

# Equilibrio líquido-vapor del sistema *n*-hexano – ciclohexano y su separación por destilación fraccionada

Vapor-liquid equilibrium of the system *n*-hexane - cyclohexane and their separation by fractional distillation

COLCIENCIAS TIPO 1. ARTÍCULO ORIGINAL

RECIBIDO: SEPTIEMBRE 9, 2014; ACEPTADO: SEPTIEMBRE 29, 2014

Grey Cecilia Castellar Ortega<sup>1</sup>  
[grey.castellar@uac.edu.co](mailto:grey.castellar@uac.edu.co)

Edgardo Ramón Angulo Mercado<sup>2</sup>  
[edganguelo20@gmail.com](mailto:edganguelo20@gmail.com)

Evert de Jesús Mendoza Colina<sup>2</sup>  
[evertmendozacolina@gmail.com](mailto:evertmendozacolina@gmail.com)

Universidad Autónoma del Caribe, Barranquilla-Colombia (1)

Universidad del Atlántico, Barranquilla-Colombia (2)

## Resumen

El artículo presenta los datos experimentales del equilibrio líquido-vapor del sistema binario *n*-hexano-ciclohexano a 760 mmHg de presión y su posterior separación por destilación fraccionada, empleando dos columnas diferentes, una de anillos Rasching, otra tipo Vigreux. Los resultados del equilibrio muestran algunas diferencias al compararlos con los obtenidos considerando la disolución con un comportamiento ideal. La columna empacada con anillos Rasching presentó mejor eficiencia en la separación del sistema, pero con un número de platos teóricos mayor que la columna Vigreux aplicando el método de McCabe-Thiele.

## Palabras Clave

Equilibrio; disolución; destilación; columnas.

## Abstract

This paper presents the experimental data of the liquid-vapor equilibrium of cyclohexane-*n*-hexane binary system at 760 mmHg pressure and subsequent separation by fractional distillation, using two different columns, a Vigreux Raschig rings and other types. Balance results show some differences compared with those obtained considering an ideal solution behavior. The column packed with Raschig rings showed better separation efficiency of the system, but with a number of theoretical plates higher than the Vigreux column by the method of McCabe-Thiele.

## Keywords

Equilibrium; solution; distillation; columns.

## I. INTRODUCCIÓN

### A. Disoluciones ideales

El estudio de las disoluciones tiene gran importancia, porque muchos procesos químicos y biológicos interesantes y útiles ocurren en forma de mezclas. En general, una disolución se define como una mezcla homogénea de dos o más componentes que forman una sola fase (Chang, 2009).

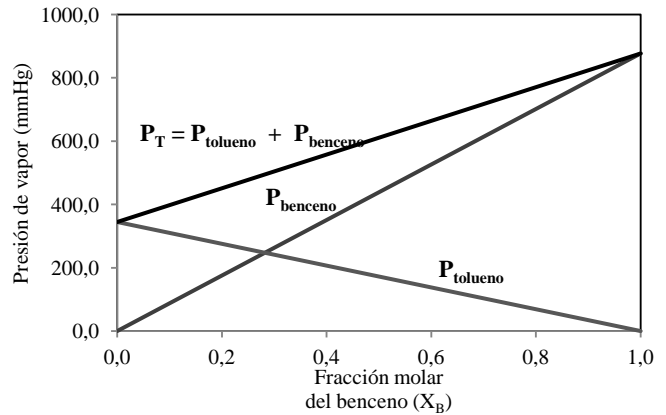
Existe una serie de sustancias de naturaleza química similar que al mezclarse entre sí forman disoluciones que no absorben ni liberan energía en el proceso, sus fuerzas intermoleculares de atracción y repulsión no sufren cambios significativos y, algo muy importante, el comportamiento de su presión de vapor es predecible a partir de la ley de Raoult. Esta ley establece que la presión de vapor de un componente en una disolución ( $P_i$ ), a una temperatura determinada, es igual a la presión de vapor del componente puro ( $P_i^0$ ) multiplicado por su fracción molar ( $x_i$ ), es decir,

$$P_i = x_i P_i^0 \quad (1)$$

A las disoluciones que siguen la ley de Raoult se les conoce como disoluciones ideales. Un ejemplo típico es el sistema benceno-tolueno, que presenta una relación lineal entre la presión de vapor y la fracción molar de la mezcla, como se muestra en la Figura 1. La presión total para este sistema está dada por la ley de Dalton, es decir por la suma de las presiones parciales de cada uno de los componentes (ver Ecuación 2).

$$P_T = P_{tolueno} + P_{benceno} \quad (2)$$

Figura 1. Diagrama de equilibrio presión-composición del sistema benceno-tolueno a 85°C



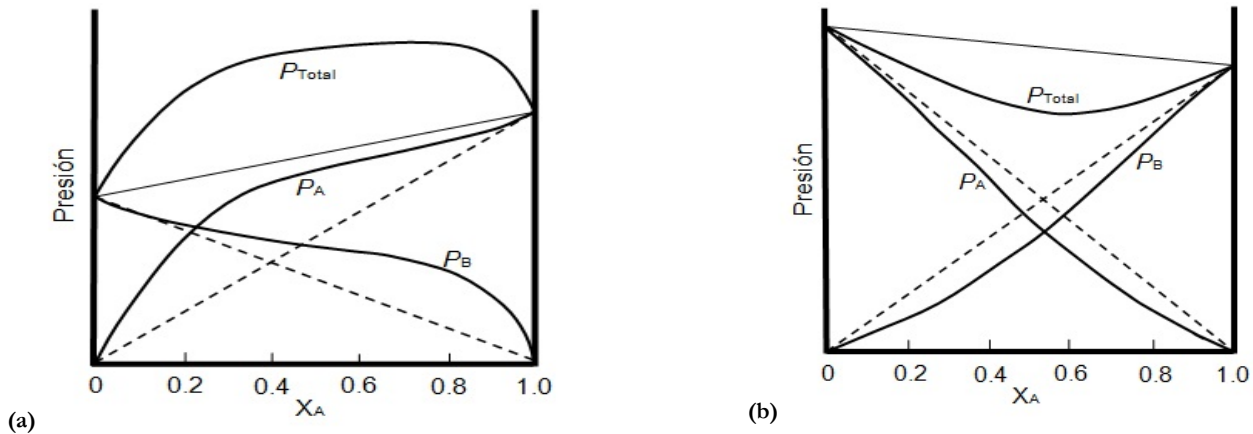
### B. Disoluciones no ideales (reales)

La mayor parte de las disoluciones no se comportan de manera ideal. Una mezcla cuya presión total es mayor o menor que la calculada para un sistema ideal, se dice que muestra desviaciones positivas y negativas, respectivamente, de la ley de Raoult (Treybal, 1980).

La desviación positiva (Figura 2a) corresponde al caso en que las fuerzas intermoleculares entre moléculas diferentes son más débiles que aquellas entre moléculas semejantes, y existe una mayor tendencia a que estas moléculas abandonen la disolución. En consecuencia, la presión de vapor de la mezcla es mayor que la suma de las presiones de vapor de una disolución ideal.

En el caso de una desviación negativa de la ley de Raoult, es válido exactamente lo opuesto (Figura 2b). En este caso, las moléculas diferentes se atraen unas con otras con mayor fuerza que con la que lo hacen las moléculas similares entre sí, mientras que la presión de vapor de la disolución es menor que la suma de las presiones de vapor de una disolución ideal (Chang, 2009).

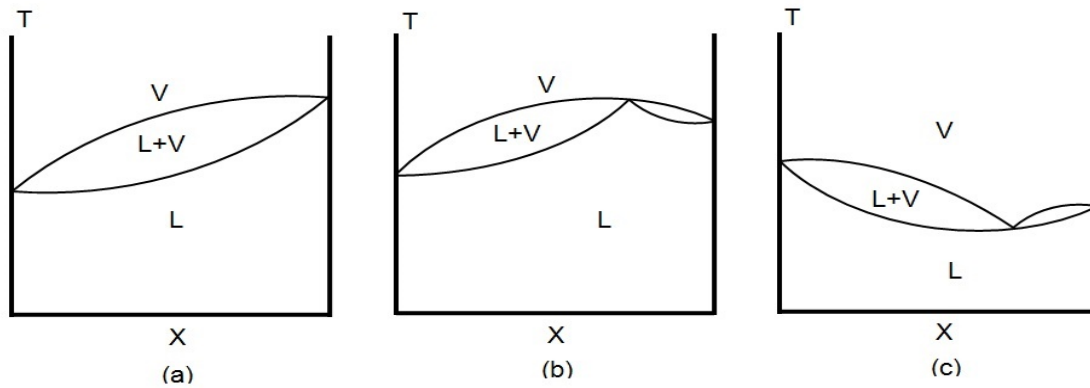
Figura 2. Desviaciones de la ley de Raoult. (a) Desviación positiva y (b) desviación negativa



Cuando se estudia el comportamiento de las disoluciones manteniendo la presión constante, se observa que el punto de ebullición de la mezcla también depende

de la composición. La Figura 3 presenta los tres casos más frecuentes.

Figura 3. Diagramas de temperatura-composición para el equilibrio líquido-vapor.



La Figura 3a representa un sistema cuyo comportamiento se acerca al ideal. Las temperaturas de equilibrio de todas las disoluciones están dentro del rango establecido por las temperaturas de ebullición de los componentes puros, lo cual indica que la mezcla puede separarse por destilación.

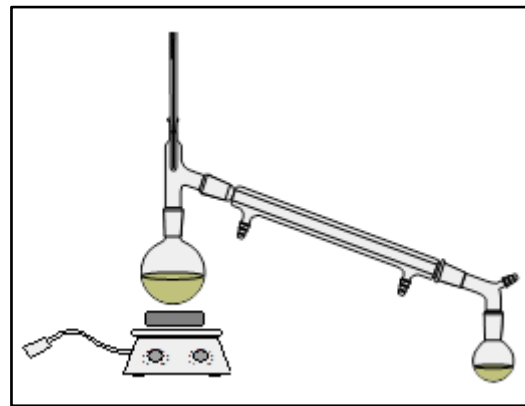
En las Figuras 3b y 3c se observan puntos extremos en las curvas, debido a la presencia de azeótropos en donde la composición de la fase líquida es igual a la composición de la fase vapor. Este punto puede aparecer como un máximo (b) en el diagrama T-X y se presenta en sistemas que muestran desviación negativa al comportamiento previsto por la ley de Raoult, es decir, en sistemas que muestran un mínimo en el diagrama isotérmico P-X. Cuando aparece un mínimo (c) en el diagrama T-X es característico de mezclas que presentan una desviación positiva a la ley de Raoult, lo que se manifiesta por un máximo en el diagrama isotérmico correspondiente (Romero & Blanco, 1996).

### C. Destilación sencilla

La destilación es el método más frecuente e importante en la purificación y separación de disoluciones líquidas. Desde el punto de vista fisicoquímico el proceso envuelve primero la vaporización del líquido en su punto de ebullición y luego la condensación del vapor para regenerar el líquido; para tal fin, se emplea un equipo como el que se muestra en la Figura 4, el cual consiste en un balón, bien sea con un desprendimiento lateral o un adaptador, que contiene la disolución que se desea separar, colocado

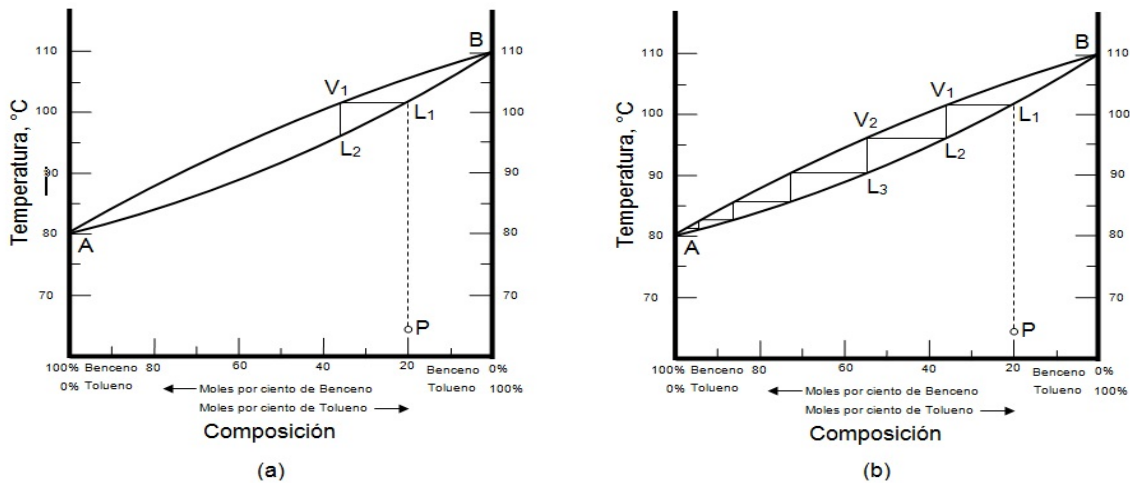
sobre una placa calefactora o cualquier otra fuente de calentamiento. Para el caso de una mezcla binaria que hierve, el vapor formado es rico en el componente más volátil, que luego se condensa cuando pasa a través de un refrigerante. Al final se espera que el componente menos volátil quede en el matraz de destilación como residuo.

Figura 4. Esquema del montaje de una destilación sencilla



La Figura 5 muestra el diagrama de equilibrio temperatura-composición de una disolución de benceno-tolueno. El benceno puro hierve a 80.1°C (punto A) y el tolueno puro a 110.6 °C (punto B), todas las mezclas de ambos componentes hierven a temperaturas intermedias. La curva de líquido (inferior) y la curva de vapor (superior) representan la composición del vapor en equilibrio con el líquido a una temperatura dada. Este tipo de diagramas son muy útiles porque permite conocer la composición de una mezcla a la temperatura de equilibrio.

**Figura 5. Diagrama temperatura-composición del sistema benceno-tolueno aplicando destilación sencilla (a) y destilación fraccionada (b)**



Con una destilación sencilla es poco probable la separación de los componentes puros, por ejemplo, si el propósito fuese recuperar el benceno de una mezcla al 0.2 fracción molar (Figura 5a), las primeras trazas de vapor enfriadas y condensadas ( $L_2$ ) sólo alcanzarían una separación correspondiente a una fracción molar de 0.38. Para lograr mejores resultados es necesario realizar destilaciones sencillas sucesivas (Brewster, Vanderwerf, & McEwen, 1975).

*D. Destilación fraccionada*

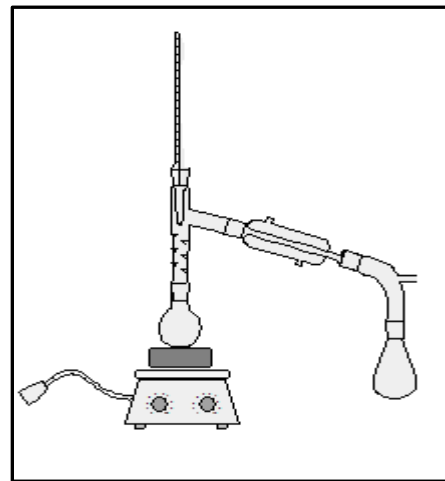
La destilación fraccionada es una técnica que consiste en realizar una serie completa de estas pequeñas separaciones en una operación sencilla y continua. En principio, una columna de destilación fraccionada proporciona una gran superficie para el intercambio de calor (Brewster et al., 1975) que permite alargar el camino entre el matraz de destilación y el refrigerante que conduce al colector (ver Figura 6).

A través de la prolongación que ofrece la columna ocurre el proceso de vaporización y condensación (equivalente a varias destilaciones sencillas). Cada ciclo de vaporización-condensación es equivalente a una destilación simple. Cuantos más de estos ciclos se repitan, más se enriquecerá el vapor en el componente más volátil, mientras el condensado lo hará en el menos volátil, lo que conduce a una separación más eficaz.

Un ejemplo ilustrativo de separación por destilación fraccionada se muestra en la Figura 5b. Para una muestra equimolar de benceno y tolueno, el primer vapor que se condensa en la parte inferior de la columna tiene una

composición aproximada de 0.73 fracción molar de benceno. La vaporización de este líquido condensado origina otro vapor cuya composición es aproximadamente 0.88. Una nueva vaporización produce un líquido de composición 0.96. Al repetirse el proceso otra vez se origina benceno prácticamente puro (Paredes, 1986).

**Figura 6. Esquema del montaje de una destilación fraccionada**



**II. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL**

*A. Curva de calibración*

Uno de los aspectos importantes de este trabajo consistió en la determinación de la composición de las mezclas en el equilibrio, razón por la cual se realizó una curva de calibración, preparando mezclas de *n*-hexano y ciclohexano, y se les determinó el índice de refracción empleando un equipo Shimadzu U.V. 1800. Todos los reactivos utilizados fueron grado analítico.

### B. Equilibrio líquido-vapor del sistema *n*-hexano-ciclohexano

El equipo utilizado para determinar el equilibrio líquido-vapor del sistema *n*-hexano-ciclohexano se muestra en la Figura 7. El condensador se forró con fibra de vidrio, con una lámina de aluminio como material aislante, para evitar las pérdidas de calor hacia los alrededores (no se muestra en la Figura 7).

**Figura 7. Montaje experimental para la determinación del equilibrio líquido-vapor del sistema *n*-hexano-ciclohexano**



En el balón de tres bocas se colocó inicialmente una muestra de 40 cm<sup>3</sup> de *n*-hexano. Después de verificar que las válvulas estuvieran bien cerradas y con el sistema de condensación funcionando, se procedió a realizar un calentamiento suave hasta alcanzar el equilibrio, condición que se manifiesta cuando las temperaturas, tanto en el balón, como en el condensado, permanecen constantes por cierto tiempo. Ambas temperaturas fueron registradas. Luego se adicionó, de manera sucesiva, 10cm<sup>3</sup> de ciclohexano, hasta alcanzar un volumen total agregado de 30cm<sup>3</sup>. En cada una de las adiciones se tomaron alícuotas, tanto en el ebullidor, como en el condensado, se les determinó el índice de refracción, y se anotó la temperatura una vez alcanzada la condición de equilibrio. De manera similar se procedió con el ciclohexano.

### C. Destilación fraccionada de una mezcla *n*-hexano-ciclohexano

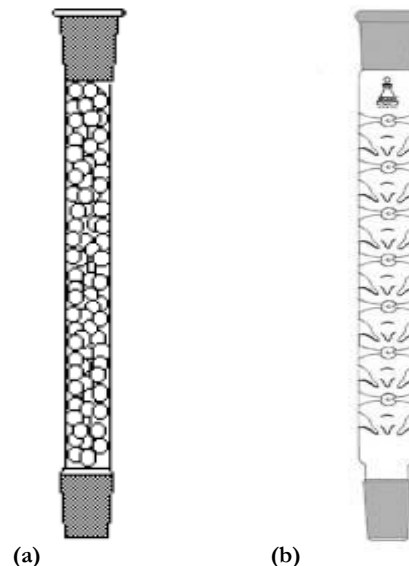
La Figura 8 muestra el montaje experimental para la separación de la mezcla por destilación fraccionada. Para este propósito se colocaron 16.5 g de *n*-hexano y 19.5 g de ciclohexano en el balón de destilación; luego se realizaron

los ajustes del equipo y se procedió a calentar de manera suave, para prevenir inundación dentro de la columna. Una vez alcanzado el equilibrio se tomaron alícuotas de las primeras gotas de destilado, después cada 5cm<sup>3</sup>, hasta completar 15cm<sup>3</sup>, y por último al residuo en el ebullidor. A cada una de estas muestras se le determinó el índice de refracción. El anterior procedimiento se realizó empleando dos tipos de columnas, una empacada con anillos Rasching, que luego se reemplazó por una columna de Vigreux (Figura 9).

**Figura 8. Esquema del montaje experimental para la destilación fraccionada**



**Figura 9. Tipos de columnas de destilación empleadas: columna de relleno con anillos Rasching (1) y columna de Vigreux (b)**



### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### A. Curva de calibración

La Tabla 1 muestra las masas de *n*-hexano y ciclohexano empleadas en la elaboración de la curva de calibración, al igual que los índices de refracción obtenidos para cada una de las mezclas.

**Tabla 1. Valores de índices de refracción y masa (g) de las mezclas *n*-hexano-ciclohexano**

Masa de <i>n</i> -hexano (g)	Masa de ciclohexano (g)	Índice de refracción
5.0000	0.0000	1.3705
4.0003	1.0033	1.3795
3.0038	2.0883	1.3915
2.4910	3.0211	1.3965
1.0360	4.0857	1.4110
0.0000	5.0481	1.4230

Para efectos de abreviar términos e identificar variables, se escogió el componente 1 como el menos volátil al ciclohexano –presenta mayor punto de ebullición–, y el componente 2 al *n*-hexano por ser el más volátil –presenta menor punto de ebullición–. De igual manera, la letra Y corresponde a la fracción molar del componente en la fase vapor y la X a la fracción molar en la fase líquida.

Con los valores de las masas reportados en la Tabla 1 y los masas moleculares del *n*-hexano y el ciclohexano (tomado de los frascos de los reactivos), se determinó la composición de la mezcla en fracción molar (X) aplicando las Ecuaciones 3 y 4. La Tabla 2 muestra los resultados de los cálculos.

$$n_i = \frac{\text{Masa del componente } i \text{ (g)}}{\text{Masa molecular del componente } i \text{ (g)}} \quad (3)$$

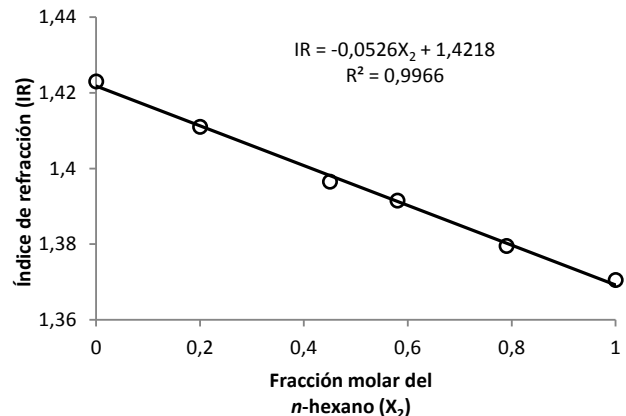
$$X_2 = \frac{n_1}{n_1 + n_2} \quad (4)$$

**Tabla 2. Índices de refracción en función de la fracción molar del *n*-hexano**

Fracción molar del <i>n</i> -hexano	Índice de refracción
1.0000	1.3705
0.7957	1.3795
0.5842	1.3915
0.4461	1.3965
0.1985	1.4110
0.0000	1.4230

La Figura 10 muestra la curva de calibración obtenida a partir del ajuste de los datos de la Tabla 1. Esta arroja un factor de correlación satisfactorio ( $R^2$ ) de 0.9966, el cual permitió obtener la concentración de *n*-hexano conocido el índice de refracción de la mezcla.

**Figura 10. Curva de calibración que representa el índice de refracción (IR) y la fracción molar ( $X_2$ ) del *n*-hexano en la mezcla**



#### B. Equilibrio líquido-vapor del sistema *n*-hexano-ciclohexano

La Tabla 3 muestra los resultados del ensayo de equilibrio líquido-vapor del sistema *n*-hexano-ciclohexano.

**Tabla 3. Valores de temperaturas de equilibrio de las mezclas del sistema *n*-hexano-ciclohexano y sus índices de refracción**

Temperatura del condensado (°C)	Temperatura del ebullidor (°C)	Índice de refracción del ebullidor	Índice de refracción del condensado
69.0	67.7	1.3705	1.3705
70.0	71.2	1.3830	1.3790
71.8	72.0	1.3929	1.3881
72.5	72.8	1.3960	1.3920
73.0	73.1	1.3986	1.3939
74.2	74.6	1.4040	1.4002
76.4	77.0	1.4110	1.4080
80.4	79.9	1.4230	1.4230

Las pequeñas diferencias entre los valores de las temperaturas de equilibrio, tanto del condensado, como del ebullidor, probablemente se deben a dificultades presentadas en la calibración del termómetro del ebullidor, razón por la cual, los autores han considerado trabajar, preferiblemente, con la temperatura del condensado como la de equilibrio.

Los valores del índice de refracción de los componentes puros reportados en la literatura,  $IR_{\text{HEXANO}} = 1.37234$  (Orge, Rodríguez, Canosa, Marino, Iglesias, &

Tojo, 1999), e  $IR_{\text{CICLOHEXANO}} = 1.42346$  (Morávková, Wagner, & Linek, 2007) son muy cercanos a los obtenidos experimentalmente.

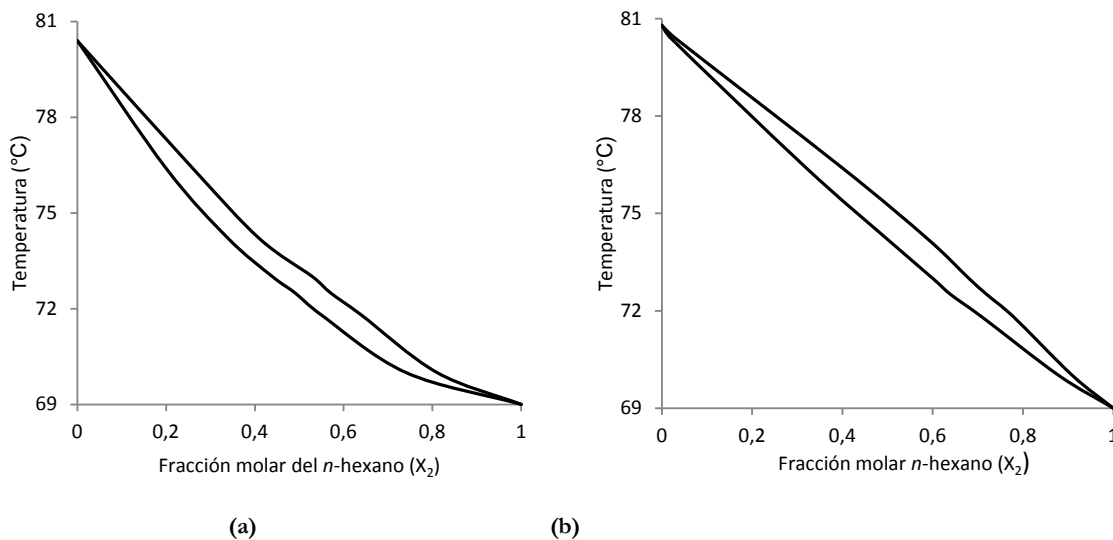
Empleando la curva de calibración se evaluó la composición de las muestras, en la fase líquida (ebullidor) y en el vapor (condensado), a la temperatura de equilibrio.

La Tabla 4 resume los resultados obtenidos y la Figura 11a muestra el diagrama de equilibrio temperatura-composición.

**Tabla 4. Temperatura de equilibrio de las mezclas y su composición**

Temperatura de equilibrio (°C)	Fracción molar del <i>n</i> -hexano en la fase líquida ( $X_2$ )	Fracción molar del <i>n</i> -hexano en la fase vapor ( $Y_2$ )
69.0	1.00	1.00
70.0	0.74	0.81
71.8	0.55	0.64
72.5	0.49	0.57
73.0	0.44	0.53
74.2	0.34	0.41
76.4	0.20	0.26
80.4	0.00	0.00

**Figura 11. Diagrama temperatura-composición del sistema *n*-hexano-ciclohexano: (a) comportamiento real y (b) comportamiento ideal**



#### Equilibrio líquido-vapor del sistema *n*-hexano-ciclohexano asumiendo comportamiento ideal

Si se considera que la disolución *n*-hexano-ciclohexano tiene un comportamiento ideal, es posible construir el diagrama T-X y el diagrama de equilibrio líquido-vapor, a partir de la ley de Raoult, la ley de las presiones parciales de Dalton y la ecuación de Antoine. Estos resultados se comparan con los datos obtenidos experimentalmente.

Para una mezcla en su punto de ebullición normal, la presión total de vapor ( $P_T$ ) será igual a la presión atmosférica ( $P_{atm}$ ), es decir,

$$P_T = P_1 + P_2 = P_{atm} \quad (5)$$

$$P_T = X_1 P_1^0 + X_2 P_2^0 = P_{atm} \quad (6)$$

$$P_T = (1 - X_2) P_1^0 + X_2 P_2^0 = P_{atm} \quad (7)$$

donde,

$P_1$  = Presión parcial del ciclohexano

$P_2$  = Presión parcial del *n*-hexano

$X_1$  = Fracción molar del ciclohexano

$X_2$  = Fracción molar del *n*-hexano

$P_1^0$  = Presión de vapor del ciclohexano puro

$P_2^0$  = Presión de vapor del *n*-hexano puro

Despejando  $X_2$  de la Ecuación 7 se obtiene la fracción molar del *n*-hexano en la fase líquida para cada una de las temperaturas de equilibrio.

$$X_2 = \frac{P_{atm} - P_1^0}{P_2^0 - P_1^0} \quad (8)$$

Luego, la correspondiente fracción molar del componente 2 ( $Y_2$ ) en la fase vapor se calcula a partir de la ley de Dalton de las presiones parciales:

$$Y_2 = \frac{P_2}{P_T} \quad (9)$$

La Ecuación 9 también puede escribirse como

$$Y_2 = \frac{X_2 P_2^0}{X_2(P_2^0 - P_1^0) + P_1^0} \quad (10)$$

Por último, las presiones de vapor de los componentes puros se determinan mediante la ecuación de Antoine:

$$\log P^0 = A - \frac{B}{T + C} \quad (11)$$

donde,

$P^0$  = Presión de vapor del componente puro

$T$  = Temperatura de equilibrio en °C

$A, B$  y  $C$  = Constantes características de cada sustancia

La Ecuación 11 queda definida para el ciclohexano y el *n*-hexano mediante las Ecuaciones 12 y 13 respectivamente.

La Tabla 5 resume los valores de las presiones de vapor de los componentes puros, así como las fracciones  $X_2$  y  $Y_2$  a las diferentes temperaturas de equilibrio. De igual manera, la Figura 11b muestra el diagrama de equilibrio temperatura-composición.

$$\log P_1^0 = 6.84498 - \frac{1203.526}{T + 222.863} \quad (12)$$

$$\log P_2^0 = 6.8776 - \frac{1171.530}{T + 224.366} \quad (13)$$

**Tabla 5. Propiedades del sistema *n*-hexano-ciclohexano considerando comportamiento ideal**

Temp. de equilibrio (°C)	$P_1^0$ (mmHg)	$P_2^0$ (mmHg)	$X_2$	$Y_2$
69.0	526.5	766.0	0.97	0.98
70.0	544.0	790.2	0.88	0.91
71.8	576.2	835.5	0.71	0.78
72.5	589.2	854.0	0.64	0.72
73.0	598.6	867.0	0.60	0.68
74.2	622.0	899.0	0.50	0.59
76.4	666.0	960.4	0.32	0.40
80.4	752.3	1080.4	0.02	0.03

Comparando los resultados de la composición de *n*-hexano en la fase líquida ( $X_2$ ) y en la fase vapor ( $Y_2$ ) registrados en las Tablas 4 y 5, se observa que la disolución se desvía de la ley de Raoult. Es posible que la intensidad de las fuerzas intermoleculares entre moléculas de *n*-hexano no sea tan cercana a las del ciclohexano, en consecuencia, el cambio de entalpía de la disolución es diferente de cero.

*C. Destilación fraccionada de una mezcla n-hexano-ciclohexano*

La Tabla 6 muestra los resultados de la destilación fraccionada de la mezcla *n*-hexano-ciclohexano empleando una columna empacada con anillos Rasching y una tipo Vigreux. A partir de los índices de refracción, se obtuvo la composición de la mezcla en función de la fracción molar del *n*-hexano. Se observa, en la Tabla 6, que la primera fracción del destilado empleando la columna empacada con anillos Rasching es más rica en *n*-hexano ( $X_{2D} = 0.84$ ), y que aún las fracciones siguientes muestran composiciones mayores, en comparación con la columna Vigreux. En virtud de este comportamiento se puede sugerir que, para este estudio, la columna empacada con anillos Rasching es más eficiente. El cálculo de la altura equivalente a un plato teórico *Height Equivalent to a Theoretical Plate* [HETP], lo confirma.

**Tabla 6. Características generales de la destilación fraccionada del sistema *n*-hexano-ciclohexano**

Tipo de columna	Temperatura del condensado (°C)	Temperatura del ebullición (°C)	Volumen de destilado (mL)	Índice de refracción	Fracción molar del <i>n</i> -hexano ( $X_2$ )
Anillos Rasching	70.3	74.0	Gotas	1.3775	0.84
	70.3	74.0	5	1.3820	0.76
	69.0	74.5	10	1.3820	0.76
	69.2	75.0	15	1.3840	0.72
Vigreux			Residuo	1.4004	0.41
	69.3	75.9	Gotas	1.3820	0.76
	69.5	76.0	5	1.3850	0.70
	71.4	76.7	10	1.3860	0.68
	71.8	77.1	15	1.3875	0.65
		Residuo	1.4010	0.39	



### Cálculo de los platos teóricos por el método de McCabe-Thiele

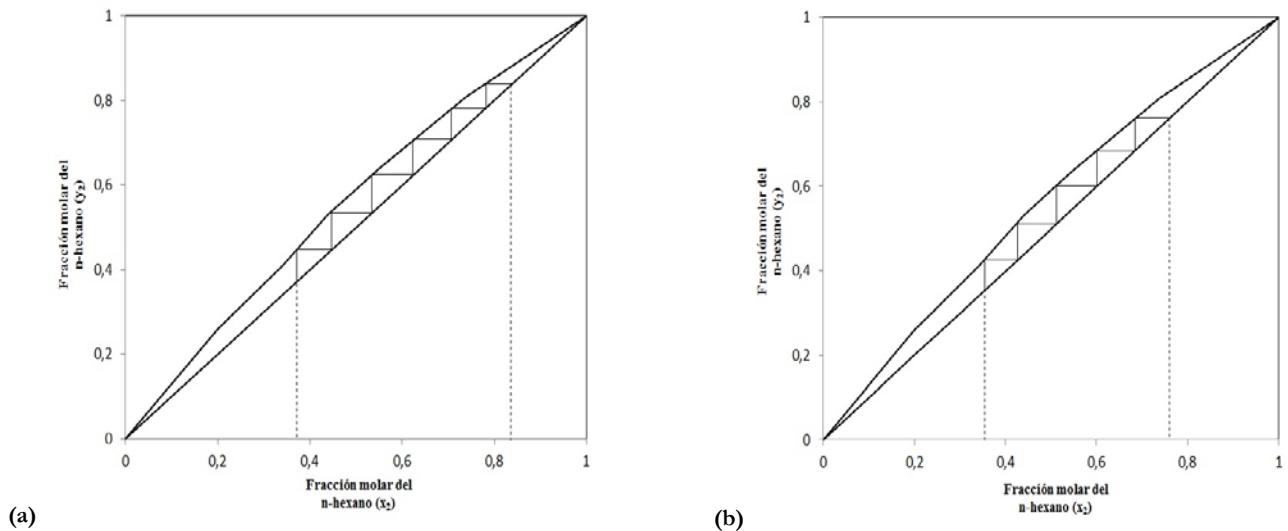
Puede considerarse que una columna ideal está constituida por platos teóricos o secciones hipotéticas, en cada una de las cuales el vapor y el líquido están en equilibrio. El número de platos teóricos no puede determinarse directamente por la geometría de la columna, pues depende del tipo de columna usada, de la relación de reflujo trabajada y, si es empacada, del material empleado (Romero & Blanco, 1996).

Para determinar entonces el número de platos teóricos por el método de McCabe-Thiele es importante construir el diagrama de equilibrio líquido-vapor de la mezcla *n*-hexano-ciclohexano, bajo condiciones de reflujo total, graficando los datos que aparecen en la Tabla 4, y la composición del destilado ( $X_{2D}$ ) y del residuo ( $X_{2R}$ ), para cada una de las columnas empleadas (Tabla 6).

Sobre el diagrama de equilibrio se trazan dos líneas verticales punteadas que señalan la composición del destilado ( $X_{2D}$ ) y del residuo ( $X_{2R}$ ). Partiendo de la intersección de  $X_{2D}$  con la diagonal, se trazan líneas horizontales y verticales, hasta alcanzar la composición del residuo  $X_{2R}$ . Cada línea vertical representa una etapa de destilación en la cual el intercepto superior de la vertical con la curva representa la composición del vapor que está en equilibrio con el líquido de composición indicada por el intercepto inferior de la vertical con la diagonal o línea de operación. Cada línea horizontal representa la condensación total del vapor para dar un líquido de igual composición al vapor, que se somete a una nueva etapa de destilación (Romero & Blanco, 1996).

La Figura 12 (secciones a y b) muestra la aplicación del método gráfico para ambas columnas. La columna empacada de anillos Rasching alcanza seis platos teóricos, mientras que en la columna de Vigreux se obtienen cinco.

Figura 12. Método gráfico de McCabe-Thiele para cálculo de platos teóricos: columna con anillos Rasching (a); columna Vigreux (b)



### Cálculo del Height Equivalent to a Theoretical Plate [HEPT]

En columnas empacadas donde no hay platos reales, la eficiencia de la columna puede establecerse en términos de la altura equivalente a HEPT, que se define como la altura de la columna (empacada) que se requiere para realizar una separación equivalente a la que se efectuaría en un plato teórico, es decir:

$$\text{HETP} = \frac{\text{Altura de la columna}}{\text{Número de platos teóricos}} \quad (14)$$

La Tabla 7 muestra los resultados de la aplicación de la Ecuación 14 para cada una de las columnas empleadas en el estudio.

Tabla 7. Valores HETP para las columnas de anillos Rasching y Vigreux

Tipo de columna	Altura de la columna (cm)	Número de platos teóricos	HETP
Anillos Rasching	20.5	6	3.4
Vigreux	20.0	5	4.0

Estos resultados confirman que la columna empacada con anillos Rasching es más eficiente que la columna de Vigreux, pues se necesita una menor altura para alcanzar la condición de equilibrio líquido-vapor.

*Evert de Jesús Mendoza Colina.* Magister en Ciencias - Química. Docente catedrático de la Universidad del Atlántico (Barranquilla, Colombia).

#### IV. CONCLUSIONES

El análisis de los resultados obtenidos en este estudio permite formular las siguientes conclusiones:

El diagrama de equilibrio temperatura-composición del sistema *n*-hexano-ciclohexano es diferente al que predice la ley de Raoult, lo cual indica que existen factores, tales como las atracciones intermoleculares, que lo afectan y desvían de la idealidad.

La separación del sistema *n*-hexano-ciclohexano por destilación fraccionada muestra que el proceso es más eficiente cuando se emplea una columna empacada con anillos Rasching, en lugar de una columna Vigreux.

#### V. REFERENCIAS

- Brewster, R., Vanderwerf, C., & McEwen, W. (1975). *Curso práctico de química orgánica*. Madrid, España: Alhambra.
- Chang, R. (2009). *Fisicoquímica*. Ciudad de México: McGraw Hill Interamericana.
- Morávková, L., Wagner, Z., & Linek, J. (2007). (P. Vm.T) measurements of (cy-clohexane + nonane) at temperatures from 298.15 K a 328.15 K and at pressure up to 40 MPa. *The Journal of Chemical Thermodynamics*, 39 (12), 1637-1648.
- Orge, B; Rodríguez, A; Canosa, J. M; Marino, G; Iglesias, M; Tojo, J. (1999). Variation of Densities, Refractive Indices and Speeds of Sounds with Temperature of Methanol or Ethanol with Hexane, Heptane and Octane. *Journal of Chemical & Engineerin*, 44 (5), 1041-1047.
- Paredes. (1986). *Fundamentos y aplicaciones de la destilación en la separación y purificación de compuestos orgánicos*. Cali, Colombia: Universidad del Valle.
- Romero, C., & Blanco, L. (1996). *Tópicos en química básica. Experimentos de laboratorio*. Bogotá, Colombia: Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
- Treybal, R. (1980). *Operaciones de transferencia de masa*. Ciudad de México: McGraw-Hill.

#### CURRÍCULOS

*Grey Cecilia Castellar Ortega.* Magister en Ciencias - Química. Docente e investigadora de la Universidad Autónoma del Caribe (Barranquilla, Colombia).

*Edgardo Ramón Angulo Mercado.* Magister en Ciencias - Química. Docente de tiempo completo de la Universidad del Atlántico (Barranquilla, Colombia).