
CONCEPTOS FUNDAMENTALES**Problema nº 1)**

Por una tubería fluyen 100 lb de agua a razón de 10 ft/s. ¿Cuánta energía cinética ($E = \frac{1}{2} m \cdot v^2$) tiene el agua, expresada en unidades del SI?

Problema nº 2)

La difusividad del anhídrido carbónico en agua a 25°C y 1 atm, expresada en el sistema inglés de unidades es de $7,596 \cdot 10^{-5}$ ft²/h. Deducir su correspondiente valor en el SI de unidades.

Problema nº 3)

El calor perdido por convección y radiación a la atmósfera viene dado por la fórmula:

$$\frac{q}{A} = \frac{\Delta T^{1,25}}{D_o^{0,25}}$$

donde:

q: Caudal de calor [kcal/h]

A: Área de la tubería [m²]

ΔT : Diferencia de temperatura entre pared y medio ambiente [°C]

D_o : Diámetro externo de la tubería [cm]

Transformar esta ecuación para expresar ΔT en °F.

Nota:

$$1\text{ °F} = (5/9)\text{ °C}$$

Problema nº 4)

En los procesos de sedimentación de partículas en fluidos, la fuerza ejercida sobre una partícula obedece a la siguiente ecuación:

$$F_D = 0,055 U_t \cdot D_p^2 \cdot \rho$$

siendo:

F_D : Fuerza [lbf]

U_t : Velocidad de la partícula [ft/s]

D_p : Diámetro de la partícula [ft]

ρ : Densidad [lb/ft³]

Transformar la ecuación al sistema internacional utilizando las equivalencias necesarias y teniendo en cuenta que $1 \text{ lbf} = 4,4482 \text{ N}$.

Problema nº 5)

En los procesos de filtración a presión constante, el volumen de líquido filtrado está relacionado con el tiempo de filtración por la ecuación:

$$V^2 = \frac{2 A^2 \Delta P (1 - M \cdot S)}{\mu \cdot \rho \cdot S \cdot \alpha} \theta$$

siendo:

- V: Volumen de filtrado [ft^3]
- A: Área filtrante [ft^2]
- ΔP : Diferencia de presión [lbf/in^2]
- S: Fracción másica del sólido en la suspensión
- M: Relación entre el peso de la torta húmeda y el peso de la torta seca
- θ : Tiempo de filtración [s]
- μ : Viscosidad del líquido [$\text{lb}/(\text{ft} \cdot \text{s})$]
- ρ : Densidad del líquido [lb/ft^3]
- α : Resistencia específica de la torta de material sólido [s^2/lb]

Se desea transformar la ecuación para poder emplear las siguientes unidades:

$$\begin{array}{lll} V \text{ en cm}^3 & A \text{ en cm}^2 & \Delta P \text{ en atm} \\ \mu \text{ en cP} & \rho \text{ en g/cm}^3 & \alpha \text{ en s}^2/\text{g} \end{array}$$

Nota:

$$1 \text{ atm} = 14,606 \text{ psi}$$

Problema nº 6)

Para el cálculo del coeficiente individual de transferencia de materia, k_g , a través de la fase gaseosa se ha obtenido experimentalmente, en una columna de laboratorio de esferas y cilindros de área interfacial conocida, la ecuación:

$$k_g = 14,04 V_R^{2/3} \cdot a_s^{1/2} \cdot I_m^3$$

en la que:

- k_g Coeficiente individual de transferencia de materia a través de la fase gaseosa [$\text{kg}/(\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{atm})$]

V_R : Velocidad relativa entre las fases gaseosa y líquida [m/s]

a_s : Superficie específica del relleno [m²/m³]

I_m : Factor de impulsión [adimensional]

Transformar dicha ecuación para que pueda utilizarse con las magnitudes expresadas en las siguientes unidades:

$$k_g \text{ en lb/(h}\cdot\text{ft}^2\cdot\text{mmHg)} \quad V_R \text{ en ft/s} \quad a_s \text{ en ft}^2\text{/ft}^3$$

Problema nº 7)

Para la determinación del coeficiente de transmisión de calor individual a través de un sólido en contacto con la pared de un lecho fluidizado, Wen y Fau han propuesto la siguiente ecuación empírica :

$$h = 11,6 \, k \cdot (C_s \cdot \rho_s)^{0,4} \cdot \left(\frac{G \cdot \eta}{\mu \cdot N_f} \right)^{0,36}$$

en la que h es el coeficiente de transmisión de calor [Btu/(h·ft²·°F)], k es la conductividad térmica del fluido [Btu/(h·ft·°F)], C_s es la capacidad calorífica del sólido [Btu/(lb·°F)], ρ es la densidad del sólido [lb/ft³], G es la velocidad másica del fluido [lb/(h·ft²)], η es la eficacia de la fluidización [adimensional], μ es la viscosidad del fluido [lb/(h·ft)] y N_f es la razón de expansión del lecho [adimensional].

Obtener una ecuación equivalente en la que todas las variables se expresen en el Sistema Internacional de Unidades.

Nota:

$$1 \, ^\circ\text{F} = (5/9) \, \text{K}$$

Problema nº 8)

En 1916 Nusselt dedujo una relación teórica para predecir el coeficiente de transferencia de calor entre un vapor saturado puro y una superficie más fría:

$$h = 0,943 \left(\frac{k^3 \cdot \rho^2 \cdot g \cdot \lambda}{L \cdot \mu \cdot \Delta T} \right)^{\frac{1}{4}}$$

donde:

h : Coeficiente medio de transferencia de calor [Btu/(h·ft²·°F)]

k : Conductividad térmica [Btu/(h·ft·°F)]

ρ : Densidad [lb/ft³]

g : Aceleración debida a la gravedad [ft/h²]

λ : Cambio de entalpía [Btu/lb]

L: Longitud del tubo [ft]

ΔT : Diferencia de temperatura [°F]

¿Qué unidades tiene la constante 0,943?

Problema nº 9)

El número de Prandtl es un grupo adimensional importante en los cálculos de transferencia de calor. Se define como:

$$Pr = \frac{C_p \cdot \mu}{k}$$

donde:

C_p : Capacidad calorífica del fluido

μ : Viscosidad del fluido

k : Conductividad térmica del fluido

Calcular el número de Prandtl para un fluido particular con:

$$\begin{aligned} C_p &= 0,853 \frac{J}{g \cdot ^\circ C} \\ \mu &= 1.936 \frac{lb}{ft \cdot h} \\ k &= 0,286 \frac{W}{m \cdot ^\circ C} \end{aligned}$$

Problema nº 10)

El número de Reynolds es un grupo adimensional definido para un fluido que se desplaza en un tubo como:

$$Re = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu}$$

donde:

D: Diámetro del tubo

v: Velocidad del fluido

ρ : Densidad del fluido

μ : Viscosidad del fluido

Cuando el valor del número de Reynolds es menor de 2.100, el flujo es laminar: el fluido se mueve en corrientes suaves. Para números de Reynolds por encima de

2.100, el flujo es turbulento: existe una fuerte agitación interna.

La metil-etil-cetona (MEC) fluye a una temperatura de 20°C en las siguientes condiciones:

$$D = 2,067 \text{ in}$$

$$v = 0,048 \frac{\text{ft}}{\text{s}}$$

$$\rho = 0,805 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$\mu = 0,43 \text{ cP}$$

Determinar si el flujo es laminar o turbulento.

Nota:

$$1 \text{ cP} = 0,001 \text{ kg}/(\text{m}\cdot\text{s})$$

BALANCES DE MATERIA**Problema nº 11)**

Un evaporador se alimenta continuamente con 25 Tm/h de una disolución que contiene 80% de H_2O , 10% de $NaOH$ y 10% de $NaCl$. Durante la evaporación el $NaCl$ precipita en forma cristalina y se sedimenta y separa. La disolución concentrada que abandona el evaporador contiene 48% de H_2O , 50% de $NaOH$ y 2% de $NaCl$. Calcular los caudales de las corrientes de salida.

Problema nº 12)

Un cristizador se alimenta con 5.600 kg/h de una disolución salina caliente con 50% en peso de sal. Al enfriar cristaliza la sal y se consigue separar así una disolución fría saturada con 20% en peso de sal y unos cristales húmedos con 5% en peso de agua. Se desea conocer el caudal de disolución de salida y la masa de cristales húmedos obtenidos por hora.

Problema nº 13)

El análisis del agua que fluye por un río indica que hay 180 ppm de Na_2SO_4 . Si se añaden de forma uniforme 10 kg de Na_2SO_4 a la corriente durante el período de 1 h y el análisis aguas abajo, donde la mezcla ha sido completa, indica que hay 3.300 ppm de Na_2SO_4 , ¿cuál es el caudal de agua (m^3/h) que fluye por el río?

Problema nº 14)

Una corriente de aire circula por una conducción y en un determinado punto de la misma se le inyecta 1 kg/h de CO_2 . A suficiente distancia de este punto para que se produzca la mezcla completa, un análisis de la corriente muestra que contiene 0,45% en volumen de CO_2 .

Suponiendo que el contenido normal del CO_2 en el aire es de 0,03% en volumen, calcular el caudal del aire, en kg/h.

Problema nº 15)

Un recipiente contiene 600 l de una disolución de detergente al 25% en volumen. Se desea reducir la concentración al 20% añadiendo otra disolución del mismo detergente al 5%.

- ¿Qué volumen (l) de disolución al 5% se debe añadir?
- ¿Cuál será la concentración final si se añaden 300 l?

Problema nº 16)

Una columna de destilación se alimenta con una mezcla que contiene 45% de benceno y 55% de tolueno. Se produce un flujo de destilado que contiene 95% en peso de benceno y con el residuo sale un 8% del benceno alimentado a la columna. La velocidad de alimentación es de 2.000 kg/h.

Determinense el flujo másico de destilado y los flujos másicos de benceno y tolueno en el residuo.

Problema nº 17)

Una corriente de 1.000 mol/h, disponible con la siguiente composición:

Componente	% mol
Propano	20
Isobutano	30
Isopentano	20
n-Pentano	30

se va a separar por destilación en dos fracciones. Se desea que el destilado contenga todo el propano que entra en la unidad, así como el 80% del isopentano; su composición en isobutano deberá ser de 40%. La corriente de residuo deberá contener todo el n-pentano que se alimenta a la unidad. Calcular los análisis completos de destilado y residuo.

Problema nº 18)

El jugo de naranja fresco contiene generalmente un 12% de sólidos en disolución acuosa (porcentaje en masa); dichos sólidos son principalmente azúcares. Para reducir los costos de traslado, a menudo se concentra el jugo antes de embarcarse y luego se reconstituye al llegar a su destino. El proceso de concentración se efectúa en evaporadores de diseño especial, de tiempo de residencia corto, que operan a presiones menores a la atmosférica para reducir las pérdidas de los componentes de sabor y aroma, presentes en cantidades muy pequeñas y que son muy volátiles y sensibles al calor. Como generalmente no pueden evitarse algunas pérdidas de estos componentes, la práctica común es concentrar el jugo un poco más de lo necesario, y después agregar una pequeña cantidad de jugo fresco al concentrado para obtener un producto de mejor aroma y sabor.

Supóngase que se utiliza 10% de la alimentación a dicho proceso para la reconstitución, y que se opera el evaporador para obtener un jugo de descarga que contiene 80% de sólidos en disolución. Si al proceso se alimentan 10.000 kg/h de jugo fresco, calcular el caudal evaporado de agua y la composición del producto final.

Problema nº 19)

Un evaporador se alimenta con 10.000 kg/h de una disolución de KNO_3 al 20% en peso. La disolución concentrada que sale del evaporador con el 50% en peso de KNO_3 se lleva a un cristizador, donde se enfría, cristaliza el KNO_3 y las aguas madres (disolución saturada fría con 0,6 kg de KNO_3 por kg de agua) se recirculan, mezclándose con la corriente de alimentación del evaporador. La masa de cristales separados en el cristizador contiene un 4% en peso de agua. Calcular:

- Caudal (kg/h) de sal húmeda producida.
- Caudal (kg/h) de agua evaporada.
- Caudal (kg/h) de disolución saturada fría recirculada del cristizador al evaporador.

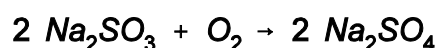
Problema nº 20)

A un proceso formado por un mezclador y un separador, con recirculación y purga, que opera en continuo y régimen estacionario, se alimenta una corriente fresca con una composición en peso de 20% en A y 80% en B. En el separador se obtiene una corriente de composición en peso de 5% en A y 95% en B, y otra formada por A puro, de la cual una parte se recircula a la corriente de alimentación fresca y la otra se extrae como purga, con un caudal de 10 kg/h. La entrada al mezclador, resultante de la mezcla de alimentación fresca y recirculación, tiene una composición en peso de 40% en A.

Calcular los caudales y composiciones de las diferentes corrientes del sistema.

Problema nº 21)

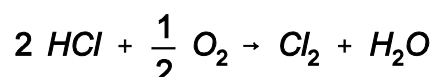
La corrosión por oxígeno de las tuberías de las calderas puede reducirse si se emplea sulfito sódico, el cual elimina oxígeno del agua de alimentación de la caldera por medio de la siguiente reacción



¿Qué cantidad (kg) de sulfito sódico ($M = 126 \text{ kg/kmol}$) se requieren en teoría (reacción completa) para eliminar el oxígeno de 8.330.000 kg de agua que contienen 10 ppm de oxígeno disuelto y al mismo tiempo mantener un 35% de exceso de sulfito sódico?

Problema nº 22)

Se alimentan 10 m³/h de HCl gaseoso a 200°C y 1 atm a un horno de oxidación donde se hacen reaccionar con aire con un 20% de exceso del requerido por la reacción:



Si la reacción es completa y los productos abandonan el horno a 300°C y 1 atm, calcular el caudal volumétrico y la composición de los gases producto.

Problema nº 23)

Los disolventes residuales de las operaciones industriales pueden ser contaminantes si no se eliminan de forma adecuada. Un estudio cromatográfico del gas residual de una planta de fibras sintéticas reporta el siguiente análisis:

CS ₂	40%
CO ₂	10%
H ₂ O	50%

Se ha sugerido quemar este gas en exceso de aire. Los productos gaseosos de la combustión se emiten a la atmósfera a través de una chimenea. Las reglamentaciones de contaminación a la atmósfera de la comunidad indican, que en

ningún caso, los gases de chimenea pueden tener más del 2% de SO_2 en base a un análisis de Orsat (base seca).

Calcúlese el mínimo porcentaje de exceso de aire que debe usarse para cumplir la normativa

Problema n° 24)

Hidrógeno húmedo, con el 4% en volumen de agua, se quema completamente en un horno con un 32% de exceso de aire. Calcular la composición de los gases de combustión sobre base seca (análisis de Orsat).

Problema n° 25)

Gas natural de composición 92% CH_4 ; 6,5% C_2H_6 ; 1,5% C_3H_8 ; se quema en un horno con 40% de exceso de aire. Determinar la composición de los gases de combustión (en base seca).

Problema n° 26)

Un horno se calienta por combustión de un carbón, cuya composición en peso es 90% carbono, 6% hidrógeno y 4% cenizas incombustibles. Para la combustión se emplea un 50% de exceso de aire y un análisis de los gases de combustión indica que contienen el 1% en volumen de monóxido de carbono.

Determinar la cantidad (kmol) de gases de combustión (sobre base húmeda) formados por cada 100 kg de carbón quemados, así como la composición de dichos gases.

Problema n° 27)

La ventaja principal de la incineración catalítica de gases olorosos y otras sustancias molestas respecto a la combustión es su menor costo. Los incineradores catalíticos operan a temperaturas más bajas (500 a 900 °C en comparación con 1.100 a 1.500 °C para los incineradores térmicos) y gastan mucho menos combustible. Como las temperaturas de operación son más bajas, los materiales de construcción no tienen que ser tan resistentes al calor, lo que reduce los costos de instalación y construcción.

En una prueba, un líquido que se propone como combustible para una llama y que tiene una composición de 88% de carbono y 12% de hidrógeno se vaporiza y quema con aire seco para producir un gas de chimenea con la siguiente composición en base seca:

CO_2	13,4%
O_2	3,6%
N_2	83,0%

Como parte del diseño del equipo para el dispositivo de combustión continua en estado estacionario, determinar cuántos kmol de gas de chimenea seco se producen por cada 100 kg de alimentación líquida. ¿Qué porcentaje de aire en exceso se usó?

Problema nº 28)

En un horno se queman totalmente 3.000 kg/h de fuelóleo (86% de carbono; 14% de hidrógeno) con un 50% de exceso de aire que contiene 0,02 kg de vapor de agua por cada kg de aire seco. Calcular:

- Composición del gas resultante sobre base húmeda.
- Composición del gas resultante sobre base seca.
- Caudal volumétrico de aire empleado (m^3/h), medido a 45 °C y 1 atm.
- Volumen de gases producidos por kg de fuelóleo quemado, medido a 300 °C y 1 atm.

Problema nº 29)

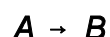
La concentración del ácido contenido en un tanque de 4.250 l se desea reducir desde el 21% hasta el 1% en peso, haciendo pasar a su través 85 l/min de agua de lavado que contiene un 0,2% en peso de ácido. ¿Cuánto tiempo será necesario para lograr el fin propuesto si las condiciones son de mezcla perfecta?

Mezcla perfecta significa que, en cada instante, la concentración de la corriente de salida es la que existe dentro del tanque. Supóngase que las densidades de todas las corrientes son constantes e iguales entre sí, de tal manera que la fracción en peso de ácido es igual a la fracción en volumen.

Problema nº 30)

Un tanque perfectamente agitado contiene inicialmente 1.000 l de agua destilada. A partir de un cierto instante, se empieza a alimentar dicho tanque con un caudal de 10 l/min de una disolución acuosa de una sustancia **A** con una concentración de 1 mol/l de **A** y, al mismo tiempo, se empieza a extraer otra corriente con el mismo caudal (10 l/min).

En el tanque se produce la reacción irreversible de primer orden, cuya velocidad se expresa mediante la siguiente ecuación cinética que permite calcular la velocidad de desaparición del reactivo:



$$-r_A \left[\frac{\text{mol}}{\text{l} \cdot \text{min}} \right] = 0,09 C_A$$

Determinar:

- El tiempo que deberá transcurrir hasta que la concentración de **A** en la corriente de salida sea de 0,05 mol/l.
- Las concentraciones de **A** y de **B** en la corriente de salida cuando se haya alcanzado el régimen estacionario.
- El tiempo necesario para alcanzar el régimen estacionario en el sistema.
- El tiempo necesario para alcanzar el 99,99% de la concentración de **A** en la salida que tendría en el régimen estacionario.
- La concentración de **A** en la salida, en régimen estacionario, si no existiera reacción química.

- f) El tiempo necesario para alcanzar régimen estacionario si no existiera reacción química.
- g) El tiempo necesario para alcanzar el 99,99% de la concentración de **A** en la salida que tendría en el régimen estacionario, si no existiera reacción química.

BALANCES DE ENERGÍA**Problema nº 31)**

Considérese una turbina de vapor que funciona con vapor de agua que incide sobre la misma con una velocidad de 60 m/s, a una presión de 4.000 kN/m² y 673 K. El vapor sale de ella con un desnivel de 6 m respecto a la entrada, a presión atmosférica (101,3 kN/m²) y a una temperatura de 398 K, con una velocidad de 300 m/s.

Sabiendo que la turbina se ha diseñado para producir una potencia teórica de 40 kW con un caudal másico de vapor de 450 kg/h y que las pérdidas totales producidas durante su funcionamiento en régimen estacionario son de 90.000 kJ/h, calcular el rendimiento de la turbina.

Datos:

A partir de las tablas termodinámicas del vapor de agua puede obtenerse:

P [kN/m ²]	T [K]	U [kJ/kg]	ρ [kg/m ³]
4.000	673	2.920	13,6
101,3	398	2.542	0,55

Problema nº 32)

Se está comprimiendo aire de 100 kPa y 255 K (estado en el que tiene una entalpía de 489 kJ/kg) a 1.000 kPa y 278 K (estado en el que tiene una entalpía de 509 kJ/kg). La velocidad de salida del aire del compresor es de 60 m/s, mientras que la de la entrada se considera despreciable.

¿Qué potencia en kW debe tener el compresor si la carga es de 100 kg/h de aire y el sistema es eminentemente adiabático?

Datos:

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

Problema nº 33)

Se desea calentar desde 20 °C hasta 300 °C un flujo que contiene 10% en volumen de metano y 90% en volumen de aire. Calcular la velocidad de entrada de calor requerida (en kilovatios), si la velocidad de flujo del gas es 2.000 l/min (en CN).

Datos:

Para el intervalo de temperaturas considerado, se pueden tomar los siguientes calores específicos medios:

Gas	C_p [J/(mol·°C)]
Metano	43,18
Aire	29,38

Problema n° 34)

Para reducir el contenido en agua de una muestra de caseína se utiliza un secadero que consume 4 Nm³/h de gas natural que tiene un poder calorífico de 800 kJ/mol. La caseína húmeda entra en el secadero a razón de 60 kg/h con un 55 % de humedad y sale del mismo con una humedad del 10%.

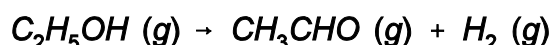
Calcular la eficacia térmica del secadero, definida como el calor necesario respecto al calor aportado.

Datos:

El calor latente de vaporización del agua en las condiciones del secadero es de 2.257 kJ/kg.

Problema n° 35)

Se lleva a cabo la deshidrogenación de etanol para formar acetaldehído en un reactor adiabático:

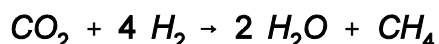


El reactor se alimenta con el vapor de etanol a 300 °C, y se obtiene una conversión del 30%.

Calcular la temperatura del producto, usando las siguientes capacidades caloríficas constantes [kJ/(kmol·°C)]: etanol: 110; acetaldehído: 80; hidrógeno: 29. La entalpía de la reacción es $\Delta H_r (25\text{ °C}) = +68.950\text{ kJ/kmol}$.

Problema n° 36)

En un reactor catalítico se lleva a cabo la reacción:



Si la reacción es completa, los reactivos entran al reactor en proporciones estequiométricas y tanto la corriente de entrada como la de salida se encuentran a 500 °C, calcular el calor que se pierde a través de las paredes del reactor por cada kilomol de dióxido de carbono convertido.

Datos:

Entalpías de formación a 25 °C y 1 atm:

Compuesto	ΔH_f° [kcal/kmol]
CO ₂	- 94.059
H ₂ O	- 57.798
CH ₄	- 17.889

Capacidades caloríficas medias en el intervalo de temperaturas considerado:

Compuesto	C_p [kcal/(kmol·°C)]
CO ₂	10,2
H ₂	7,0
H ₂ O (v)	8,4
CH ₄	9,6

Problema nº 37)

Se quema por completo monóxido de carbono a 10 °C y una presión de 2 atm con 50 % de aire en exceso que está a 538 °C. Los productos de la combustión salen de la cámara de combustión a 427 °C.

Calcular el calor generado en la cámara de combustión expresado en kilojulios por kilogramo de CO que entra.

Datos:

Entalpías de formación a 25 °C y 1 atm:

Compuesto	ΔH_f° [kJ/mol]
CO	- 110,52
CO ₂	- 393,51

Capacidades caloríficas medias en el intervalo de temperaturas considerado:

Compuesto	C_p [kJ/(kmol·°C)]
CO	29,64
O ₂	30,45
N ₂	29,51
CO ₂	40,78

Problema nº 38)

Una caldera produce 4.536 kg/h de vapor de agua saturado y seco a 20,6 bar ($T_s = 214$ °C; $\lambda = 450$ kcal/kg) a partir de un agua de alimentación que se encuentra a 37,8 °C. El consumo de combustible es de 499 kg/h a una temperatura de 25 °C, con un poder calorífico ($-\Delta H_R$) de 32.564 kJ/kg y una composición en peso de 84% de carbono, 4% de oxígeno, 4% de hidrógeno y 8% de cenizas.

La composición volumétrica de los gases de escape es la siguiente: 10% de CO₂; 9,5% de O₂ y 80,5% de N₂. La temperatura de dichos gases es de 288 °C y el aire entra en la cámara de combustión a 25 °C.

Tomando como valor medio de la capacidad calorífica para los gases de escape secos el de 0,24, para el agua líquida el de 1, para el vapor de agua el de 0,46 kcal/(kg·K) y tomando como calor latente de vaporización del agua 540 kcal/kg, hágase un balance de energía para la caldera con el fin de evaluar las pérdidas de calor en kW.

Problema nº 39)

A un tanque de 1.000 litros de capacidad, que se encuentra inicialmente a 42,5 °C, entran 100 l/min de ácido sulfúrico al 10% que está a 50 °C y, por otro conducto, 100 l/min de agua a 35 °C. Si el tanque está perfectamente agitado y se extraen 85 l/min de disolución, calcular:

- a) ¿En cuánto tiempo se llenará?
- c) ¿Cuál será la temperatura de la disolución saliente en ese momento?

Datos:

La densidad de la disolución de ácido sulfúrico al 10% es 1,05 g/cm³. Para el resto de las corrientes tomar el valor de densidad de 1 g/cm³.

El calor específico medio de la corriente de ácido sulfúrico al 10% y de la disolución que abandona el reactor es de 0,90 kcal/(kg·°C).

Problema nº 40)

Un tanque con un pistón móvil contiene un gas; la temperatura inicial del gas es 25 °C.

a) El tanque se coloca en agua hirviendo con el pistón en una posición fija. El gas absorbe una cantidad de 2 kcal de calor y alcanza el equilibrio a 100 °C (y una presión mayor).

b) El pistón se libera y el gas realiza 100 J de trabajo para trasladar el pistón a su nueva posición de equilibrio. La temperatura final del gas es 100 °C.

Resolver los correspondientes balances de energía para obtener en cada caso el término de energía involucrado en el proceso. Considerar que el gas en el tanque es el sistema, despreciar el cambio en la energía potencial del gas cuando el pistón se mueve verticalmente y considerar que el gas se comporta idealmente. Expresar todas las energías en julios.

OPERACIONES DE SEPARACIÓN ESCOGIDAS**Problema nº 41)**

Determinar la composición del vapor en equilibrio con una mezcla líquida de benceno - tolueno con el 40% en moles de benceno a la presión de 1 atm.

Datos:

Presiones de vapor de benceno y tolueno en función de la temperatura:

T [°C]	Benceno P_1^o [mmHg]	Tolueno P_2^o [mmHg]
80	757,4	290,7
85	881,6	344,6
90	1.021	406,4
95	1.177	476,7
100	1.351	552,2
105	1.545	646,0
110	1.759	746,9

Problema nº 42)

Las presiones de vapor del hexano y del heptano puros, en función de la temperatura a la presión total de 1 atm son:

T [°C]	Hexano P_1^o [mmHg]	Heptano P_2^o [mmHg]
69	760	295
70	780	302
75	915	348
80	1.060	426
85	1.225	498
90	1.405	588
95	1.577	675
99,2	1.765	760

a) Suponiendo mezcla ideal, calcular los datos de equilibrio y representar los diagramas (T-x,y) y (x,y).

- b) Determinar la volatilidad relativa a cada una de las temperaturas indicadas y, utilizando una media aritmética de las volatilidades, recalcular los valores de la composición del vapor y compararlos con los anteriores.
- c) ¿Cuál es la temperatura de burbuja y la temperatura de rocío de una mezcla que contiene 30% en moles de hexano?
- d) ¿Cuál es la composición de una fase líquida cuya temperatura de burbuja es 80 °C? ¿Y la de una fase gaseosa cuya temperatura de rocío de 80 °C?

Problema nº 43)

Una determinada mezcla equimolecular de heptano y octano se somete a destilación simple hasta que la composición del líquido residual en la caldera desciende a 0,30 en fracción molar de heptano, operando a la presión atmosférica. Determínese la composición global del vapor destilado, si para esta mezcla el valor medio de la volatilidad relativa es 2,17.

Problema nº 44)

Una mezcla ideal de dos componentes **A** y **B**, cuya volatilidad relativa se puede considerar constante e igual a 2, se somete a una destilación de equilibrio de forma continua. Si la mezcla alimentada tiene una composición de 55% en moles de **A** y se introduce con un caudal de 60 kmol/h, responder a las siguientes cuestiones:

- a) ¿Qué fracción de la mezcla alimentada debe de destilarse para obtener un vapor de 65% en moles de **A**?
- b) Si se desea obtener un caudal de vapor de 30 kmol/h, ¿cuál será su composición?

Problema nº 45)

Si una mezcla líquida de **A** y **B**, con una composición en **A** del 40% en moles y presión elevada se expande de una forma brusca hasta una presión final de 1 atm, siendo el proceso adiabático, indicar qué ocurre en cada uno de los casos siguientes en que la entalpía de la mezcla inicial que se somete a expansión es:

- a) Igual a 11.000 kcal/kmol.
- b) Igual a 5.000 kcal/kmol.
- c) Igual a 800 kcal/kmol.

Si en alguno de los casos anteriores se produce flash, determinar las cantidades y composiciones de líquido y vapor.

La volatilidad relativa del sistema A-B, a 1 atm, se puede considerar constante e igual a 1,5. Las entalpías de los compuestos puros, a 1 atm, son:

Componente	H (vapor) [kcal/kmol]	h (líquido) [kcal/kmol]
A	6.000	1.000
B	10.000	2.000

Se puede admitir que las entalpías correspondientes a las mezclas binarias A-B varían linealmente con la composición.

Problema nº 46)

Una mezcla que contiene 30% en moles de n-pentano y 70% de n-heptano se destilará de forma continua para producir un producto en la parte superior que contenga 98% de n-pentano. Se va a recuperar el 96% del n-pentano que entra en la columna en la alimentación en el producto de la parte superior. La alimentación entra a la columna como líquido saturado a su temperatura de burbuja. Se pide determinar:

- El flujo molar de destilado y residuo.
- El número mínimo de pisos teóricos.
- El número de pisos teóricos si la relación de reflujo real es 1,5 veces la mínima y dónde se introduce el alimento.

Datos:

Los datos de equilibrio para el sistema a 1 atm son:

x	y	x	y
0,0	0,000	0,5	0,840
0,1	0,333	0,6	0,893
0,2	0,530	0,7	0,920
0,3	0,660	0,8	0,946
0,4	0,766	0,9	0,960

Problema nº 47)

Se han de someter a rectificación 100 kmol/h de una mezcla líquida constituida por las sustancias **A** y **B**, en su punto de ebullición, en una columna de pisos que dispone de un condensador total.

La alimentación contiene un 54% en moles de **A** (componente más volátil) y se desea obtener un destilado con el 95% en moles de **A** y un residuo con un 3,5% en moles de dicho componente. Si se utiliza una relación de reflujo 2,82 veces la mínima y la volatilidad relativa de la mezcla es de 2,61, calcular:

- El caudal de destilado y de residuo, en kmol/h.
- El número mínimo de pisos teóricos.
- El número de pisos teóricos y la posición del piso de alimentación.
- El caudal de agua de refrigeración (l/h), si entra a 20 °C, sale a 40 °C y el calor latente del destilado es de 6.500 kcal/kmol.

Problema nº 48)

En un sistema rectificador continuo, constituido por una caldera sobre la que está acoplada una columna de pisos de campanas, se alimenta una mezcla conteniendo 39,08 % en moles de CS_2 y el resto de CCl_4 . Se desea obtener un producto con 90% en moles de S_2C en el condensador y un residuo de 10% en moles de S_2C , que se extraerá continuamente de la caldera. Suponiendo que el alimento está constituido por 2/3 de vapor y 1/3 de líquido en moles, calcular:

- La relación del reflujo $(L/D)_{\min}$.

- b) Si la relación de reflujo es 100% mayor que la mínima, ¿cuántos pisos teóricos deben utilizarse?
- c) ¿Cuál es el piso de alimentación teórico y la composición del líquido en el mismo?
- d) Si el caudal de alimento es 81 kmol/h, ¿cuál es la producción horaria de destilado y residuo?

Datos:

Los datos de equilibrio del sistema a 760 mmHg son, en fracciones molares de CS_2 :

T [°C]	x	y	T [°C]	x	y
76,7	0	0	59,3	0,3909	0,6340
74,9	0,0296	0,0823	55,3	0,5318	0,7470
73,1	0,0612	0,1555	52,3	0,6630	0,8290
70,3	0,1106	0,2660	50,4	0,7574	0,8780
68,6	0,1435	0,3325	48,5	0,8604	0,9320
63,8	0,2585	0,4950	46,3	1	1

Problema nº 49)

Se ha de proyectar una columna para el fraccionamiento continuo de 15.000 kg/h de una mezcla de 40% en peso de benceno y 60% en peso de tolueno, en un producto conteniendo 97% en peso de benceno y un residuo con 98% en peso de tolueno. La alimentación entra en la columna a su temperatura de ebullición y se utilizará una relación de reflujo $L/D = 1,5$ veces la mínima. Para la calefacción se usará vapor de agua a 2,4 atm (de calor latente 520 cal/g). El agua de refrigeración del condensador entra a 30 °C y lo abandona a 50 °C. Determinar:

- a) El número de pisos teóricos.
- b) El consumo de agua de refrigeración.
- c) El consumo de vapor de calefacción.

Datos:

Para el equilibrio líquido-vapor a la presión de trabajo, se puede considerar $\alpha = 2,4$.

Las entalpías del vapor y del líquido saturado son 130 y 40 kcal/kg, respectivamente, independientes de la composición.

Problema nº 50)

Se ha de proyectar una columna de rectificación en marcha continua para separar 2.000 kg/h de una mezcla acetona-agua, de composición 30% en peso de acetona, en un producto de cabeza de composición 95% en peso de acetona y un producto de cola de composición inferior al 4% en peso de acetona. La alimentación entra en un plato intermedio de la columna como mezcla de líquido y vapor en proporción de 3 a 1. Determínese:

- a) La relación de reflujo mínima.
- b) El número de platos necesario para efectuar la separación, si tienen una eficacia media del 69% y se emplea una relación de reflujo 42% superior a la mínima.
- c) La cantidad de calor separado en el condensador.
- d) La cantidad de calor suministrado a la caldera.

Datos:

Las entalpías del vapor y el líquido saturados son 9.500 y 1.000 kcal/kmol, respectivamente, independientes de la concentración.

Los datos de equilibrio a 1 atm, en fracciones molares de acetona, son:

x	y	x	y
0,01	0,335	0,61	0,850
0,04	0,585	0,66	0,860
0,12	0,755	0,79	0,900
0,30	0,810	0,85	0,920
0,54	0,840	1,00	1,000

Problema nº 51)

En un evaporador de tubos cortos verticales de simple efecto se va a concentrar un jarabe desde un 10% hasta un 40% de sólidos totales, alimentándose la disolución diluida, que está a 15 °C, a razón de 100 kg/h. La evaporación se produce a una presión reducida de 47,4 kPa (80 °C) y como agente calefactor se utiliza vapor saturado a 169 kPa (115 °C).

Suponiendo que el punto de ebullición permanece constante y que no existen pérdidas de calor, calcular:

- a) La cantidad de vapor que se consume por hora.
- b) El número de tubos que debe contener el evaporador, si cada uno de ellos tiene 1,55 m de longitud y 2,5 cm de diámetro interno.

Datos:

Calor específico del jarabe: 3,960 kJ/kg·K

Calor latente de vaporización de jarabe: 2.309 kJ/kg

Calor latente del vapor vivo a 155 °C: 2.217 kJ/kg

Coeficiente global de transmisión de calor: 2.600 W/m²·K

Problema nº 52)

Se concentra zumo de manzana en un evaporador de simple efecto que funciona en estado estacionario. El zumo diluido se alimenta a razón de 0,67 kg/s, concentrándose desde un 11% de contenido en sólidos totales hasta alcanzar una concentración del 75%. El calor específico del zumo de manzana es de unos 3,1 kJ/kg·°C y su calor latente en las condiciones del sistema es de 2.354 kJ/kg. La presión del valor de calefacción es de 304,42 kPa (134 °C) y la temperatura de entrada de la

alimentación es de 43,3 °C. La ebullición se produce dentro del evaporador a 62,2 °C, siendo el coeficiente global de transmisión de calor de 943 W/m²·°C.

Suponiendo despreciable el aumento del punto de ebullición, calcular:

- a) El caudal de producto concentrado (kg/s).
- b) El caudal de vapor de calefacción necesario (kg/s).
- c) La economía del sistema (vapor generado respecto a vapor consumido).
- d) El área de transmisión de calor (m²).

Datos:

El tablas de vapor saturado se puede encontrar:

$$H_w = 2.725,90 \text{ kJ/kg}$$

$$h_w = 563,41 \text{ kJ/kg}$$

Problema nº 53)

Se quiere concentrar 1.000 kg/h de un jugo de tomate en un evaporador de convección forzada desde el 10% al 30% en peso de sólidos. En la zona de evaporación se tiene una presión tal que la temperatura de ebullición es de 56 °C. Para calentar el sistema se utiliza vapor de agua saturado a 2 atm absolutas (120 °C), estimándose un coeficiente global de transmisión de calor de 3.000 kcal/h·m²·°C. Si la alimentación entra a 15 °C y no se produce aumento ebulloscópico, calcular:

- a) La superficie de calefacción necesaria.
- b) La cantidad de vapor vivo necesaria (kg/h), si no hay pérdidas de calor.
- c) La cantidad de vapor vivo necesaria si se admite que las pérdidas de calor al ambiente constituyen el 5% del "calor útil".

Datos:

$$C_p (\text{Jugo}) = 0,95 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\lambda_{56^\circ\text{C}} = 567 \text{ kcal/kg}$$

$$\lambda_{120^\circ\text{C}} = 527 \text{ kcal/kg}$$

Problema nº 54)

Un tanque de sedimentación que se utiliza para separar sólidos en suspensión contenidos en aguas residuales recibe un caudal de 10 l/s de estas aguas, con una concentración de sólidos en suspensión de 200 mg/l.

Si la eficacia de separación de los sólidos en suspensión en el interior del tanque es del 60%, calcular:

- a) La concentración de sólidos en suspensión a la salida.
- b) La cantidad de sólidos que pasan a engrosar diariamente la zona de sedimentos (fondo del depósito).

Problema nº 55)

Un líquido conteniendo 5 kg de suspensión por kg de sólidos debe espesarse hasta formar un lodo que contenga 1,5 l de suspensión por kg de sólidos en una operación en continuo. Se han realizado pruebas de laboratorio utilizando cinco concentraciones distintas de líquido, obteniéndose los siguientes resultados:

C [kg suspensión/kg sólido]	5,0	4,2	3,7	3,1	2,5
v [mm/s]	0,17	0,10	0,08	0,06	0,042

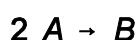
Considerando que la densidad de la suspensión es de 1.000 kg/m^3 , calcular el área que debe tener un espesador para efectuar la separación de $0,6 \text{ kg/s}$ de sólidos.

INTRODUCCIÓN A LA INGENIERÍA DE LA REACCIÓN QUÍMICA

Problema nº 56)

Un pequeño reactor equipado con un dispositivo sensible para la medida de presión, se evacua y después se llena de reactivo **A** a la presión de 1 atm. La operación se efectúa a 25 °C, temperatura lo suficientemente baja para que la reacción no transcurra en extensión apreciable.

Se eleva la temperatura lo más rápidamente posible hasta 100 °C sumergiendo el reactor en agua hirviendo, obteniéndose los datos dados en la tabla. La ecuación estequiométrica para la reacción es:

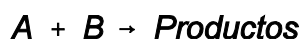


y después de permanecer el reactor en el baño bastante tiempo se efectúa un análisis para saber la cantidad de **A**, y se encuentra que ese componente ha desaparecido. Dedúzcase la ecuación cinética que se ajusta a estos datos, utilizando el método integral de análisis de datos.

t (min)	C _A (mol/l)	t (min)	C _A (mol/l)
1	0,034	7	0,015
2	0,027	8	0,013
3	0,023	9	0,012
4	0,021	10	0,011
5	0,018	15	0,008
6	0,016	20	0,007

Problema nº 57)

Se ha estudiado en un reactor discontinuo isotérmico la reacción en fase líquida:



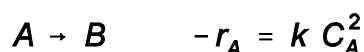
El análisis de la mezcla de reacción, a diferentes tiempos, permitió determinar las correspondientes conversiones de **A**, obteniendo los resultados siguientes:

x _A (%)	0	10	22	46	61	74	82	85	90
t (min)	0	2	5	15	28	50	80	100	160

Si la mezcla inicial de partida es equimolecular, determinar la ecuación cinética correspondiente a esta reacción, utilizando los métodos diferencial e integral.

SISTEMAS DE REACCIÓN HOMOGÉNEOS**Problema nº 58)**

En un reactor continuo de mezcla perfecta se efectúa la reacción en fase líquida homogénea:

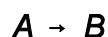


y tiene lugar una conversión del 50%.

- Calcúlese la conversión si el reactor se sustituye por otro seis veces mayor, sin modificar las demás condiciones.
- Calcúlese la conversión si se sustituye el reactor primitivo de mezcla perfecta por un reactor de flujo en pistón de igual tamaño, sin modificar las demás condiciones.

Problema nº 59)

Calcular la relación entre los volúmenes de reactor mezcla perfecta y de reactor tubular de flujo en pistón que alcanza una conversión del 90% de la reacción irreversible en fase líquida:



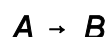
que sigue la ecuación cinética:

$$-r_A = 500 \text{ [l}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}] C_A^2$$

si el caudal de alimento es de 0,05 l/min y la concentración de **A** en él es 0,01 mol/l.

Problema nº 60)

Se desea tener una producción de 5.000 kg/día de un producto **B** por isomerización de **A**, según la reacción:



cuya ecuación cinética viene dada por:

$$r_B = -r_A = 0,1 \text{ [min}^{-1}] C_A$$

El reactor se carga con **A** puro ($\rho = 1.020 \text{ kg/m}^3$) y la reacción se verifica en fase líquida, a temperatura constante, con una conversión final del 95%, permaneciendo constante la densidad según el valor indicado. Determinar:

- El volumen necesario de un reactor discontinuo, mezcla completa, isoterma, que opera día y noche, con tiempo muerto de carga, descarga y limpieza estimado en 1 h.
- El volumen de reactor necesario si la operación se lleva a cabo en un reactor continuo, mezcla completa, isoterma, en régimen estacionario, para obtener la misma producción y la misma conversión.