

PORTAFOLIO OPERACIONES UNITARIAS 3

EJERCICIO 1

Construir el diagrama de equilibrio isobárico xy y Txy para el sistema tolueno-etilbenceno a 1 atm. Las constantes de Antoine para ambos compuestos se muestran en la tabla siguiente. Puede asumirse un comportamiento de gas ideal para la fase vapor, y de solución ideal para la fase líquida.

componente	número CAS	T_b	A	B	C	ecuación
tolueno	108-88-3	110.6°C	4.05043	1327.62	-55.525	$\log_{10} P_{vap} = A - \frac{B}{T + C}$
etilbenceno	100-41-4	136.21°C	4.06861	1415.77	-60.850	

T en kelvin, P_{vap} en bar. Constantes adaptadas de Poling, Prausnitz y O'Connell, "The Properties of Gases and Liquids", 5a edición, McGraw-Hill.

EJERCICIO 2

Consultar la base de datos de equilibrio L-V del Chemical Engineering Research Information Center para obtener los datos de equilibrio del sistema etanol – ciclohexano a 1 atm y en base a ellos construir los diagramas xy y Txy.

<http://www.chemic.org/research/kdb/hcvle/hcvle>

EJERCICIO 3

Se van a destilar 3500 kg/h de una mezcla de tolueno y etilbenceno que contiene 25% en peso de tolueno. La composición de los productos destilado y fondo es 98% y 7% en peso de tolueno, respectivamente. La alimentación entra como vapor saturado, y ambos productos se obtienen como líquidos saturados. La relación de reflujo es $R = 1.8$. **Determinar el flujo molar y la composición (en porcentaje molar) de la alimentación, el destilado y el producto de fondo. Calcular también las cargas térmicas del condensador y del rehervidor.** Para el cálculo de entalpías, tomar como temperatura de referencia 0°C. Ignorar las pérdidas de calor al ambiente.

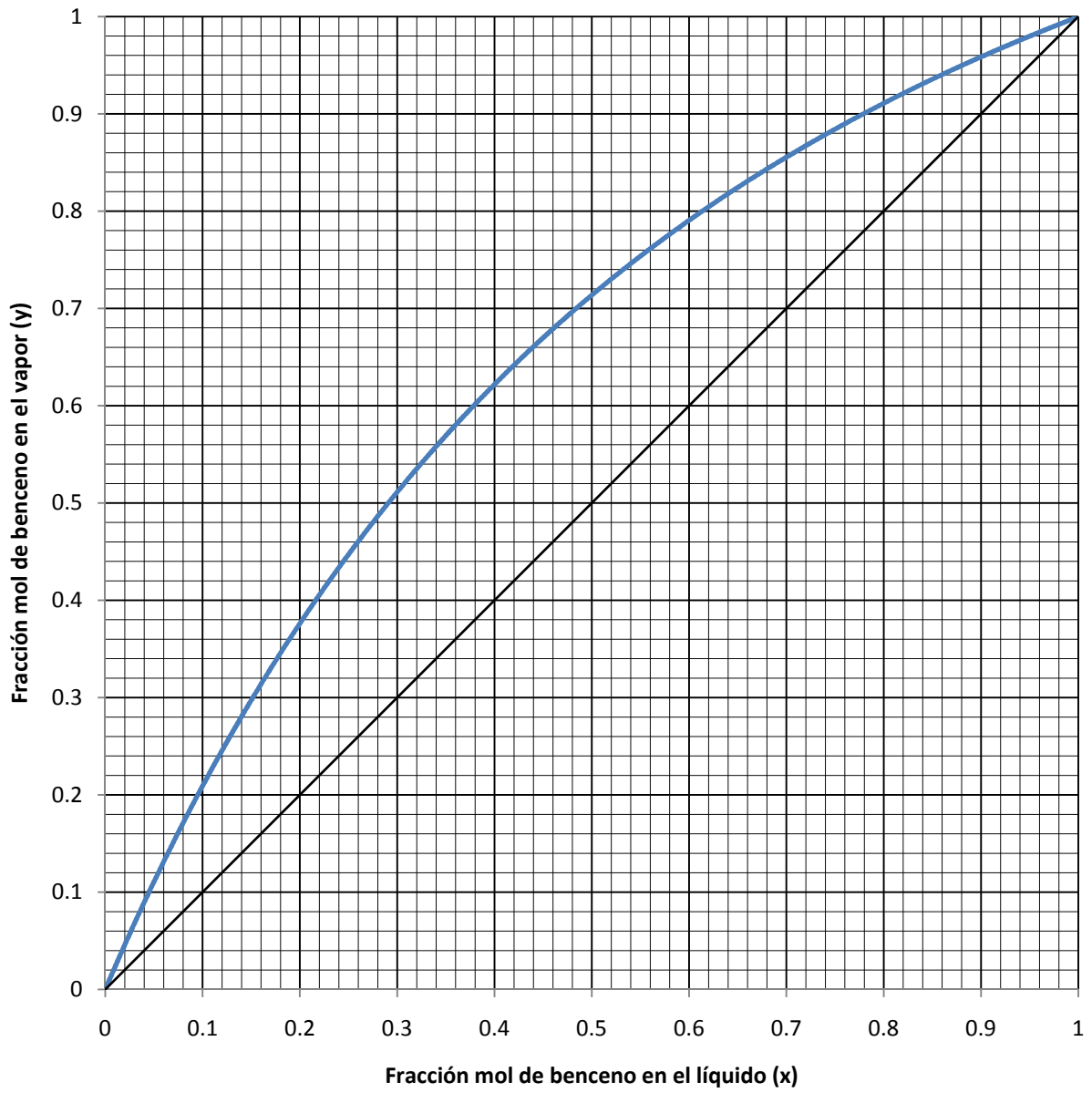
RESPUESTA: $F = 34.275$ kmol/h, $x_F = 27.75\%$; $D = 7.505$ kmol/h, $x_D = 98.26\%$;
 $B = 26.770$ kmol/h, $x_B = 7.98\%$

EJERCICIO 4

Considérese la destilación a 1 atm de una mezcla equimolar de benceno y tolueno para obtener un destilado 98% mol benceno y un producto de fondo 96% mol tolueno. La alimentación entra como una mezcla líquido-vapor (20% vapor). Aplicando el método de McCabe, determinar (A) el número mínimo de etapas teóricas, (B) el reflujo mínimo, (C) el número de etapas teóricas y la etapa de alimentación si $R = 1.3R_{min}$, (D) el número de etapas reales y la eficiencia global de la columna si las condiciones son las mismas que el inciso anterior y la eficiencia de Murphree es 75%.

RESPUESTAS: (A) 7 + rehervidor, (B) $R_{min} = 1.39$, (C) 15 etapas + rehervidor, alimentación en la 9.

Diagrama de equilibrio benceno-tolueno (1 atm)

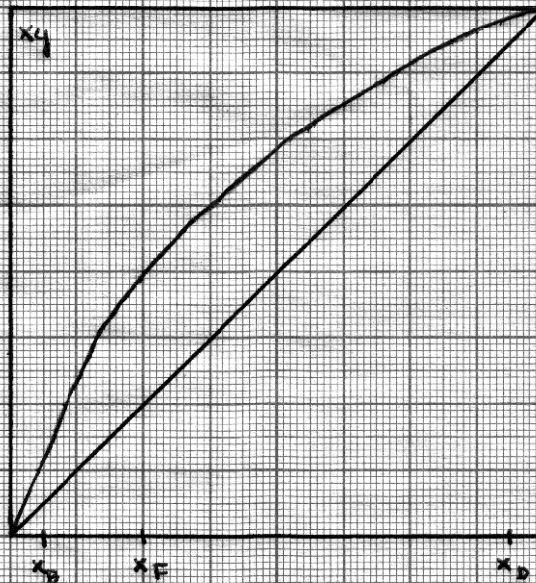
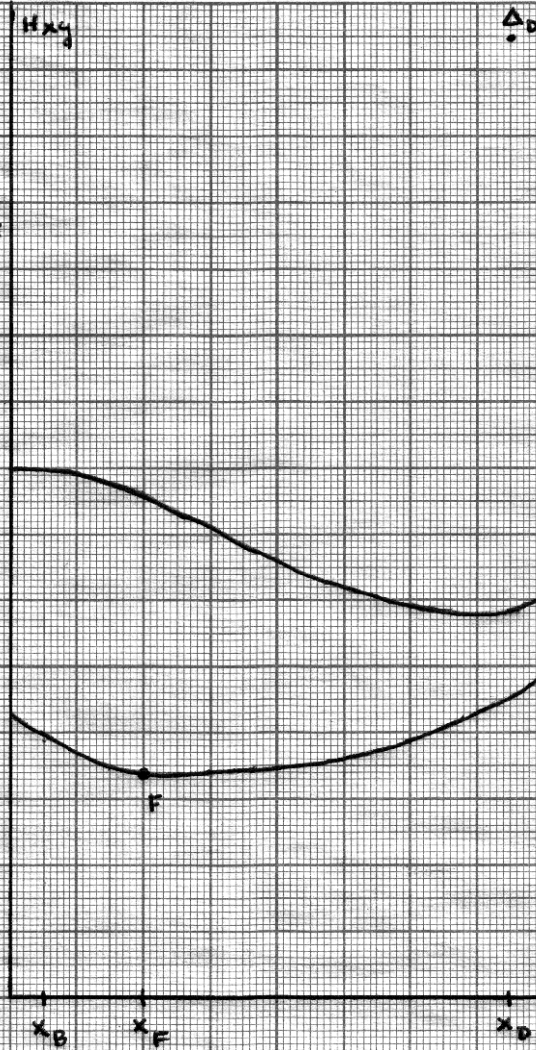


EJERCICIO 5

Determinar con el método Ponchon-Savarit:

- Número de etapas
- Etapa de alim.

Alimentación entra como líquido saturado
 Productos salen como líquidos saturados
 Condensador total



REV 2

RESPUESTAS: 9 etapas + hervidor, alimentación en la etapa 6

EJERCICIO 6

Se desea destilar una corriente de benceno (60 kmol/h), tolueno (30 kmol/h) y xileno (10 kmol/h). La alimentación entra como líquido frío ($q = 1.25$). El 99.5% del benceno de alimentación debe recuperarse en el destilado, junto con un máximo del 1% del tolueno de alimentación y nada de xileno. Las volatilidades (relativas al tolueno) son: $\alpha_{\text{benc}} = 2.58$, $\alpha_{\text{tol}} = 1.00$ y $\alpha_{\text{xil}} = 0.36$. Determine el número mínimo de etapas teóricas, la relación de reflujo mínimo, y el número de etapas teóricas si $R = 1.25R_{\text{min}}$.

EJERCICIO 7

Debe separarse el 86% del amoniaco contenido en 500 m³/h de una mezcla de aire y amoniaco con una concentración del 8% en volumen. Para esto, se lava a 20°C y 1 atm de presión con agua que contiene una pequeña cantidad (0.5% mol) de amoniaco disuelto. Determinar la cantidad mínima de solvente si esta operación se realiza a contracorriente en una columna empacada, y determinar también la composición del líquido de salida si se emplea 1.5 veces la cantidad mínima de solvente. Perry (7ª edición) reporta los siguientes datos de presión parcial de NH₃ en equilibrio con soluciones acuosas de NH₃.

TABLA 2.23. Presiones parciales de NH₃ sobre disoluciones acuosas de NH₃*

Presiones en libras por pulgada cuadrada absoluta

t, °F	Porcentaje en fracción molar de amoniaco en la disolución (Porcentaje en peso de amoniaco en la disolución)																		
	5 (4,74)	10 (9,50)	15 (14,29)	20 (19,10)	25 (23,94)	30 (28,81)	35 (33,71)	40 (38,64)	45 (43,59)	50 (48,57)	55 (53,58)	60 (58,62)	65 (63,69)	70 (68,79)	75 (73,91)	80 (79,07)	85 (84,26)	90 (89,47)	95 (94,72)
32	0,26	0,52	0,90	1,51	2,67	4,27	6,54	8,93	14,13	19,36	25,12	31,13	36,74	42,69	45,92	49,26	52,13	54,89	58,01
40	0,33	0,66	1,14	1,92	3,16	5,13	7,98	11,98	17,14	23,33	30,15	37,15	43,69	49,56	54,40	58,31	61,62	64,77	68,31
50	0,47	0,89	1,50	2,53	4,16	6,63	10,24	15,24	21,56	29,17	37,46	45,86	53,79	60,82	66,63	71,26	75,22	79,05	83,40
60	0,62	1,19	2,00	3,21	5,36	8,48	13,06	19,15	26,92	36,14	46,12	56,22	65,81	73,99	80,90	86,44	91,04	95,67	100,65
70	0,83	1,52	2,60	4,28	6,87	10,76	16,33	23,84	33,20	44,25	56,29	68,32	79,42	89,26	97,42	104,01	109,55	114,83	120,61
80	1,04	1,98	3,34	5,45	8,69	13,52	20,29	29,40	40,69	53,84	67,97	82,36	95,52	107,06	116,42	124,20	130,57	136,35	143,70
90	1,36	2,52	4,25	6,88	10,89	16,76	25,04	35,94	49,45	64,99	81,61	98,35	113,79	127,22	138,18	147,02	154,46	161,74	169,73
100	1,72	3,20	5,34	8,60	13,53	20,68	30,57	43,57	59,49	77,85	97,27	116,81	134,70	150,23	162,94	173,22	181,97	190,13	199,17
110	2,14	4,00	6,65	10,64	16,65	25,21	37,01	52,43	71,20	92,59	115,16	137,62	158,42	176,18	190,85	203,02	212,71	222,22	232,79
120	2,67	4,95	8,21	13,09	20,30	30,54	44,56	62,62	84,44	109,40	135,48	161,44	185,14	205,81	222,28	236,05	247,14	258,24	270,02
130	3,28	6,09	10,05	15,93	24,58	36,74	53,16	74,27	99,69	128,45	158,45	188,16	215,14	238,70	257,87	272,88	286,08	298,46	311,80
140	3,97	7,41	12,21	19,23	29,43	43,77	62,97	87,53	116,72	149,93	184,17	218,18	248,70	275,33	297,12	314,45	328,99	342,93	358,46
150	4,78	8,92	14,70	23,09	35,09	51,91	74,28	102,51	136,15	173,64	212,91	251,24	286,00	316,24	340,82	360,39	376,57	392,45	409,62
160	5,68	10,70	17,57	27,45	41,56	61,03	86,91	119,37	157,71	200,45	244,98	288,38	327,82	361,75	389,08	411,30	429,73	447,35	466,38
170	6,75	12,67	20,85	32,41	48,89	71,48	101,09	138,30	181,95	230,36	280,54	329,42	373,61	411,59	442,28	466,67	487,85	507,63	528,50
180	7,90	14,96	24,56	38,13	57,19	83,07	116,97	159,37	208,66	263,43	319,89	374,25	424,10	466,26	500,63	528,08	551,24		
190	9,23	17,55	28,78	44,49	66,49	96,22	134,89	182,72	238,39	299,86	363,11	424,15	479,40	526,15					
200	10,70	20,45	33,49	51,58	76,90	110,85	154,58	208,56	270,94	340,02	410,17	478,62	539,79						
210	12,26	23,68	38,76	59,65	88,48	126,83	176,24	236,97	307,08	383,99	462,36	537,56							
220	14,02	27,15	44,61	68,43	101,24	144,74	200,46	268,30	346,07	431,43	518,19								
230	15,95	31,09	51,06	78,14	115,45	164,17	226,67	302,53	389,29	483,53									
240	17,92	35,40	58,00	89,02	130,94	185,79	255,26	339,72	435,78	540,44									
250	20,12	40,09	65,74	100,69	147,66	209,37	286,89	380,42	486,73										

* Wilson, *Univ. Ill., Eng. Expt. Sta. Bull.* 146.

RESPUESTA: $L_{s,\text{min}} = 18.11 \text{ kmol/h}$; $x_1 = 5.45\%$.

EJERCICIO 8

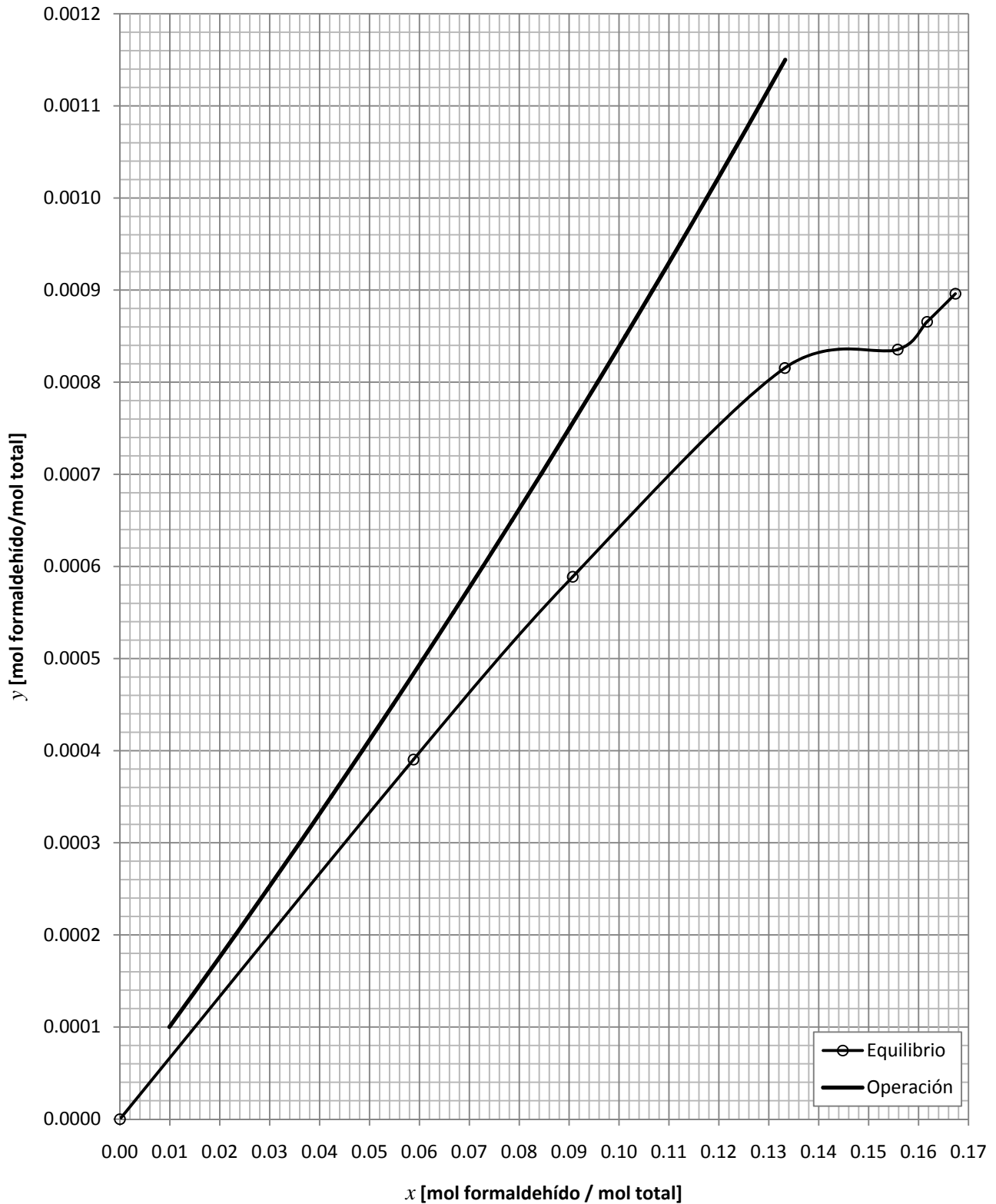
A una columna empacada con anillos Raschig de cerámica se alimenta 300 m³/h de un gas que se lava a contracorriente con 670 LPM de un solvente líquido. Si se desea que la columna opere con una caída de presión de 0.3 kPa/m, determine el tamaño adecuado del empaque y el diámetro de la columna.

DATOS ADICIONALES: $\rho_G = 1.2 \text{ kg/m}^3$, $\mu_G = 700 \text{ } \mu\text{P}$, $\rho_L = 1.1 \text{ g/cm}^3$, $\mu_L = 1 \text{ cP}$.

RESPUESTA: 2 plg, 0.6 m.

EJERCICIO 9

El diagrama muestra datos de equilibrio de absorción de formaldehído en agua. Las fracciones mol de formaldehído en las corrientes son: $y_1 = 0.00115$, $y_2 = 0.0001$, $x_1 = 0.1333$ y $x_2 = 0.01$. Para una relación $F_L / F_G = 0.012$, determinar el número de unidades de transferencia para el gas.



RESPUESTA: 16.07 unidades de transferencia

EJERCICIO 10

Se desea emplear éter isopropílico para extraer ácido acético de 25 kg de solución acuosa al 47% en peso. Empleando diagramas triangulares determínese:

- (A) La cantidad mínima de éter para que se puedan formar dos fases.
- (B) La masa de ácido acético extraída si la alimentación se trata en una sola etapa con 40 kg de éter.
- (C) La masa de ácido acético extraída si la alimentación se trata en cinco etapas en corriente cruzada, a cada una de las cuales se alimenta 8 kg de éter.

FASE 1 (ACUOSA)	% peso agua	98.1	97.1	95.5	91.7	84.4	71.1	58.9	45.1	37.1
	% peso éter	1.2	1.5	1.6	1.9	2.3	3.4	4.4	10.6	16.5
	% peso ácido	0.7	1.4	2.9	6.4	13.3	25.5	36.7	44.3	46.4
FASE 2 (ORGÁNICA)	% peso agua	0.5	0.7	0.8	1.0	1.9	3.9	6.9	10.8	15.1
	% peso éter	99.3	98.9	98.4	97.1	93.3	84.7	71.5	58.1	48.7
	% peso ácido	0.2	0.4	0.8	1.9	4.8	11.4	21.6	31.1	36.2

DATOS DE TREYBAL, "OPERACIONES UNITARIAS DE TRANSFERENCIA DE MASA", MCGRAW-HILL

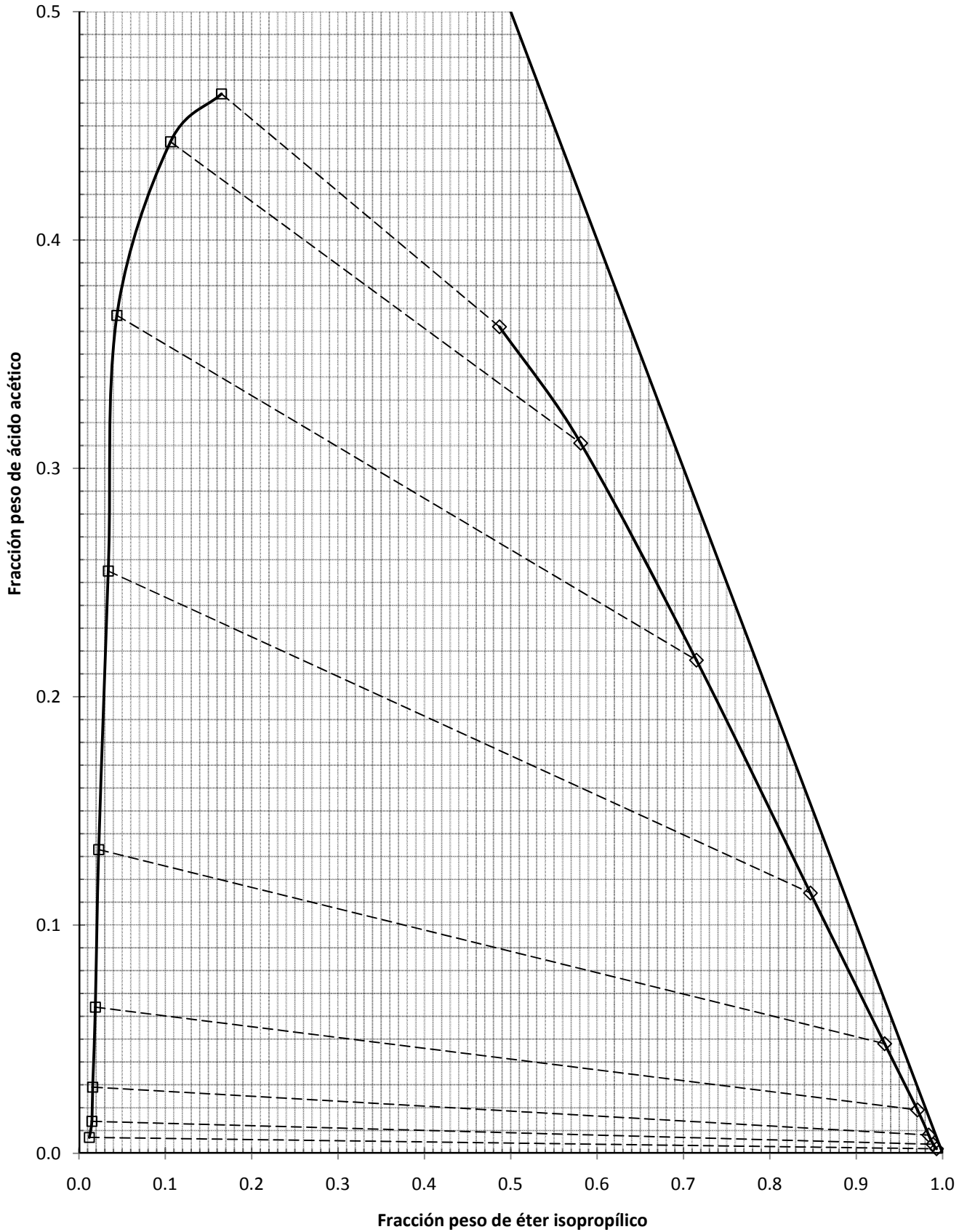
EJERCICIO 11

Para el mismo sistema del ejercicio anterior, se desea realizar una extracción a contracorriente de una alimentación de 3.5 kg/s de una solución acuosa de ácido acético. El refinado que sale de la última etapa no debe contener más del 4% peso de ácido acético. Empleando diagramas triangulares, determínese:

- (A) El flujo mínimo de solvente para extracción a contracorriente.
- (B) El número de etapas teóricas si se emplea 1.5 veces la cantidad mínima de solvente. Reportar también el flujo y composición de las corrientes producto E_1 y R_n .

EQUILIBRIO LÍQUIDO-LÍQUIDO

agua - éter isopropílico - ácido acético



EJERCICIO 12

Se desea extraer la piridina de una solución acuosa al 50% peso, empleando clorobenceno puro para la extracción. Empleando coordenadas en base libre de solvente determinar:

- (A) El número de etapas necesarias para extraer el 95% de la piridina contenida en 200 kg de alimentación si se trata a corriente cruzada en múltiples etapas empleando 47 kg de clorobenceno en cada etapa.
- (B) El número de etapas necesarias para tratar 3.0 kg/s de alimentación empleando 2.5 kg/s de clorobenceno a contracorriente, de tal forma que la concentración de piridina en el agua se reduzca hasta 2%.

FASE ORGÁNICA			FASE ACUOSA		
Piridina	Cloro-benceno	Agua	Piridina	Cloro-benceno	Agua
0.00	99.95	0.05	0.00	0.08	99.92
11.05	88.28	0.67	5.02	0.16	94.82
18.95	79.90	1.15	11.05	0.24	88.71
24.10	74.28	1.62	18.90	0.38	80.72
28.60	69.15	2.25	25.50	0.58	73.92
31.55	65.58	2.87	36.10	1.85	62.05
35.05	61.00	3.95	44.95	4.18	50.87
40.60	53.00	6.40	53.20	8.90	37.90

EJERCICIO 13

Se va a lixiviar con agua el sulfato de cobre de un mineral tostado, usando una cascada de extracción en contracorriente. Se procesarán 1800 kg/h de mineral que contiene 15% en peso de sulfato, 80% de ganga y 5% de humedad, y el flujo de agua será de 50 LPM. En cada etapa, los lodos retienen 0.8 kg de solución por cada kg de ganga. Los lodos finales deben contener máximo 0.2% de sulfato (en base seca). Determinar el número de etapas requeridas empleando: (A) diagrama triangular recto, y (B) diagrama en base libre de inerte.