



7. THERMODYNAMICS OF MIXTURES

- 7.1. Estimar la variación de composición del aire con la altura.
- 7.2. Considérese un pozo de 2 km de profundidad conteniendo una mezcla de metano y etano que en la parte superior está a 1 MPa y 30 °C y con una composición molar de 90% de metano. Suponiendo el pozo isoterma, calcular la presión y composición en la parte inferior.
- 7.3. Calcular las variaciones de densidad, entalpía y entropía del aire al pasar de 100 kPa a 10 MPa a temperatura ambiente, partiendo de las propiedades de sus componentes, por los métodos siguientes:
- Como gas perfecto.
 - Método de estados correspondientes y regla de Kay.
 - Método de estados correspondientes y regla de Amagat.
 - Método de estados correspondientes y regla de Dalton.
- 7.4. Calcular el coste energético mínimo para fraccionar el aire seco en los siguientes casos:
- Sólo se desea obtener el oxígeno puro.
 - Se desea obtener tanto el oxígeno como el nitrógeno puros.
- 7.5. Calcular el coste energético mínimo para el enriquecimiento de uranio fisionable (U-235), partiendo de hexafluoruro de uranio gaseoso en condiciones ambientes, procedente de uranio natural cuya composición isotópica es del 0,72% de U-235, hasta conseguir un 3% de U-235 en el UF₆.
- 7.6. Sabiendo que el agua natural (H₂O) contiene 150 ppm de agua pesada (D₂O), y que la mezcla se comporta idealmente, se pide:
- Calcular el coste energético mínimo de extracción.
 - Una cierta planta usa un método de destilación con unas 300 etapas de evaporación en cascada, basado en que la temperatura de ebullición del agua pesada es 1,4 °C superior a la de la normal. La planta obtiene 7,5 cm³ de agua pesada por m³ procesado, a un coste de 50 MPta/m³_{D₂O}. Calcular el coste energético mínimo para ese fraccionamiento y el rendimiento exergetico de dicha planta (considérese el precio de la exergía 4 Pta/MJ).
- 7.7. Determinar la composición de las fases del aire a 100 kPa y 80 K.
- 7.8. La composición de una partida de gas natural argelino se puede aproximar por $x_{metano}=0,9$ y $x_{etano}=0,1$. Se pide:
- Fracciones másicas y densidad en condiciones ambientes.
 - Límites de temperatura en que las mezclas metano-etano pueden presentarse en estado bifásico a presión atmosférica.
 - Para dos temperaturas intermedias entre las anteriores, determínese las composiciones de saturación, indicando los puntos correspondientes en un diagrama $T-x$.
 - Coste energético mínimo para la separación de los componentes.

- 7.9. En un dispositivo cilindro-émbolo hay 2 gramos de propano mezclados con 3 gramos de n-butano. Se pide:
- Fracciones molares.
 - Presiones de evaporación y condensación a temperatura ambiente.
 - Temperaturas de evaporación y condensación a 500 kPa.
 - Fracciones molares a 500 kPa y 300 K, y volumen ocupado.
 - Coste energético mínimo de separación de la mezcla en condiciones ambientales.
- 7.10. Se ha medido el peso del contenido de una botella de 25 litros de butano comercial, resultando ser 10 kg, así como su presión a la temperatura ambiente de 15 °C, resultando ser 250 kPa. Se pide:
- Suponiendo que el contenido es n-butano puro, calcular la presión que debería haberse obtenido en la medida.
 - En ese caso, calcular el volumen de líquido y la fracción másica de vapor.
 - En ese caso, supóngase que se desea calentar el contenido hasta 45 °C, e indíquese cómo se calcularía el calor necesario, dando una estimación de su valor.
 - En el caso de que, a temperatura ambiente, al abrir la válvula saliese un gasto de 6 litros por minuto medido a 15 °C y 100 kPa, calcular el gasto másico y el flujo de calor recibido del exterior para mantener constante la temperatura.
 - Suponiendo en lo sucesivo que el butano comercial es una mezcla de n-butano y propano, determinar las curvas de burbuja y de rocío de las posibles mezclas a temperatura ambiente en el diagrama $p-x$ (presión-composición).
 - Calcular las fracciones molares en cada fase.
 - Indicar cómo iría variando la composición con el tiempo al dejar salir gas de la botella.
 - Calcular el coste energético mínimo para la separación de los componentes que salen, a presión y temperatura atmosféricas.
- 7.11. Determinar la masa molar de la hemoglobina humana sabiendo que si se disuelven 4 gramos en 100 cm³ de agua a 7 °C la presión osmótica es de 1,32 kPa.
- 7.12. Suponiendo que el agua de mar contiene 0,5 moles de NaCl por kilo de agua, se desea estimar:
- El aumento de temperatura de ebullición.
 - La disminución de la temperatura de congelación.
- 7.13. Sabiendo que el incremento de entropía en un proceso ideal de mezclado es $\Delta S = -nRT \sum x_j \ln x_j$, calcular $\partial \Delta S / \partial n_j$.
- 7.14. Se propone el siguiente modelo para analizar un accidente en una sala de máquinas. Un recinto cerrado de 100 m³, conteniendo aire a 27 °C y 100 kPa, recibe la descarga súbita de un depósito de 2 m³ de CO₂ a 200 °C y 1 MPa. Se pide:
- Cantidad de aire inicial en el recinto y de CO₂ en el depósito (masas y cantidades de sustancia).
 - Estado termodinámico tras la descarga.
 - Determinar los daños posibles, sabiendo que el aire se hace irrespirable si la fracción molar de CO₂ es mayor del 10% o la de oxígeno menor del 10%.
- 7.15. Se dispone de dos dispositivos cilindro-émbolo iguales, de 5 cm de diámetro y 250 cm³ de volumen, limitado superiormente por un émbolo de 2 kg. Uno está lleno de n-pentano y el otro de propano, ambos en equilibrio en un ambiente a 15 °C. A partir de un cierto instante, se ponen

en comunicación por abajo y se empuja lentamente para que pase todo el propano al otro recipiente. Se pide:

- Cantidades iniciales de sustancia.
- Estado termodinámico final.
- Representación de los sucesivos estados en los diagramas $p-x$ y $T-x$
- Descripción cualitativa de la evolución interior.

7.16. Se desea calentar una corriente de aire, de composición volumétrica 20% O₂, 3% H₂O, 1% Ar, 0,03% CO₂ y el resto N₂, hasta 100 °C añadiéndole un flujo de gases de escape a 500 °C, de composición volumétrica 70% N₂, 15% CO₂ y 15% H₂O. Se pide:

- Determinar la proporción adecuada de flujos molares de ambas corrientes despreciando el efecto de la composición.
- Determinar la irreversibilidad del proceso con la simplificación anterior.
- Determinar las masas molares y capacidades térmicas de las dos corrientes.
- Determinar la composición molar a la salida.
- Determinar la irreversibilidad real del proceso.

7.17. Con el fin de estimar el número de Avogadro a partir de la segregación de una mezcla coloidal por efecto gravitatorio, se ha preparado una muestra en un microscopio y se han realizado las siguientes medidas: la suspensión coloidal es de partículas sólidas de $0,45 \pm 0,1 \mu\text{m}$ de diámetro y $1255 \pm 10 \text{ kg/m}^3$ de densidad en agua a $15 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$, y la densidad de partículas sólidas disminuye a la mitad cada $46 \pm 2 \mu\text{m}$ de altura. Se pide:

- Establecer la relación entre la variación de la concentración y las densidades.
- Estimar el número de Avogadro.
- Estimar la incertidumbre en el valor anterior.

7.18. La composición de los gases de escape de un cierto proceso de combustión es $x_{\text{N}_2}=0,5$, $x_{\text{CO}_2}=0,3$ y $x_{\text{H}_2\text{O}}=0,2$, saliendo a 100 kPa y 100 °C. Se pide:

- Masa molar de la mezcla y densidad.
- Exergía necesaria para separar totalmente los componentes de la mezcla.
- Considérese la mezcla binaria del H₂O con el resto y, suponiendo que este último es no condensable, calcúlese a qué temperatura empezaría a condensar el agua.

7.19. Se trata del estudio de las mezclas de propano y n-butano. Se pide:

- Diagrama $p-x$ a 0 °C, 20 °C y 50 °C.
- Diagrama $T-x$ a 10 kPa, 100 kPa y 1000 kPa.

7.20. Se tiene un depósito de 1 m^3 conteniendo un gas G a presión y temperatura ambiente (100 kPa y 288 K). El aire ambiente se considera compuesto por un 76,60% de N₂, 20,34% de O₂, 3,12% de H₂O, 0,91% de Ar y 0,03% de CO₂. En un cierto instante se le conecta una línea de aire comprimido (A) a 200 kPa hasta que se igualan las presiones. Se pide:

- Cantidad de sustancia inicialmente encerrada.
- Balance energético integrado del depósito.
- Relación entre la cantidad de aire que entra relativa a la de gas que existe ($x=n_A/n_G$) y la relación de capacidades térmicas $c=c_A/c_G$.
- Cantidad de aire que entra y temperatura que se alcanza, según que el gas G sea aire o dióxido de carbono.
- Exergía inicial del gas encerrado y de la línea de aire comprimido.

f) Variación de entropía del universo.

7.21. Determinar la masa molar de la hemoglobina humana sabiendo que a 20 °C y en una centrifugadora de $g=10^5 g_0$ se ha medido $D_i=63 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$, $V_{\text{sedim}}=0,44 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ y $\rho=1330 \text{ kg/m}^3$.

7.22. Se dispone de dos dispositivos cilindro-émbolo iguales, de 10 cm de diámetro, limitados superiormente por sendos émbolos de 5 kg inicialmente a 0,5 m del fondo. Uno está lleno de n-butano y el otro de n-heptano, ambos en equilibrio en un ambiente a 20 °C. A partir de un cierto instante, se ponen en comunicación y se empuja lentamente para que vaya pasando n-heptano al otro recipiente. Se pide:

- Cantidades iniciales de sustancia.
- Representación esquemática de los sucesivos estados en los diagramas $p-x$ y $T-x$.
- Demostrar que la línea de *liquidus* en el diagrama $p-x$ es una línea recta.
- Estado de equilibrio cuando el émbolo del n-heptano ha bajado 1 cm.
- Posición del émbolo del n-butano en el caso anterior. ¿Que hubiera pasado si este émbolo hubiese estado anclado al cilindro?.

7.23. En una botella de un litro ordinaria (de vidrio y vacía) se echa un cilindro de hielo seco (nieve carbónica compactada) de 1 cm de diámetro y 3 cm de longitud, cuya densidad es de 1950 kg/m^3 , y se tapa la botella. Se pide:

- Calcular la masa de aire y la masa de CO_2 atrapados.
- Calcular las características del estado final que se alcanzaría.
- Calcular el intercambio energético con el ambiente.

7.24. Considérese un chorro de gases a la salida de una cámara de combustión en las condiciones $p=93 \text{ kPa}$, $T=2000 \text{ °C}$ y fracciones molares $x_{\text{N}_2}=0,67$, $x_{\text{H}_2\text{O}}=0,21$, $x_{\text{CO}_2}=0,10$, $x_{\text{O}_2}=0,02$. Se pide:

- Masa molar y capacidad térmica molar de la mezcla a 300 K y a 1500 K.
- Trabajo máximo obtenible (por mol de gases) suponiendo que se trata de una fuente infinita a 2000 °C.
- Exergía termomecánica del chorro y comparación con el valor anterior.
- Contribución química a la exergía del chorro.
- Repetir los cálculos suponiendo que se tratase simplemente de aire.

7.25. Por un conducto circula a presión ambiente una mezcla equimolar de propano/butano. Se pide:

- Intervalo de temperatura en el que podría haber mezcla bifásica si no se conocieran las concentraciones.
- Intervalo de temperatura en el que habrá mezcla bifásica.
- Entalpía y capacidad térmica y densidad en función de la temperatura.

7.26. Un modelo muy simplificado de una torre de enfriamiento evaporativo consiste en un cajón con agua que recibe una potencia térmica $\dot{Q}=100 \text{ kW}$, que se compensa con la evaporación de una cantidad de agua \dot{m}_v (la transmisión de calor por las paredes es despreciable), según se esquematiza en la figura. Supóngase que el agua del cajón apenas se calienta porque realmente la evaporación se intensifica mucho en la práctica rociando esa misma agua desde una cierta altura para que el contacto con el aire ambiente sea mucho más efectivo. Inicialmente hay en el cajón 300 litros de agua del grifo con una concentración de 0,5 g/kg de sales. Se pide:

- Balances másicos y energético para el volumen de control ocupado por el agua líquida.

- b) Gasto de vapor producido.
- c) Sabiendo que cuando se gasta la mitad del agua se vuelve a rellenar rápidamente con agua del grifo, determinar el periodo entre 'rellenadas'.
- d) Sabiendo que cuando se alcanza una concentración salina de 10 g/kg se tira toda el agua rápidamente y se vuelve a rellenar con agua del grifo, determinar el periodo entre purgas.
- e) Representar esquemáticamente la variación con el tiempo de la concentración salina.

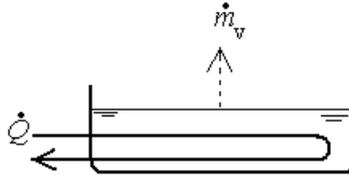


Fig. 1.

- 7.27. Se tiene un depósito de 1 m³ conteniendo 100 kg de n-butano puro a presión atmosférica normal y en un cierto instante se introduce un litro de propano líquido desde un depósito a 110 kPa. Se pide:
- a) Determinar la temperatura y el volumen iniciales de gas dentro del depósito.
 - b) Determinar la temperatura inicial del propano y las cantidades de sustancias presentes en el estado final dentro del depósito.
 - c) Determinar el reparto de propano entre el líquido y el gas, suponiendo que es un infinitesimal la cantidad de propano añadida.
 - d) Determinar la variación de la presión interior.
- 7.28. A una cámara de separación de fases entra un flujo bifásico equimolar de 0,1 kg/s de n-butano y n-pentano a 100 °C y 1 MPa. Suponiendo despreciables las pérdidas de presión y de calor, se pide:
- a) Esquema del diagrama $T-x$ de las mezclas n-butano y n-pentano a 1 MPa, y del diagrama $p-x$ a 100 °C, indicando los valores extremos y el estado actual.
 - b) Determinar la composición de las fases separadas a la salida.
 - c) Determinar los flujos molares de las fases separadas a la salida.
- 7.29. Para un estudio de vaporización en un buque metanero se considera un gas natural cuya composición molar se aproxima por un 95% de metano y un 5% de nitrógeno. Supóngase que la mezcla es ideal. Se pide:
- a) Temperatura de la fase líquida de esa composición.
 - b) Composición de la fase gaseosa en equilibrio con la anterior.
 - c) Indicar la variación con el tiempo de todas las magnitudes anteriores si el valor que se va produciendo por las pérdidas térmicas no se recicla sino que se quema aparte.
 - d) Indicar cómo se calcularía el coste energético mínimo para volver a licuar un gasto de 3 t/h de vapor (viene a ser un 0,1% de la carga).
- 7.30. A una cámara de expansión de 1 m³ entra una corriente equimolar de n-butano y propano a 20 °C, en estado líquido, saliendo en régimen estacionario por una tubería el vapor formado y por otra el líquido residual. Sabiendo que la expansión es hasta 95 kPa, se pide:
- a) (Opcional; sustancia pura) Considerar que se trata de propano (o n-butano) puro. Hacer un esquema de la instalación, indicar las ecuaciones relevantes, determinar la presión mínima de alimentación y la temperatura de salida, representar la entalpía de esa sustancia en función de la temperatura, determinar la cantidad de líquido en el depósito y la relación de gastos de salida respecto a la entrada.

- b) Hacer un esquema de la instalación y determinar la presión mínima de alimentación.
 - c) Representar la entalpía de la mezcla en función de la temperatura de salida y calcular ésta.
 - d) Cantidad de líquido en el depósito.
 - e) Composiciones y gastos de salida.
- 7.31. Un gran depósito de volumen V contiene un gas A, el cual se quiere eliminar mediante barrido a caudal constante con otro gas B a presión ambiente en menos de una hora. Se pide:
- a) Si el barrido fuese sin mezcla, empujando un gas a otro como si hubiese un émbolo o membrana entre ellos, determinar los gastos másicos de entrada y salida en función de las propiedades de los gases.
 - b) Si el barrido es con mezcla perfecta (i.e. como si hubiese un agitador que mantuviese todo el interior perfectamente mezclado), determinar la relación de gastos másicos de entrada y salida en función de las propiedades de los gases y el estado interior.
 - c) Para el caso anterior, plantear el balance másico diferencial del gas A en el depósito, integrar, y representar la fracción molar de A en función del tiempo.
 - d) Si $V=1000 \text{ m}^3$, A es aire y B es CO_2 , determinar el caudal en cada caso. Se considerará completado el proceso cuando la fracción molar residual de A sea $<5\%$.
- 7.32. Considérense un cilindro cerrado por ambos extremos, aislado del exterior, con una partición interna que separa dos sistemas gaseosos, el sistema A consiste en 1 mol de H_2 , y el sistema B consiste en 1 mol de CO. Se pide:
- a) Suponiendo que inicialmente el sistema A está a 600 K y 100 kPa, y el sistema B a 300 K y 100 kPa, determinar el estado final y la variación de entropía si la partición permite sólo el equilibrio térmico.
 - b) Suponiendo que inicialmente el sistema A está a 300 K y 200 kPa, y el sistema B a 300 K y 100 kPa, determinar la estado final y la variación de entropía si la partición permite el equilibrio térmico y el mecánico.
 - c) Suponiendo que inicialmente el sistema A está a 300 K y 100 kPa, y el sistema B a 300 K y 100 kPa, determinar la estado final y la variación de entropía si la partición permite el equilibrio termodinámico total.
 - d) Suponiendo que inicialmente el sistema A está a 600 K y 200 kPa, y el sistema B a 300 K y 100 kPa, determinar la estado final y la variación de entropía si la partición permite el equilibrio termodinámico total.
 - e) Calcular el trabajo necesario para comprimir rápidamente la mezcla anterior desde 100 kPa hasta 200 kPa (en un dispositivo cilindro-émbolo), en presencia de una atmósfera a 300 K y 100 kPa.
- 7.33. Se mezcla 1 litro de metanol con 1 litro de etanol a presión y temperatura ambientes. Suponiendo que la mezcla es ideal, se pide:
- a) Fracciones másicas y molares en la mezcla.
 - b) Temperatura de ebullición de la mezcla.
 - c) Composición de la mezcla a 70 °C y 100 kPa.
 - d) Volumen de la mezcla (masa total) en esas condiciones.
- 7.34. Se quiere aprovechar un chorro de 1 kg/s de gases de escape a 500 °C para calentar agua desde 20 °C hasta 200 °C (presurizada). Sabiendo que la composición del gas es $x_{\text{N}_2}=0,80$ y $x_{\text{CO}_2}=0,20$ (fracciones molares), se pide:
- a) Fracciones másicas y masa molar media del gas.

- b) Balances máxicos y energéticos para el cambiador de calor necesario.
- c) Capacidad térmica del CO_2 a $15\text{ }^\circ\text{C}$ y a $500\text{ }^\circ\text{C}$, y valor medio ponderado para el balance energético.
- d) Flujo máximo de agua que se puede calentar.

7.35. Se quiere saber la composición de una mezcla de etano y propano contenida en un recipiente de 1 m^3 sabiendo que a $15\text{ }^\circ\text{C}$ tiene una presión de 1 MPa y una masa de 100 kg . Para ello, se pide:

- a) Hacer un esquema del diagrama $T-x$ a 1 MPa , y otro del diagrama $p-x$ a $15\text{ }^\circ\text{C}$, calculando los valores extremos.
- b) Calcular el intervalo de fracciones molares de etano en las que habría mezcla bifásica a $15\text{ }^\circ\text{C}$ y 1 MPa .
- c) Razonar por qué ha de haber mezcla bifásica y calcular las densidades de cada fase.
- d) Calcular el volumen de líquido y la composición global de la mezcla.

7.36. En una bomba calorimétrica de $0,3\text{ L}$ de capacidad se dispone una muestra de $0,6\text{ g}$ de naftaleno (C_{10}H_8), se tapa, y se inyecta lentamente oxígeno puro hasta una presión manométrica de 3 MPa . Sabiendo que el ambiente está a $25\text{ }^\circ\text{C}$ y 100 kPa , se pide:

- a) Cantidad de nitrógeno atrapado.
- b) Cantidad de oxígeno total (el atrapado más el introducido).
- c) Relación oxígeno/combustible y comparación con la estequiométrica.
- d) Temperatura que hubiera alcanzado el gas interior si la inyección de oxígeno hubiera sido muy rápida.
- e) Temperatura a la que quedaría el gas interior si, una vez atemperado, se abre la válvula y se despresuriza rápidamente.
- f) Presión que alcanzaría al atemperarse el gas interior, si tras la despresurización rápida se cierra el escape.

7.37. Se trata de comprimir un flujo de 1 kg/s de una mezcla de hidrógeno y dióxido de carbono, desde las condiciones ambiente hasta 1 MPa , dentro de una aplicación de captura de CO_2 en pre-combustión. Se supondrá que la composición de la mezcla es la correspondiente a esta estequiometría de gasificación de carbón: $\text{C}+2\text{H}_2\text{O}=\text{CO}_2+2\text{H}_2$. Suponiendo aplicable el modelo de mezcla ideal, y que el rendimiento adiabático del compresor es la unidad, se pide:

- a) Masa molar y densidad inicial de la mezcla.
- b) Relación de capacidades térmicas c_p/c_v .
- c) Temperatura de salida y potencia necesaria del compresor.
- d) Coste mínimo necesario para llegar a la presión final a partir de las condiciones ambiente.
- e) Coste mínimo necesario para separar la mezcla en sus componentes puros en condiciones ambiente.

7.38. En un recipiente de 10 L al vacío, se introduce hidrógeno hasta una presión de 35 kPa (una vez atemperado), luego se añade nitrógeno hasta alcanzar 105 kPa (una vez atemperado), y finalmente se añade argón hasta completar 140 kPa (una vez atemperado). Sabiendo que el aire ambiente está a $20\text{ }^\circ\text{C}$ y 94 kPa , se pide:

- a) Fracciones máxicas y molares de la mezcla final.
- b) Masa molar y densidad.
- c) Velocidad del sonido en la mezcla.
- d) Temperatura interior que se alcanzaría tras un escape rápido hasta despresurizarse, y masa que escaparía.

e) Calor que recibiría/daría el gas si el escape fuese muy lento, y masa que escaparía.

- 7.39. Una corriente de 20 kg/s de gas, de composición molar 80% de CO_2 y 20% de N_2 , entra a 1200 K de temperatura total a una turbina de relación de presiones totales 0,2 y rendimiento isoentrópico 0,87, descargando a la atmósfera a través de una tobera isoentrópica en un chorro a 250 m/s. Sabiendo que las presiones estáticas a la entrada y a la salida de la tobera son de 112 kPa y 100 kPa, se pide:
- Hacer un diagrama $T-s$ de la evolución.
 - Potencia que da la turbina.
 - Temperatura de salida de la tobera.
 - Presión total a la entrada de la turbina.
 - Velocidad a la entrada de la tobera.
- 7.40. Dentro de un recipiente de 10 litros hay una mezcla de propano y n-butano a 400 kPa de presión manométrica en un ambiente a 20 °C y 100 kPa. Se pide:
- Diagramas esquemáticos $T-x$ y $p-x$ de todas las mezclas posibles a esa presión y esa temperatura, respectivamente, indicando los valores de los extremos (sustancias puras).
 - Intervalo de composiciones de los posibles estados de equilibrio bifásico en el interior.
 - Composición interior si la proporción propano/butano fuese equiponderal.
 - Masa interior en el caso anterior.
- 7.41. Se tiene un depósito de 100 litros que contiene gas natural (supóngase 90% metano y el resto etano) a 3 MPa en un ambiente a 100 kPa y 15 °C. A partir de un cierto instante se produce un escape rápido de gas. Suponiendo válido el modelo de mezcla ideal, se pide:
- Determinar la relación de capacidades térmicas, y la relación entre la presión y la temperatura interiores durante la descarga, comentando su validez.
 - Establecer las ecuaciones para calcular la presión interior a la que empezaría a aparecer fase líquida.
 - Determinar el estado interior cuando la temperatura ha bajado a -100 °C, esquematizando en un diagrama $p-x$ las posibles fases de la mezcla fluida en el interior.
 - Determinar el estado interior cuando la presión ha bajado a 300 kPa, esquematizando en un diagrama $T-x$ las posibles fases de la mezcla fluida en el interior.
 - Calcular si la exergía termomecánica disponible en el estado inicial, sería suficiente para separar el gas en sus componentes puros en condiciones ambientales.
- 7.42. Se quiere estudiar la influencia del gas de trabajo en el empuje de un pequeño cohete de control de actitud. Para el gas de trabajo se van a considerar mezclas de hidrógeno y argón. La tobera (convergente-divergente) se va a considerar isoentrópica, con condiciones de entrada fijas, $p_1=1$ MPa y $T_1=300$ K y baja velocidad (correspondientes al estado inicial del depósito de propulsante), y salida a través de un área de salida de $A_2=1$ mm², adaptada a una presión ambiente de 100 kPa. Se pide, para una fracción molar de hidrógeno genérica, y para los valores límite de este parámetro:
- Masa molar y capacidad térmica específica a presión constante.
 - Relación de capacidades térmicas y temperatura de salida.
 - Densidades de entrada y salida.
 - Velocidad de salida y número de Mach correspondiente.

- 7.43. En un recipiente de 50 L hay 20 kg de mezcla propano/butano equimolar, a 500 kPa, en un ambiente a 94 kPa y 20 °C. Se pide:
- Diagramas esquemáticos $T-x$ y $p-x$ de todas las mezclas posibles a esa presión y esa temperatura, respectivamente, indicando los valores de los extremos (sustancias puras).
 - Composición en el interior (fracciones molares de cada fase).
 - Masa de vapor.
- 7.44. De un recipiente que contiene una mezcla de n-butano y propano en estado bifásico a 25 °C, se extrae una muestra de gas y tiene una fracción molar de 60% de propano. Se pide:
- Diagrama $p-x$ de las mezclas posibles a esa temperatura, indicando los valores extremos.
 - Presión interior.
 - Fracción molar de propano en fase líquida.
 - Influencia de una variación en la temperatura ambiente, que pasa a ser 20 °C.
 - Influencia de una variación en la fracción molar del gas analizado, que pasa a ser 50% de propano.
- 7.45. Estimar el grado alcohólico de un vino obtenido en la fermentación de un mosto de $\rho=1080$ kg/m³. En particular se pide, suponiendo comportamiento ideal:
- La cantidad de azúcar en el mosto.
 - La densidad del vino obtenido.
 - El grado alcohólico.
- 7.46. En un dispositivo cilindro-émbolo horizontal se tiene inicialmente 100 litros de una mezcla equimolar de nitrógeno y argón en equilibrio termomecánico con aire ambiente a 20 °C y 95 kPa. Se pide:
- Masa molar, relación de capacidades térmicas, y velocidad del sonido en la mezcla.
 - Estado final tras una compresión rápida hasta 200 kPa. Trabajo requerido e intercambio energético del gas con su entorno.
 - Estado final si la compresión hubiese sido lenta. Trabajo requerido e intercambio energético del gas en este caso.
 - Exergía de la mezcla en el estado inicial (respecto al aire ambiente).
 - Variaciones de la exergía de la mezcla en la compresión lenta y en la compresión rápida.
- 7.47. Al inicio de la carrera de compresión, un cilindro de 0,5 L de un motor de encendido por chispa de relación de compresión 9,5, contiene aire con propano en proporción estequiométrica. Suponiendo que las condiciones de presión y temperatura coinciden con las del ambiente, que está a 93 kPa y 23 °C, y que la compresión es rápida y sin fricción, se pide:
- Masa molar de la mezcla, y relación de capacidades térmicas.
 - Estado $p-V-T$ tras la compresión.
 - Intercambios energéticos del gas y trabajo necesario para la compresión.
 - Variación de la exergía termomecánica entre ambos estados.
 - Comparación con el modelo de aire estándar.
- 7.48. Un depósito de 0,25 m³ contiene inicialmente O₂ a 5 °C y 520 kPa, el cual se pone en comunicación a través de una pequeña línea con un depósito de 2 m³ de N₂ inicialmente a 25 °C y a 250 kPa. Se pide:
- Determinar la composición final tras el atemperamiento en un ambiente a 25 °C.
 - Intercambio energético con el exterior, y generación de entropía en el proceso.

- c) Determinar la composición inmediatamente después del equilibrio mecánico (antes del atemperamiento).
 - d) Intercambio energético con el exterior y generación de entropía en este último caso.
 - e) Intercambio energético con el exterior y generación de entropía en el atemperamiento posterior.
- 7.49. Considérese un gas natural que en estado líquido puede aproximarse como una mezcla de 99 % de metano en base molar, y el resto nitrógeno. Se pide:
- a) Considerando los componentes puros, intervalo de temperaturas en el que serían líquidos a 100 kPa, indicando los valores en un diagrama de fases p - T .
 - b) Hacer un esquema de las fases de la mezcla mencionada (a 100 kPa) en un diagrama T - x , indicando los valores extremos, y calculando el punto de rocío y el de burbuja con el modelo de mezcla ideal.
 - c) Determinar la composición del gas generado en el punto de ebullición de la mezcla líquida.
- 7.50. Un procedimiento sencillo de refrigeración es la expansión isoentálpica (a través de un tapón poroso) de argón desde una presión alta, digamos 30 MPa, hasta la presión ambiente. Se quiere usar este procedimiento para enfriar un detector de infrarrojos a bordo de un dirigible estratosférico, pero hay un problema: en ese ambiente, a unos 20 km de altitud, con $T_{\text{atm}}=217$ K y $p_{\text{atm}}=5,5$ kPa, al expandir el argón se formarían partículas sólidas, lo que es inaceptable, así que se piensa usar una mezcla de argón y oxígeno con un 25 % molar de O_2 . Se pide:
- a) Recopilar en modo tabulado para el oxígeno y el argón, la temperatura y presión del punto crítico, de ebullición normal, de fusión normal, y del punto triple (con ayuda de la correlación de Antoine).
 - b) Hacer un diagrama p - h de la expansión del argón puro desde 30 MPa y 217 K hasta 5,5 kPa, con relación a las fases del argón.
 - c) Hacer un diagrama T - x de las fases de las mezclas de O_2/Ar en función de la fracción molar de O_2 y de la temperatura, para 100 kPa, suponiendo que las temperaturas de congelación y ebullición varían linealmente con la fracción molar, x , indicando los valores extremos.
 - d) Determinar los puntos de condensación y de ebullición de la mezcla a 100 kPa, suponiendo comportamiento ideal.
 - e) Determinar la composición de todas las fases en el apartado anterior.
- 7.51. Un depósito rígido de 10 m^3 contiene inicialmente aire a 100 kPa y 300 K. A partir de un cierto instante se pone en comunicación con un gran depósito de O_2 a 300 kPa y 300 K a través de una pequeña tubería. Se pide:
- a) Plantear los balances másicos y energético desde el inicio hasta un instante intermedio en que ha entrado una masa Δm .
 - b) Determinar el estado final suponiendo que el proceso es muy lento.
 - c) Determinar el estado final (hasta el equilibrio mecánico) suponiendo que el proceso es muy rápido.
 - d) Temperatura que se alcanzaría en el interior en el caso anterior.
 - e) Intercambio de calor con el ambiente en el caso de proceso lento.
- 7.52. Considérese un recipiente rígido de 100 litros que contiene 0,1 kg de agua en equilibrio con su vapor (puro), todo ello atemperado con aire ambiente a 30 °C y 94 kPa. En un instante dado se abre una válvula que pone en comunicación el interior con el exterior, alcanzándose rápidamente el equilibrio de presiones. Se pide:
- a) Estado termodinámico inicial.

- b) Plantear el balance energético para el proceso, indicando la referencia energética elegida, y calcular el estado termodinámico tras el equilibrio mecánico.
 - c) Estado termodinámico final que se alcanzaría tras cerrar la válvula y esperar al equilibrio con el agua, supuesto recipiente adiabático.
 - d) Estado termodinámico tras el atemperamiento con el ambiente, suponiendo que la válvula quedara abierta.
 - e) Estado termodinámico tras el atemperamiento con el ambiente, suponiendo que la válvula se cierra tras el equilibrio mecánico.
- 7.53. En un recipiente rígido de 100 litros hay una mezcla de 4 kg de propano y 12 kg de butano a 500 kPa, estando atemperado en aire ambiente a 100 kPa y 30 °C. Se pide:
- a) Calcular la fracción molar de propano. Hacer un esquema $p-x$ (presión/composición) de las mezclas propano/butano a 30 °C, e indicar en él los valores de las presiones extremas, y las de ebullición y condensación de la mezcla dada.
 - b) Calcular la composición de cada fase a 30 °C y 500 kPa, indicando en un diagrama $T-x$ a 500 kPa sus estados, así como la fracción molar de fase gaseosa.
 - c) Calcular el volumen de líquido en esas condiciones.
 - d) Se quiere determinar el estado termodinámico que alcanzaría un pequeño escape de líquido a través de una válvula, si éste fuese rápido y hasta la presión ambiente. Hacer un esquema del proceso en un diagrama $p-h$. Calcular la temperatura de salida suponiendo que, en vez de la mezcla líquida, lo que escapa fuese butano líquido puro.
- 7.54. Un modelo de la atmósfera de Titán (la luna de Saturno) tiene 95 % N_2 y 5 % de CH_4 a 94 K y 150 kPa (algunos de los mares más grandes son de metano líquido casi puro). Se pide:
- a) Hacer un esquema del diagrama $p-x$ de las mezclas de CH_4 y N_2 a 94 K suponiendo aplicable el modelo de mezcla ideal, indicando los valores extremos.
 - b) Calcular a qué presión habría que comprimir la mezcla isotérmicamente para que empezase a condensar, y la composición de las primeras gotas.
 - c) Sabiendo que se ha comprimido la mezcla hasta 400 kPa y luego se ha dejado enfriar hasta la temperatura ambiente, determinar el estado termodinámico.
 - d) Calcular el coste mínimo para obtener metano puro a partir de esa atmósfera.
- 7.55. A una cámara rígida entra una corriente de 0,3 kg/s de N_2 que está a 200 kPa y temperatura ambiente de 300 K, y otra de 0,5 kg/s de CO_2 a 500 K y 150 kPa, saliendo la mezcla a presión ambiente de 100 kPa. Se pide:
- a) Plantear los balances másicos y energético en un caso general no estacionario, determinando las fracciones molares a la salida en el caso estacionario.
 - b) Exergía de cada una de las corrientes de entrada, respecto a la atmósfera de referencia.
 - c) Potencia mecánica máxima obtenible de esa configuración.
 - d) En una cierta configuración, de la cámara se extraen 10 kW de potencia mecánica. Calcular el rango de valores posibles para el calor intercambiado con el ambiente (dependiendo de la temperatura de salida).
 - e) Pérdida de exergía sabiendo que se extraen los 10 kW de potencia y salen además 10 kW de calor al ambiente.
- 7.56. Se quiere estudiar la captura del CO_2 de los gases de escape de la combustión completa de metano con aire estequiométrico a 6,4 MPa. Se pide:

- a) Coste unitario de comprimir el aire desde el ambiente hasta 6,4 MPa en dos etapas de relación de presiones igual a 8 y rendimiento isoentrópico del 85 %, con enfriamiento intermedia hasta la temperatura ambiente de 20 °C.
- b) Fracciones molares de los gases de escape tras la combustión adiabática, y una vez atemperados.
- c) Hacer un esquema del diagrama $T-x$ de las mezclas de CO_2 y N_2 a 6,4 MPa suponiendo aplicable el modelo de mezcla ideal, indicando los valores extremos y comentando la validez del modelo.
- d) Calcular la temperatura de condensación de la mezcla a 6,4 MPa, y la composición de las primeras gotas.

7.57. Un inventor pretende haber diseñado un dispositivo capaz de separar el aire ambiente (supuesto a 20 °C, 100 kPa y 50 % HR), en sus componentes puros (supóngase solo nitrógeno, oxígeno y agua), utilizando una instalación que solo consume trabajo en un compresor de relación de presiones $\pi=3$, el cual toma el aire ambiente y lo hace pasar por un novedoso dispositivo de membranas semipermeables. Se pide:

- a) Consumo unitario estimado del compresor, y valores en los límites isoentrópico e isoterma. Esquema de los procesos en un diagrama $T-s$.
- b) Composición estimada del aire ambiente descrito.
- c) Trabajo mínimo necesario, por mol de producto, para obtener cada componente puro.
- d) Trabajo mínimo necesario, por kilogramo de aire, para separar el aire ambiente en sus componentes.
- e) Determinar si condensaría el aire al atemperarse tras la compresión.

7.58. Se piensa usar una mezcla de argón y xenón, con el 25 % molar de argón, como fluido de trabajo en un ciclo Brayton cerrado para una planta de potencia espacial, donde un compresor toma 10 kg/s de mezcla a -50 °C y 1 MPa y la comprime a 2 MPa con un rendimiento adiabático del 80 %. Suponiendo válido el modelo mezcla ideal de gases ideales, se pide:

- a) Capacidad térmica a presión constante, relación de capacidades térmicas, y velocidad del sonido en la mezcla.
- b) Temperatura de salida del compresor, y su consumo energético.
- c) Esquema del diagrama $T-x$ de las mezclas Ar/Xe a 1 MPa, indicando los valores extremos y las fases.
- d) Temperatura a la que empezaría a condensar la mezcla a esa presión.
- e) Presión a la que empezaría a condensar a -50 °C.