g/cm<sup>3</sup> y su entalpía específica a las mismas condiciones es de 84,013 kJ/kg.

**18)** Un estanque de 1 m<sup>3</sup> con CO<sub>2</sub> en condiciones críticas, se enfría hasta 16,8 °C, condensando un 80,6%. Realice los siguientes cálculos considerando las correcciones de propiedades de acuerdo a las tablas de propiedades generalizadas.

- Presión y factor de compresibilidad (Z) en el estado final.
- El flujo de calor removido del recipiente (en kJ) durante el proceso de enfriamiento
- La variación de entropía del sistema durante el proceso de enfriamiento.

Realice todos los cálculos considerando exclusivamente los valores de las tablas de factor de compresibilidad generalizado y corrección de propiedades generalizadas.

**19)** A través de un evaporador circulan 105 kg/h de amoníaco, los cuales ingresan bajo la condición de líquido saturado y se extraen de este equipo como vapor saturado a una presión de 11916,8 mm Hg. Calcule la temperatura en el evaporador, así como el caudal en m<sup>3</sup>/h de entrada y salida de acuerdo a los siguientes métodos:

- La tabla de factor de compresibilidad generalizado para gases y líquidos saturados puros.
- Tablas de propiedades de amoníaco.
- Ecuación de estado de Soave-Redlich-Kwong y la correlación de presión de vapor de NH<sub>3</sub> puro.

**Dato:** Para efectos de la presión de vapor de amoníaco puro considere la siguiente relación:

$$\ln P(\text{Pa}) = C_1 + C_2/T + C_3 \cdot \ln(T) + C_4 \cdot T^{C_5} \quad ; \quad T(\text{K})$$

C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	T <sub>min</sub> (K)	T <sub>máx</sub> (K)
90,483	-4669,7	-11,607	1,7194*10 <sup>-2</sup>	1	195,41	405,65

**20)** Un reactor hermético de 15 m<sup>3</sup> lleno de anhídrido carbónico se encuentra en condiciones críticas de presión y temperatura. Tanto su presión como temperatura disminuyen. Esta última cae hasta un valor de 18,89°C, condensando un 45% de su contenido.

Determine utilizando las tablas de propiedades generalizadas:

- El factor de compresibilidad, Z, y la presión en el estado final;
- El flujo de calor removido del recipiente (en kJ) durante el proceso de enfriamiento-depresurización;
- La variación de entropía del sistema durante el proceso de enfriamiento-depresurización.

**Datos:** Utilice los datos de la tabla 14 de los apéndices del texto del Prof. H. Correa para determinar la función de la capacidad calorífica molar a presión constante con la temperatura.

**21)** En un estanque que contiene amoníaco líquido, se desea arrastrar todo su contenido inyectando una cierta cantidad adicional de amoníaco sobrecalentado. Al no contar con un sistema de bombeo, el amoníaco total contenido en el estanque debe ser removido en forma de gas.

El volumen inicial de líquido remanente en el estanque es de 200 litros y se encuentra en condición de saturación a una temperatura de 5°C. Si la masa de amoníaco sobrecalentado adicional que se desea agregar al estanque está a la misma presión que el líquido, pero a una temperatura de 40°C, señale:

- La masa de líquido que contiene el recipiente inicialmente.
- La masa mínima de amoníaco gaseoso sobrecalentado que se debe agregar al estanque.
- El volumen total final de NH<sub>3</sub> que se va a aspirar desde el estanque, calculados a la condición de presión y temperatura finales.

Realice todos los supuestos que considere necesarios y resuelva el problema utilizando solamente las tablas de amoníaco.

**22)** Se requiere condensar una corriente de anhídrido carbónico, la cual ingresa a un intercambiador de calor como vapor sobrecalentado a una presión de 43,74 atm y una temperatura de 26°C, además se le aplica un trabajo de 20 hp enfriándose hasta una temperatura de 12,8°C y condensando en un 80,5%.

Si el flujo másico que ingresa al intercambiador es de 450 mol/h, determine:

- a) La variación de caudal que experimenta el CO<sub>2</sub> a la entrada y salida del intercambiador.
- b) Flujo de calor removido en (KW).

**23)** El amoníaco es uno de los refrigerantes más utilizados a nivel industrial, el proceso de refrigeración requiere la evaporación de amoníaco para el arrastre de calor desde una cámara fría.

Calcule el cambio de volumen en litros de 10 kg de amoníaco que se evaporan desde la condición de líquido saturado hasta vapor saturado a una presión de 15,68 atm.

Realice este cálculo de acuerdo a los siguientes métodos:

- a) Ecuación de estado de Soave-Redlich-Kwong y la correlación de presión de vapor de NH<sub>3</sub> puro (10%).
- b) La tabla de factor de compresibilidad generalizado para gases y líquidos saturados puros (10%).
- c) Tablas de propiedades de amoníaco (10%).

**Dato:** Para efectos de la presión de vapor de amoníaco puro considere la siguiente relación:

$$\ln P(\text{Pa}) = C_1 + C_2/T + C_3 \cdot \ln(T) + C_4 \cdot T^{C_5} \quad ; \quad T(\text{K})$$

C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	T <sub>min</sub> (K)	T <sub>max</sub> (K)
90,483	-4669,7	-11,607	1,7194*10 <sup>-2</sup>	1	195,41	405,65