

PROBLEMA 1

Se desea diseñar una columna de destilación para separar dos productos *A* y *B* con volatilidad relativa igual a 4. Se deben obtener 100 kmol/h de destilado con una concentración molar de 0.95 a partir de una corriente líquida saturada con 35% molar de *A*. Para ello se adquirirá un reboiler parcial adecuado y se dispone de un condensador total que puede eliminar $120000 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$ ($\lambda = 400 \frac{\text{kcal}}{\text{kmol}}$), y permite retornar a la torre una corriente de reflujo saturada.

- a) Si la concentración de producto de fondo no debe superar el 5% molar de *A* calcular el número de etapas requerido y la ubicación del plato de alimentación, y el agua de enfriamiento requerida.
- b) Si se reemplaza el reboiler por vapor vivo saturado, con la torre ya construida, manteniendo constantes las condiciones de entrada de la alimentación, de salida del destilado y el reflujo operativo ¿cuál es la concentración del producto de fondo?

PROBLEMA 2

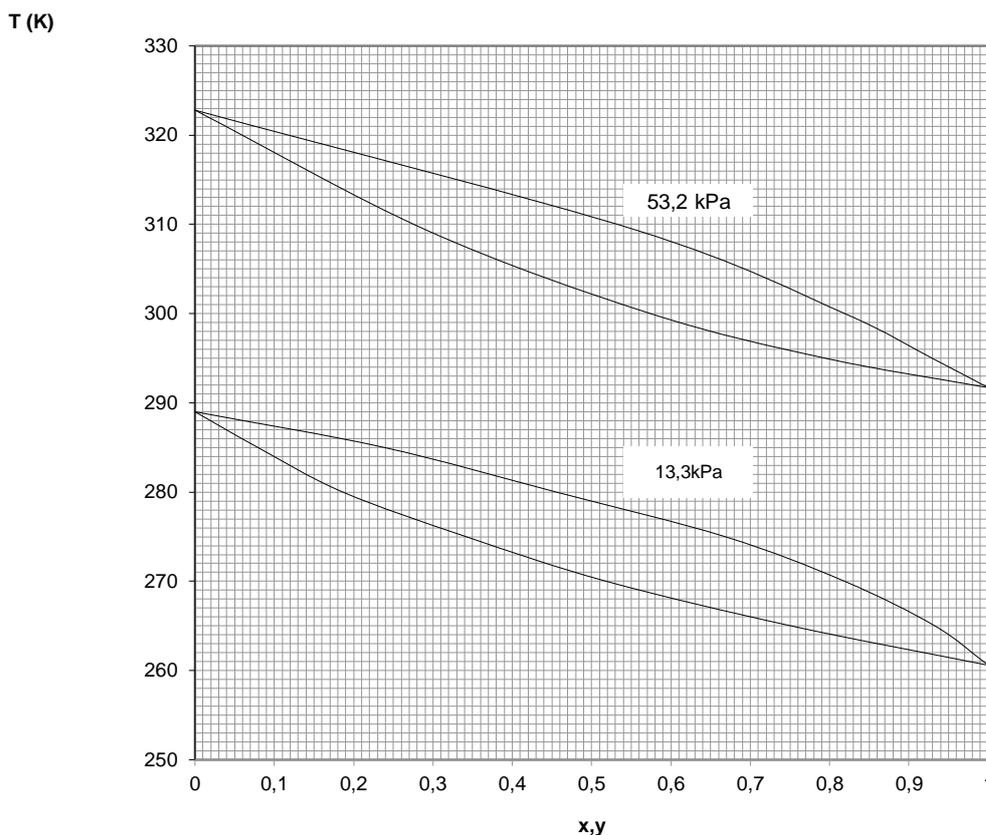
Una mezcla que contiene 50% de n-pentano y 50% de n-hexano a una temperatura de 270 K se va a separar por destilación continua. El producto de la parte superior debe contener el 95 % del n-pentano de la alimentación y el producto de fondo se espera que contenga el 97 % del nhexano de la alimentación. La columna operará a una presión total de 13.3 kPa empleando un condensador y reboiler totales.

Determinar:

- 1)
 - a) El mínimo número de etapas que se requerirán en el proceso.
 - b) La relación de reflujo mínimo.
 - c) Adoptando $R = 1.5 R_{min}$ determinar el número de etapas que se requerirán en la zona de rectificación, en la de agotamiento y el plato óptimo donde debe ingresar la alimentación.
 - d) Calcular la carga térmica del condensador y reboiler.
- 2) Repita el problema utilizando una presión total de operación de 53.2 kPa, compare los resultados obtenidos con la condición anterior.
- 3) ¿Cómo serán comparativamente los diámetros de las torres especificadas en 1) y 2)?

Datos:

- Calor Molar de vaporización de la solución:
 - $\lambda_{P_1}^{mix} = 6886.9 \text{ kcal/kmol}$ ($P_1 = 13.3 \text{ kPa}$)
 - $\lambda_{P_2}^{mix} = 6490.1 \text{ kcal/kmol}$ ($P_2 = 53.2 \text{ kPa}$)
- Calor específicos a presión constante:
 - $C_p^{pentano} = 28.76 \frac{\text{kcal}}{\text{kmol} \times K}$
 - $C_p^{hexano} = 45.24 \frac{\text{kcal}}{\text{kmol} \times K}$



PROBLEMA 3

Dos mezclas de líquido saturado de n-pentano y n-hexano se van a separar por destilación continua en un destilado que contenga 95 % de n-pentano y un producto de fondo que contenga 95 % de n-hexano.

Una de las alimentaciones contiene 65 % de n-pentano y la otra 40 % de n-pentano. Se van a introducir 100 kmol/h de cada una de estas alimentaciones en el punto óptimo de la columna. La presión de operación será atmosférica con un condensador parcial y un reboiler total.

Determinar:

- i) La relación de reflujo mínimo
- ii) El número de etapas si se tiene una relación de reflujo 2 veces R_{min} .
- iii) Cargas térmicas en el reboiler y el condensador.
- iv) Repita los cálculos anteriores para el caso donde las corrientes de alimentación se mezclan antes de entrar a la columna (Trabaje con el mismo R_{op} y asuma que la mezcla es también líquido saturado). Compare el número de etapas requerido y los calores de reboiler y condensador.

Datos:

- Volatilidad relativa
 - $\alpha = 4$
- Calor molar de vaporización de la mezcla
 - $\lambda = 7057.75 \text{ cal/mol}$
- Masa molecular de la mezcla
 - $M_{r_{mix}} = 80.6$

PROBLEMA 4

Se trata una mezcla de benceno-tolueno conteniendo el 40 % del primero, con un flujo molar de 100 kmol/h en una columna de destilación continua con el objeto de separarla en productos de tope y fondo, conteniendo 97% de benceno y 98% de tolueno respectivamente. El equipo contará con reboiler y condensador totales.

Existen tres propuestas, que se enumeran más abajo, respecto de las condiciones de la alimentación.

Elija cual de las propuestas resulta más adecuada en cuanto a:

1. El reflujo mínimo.
2. El número de etapas ideales necesarias en la zona de rectificación y en la zona de agotamiento (manteniendo el reflujo externo constante e igual a 3.5)
3. El consumo energético total (manteniendo el reflujo externo constante e igual a 3.5, considerando el calor de precalentamiento en el caso de la opción 2 y el calor de subenfriamiento en el caso de la opción 3.
4. Realizar una evaluación global.

Datos

y^*	0	0,22	0,38	0,51	0,63	0,7	0,78	0,85	0,91	0,96	1
x	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1

- Calor latente del tolueno y el benceno
 - $\lambda = 30MJ/kmol$,
- Temperatura de ebullición de la mezcla
 - $T_{mezcla}^{eb} = 340 K$
- Masas moleculares
 - $Mr_B = 78$
 - $Mr_T = 92$

Opción 1 Líquido saturado

Opción 2 Vapor saturado

Opción 3 Líquido subenfriado $T = 295 K$, $Cp^{mix} = 1.84 \frac{kJ}{kg \times K}$

PROBLEMA 5

Una mezcla de agua y 30% molar de etanol se procesan en una columna rectificadora que contiene 11 platos con una eficiencia del lado del gas de 0.5.

Determinar

- 1) Las composiciones de los productos si la relación de reflujo interna es de 0.9.
- 2) para las especificaciones que quedan fijas en el punto 1), cual es la relación de reflujo operativo y la mínima.

Datos:

y^*	0	0,43	0,526	0,577	0,615	0,655	0,7	0,754	0,82	0,89	1
x	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,89	1

PROBLEMA 6

Dos mezclas deben ser fraccionadas a presión constante en una columna de destilación equipada con condensador parcial y reboiler parcial. Por requerimientos de proceso deben efectuarse dos extracciones laterales.

Determinar R_{min} y N_p para un R_{op} dos veces el mínimo.

	Caudal (kmol/h)	Composición del volátil	Condición (q)
Alimentación 1	50	0.5	1
Alimentación 2	100	0.35	0.7
Destilado		0.97	
Fondo		0.05	
Extracción 1	25	0.75	1
Extracción 2	5	0.2	1

- Equilibrio
 - $\alpha = 4$

PROBLEMA 7

Se desea recuperar el 90 % de la propanona de 100 kmol/h de una solución propanona-etanol (líquido saturado) al 50 % molar de propanona.

El recuperado deberá tener una composición de 90% molar de propanona. La torre con la que se va a operar tiene un condensador total que elimina 7200 kJ/h ($\lambda_A = \lambda_B = 40$ kJ/kmol) y un reboiler total.

- a) Calcular D, W, x_w, R, Q_b (entregado en el reboiler), caudales internos de la torre y el número de platos totales.
- b) Cómo se ven alterados los resultados anteriores si hay una pérdida de calor de 3200 kJ/h entre el 8º y el 9º plato contando desde el tope.

Datos: Equilibrio

x	0	0.05	0.1	0.15	0.2	0.3	0.35	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
y_{eq}	0	0.155	0.262	0.348	0.417	0.478	0.524	0.566	0.674	0.739	0.802	0.865	0.929	1

DESTILACIÓN MULTICOMPONENTE

PROBLEMA 8

Una mezcla conteniendo 50% molar de metanol, 20% de etanol, 20% de propanol y 10% de butanol será fraccionada en una columna para obtener un destilado con hasta 5% del butanol de entrada. Como especificación adicional se impone que el 90% del metanol que ingresa a la torre se obtenga por el tope.

Para el diseño preliminar se puede suponer un caudal de 1000 Kmol/h, ingresando a la torre a 80°C y 1 atm.

Calcular:

- La condición de alimentación
- Las temperaturas extremas de la columna
- El número de platos mínimos y la distribución a reflujo total
- El reflujo mínimo y la distribución de los componentes a número de platos infinitos
- Para una relación de 1.5 veces la mínima, determinar la distribución de los componentes, la cantidad de platos y el plato de alimentación.

$$\log(P_i[\text{mmHg}]) = A - \frac{B}{T[^\circ\text{C}] + C}$$

Componente	A	B	C
Metanol	8.07240	1574.990	238.870
Etanol	8.21330	1652.050	231.480
Propanol	7.61920	1375.140	193.010
Butanol	7.47680	1362.390	178.730

USO DE HYSYS

PROBLEMA 9: Shortcut distillation de torre debutanizadora

Se desea obtener a partir de una corriente de hidrocarburos, la cual ha sido previamente despojada de sus componentes más livianos ($C_1 - C_2$), los siguientes productos:

- Propano y butanos ($C_3 - C_4$)
 - ✓ Especificación: contenido de $C_{5+} < 2\%$
- Gasolina estabilizada
 - ✓ Especificación: RVP (presión de vapor Reid) < 12 psia.

La composición de la corriente a tratar corresponde a la siguiente:

Componente	Fracción molar
C1	0.10%
C2	0.15%
C3	9.75%
iC4	12.50%
nC4	15.00%
iC5	12.50%
nC5	10.00%
nC6	15.00%
nC7	15.00%
nC8	10.00%

1. En primer lugar, ingrese al *Basis Environment* y seleccione un paquete de propiedades apropiado.
2. Acceda al listado de componentes e ingrese los componentes a emplear en la simulación.
3. Estimar mediante la herramienta *shortcut distillation* el N_{min} , N_{op} , R_{min} , R_{op} .
4. Verifique como se modificarían los valores anteriores eligiendo otros componentes llave.

PROBLEMA 10: Simulación de una columna debutanizadora

Considerando,

- Caudal molar: 1000 kmol/h
- La corriente ingresa a la presión de operación de la columna y en su punto de burbuja.

Para la torre del Problema anterior realice los siguientes pasos,

1. Estime, a partir de la especificación del producto de tope y sabiendo que se desea obtener el mismo en estado líquido, la presión de trabajo de la columna. Se cuenta con agua de enfriamiento a 25°C y se permite que la misma se devuelva a una torre de enfriamiento a 35°C como máximo.
 - ✓ Se deberá verificar al final del ejercicio que la temperatura de fondo sea asequible mediante el empleo de un medio calefactor típico.
2. Añada una columna de destilación (*Distillation Column*) y genere las corrientes asociadas a las mismas. Asimismo, ingrese el valor de presión en tope y fondo estimado en el punto 3. Dejar el número de etapas (10) y el plato de alimentación (5) en sus valores por defecto por el momento.
3. Ingrese en la sección *Specs* (solapa *Design*) las especificaciones de productos de tope y fondo de la columna.
4. Haga activas las especificaciones cargadas a fines de cerrar los grados de libertad y calcular la columna.
 - ✓ ¿Necesariamente debe converger el cálculo o puede no haber solución con las especificaciones dadas?
5. Registre para el número de platos especificado (10) los calores intercambiados en condensador y reboiler y la relación de reflujo.
6. Manteniendo el plato de alimentación en el medio de la columna, modifique el número de platos a un valor grande (Ej.: 50) y registre nuevamente los calores intercambiados en condensador y reboiler y la relación de reflujo.
 - ✓ ¿Qué condición de reflujo representa esta situación?
7. Repita el punto 8 para números de platos de 12, 16 y 20.
8. Manteniendo el plato de alimentación en el medio de la columna, modifique el número de platos a valores menores a 10 y registre nuevamente los calores intercambiados en condensador y reboiler y la relación de reflujo.
 - ✓ Si para un dado número de platos N el cálculo deja de converger, ¿cuál es aproximadamente el número de platos mínimo? (el 'aproximadamente' se debe a que se dejó arbitrariamente el plato de alimentación en el medio de la columna).
9. Genere una gráfica de relación de reflujo vs. número de etapas.
 - ✓ Interprete las dos asíntotas (vertical y horizontal) en dicha gráfica.

10. Manteniendo el plato de alimentación en el medio de la columna, seleccione un número de platos tal que la relación de reflujo sea aproximadamente 1.4 veces la mínima.
11. Modifique el plato de alimentación de su posición en el medio de la columna y registre los calores intercambiados en condensador y reboiler y la relación de reflujo.
 - ✓ Interprete el significado del plato de alimentación que minimiza la relación de reflujo para igual número de platos totales e idénticos requerimientos de productos de tope y fondo.

SEPARACIÓN MULTICOMPONENTE

PROBLEMA 11

En una torre de absorción que contiene 4 platos teóricos, se ponen en contacto un caudal de gas de 545000 $kmol/d$ y una corriente de n-octano a $-34^{\circ}C$ y $34 atm$. Las características del gas se especifican en la siguiente tabla.

Componente	y_i	k_i
C_1	0.949	2.850
C_2	0.042	0.360
C_3	0.007	0.067
nC_4	0.001	0.017
nC_5	0.001	0.004

1. Hallar el caudal de nC_8 necesario para absorber el 50% de etano entrante en la torre.
2. Hallar gráficamente la composición de líquido y del gas a la salida de la torre.
3. Comparar los valores obtenidos entre el caso analítico y el valor obtenido del simulador.
4. Calcular los perfiles de fracción molar a lo largo de la torre para ambas fases utilizando una simulación de Hysys.

PROBLEMA 12

La corriente que sale del reactor de síntesis de benceno a partir de hidrógeno y tolueno, contiene hidrógeno gaseoso, metano, benceno, tolueno y difenilo. En una primera etapa de separación esta corriente se condensa parcialmente a $35^{\circ}C$ y $45 atm$ para eliminar los livianos (hidrógeno y metano) del resto de los componentes. La corriente líquida que deja el condensador parcial contiene todavía livianos que son eliminados en una columna de destilación llamada estabilizadora. Se consignan a continuación las principales características de la corriente de entrada a la columna estabilizadora.

Componente	F_i [$kmol/h$]	$k_i @ 50^{\circ}C, 3.5 atm$
H_2	2	921
CH_4	11	186
C_6H_6	235.4	0.0906
Tolueno	87.4	0.0337
Difenilo	4	0.000074

La columna estabilizadora trabaja con un condensador parcial. Si bien interesa que por el tope salga la menor cantidad de benceno posible ya que es el producto valioso, debe existir algo de benceno para facilitar la condensación y por lo tanto el reflujo líquido.

Para una estimación rápida, se puede suponer que la constante de equilibrio es inversamente proporcional a la presión y su dependencia con la temperatura es muy débil.

1. Evaluar la presión de operación del condensador parcial para una pérdida de benceno por el destilado del 0.2 % del benceno de entrada y una recuperación del 99.8 % del metano de entrada.
2. Si se operara con un condensador total, ¿a qué presión debería ser operado?
3. Para las condiciones de operación en el tope de la estabilizadora ¿cuál(es) de los componentes son los decisivos para determinar la presión del condensador parcial? ¿Cuál(es) de los componentes son los más influyentes en la condición de operación del condensador total?
4. Calcule los consumos energéticos y temperaturas extremas requeridos para el condensador parcial y total.