

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE UN MÉTODO EXPERIMENTAL DE GENERACIÓN
DE DATOS PARA EL ESTUDIO DEL SISTEMA TERNARIO
ISOPROPANOL-HEXANO-AGUA EN EQUILIBRIO LÍQUIDO DE
INMISCIBILIDAD A TRES TEMPERATURAS Y A 640 mm DE Hg**

TRABAJO DE GRADUACIÓN
PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MARCO VINICIO PAJARITO ANGEL

ASESORADO POR: ING. CÉSAR ALFONSO GARCÍA GUERRA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2003

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Inga. Hilda Palma de Martín
EXAMINADOR	Ing. Manuel Gilberto Galván Estrada
EXAMINADOR	Ing. José Manuel Tay Oroxom
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

EVALUACIÓN DE UN MÉTODO EXPERIMENTAL DE GENERACIÓN DE DATOS PARA EL ESTUDIO DEL SISTEMA TERNARIO ISOPROPANOL-HEXANO-AGUA EN EQUILIBRIO LÍQUIDO DE INMISCIBILIDAD A TRES TEMPERATURAS Y A 640 mm DE Hg

Tema que me fue asignado por la dirección de Escuela de Ingeniería Química con fecha 28 de Julio de 2003.

Marco Vinicio Pajarito Angel

DEDICATORIA

A Dios

Por ser la luz en mi camino y la fuente de mi inspiración.

A mis padres

José Armando Pajarito Caná

Aura Antonieta Angel de Pajarito

Por ser el mejor ejemplo de dedicación y empeño, por guiarme siempre por la senda de bien y apoyarme en todos los momentos de mi vida. Los amo.

A mis hermanas

Claudia Elizabeth, Gabriela Eugenia y Mónica Valeria

Con amor fraternal por estar conmigo en todo momento, las quiero con todo mi corazón.

A mi novia

Blanca Alejandra Ortiz Herrera

Por ser mi motivación para seguir adelante, con mucho amor.

A mis abuelitos, tíos y primos

Con mucho cariño.

BASTA LA VERDADERA ILUSIÓN, PARA QUE LA VOLUNTAD ACTÚE

ÍNDICE GENERAL

INDICE DE ILUSTRACIONES	III
LISTADO DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XV
OBJETIVOS	XVII
HIPÓTESIS	XVIII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1 Extracción líquido-líquido	1
1.2 Aplicaciones de la extracción líquido-líquido	1
1.3 Sistemas de coordenadas	2
1.4 Propiedades deseables del disolvente	4
1.4.1 Selectividad	4
1.4.2 Recuperabilidad	5
1.4.3 Coeficiente de distribución	5
1.4.4 Capacidad	5
1.4.5 Solubilidad del disolvente	5
1.4.6 Densidad	5
1.4.7 Tensión interfacial	6
1.4.8 Reactividad química	6
1.4.9 Viscosidad, presión de vapor y punto de congelamiento	6
1.4.10 Toxicidad	6
2. METODO DE INVESTIGACIÓN	7
2.1 localización	7
2.2 Recursos humanos	7
2.3 Metodología experimental	7
2.4 Procedimiento	7
2.5 Método para la elaboración de la curva de solubilidad:	8
2.5.1 Determinación de la densidad	8
2.5.2 Determinación del índice de refracción	8
2.6 Análisis estadístico	9
2.7 Manejo del experimento	9
2.8 Material y equipo	9

2.8.1	Material de escritorio	9
2.8.2	Equipo de laboratorio	9
2.8.3	Prototipo del equipo por utilizar	10
3.	RESULTADOS	13
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	31
	CONCLUSIONES	37
	RECOMENDACIONES	39
	BIBLIOGRAFÍA	40
	APÉNDICE 1 DATOS ORIGINALES	41
	APÉNDICE 2 MUESTRA DE CÁLCULO	46
	APÉNDICE 3 DATOS CALCULADOS	52
	APÉNDICE 4 CORRELACIONES NO LINEALES	54

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Ejemplo de equilibrio ternario	2
2	Ejemplo de soluciones conjugadas	3
3	Gráfico isométrico del equipo por utilizar	7
4.	Curva de correlación para los índices de refracción en función de concentración de la mezcla isopropanol-agua a 10 +/- 5°C.	10
5.	Curva de correlación para los índices de refracción en función de concentración de la mezcla isopropanol-hexano a 10 +/- 5°C.	10
6.	Curva de correlación para los índices de refracción en función de concentración de la mezcla isopropanol-agua a 25 +/- 5°C.	11
7	Curva de correlación para los índices de refracción en función de concentración de la mezcla isopropanol-hexano a 25 +/- 5°C.	11
8	Curva de correlación para los índices de refracción en función de concentración de la mezcla isopropanol-agua a 50 +/- 5°C.	12
9	Curva de correlación para los índices de refracción en función de concentración de la mezcla isopropanol-hexano a 50 +/- 5°C.	12
10	Distribución de datos experimentales al equilibrio de inmiscibilidad, obtenidos para el sistema isopropanol-hexano-agua a partir de soluciones isopropanólicas de agua y titulación de hexano a 10 +/-5 °C.	13
11	Distribución de datos experimentales al equilibrio de inmiscibilidad, obtenidos para el sistema isopropanol-hexano-agua a partir de soluciones isopropanólicas de hexano y titulación de agua a 10 +/-5 °C.	14
12	Distribución de los datos experimentales al equilibrio de inmiscibilidad para el sistema ternario isopropanol-hexano-agua a 10 +/- 5°C.	15

13	Distribución de datos experimentales al equilibrio de inmiscibilidad, obtenidos para el sistema isopropanol-hexano-agua a partir de soluciones isopropanólicas de agua y titulación de hexano a 25 +/-5 °C.	16
14	Distribución de datos experimentales al equilibrio de inmiscibilidad, obtenidos para el sistema isopropanol-hexano-agua a partir de soluciones isopropanólicas de hexano y titulación de agua a 25 +/-5 °C.	17
15	Distribución de los datos experimentales al equilibrio de inmiscibilidad para el sistema ternario isopropanol-hexano-agua a 25 +/- 5°C.	18
16	Distribución de datos experimentales al equilibrio de inmiscibilidad, obtenidos para el sistema isopropanol-hexano-agua a partir de soluciones isopropanólicas de agua y titulación de hexano a 50 +/-5 °C.	19
17	Distribución de datos experimentales al equilibrio de inmiscibilidad, obtenidos para el sistema isopropanol-hexano-agua a partir de soluciones isopropanólicas de hexano y titulación de agua a 50 +/-5 °C.	20
18	Distribución de los datos experimentales al equilibrio de inmiscibilidad para el sistema ternario isopropanol-hexano-agua a 50 +/- 5°C.	21
19	Comparación de las curvas en equilibrio de inmiscibilidad del sistema ternario isopropanol-hexano-agua a las tres temperaturas (10, 25 y 50 +/- 5°C) .	22
20	Gráfica de distribución del sistema isopropanol-hexano agua a temperatura de 25 +/- 5°C.	23
21	Gráfica de distribución del sistema isopropanol-hexano agua a temperatura de 10 +/- 5°C.	24
22	Gráfica de distribución del sistema isopropanol-hexano agua a temperatura de 50 +/- 5°C.	25
23	Gráfica de porcentajes de distribución de isopropanol	

- en agua, en función de distribución de isopropanol en hexano, necesaria para determinar el punto de pliegue a temperatura de $10 \pm 5^\circ\text{C}$, en el sistema isopropanol-hexano-agua. 57
- 24 Gráfica de porcentajes de distribución de isopropanol en agua, en función de distribución de isopropanol en hexano, necesaria para determinar el punto de pliegue a temperatura de $10 \pm 5^\circ\text{C}$, en el sistema isopropanol-hexano-agua. 58
- 25 Gráfica de porcentajes de distribución de isopropanol en agua, en función de distribución de isopropanol en hexano, necesaria para determinar el punto de pliegue a temperatura de $10 \pm 5^\circ\text{C}$, en el sistema isopropanol-hexano-agua. 59

TABLAS

I	Cálculo para el análisis de varianza de tres factores con varios grupos para la evaluación del grado de diferenciación significativa en el sistema isopropanol-hexano-agua a las tres temperaturas estudiadas.	26
II	Valores de los coeficientes de distribución promedio	29
III	Datos de los índices de refracción obtenidos para las soluciones de isopropanol en agua y titulación de hexano, para cada fase formada a temperatura de 10 +/- 5 °C.	41
IV	Datos de los índices de refracción obtenidos para las soluciones de isopropanol en hexano y titulación de agua, para cada fase formada a temperatura de 10 +/- 5 °C.	41
V	Datos de los índices de refracción obtenidos para las soluciones de isopropanol en agua y titulación de hexano, para cada fase formada a temperatura de 25 +/- 5 °C.	42
VI	Datos de los índices de refracción obtenidos para las soluciones de isopropanol en hexano y titulación de agua, para cada fase formada a temperatura de 25 +/- 5 °C.	42
VII	Datos de los índices de refracción obtenidos para las soluciones de isopropanol en agua y titulación de hexano, para cada fase formada a temperatura de 50 +/- 5 °C.	43
VIII	Datos de los índices de refracción obtenidos para las soluciones de isopropanol en hexano y titulación de agua, para cada fase formada a temperatura de 50 +/- 5 °C.	43
IX	Datos de pesos de las soluciones binarias de isopropanol en agua e isopropanol en hexano a temperatura de 10 +/- 5 °C, utilizando un picnómetro de 10.705 ml y 28.135g de peso.	44
X	Datos de pesos de las soluciones binarias de isopropanol en agua e isopropanol en hexano a temperatura de 25 +/- 5 °C, utilizando un picnómetro de 10.705 ml	

	y 28.135g de peso.	43
XI	Datos de pesos de las soluciones binarias de isopropanol en agua e isopropanol en hexano a temperatura de 50 +/- 5 °C, utilizando un picnómetro de 10.705 ml y 28.135g de peso.	43
XII	Datos de los índices de refracción obtenidos para cada par de soluciones conjugadas (fase hexano y fase agua) obtenidas para cada mezcla ternaria reproducida.	45
XIII	Datos de las densidades promedio de las soluciones de isopropanol en agua e isopropanol en hexano a las temperaturas de 10, 25 y 50 +/- 5°C respectivamente.	52
XIV	Datos de las concentraciones reales e índices de refracción promedio, de las soluciones de isopropanol en agua e isopropanol en hexano a las temperaturas de 10, 25 y 50 +/- 5°C respectivamente.	52
XV	Datos de la composición porcentual de las mezclas ternarias formadas a partir de isopropanol en agua e isopropanol en hexano a temperatura de 10+/- 5°C respectivamente, necesarios para graficar la curva binodal.	53
XVI	Datos de la composición porcentual de las mezclas ternarias formadas a partir de isopropanol en agua e isopropanol en hexano a temperatura de 25+/- 5°C respectivamente, necesarios para graficar la curva binodal.	53
XVII	Datos de la composición porcentual de las mezclas ternarias formadas a partir de isopropanol en agua e isopropanol en hexano a temperatura de 50+/- 5°C respectivamente, necesarios para graficar la curva binodal.	54
XVIII	Datos de las concentraciones de los pares en equilibrio para el establecimiento de las líneas de unión, obtenidas para cada composición de los puntos escogidos bajo la curva binodal a temperatura de 10 +/- 5°C.	54
XIX	Datos de las concentraciones de los pares en equilibrio para el establecimiento de las líneas de unión, obtenidas para cada	

	composición de los puntos escogidos bajo la curva binodal a temperatura de 25 +/- 5°C.	55
XX	Datos de las concentraciones de los pares en equilibrio para el establecimiento de las líneas de unión, obtenidas para cada composición de los puntos escogidos bajo la curva binodal a temperatura de 50 +/- 5°C.	55
XXI	Datos de los coeficientes de distribución promedio obtenidas para las mezclas efectuadas, a partir de los puntos escogidos bajo la curva binodal a las tres temperaturas analizadas.	56

LISTADO DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
X	Media aritmética
N	Número de corridas
V	Volumen
%	Porcentaje
C	Concentración
F	Grados de libertad
Mt	Masa total
T	Temperatura
K	Coefficiente de distribución
Subíndices	
Iso	Isopropanol
Sol	Solución

GLOSARIO

Coalescencia	Se llama coalescencia a la fusión mutua de dos o más gotas floculadas, lo que requiere la perforación de la película que rodea las gotas. La fuerza impulsora es la tensión interfacial, y líquidos en equilibrio, cuanto más alta es esta tensión, más rápida es la velocidad de coalescencia.
Composición porcentual	El porcentaje de masa de cada elemento en el sistema.
Concentración	Cantidad de soluto por unidad de volumen o masa de disolvente o de solución.
Curva binodal	Línea de equilibrio para el sistema ternario, representada en un sistema de coordenadas triangulares, que indica el límite de las composiciones de las mezclas de los tres componentes del sistema, para las cuales el sistema es bifásico o monofásico. Esto es, una curva que divide en dos regiones al diagrama de equilibrio ternario; debajo de esta curva las mezclas ternarias existen en dos fases; encima de esta curva las mezclas ternarias están en una sola fase.
Disolvente	Es el líquido empleado como medio dispersante en una solución.

IPA

Alcohol isopropílico.

Extracción

Líquido-líquido

Operación unitaria de transferencia de masa, que consiste en la separación de uno o más componentes (solutos) disueltos en un solvente dado, mediante la adición de un segundo solvente, de tal manera que dicho soluto se transfiere al otro solvente, en virtud de su capacidad de distribución en ambos solventes que son inmiscibles o parcialmente

Miscibilidad

Capacidad de un líquido para mezclarse con otro líquido (o disolverse en él).

Punto de pliegue

Es un punto de la curva binodal considerado como la última de las líneas de unión, que no necesariamente está en la posición más alta de dicha curva. En este punto, la composición del soluto tanto en la fase de alimentación como en la fase de extracto es la misma, por lo cual, esta mezcla ternaria existe en una sola fase. Para un proceso de extracción dado, se dice que deben considerarse mezclas cuya composición esté lo más alejada posible de la composición correspondiente al punto de pliegue, para que sea posible la recuperación del soluto.

Solución

Mezcla homogénea de dos o más sustancias.

Soluto

La fase dispersa (disuelta) de una solución.

Solvente

Líquido capaz de disolver otros materiales, (sólidos, líquidos o gases), para formar una solución.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal, la caracterización del sistema ternario en equilibrio de inmiscibilidad de isopropanol-hexano-agua. A lo largo del trabajo se describe la forma en la cual se llevó a cabo la parte experimental, así como la forma en la que se realizaron los cálculos para alcanzar los resultados y la información bibliográfica consultada acerca del equilibrio ternario y la extracción líquido-líquido.

El sistema se trabajó a temperaturas de 10, 25 y 50 \pm 5 °C, realizando tres repeticiones de cada dato requerido, con el objetivo de obtener una mejor precisión en los resultados presentados. Para iniciar, se procedió a correlacionar los datos de índice de refracción en función de la concentración de isopropanol en fase acuosa y en fase de hexano, para ello se trabajó a porcentajes de isopropanol en soluciones de 5, 25, 45, 65, 85 y 90% en ambas fases. Seguidamente se procedió a la formación de las mezclas ternarias de isopropanol-hexano-agua, a partir de soluciones de isopropanol en hexano e isopropanol en agua, se procedió a la dosificación de los disolventes (agua o hexano) respectivamente, hasta alcanzar la inmiscibilidad de fases. Se midió la concentración del IPA a partir de los índices de refracción. Con los datos de IPA en agua y hexano respectivamente se construyeron las curvas de equilibrio ternario a las tres temperaturas analizadas.

Posteriormente se seleccionaron cinco proporciones de los tres compuestos cuyo valor de distribución está debajo de la curva binodal. Luego se procedió a mezclar las soluciones hasta alcanzar la formación de dos fases en equilibrio de inmiscibilidad. A partir de los índices de refracción medidos para cada fase (IPA en agua e IPA en hexano), se establecieron las líneas de amarre, mediante las concentraciones al equilibrio utilizando para esto, las curvas de índice de refracción respectivas. Posteriormente se calcularon los coeficientes de distribución mediante la distribución de IPA en hexano respecto de la distribución de IPA en agua y los puntos de pliegue para cada temperatura analizada.

A partir de los datos experimentales se procedió a realizar un análisis de los resultados obtenidos. La compilación de los resultados permitió la caracterización del sistema isopropanol-hexano-agua a las temperaturas 10, 25 y 50 +/- 5°C. Uno de los principales resultados obtenidos es la determinación de la diferencia significativa entre las curvas binodales de equilibrio de inmiscibilidad para las temperaturas de 10 +/- 5°C y 50 +/- 5°C.

OBJETIVOS

General

Evaluar un método experimental para la obtención de datos de equilibrio para el sistema inmiscible líquido-líquido isopropanol-agua-hexano.

Específicos

1. Realizar la correlación de datos experimentales de índice de refracción, en función de la concentración porcentual en peso de isopropanol-agua a tres temperaturas.
2. Realizar la correlación de datos experimentales de índice de refracción, en función de la concentración porcentual en peso de isopropanol-hexano a tres temperaturas
3. Determinar los puntos de inmiscibilidad al equilibrio para el sistema líquido isopropanol-agua-hexano a partir de soluciones isopropanólicas de hexano añadiendo soluto acuoso.
4. Determinar los puntos de inmiscibilidad al equilibrio para el sistema líquido isopropanol-agua-hexano a partir de soluciones isopropanólicas de agua añadiendo soluto hexano.
5. Calcular el coeficiente de distribución y la composición de la mezcla ternaria correspondiente al punto de pliegue del sistema isopropanol-hexano-agua a las tres temperaturas referidas.

HIPÓTESIS

Es posible evaluar un método experimental para la obtención de datos del sistema en equilibrio líquido, para el sistema isopropanol-agua-hexano.

HIPÓTESIS ESTADÍSTICA

Hipótesis nula

Ho: No existe una significativa diferencia de los datos experimentales correlacionados, para la graficación del domo binario de distribución del sistema a las tres temperaturas realizadas.

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3$$

Hipótesis alternativa

Ha: Existe una significativa diferencia de los datos experimentales correlacionados para la graficación del domo binario de distribución del sistema a las tres temperaturas realizadas.

$$\alpha_1 \neq \alpha_2 \neq \alpha_3$$

Donde:

α_1 = Isoterma temperatura T1.

α_2 = Isoterma temperatura T2.

α_3 = Isoterma temperatura T3.

INTRODUCCIÓN

La extracción líquida, llamada algunas veces extracción con disolventes, es la separación de una solución líquida por contacto con otro líquido insoluble. *Si las sustancias que componen la solución original se distribuyen de manera distinta entre las fases líquidas, se puede lograr cierto grado de separación, que puede incrementarse mediante el contacto de contactos múltiples o agitación.*

El trabajo que se presenta a continuación bajo el nombre de “ Evaluación de un método experimental de generación de datos para el estudio del sistema ternario isopropanol-agua-hexano en equilibrio líquido a tres temperaturas y 640mm Hg. ”, presenta el desarrollo del análisis de equilibrio líquido del sistema mencionado.

El análisis de este equilibrio líquido-líquido, tiene como objetivo primordial *aplicar un método experimental para la obtención de datos del equilibrio ternario del sistema isopropanol-agua-hexano*. A partir de la preparación de mezclas isopropanólicas en hexano y agua respectivamente se correlacionan los índices de refracción y se determinan los volúmenes de disolvente necesarios para obtención de dos fases en cada mezcla. Con los datos obtenidos se construyeron las curvas de solubilidad de dicho sistema y se determinó que el efecto que tiene la temperatura en el mismo es significativo mediante la construcción de las curvas de distribución y el análisis de varianza entre las temperaturas, se trabajó a temperaturas de 10, 25 y 50 ($\pm 5^{\circ}\text{C}$).

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Extracción líquido-líquido

Para separar uno o más componentes de una mezcla, esta se pone en contacto con otra fase. En la extracción líquido-líquido, ambas fases son químicamente muy diferentes, lo que conduce a una separación de los componentes, de acuerdo con sus propiedades físicas y químicas. Otros nombres que también se usan para este proceso son: extracción con líquido, extracción con disolvente o coeficientes de partición.

Algunas veces la extracción por disolvente se usa como una opción a la separación por destilación o evaporación. Por ejemplo, el ácido acético se separa del agua por destilación o por extracción con disolvente, usando un disolvente orgánico. Después de esta operación, el producto resultante (disolvente orgánico-ácido acético) se destila. La selección de destilación o extracción con disolvente dependen de gran parte de los costos relativos. Otro ejemplo son los ácidos grasos de alto peso molecular, que se pueden separar de los aceites vegetales por extracción con propano líquido o por destilación al alto vacío, la cual es más costosa.

1.2 Aplicaciones de la extracción líquido-líquido

En la industria farmacéutica, algunos productos como la penicilina, se presentan en mezclas de fermentación bastante complejas, y se usa la extracción con líquido para separar la penicilina. Muchas separaciones de metales se llevan a cabo comercialmente por extracción de soluciones acuosas, como cobre-hierro, uranio y vanadio.

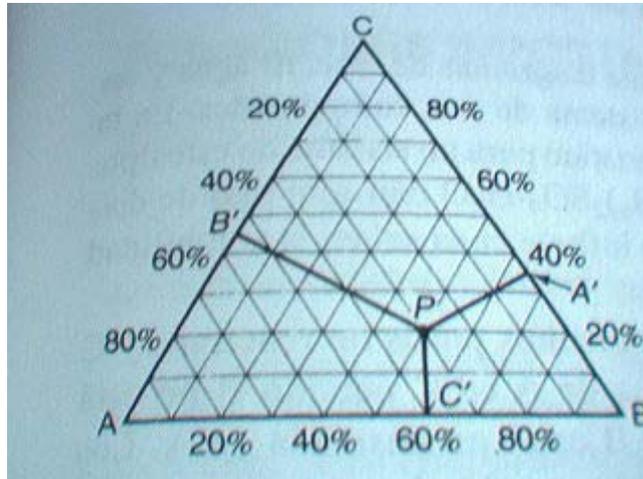
1.3 Sistemas de coordenadas

Un sistema de tres componentes tiene dos variables de composición independiente por decir X_2 y X_3 . *Por tanto, la composición de un sistema de tres componentes puede trazarse en coordenadas cartesianas con X_2 en un eje y X_3 en el otro unidos por la línea $X_2 + X_3 = 1$.* Como esta gráfica no es simétrica con respecto a los tres componentes, es más común el trazo de las composiciones en un triángulo equilátero en la cual cada ápice representa a un componente puro.

Al considerar un sistema de una fase y tres componentes, la regla de las fases permite $F = c - p + 2 = 3 - 1 + 2 = 4$ grados de libertad. Estas cuatro variables independientes en general son presión, temperatura y dos variables de composición. Así pues, *la composición de un sistema de tres componentes se puede representar a dos composiciones a T y P constantes.*

La técnica más conveniente para graficar un diagrama de fases de este tipo fue propuesta por Hendrik William Bakhuis Roozeboom (1854-1907). *La composición se determina basándose en el hecho de que, desde cualquier punto dentro de un triángulo equilátero, la suma de las distancias perpendiculares a cada lado es igual a la altura del triángulo.* La altura se iguala al 100% y se divide en diez partes iguales. Se forma una red de pequeños triángulos equiláteros dibujando líneas paralelas a los tres lados a través de las diez divisiones iguales

Figura 1. Diagrama triangular



En la figura 1 cada vértice del triángulo equilátero representa uno de los tres componentes puros, o sea, 100% A, 100% B o 100% C. Los tres lados del triángulo representan los tres sistemas binarios posibles y 0 % el tercer componente. Así cualquier punto sobre la línea BC representa 0 % de A. Una línea paralela a BC que pase por P representa todas las posibles composiciones de B y C en combinación con 30% de A. Aquí el porcentaje de A se lee según el valor de la longitud de la línea AP. Las composiciones a lo largo de los otros dos lados se leen de manera parecida.

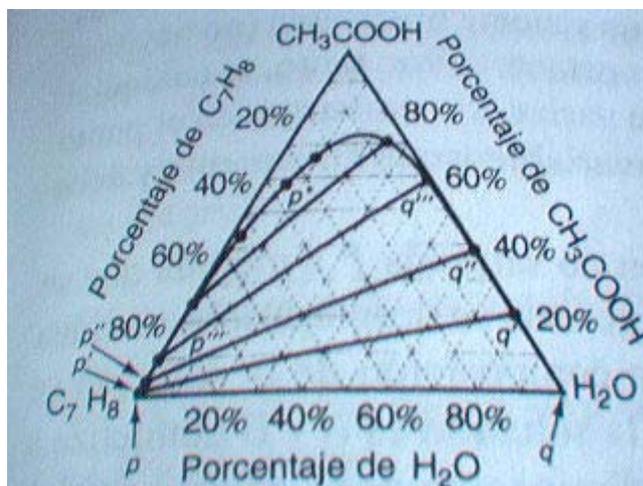
Como la distancia perpendicular a un lado dado del triángulo representa el porcentaje del componente en el vértice opuesto, las composiciones en P son A 30%, B 50% y C 20%. Así la composición de un sistema ternario se puede representar dentro de un triángulo equilátero.

Un ejemplo sencillo para demostrar el comportamiento de un sistema líquido de tres componentes es el sistema de tolueno-agua-ácido acético. En él el Tolueno y el ácido acético son totalmente miscibles en cualquier proporción. Lo mismo ocurre con el agua y el ácido acético. Sin embargo el tolueno y el agua sólo son levemente solubles entre sí. Su limitada solubilidad ocasiona que

se formen dos líquidos, como se indica a lo largo de la base del triángulo en los puntos p y q de la figura 2. Al agregar ácido acético se disolverá y se distribuirá entre las dos capas líquidas.

Por lo tanto se forman dos soluciones ternarias conjugadas en equilibrio. Si la temperatura y la presión permanecen fijas en la región de las dos fases, sólo queda un grado de libertad y ese se obtiene mediante la composición de una de las soluciones conjugadas.

Figura 2. Líneas de amarre



Debido a la diferencia de solubilidad del ácido acético en las dos capas, las líneas de enlace que conectan a las soluciones conjugadas no son paralelas a la base de tolueno-agua. Esto muestra para las líneas de enlace $p'q'$, $p''q''$, etc. Este tipo de curva se llama binodal.

Las cantidades relativas de los dos líquidos se obtienen por la regla de nivelación. A medida que las soluciones de los dos líquidos se hacen casi iguales, la línea de enlace se acorta y por último se reduce hasta un punto. **En general, el punto no se produce en la parte superior de la curva de solubilidad y se llama punto crítico isotérmico o punto de pliegue, p^* en el diagrama.** En p^* ambas están presentes aproximadamente en la misma proporción, mientras que en p'' sólo una traza de agua permanece en la capa de tolueno. Esta curva se complica cuando los otros conjuntos de componentes son tan sólo parcialmente miscibles.

1.4 Propiedades deseables del disolvente

Las siguientes propiedades de un disolvente deben considerarse antes de utilizarlo en un proceso de extracción líquida.

- 1.4.1 Selectividad:** la separación relativa o selectiva α , de un disolvente es la razón de los dos componentes en la fase del disolvente de alimentación. El poder de separación de un sistema líquido-líquido está regulado por la desviación de α de la unidad, en forma similar a la volatilidad relativa en destilación. Por lo general, las concentraciones diluidas de soluto proporcionan los factores más elevados de separación relativa.
- 1.4.2 Recuperabilidad:** por lo general, el disolvente de extracción debe recuperarse de la corriente de extracto y de refinado, en un proceso de extracción. Ya que a menudo se utiliza la destilación, la volatilidad relativa del disolvente mayor o menor a la unidad. Para un disolvente volátil, es deseable un bajo calor latente de evaporación.
- 1.4.3 Coeficiente de distribución:** este factor de relación debe ser grande, para que pueda utilizarse una razón baja del disolvente de extracción respecto de la alimentación.
- 1.4.4 Capacidad:** esta propiedad se refiere a la carga del soluto por peso del disolvente de extracción que puede lograr una capa de extracto, en el punto triple de un sistema tipo I o en el límite de solubilidad de un sistema tipo II.
- 1.4.5 Solubilidad del disolvente:** una baja solubilidad del disolvente en el refinado suele dar como resultado una alta volatilidad relativa en la separación del refinado, o una baja pérdida de

disolvente si el refinado no se desolventiza. Una baja solubilidad del disolvente de alimentación en el extracto conduce a una alta separación relativa y, por lo general a un menor costo de recuperación del soluto.

1.4.6 Densidad: la diferencia de densidad entre las dos fases líquidas en equilibrio afecta las velocidades de flujo a contracorriente que se pueden lograr en el equipo de extracción, así como las velocidades de coalescencia. La diferencia de densidad disminuye a cero en el punto triple, pero en algunos sistemas puede llegar a cero en una concentración intermedia del soluto.

1.4.7 Tensión interfacial: si esta propiedad es elevada, promueve una coalescencia rápida y por lo general, requiere una agitación mecánica elevada para producir gotas pequeñas. Una tensión interfacial baja permite el rompimiento de la gota con agitación de poca intensidad, pero también conduce a bajas velocidades de coalescencia.

1.4.8 Reactividad química: el disolvente debe ser estable e inerte químicamente frente a los demás componentes del sistema y a los materiales comunes de construcción del equipo.

1.4.9 Viscosidad, presión de vapor y punto de congelamiento: deben ser bajos, para facilitar el manejo y almacenamiento.

1.4.10 Toxicidad: el disolvente no debe ser tóxico, ni inflamable, y de bajo costo.

2. METODOLOGÍA

2.1 Localización

La parte experimental de la investigación se llevó a cabo en el laboratorio de Química Industrial, del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos edificio T5, zona 12, Guatemala.

2.2 Recursos humanos

Investigador: Marco Vinicio Pajarito Angel
Asesor: Ing. Qco. Cesar Alfonso García Guerra
Coasesor: Ing. Qco. José Pineda

2.3 Metodología experimental

Para la construcción de la curva de la solubilidad del sistema isopropanol-agua-hexano trabajado a tres temperaturas las cuales son de 10, 30 y de 50 °C (± 5 °C); se prepararon mezclas isopropanólicas de hexano y de agua a 5, 25, 45, 65, 85 y 90 % en peso, las cuales fueron expuestas a análisis de densidad, índice de refracción y de distribución de soluto en los solventes. Con los datos obtenidos de índice de refracción, se utilizó el método de picnometría; para determinar su relación con respecto de la concentración

2.4 Procedimiento

Se prepararon soluciones de 5, 25, 45, 65, 85 y 90 % de isopropanol en hexano.

Se prepararon soluciones de 5, 25, 45, 65, 85 y 90 % de isopropanol en agua.

Se tomó una alícuota de cada solución y se midió el índice de refracción.

Se tomó una alícuota de cada solución y se midió la densidad por medio de un picnómetro.

Se tomaron tres alícuotas de 50 ml de cada mezcla y se le agregó agua o hexano según fue el caso; hasta que se presentó la formación de dos fases. (Se anotaron para ello los volúmenes requeridos).

Se construyeron los domos de solubilidad con los datos obtenidos.

Ya contruidos los domos de solubilidad para las tres temperaturas (10, 30 y $50 \pm 5^\circ\text{C}$), se escogieron cinco puntos al azar por debajo del domo y se prepararon las soluciones con las concentraciones respectivas.

Las mezclas obtenidas en el paso anterior, se agitaron por aproximadamente veinticinco minutos.

Luego se dejaron reposar por treinta minutos.

Se separaron las dos fases formadas y se midieron los índices de refracción para cada mezcla.

Todos los pasos anteriores se trabajaron a las tres temperaturas 10, 30 y $50 \pm 5^\circ\text{C}$ y se realizaron 3 repeticiones para cada paso anteriormente mencionado.

2.5 Método para la elaboración de la curva de solubilidad:

2.5.1 Determinación de la densidad

La densidad se determinó por el método de picnometría según la norma ASTM D-145.

3.5.2 Determinación del índice de refracción

Para medir el índice de refracción se utilizó un refractómetro Abbe Modelo 32200, cuyas especificaciones son las siguientes:

Rango de temperatura	0 a 70°C.
Precisión	± 0.0002
Rango de medición	1300-1700

3.6 Análisis estadístico

Se realizó un tratamiento estadístico a los datos obtenidos del experimento para comprobar los resultados bajo las pruebas de Fisher y Duncan.

3.7 Manejo del experimento

Los reactivos fueron proporcionados por el Centro de Investigaciones de Ingeniería en la sección de Química Industrial a excepción del hexano.

3.8 Material y equipo

3..8.1 Material de escritorio

- Papelería y útiles de oficina
- Computadora
- Impresora
- Sistema de Internet

3.8.2 Equipo de laboratorio

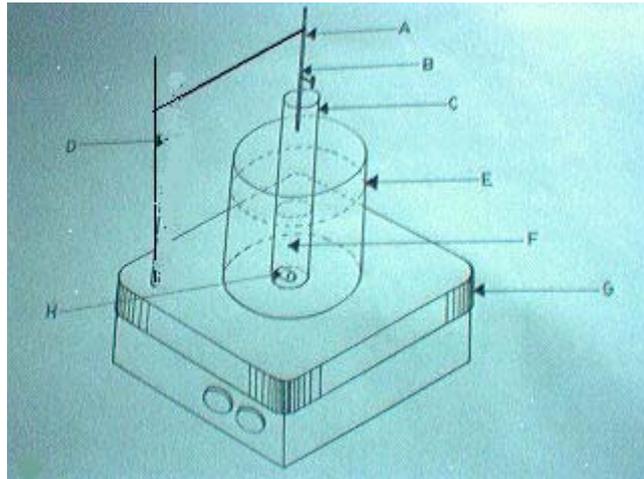
- *Earlenmeyers* Kimax de 25, 50 y 125ml
- Plancha de calentamiento con agitación, modelo 84303-20, marca Corning, con superficie de porcelana
- Pipetas serológicas, Kimax de 1, 2 y 10 ml
- Micro Buretas, Kimax de 10 ml
- Soportes
- Pinzas
- Beackers Kimax de 25, 50, 100 y 1000 ml
- Probetas
- Refrigerador, modelo C 12112-10, 120 VAC, 60Hz, 8 Amps, rango de operación -60 a -20 ° C, compresor de $\frac{1}{4}$ Hp
- Balanza Analítica, Ohaus adventurer, capacidad para 210
gramos
- Refractómetro, Abbe modelo 32200
- Lámpara Ostroboscopia, 117 V, 50-60 Hz
- Circulador modelo C 12112-10, 120 VAC, 60Hz, 9.0 Amps

3.8.3 Prototipo del equipo por utilizar

A continuación se muestra un gráfico isométrico del equipo por utilizar en el laboratorio para determinar el equilibrio líquido-líquido del sistema mencionado.

Figura 3.

Isométrico



De donde:

A : Micro bureta de 10 ml con precisión de +/- 0.025 ml

B: Solvente

C: Tubo Nessler de 100 ml

D: Soporte Universal

E: Beacker de 1000 ml

F: Solución

G: Plancha de calentamiento con agitación, modelo 84303-20,
marca Coming

H: Circulador modelo C 12112-10, 120 VAC, 60Hz, 9.0 Amps

4. RESULTADOS

Figura 4 Curva de correlación para los índices de refracción en función de concentración de la mezcla isopropanol-agua a 10 +/- 5°C.

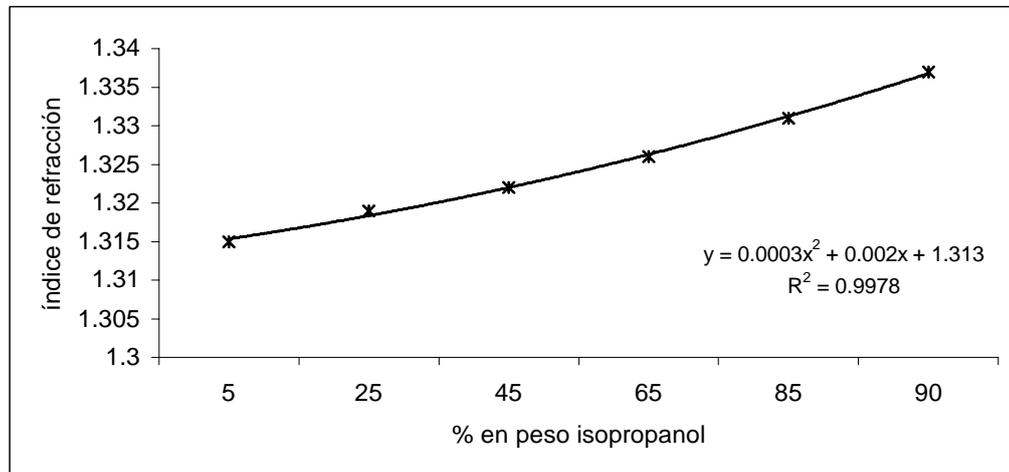


Figura 5 Curva de correlación para los índices de refracción en función de concentración de la mezcla isopropanol-hexano a 10 +/- 5°C.

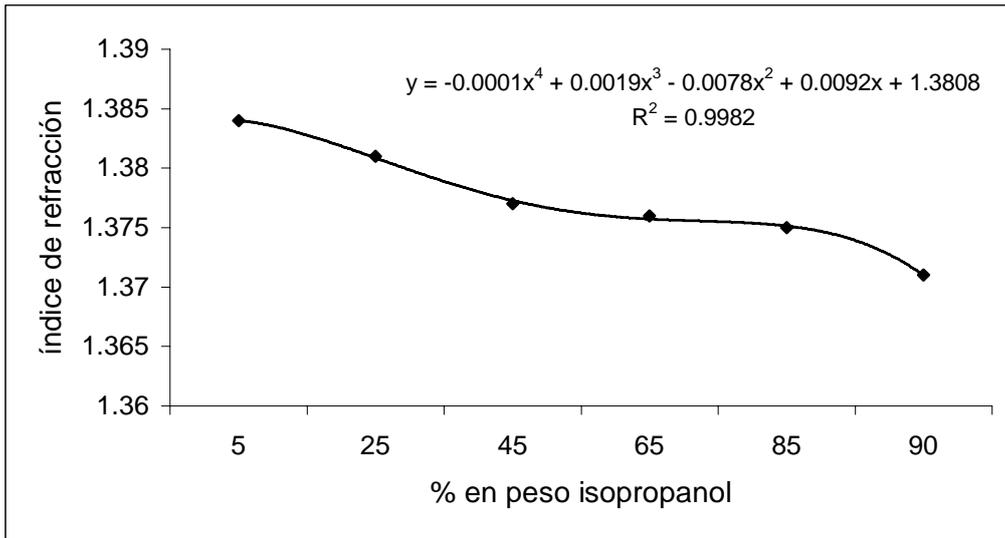


Figura 6 Curva de correlación para los índices de refracción en función de concentración de la mezcla isopropanol-agua a 25 +/- 5°C.

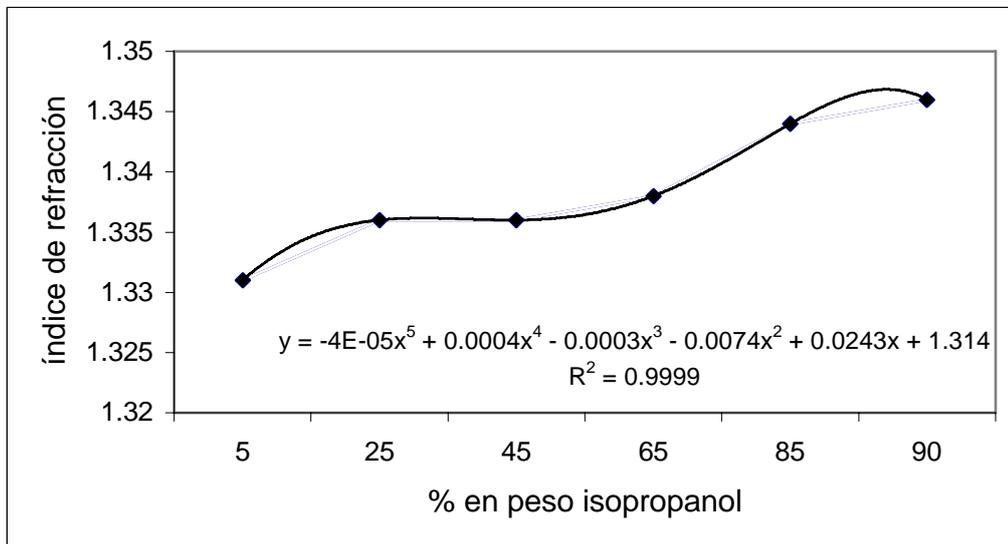


Figura 7 Curva de correlación para los índices de refracción en función de concentración de la mezcla isopropanol-hexano a 25 +/- 5°C.

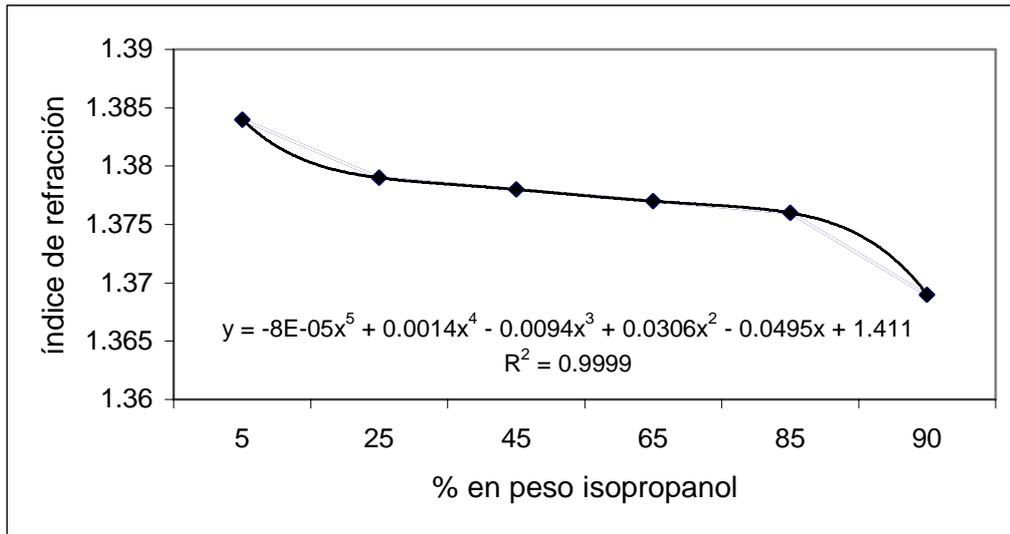


Figura 8 Curva de correlación para los índices de refracción en función de concentración de la mezcla isopropanol-agua a 50 +/- 5°C.

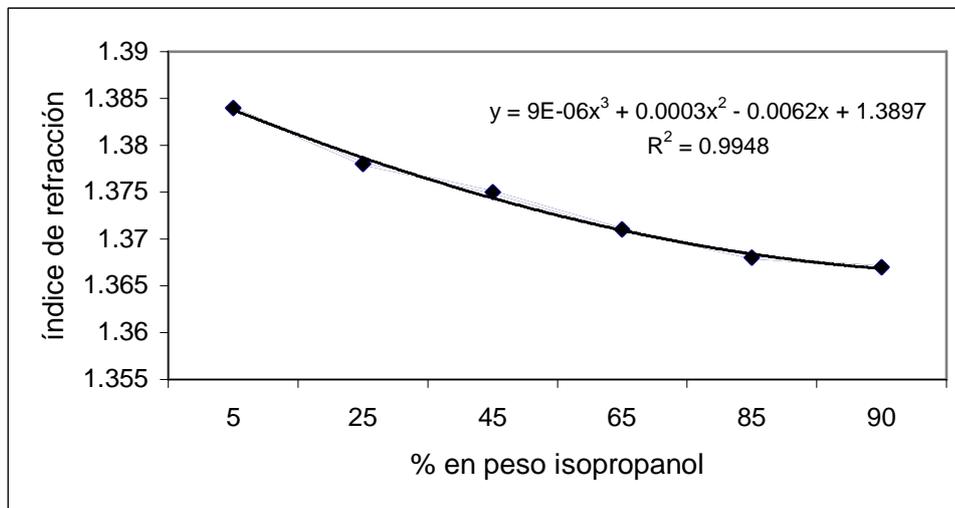


Figura 9 Curva de correlación para los índices de refracción en función de concentración de la mezcla isopropanol-hexano a 50 +/- 5°C.

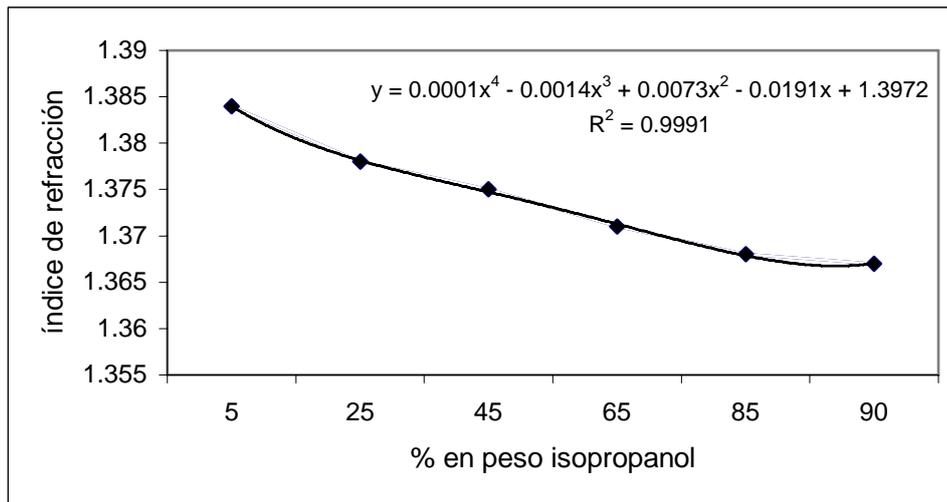


Figura 10 Distribución de datos experimentales promedio, al equilibrio de inmiscibilidad, obtenidos para el sistema isopropanol-hexano-agua a partir de soluciones isopropanólicas de agua y titulación de hexano a 10 ± 5 °C.

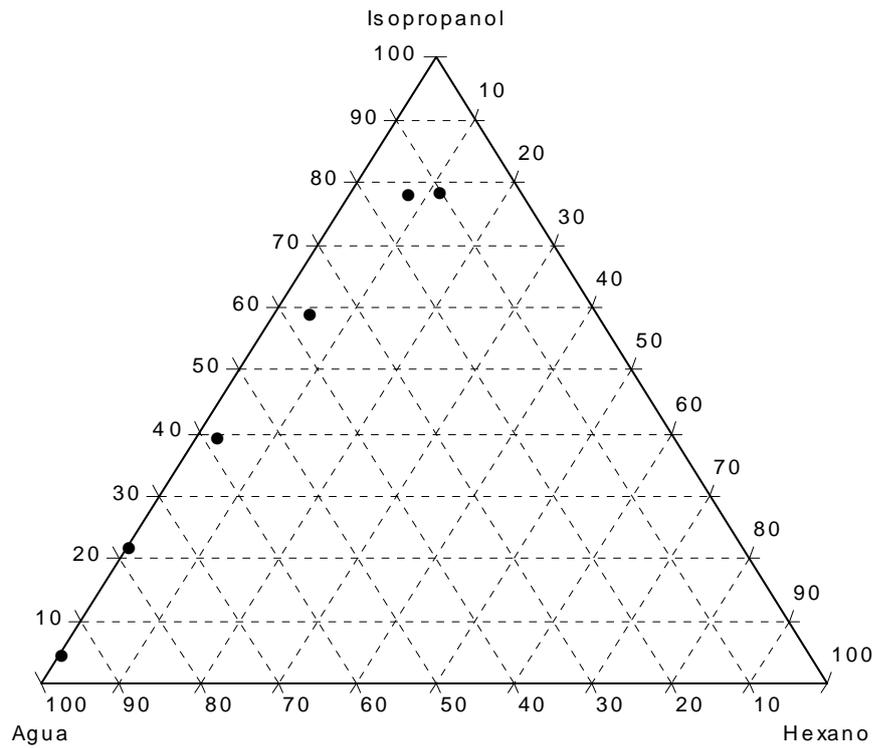


Figura 11 Distribución de datos experimentales promedio, al equilibrio de inmiscibilidad, obtenidos para el sistema isopropanol-hexano-agua a partir de soluciones isopropanólicas de hexano y titulación de agua a 10 ± 5 °C.

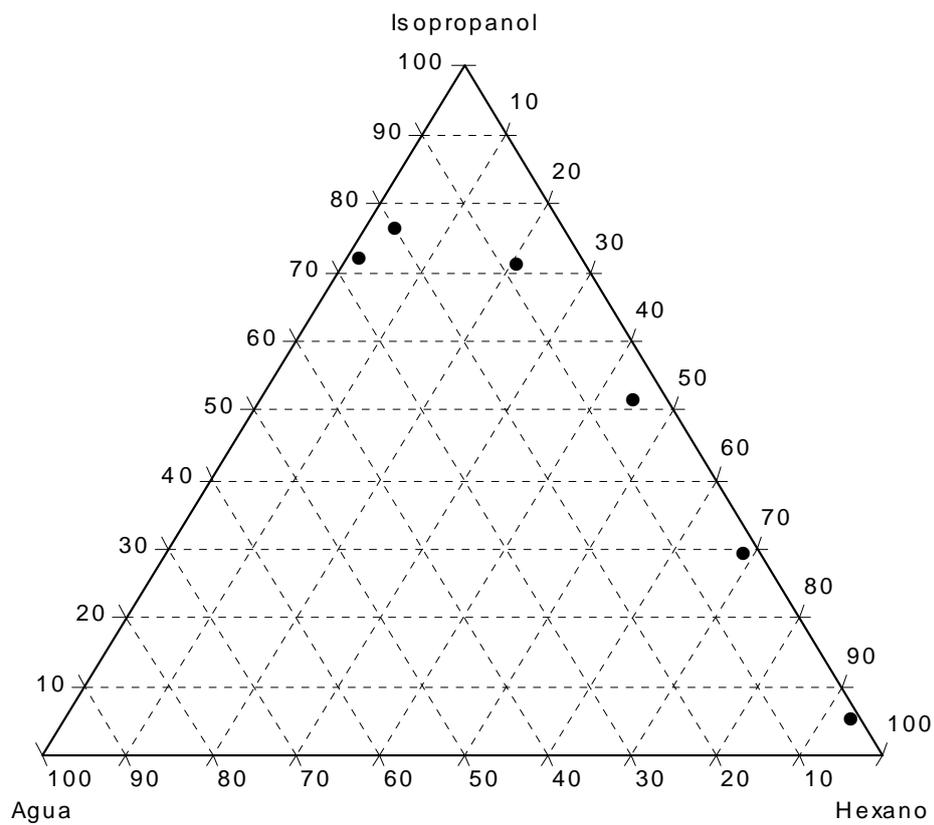


Figura 12 Distribución de los datos experimentales promedio, al equilibrio de inmiscibilidad para el sistema ternario isopropanol-hexano-agua a 10 +/- 5°C.

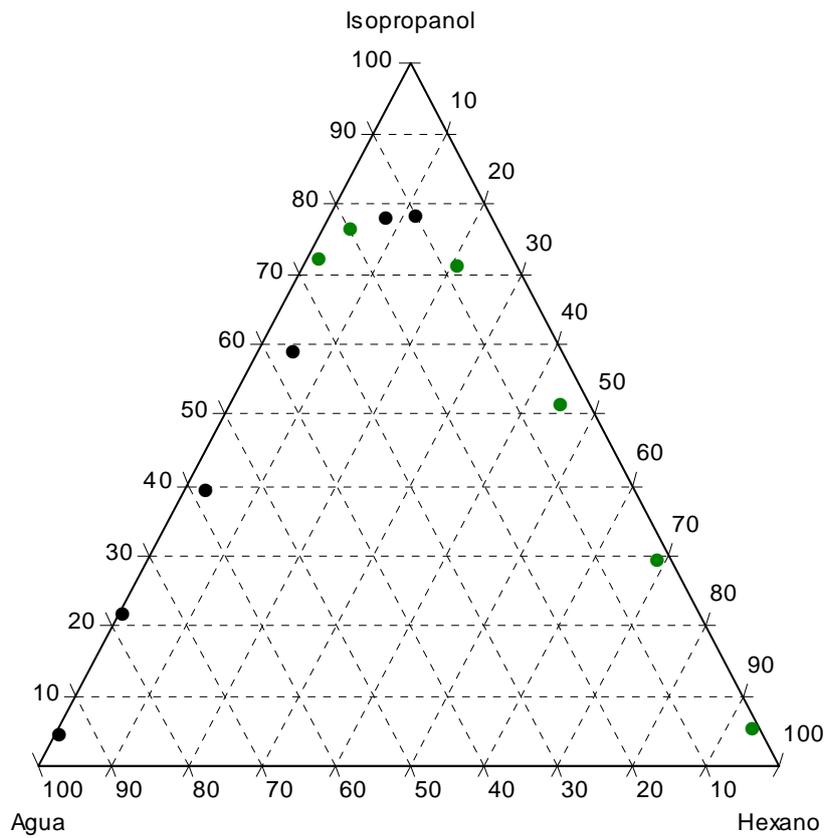


Figura 13 Distribución de datos experimentales promedio, al equilibrio de inmiscibilidad, obtenidos para el sistema isopropanol-hexano-agua a partir de soluciones isopropanólicas de agua y titulación de hexano a 25 +/-5 °C.

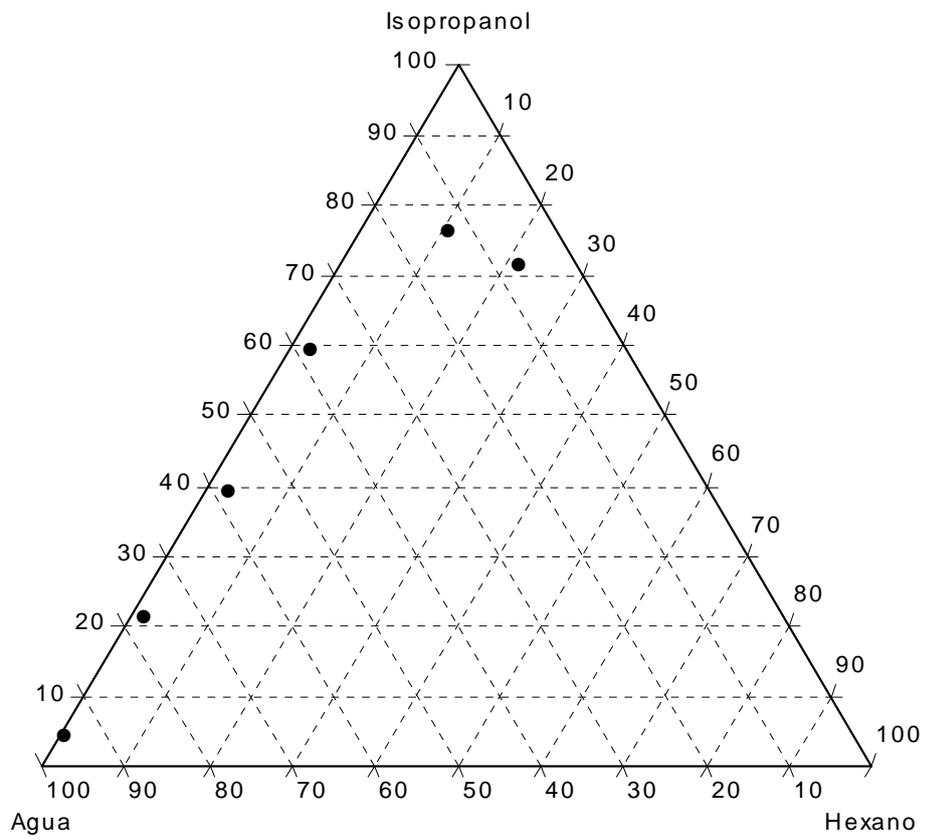


Figura 14 Distribución de datos experimentales promedio, al equilibrio de inmiscibilidad, obtenidos para el sistema isopropanol-hexano-agua a partir de soluciones isopropanólicas de hexano y titulación de agua a 25 +/-5 °C.

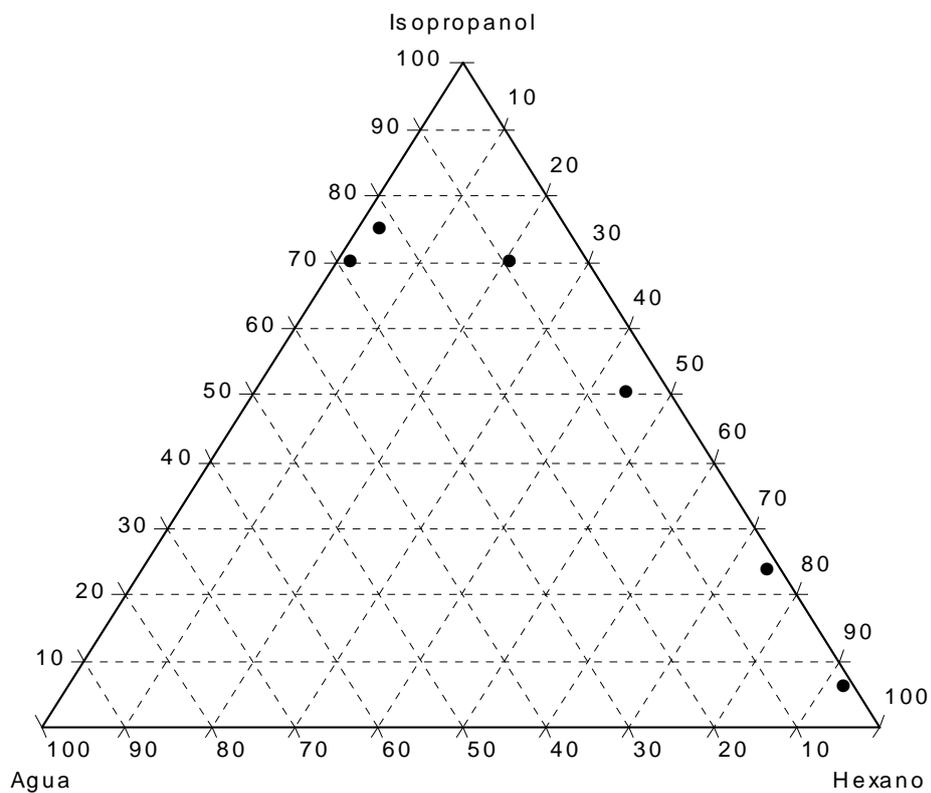


Figura 15 Distribución de los datos experimentales promedio al equilibrio de inmiscibilidad para el sistema ternario isopropanol-hexano-agua a $25 \pm 5^\circ\text{C}$.

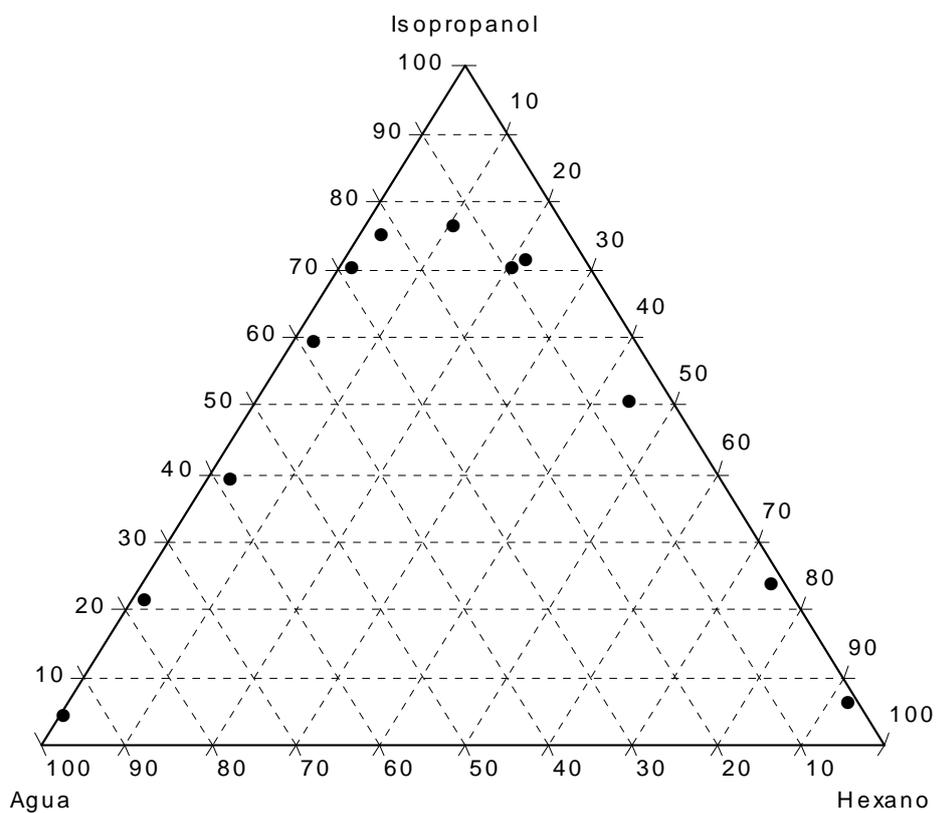


Figura 16 Distribución de datos experimentales promedio, al equilibrio de inmiscibilidad, obtenidos para el sistema isopropanol-hexano-agua a partir de soluciones isopropanólicas de agua y titulación de hexano a 50 +/-5 °C.

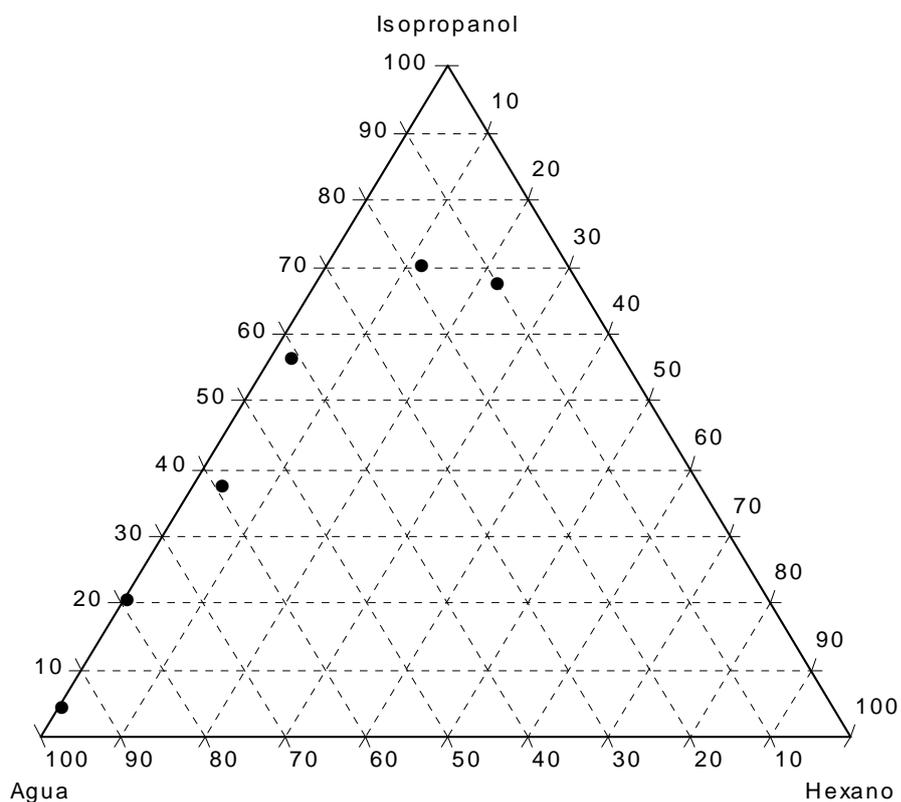


Figura 17 Distribución de datos experimentales promedio, al equilibrio de inm miscibilidad, obtenidos para el sistema isopropanol-hexano-agua a partir de soluciones isopropanólicas de hexano y titulación de agua a 50 +/-5 °C.

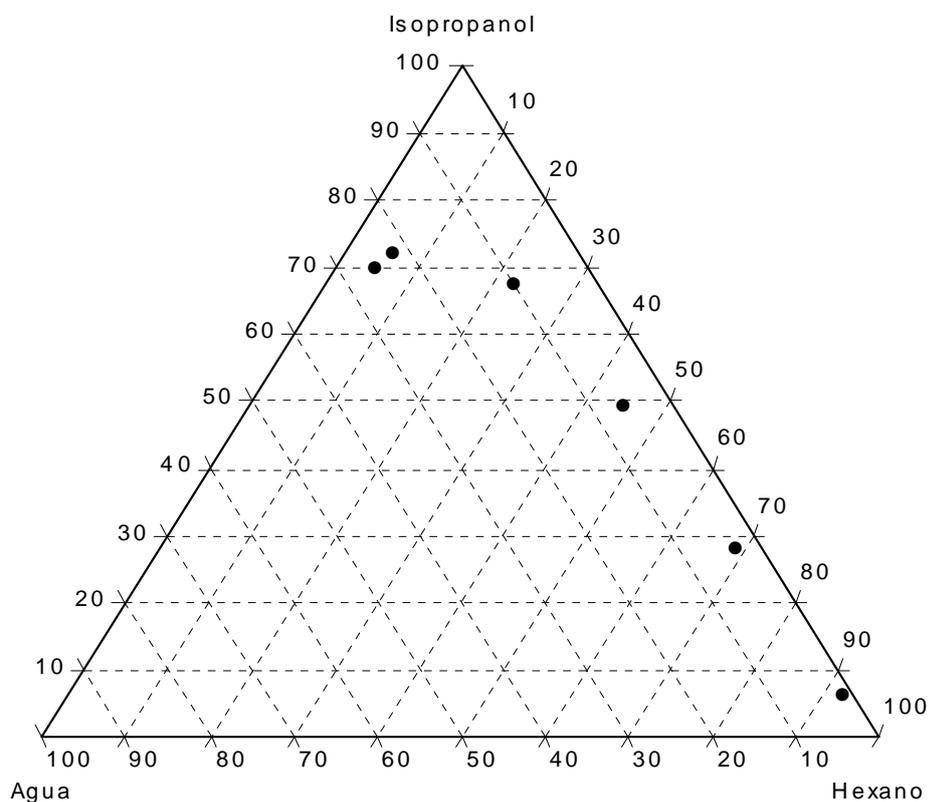


Figura 18 Distribución de los datos experimentales promedio, al equilibrio de inmiscibilidad para el sistema ternario isopropanol-hexano-agua a $50 \pm 5^\circ\text{C}$.

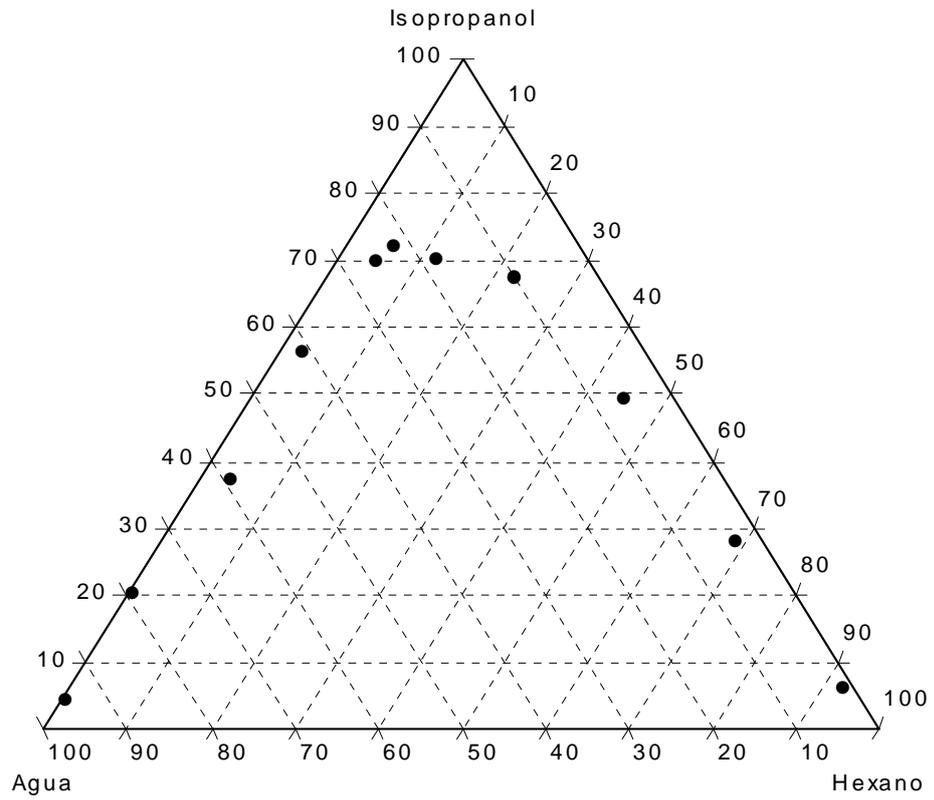
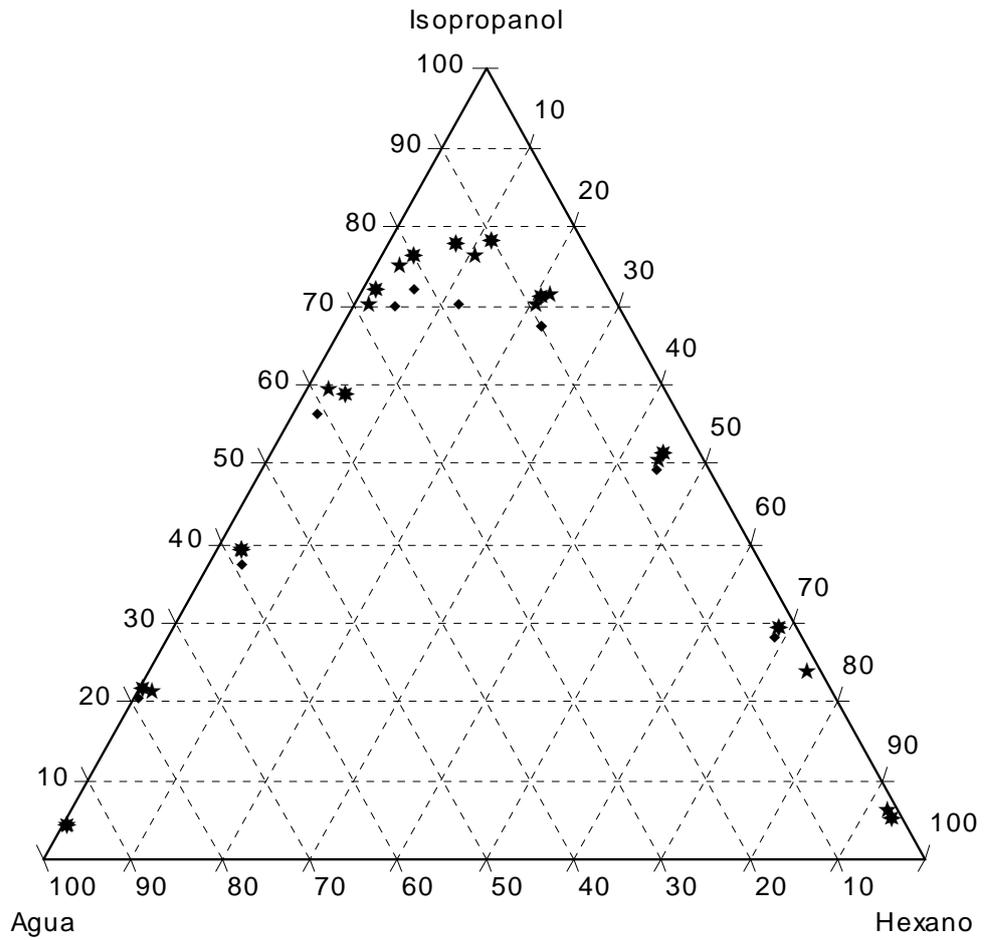
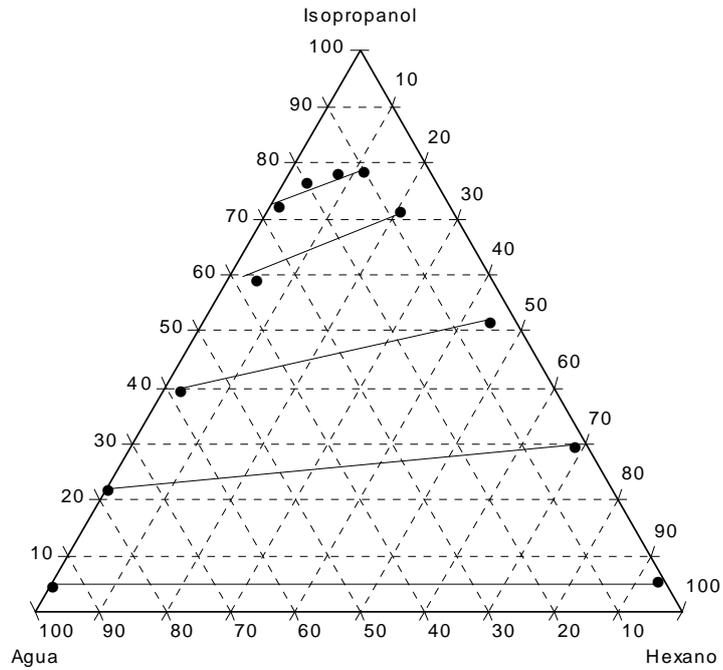


Figura 19 Comparación de las curvas en equilibrio de inmiscibilidad del sistema ternario isopropanol-hexano-agua a las tres temperaturas (10, 25 50 +/- 5°C)



Donde :
 * = Temperatura de 10 +/- 5 °C
 * = Temperatura de 25 +/- 5 °C
 ◆ = Temperatura de 50 +/- 5 °C

Figura 20 Gráfica de construcción de líneas de amarre y punto de pliegue, del sistema isopropanol-hexano-agua a temperatura de 10 +/- 5°C.

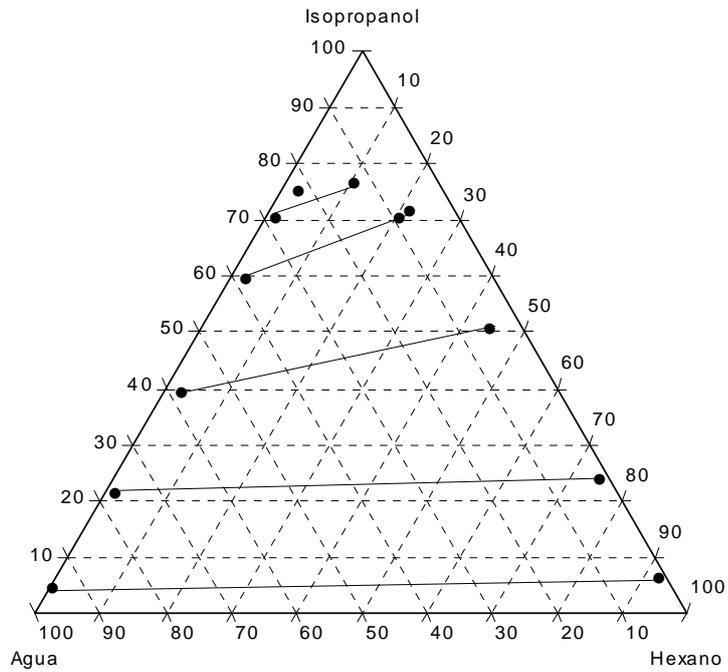


X	7	30	55	77	79
Y	5	21	38	58	73

X = % IPA en agua
Y = % IPA en hexano

IPA en agua = 5.1145 (IPA en hexano) E 1.1827

Figura 21 Gráfica de construcción de líneas de amarre y punto de pliegue, del sistema isopropanol-hexano-agua a temperatura de 25 +/- 5°C.

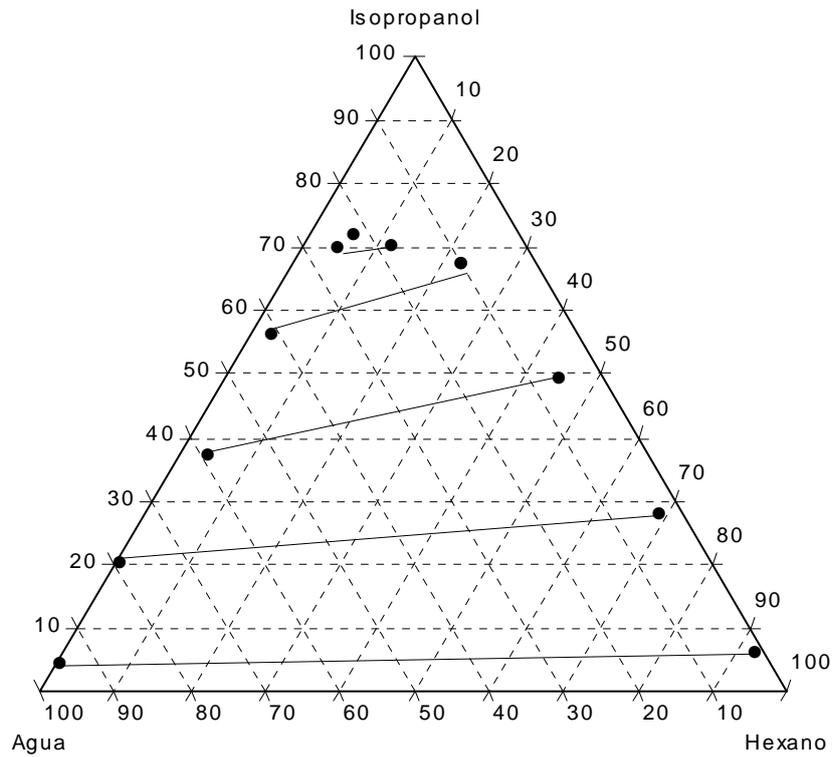


X	9	31	55	77	79
Y	4	20	37	57	70

X = % IPA en agua
Y = % IPA en hexano

$$\text{IPA en agua} = (\text{IPA en hexano})E2 + 12.6(\text{IPA en hexano}) - 9.5$$

Figura 22 Gráfica de construcción de líneas de amarre y punto de pliegue, del sistema isopropanol-hexano-agua a temperatura de 50 +/- 5°C.



X	9	38	50	70	76
Y	5	20	37	55	70

X = % IPA en agua
Y = % IPA en hexano

$$\text{IPA en agua} = -0.1667 (\text{IPA en hexano})^3 + 2(\text{IPA en hexano})^2 + 10.167(\text{IPA en hexano}) - 7$$

Tabla I. Cálculo para el análisis de varianza de tres factores, con varios grupos para la evaluación del grado de diferenciación significativa en el sistema isopropanol-hexano-agua a las tres temperaturas estudiadas.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	Valor experimental para F	Probabilidad	Valor crítico para F
Muestra	6894.74565	3	3447.37283	0.86621538	0.2895452	0.8516550
Columnas	0	1	0	0	1	2.9419810
Interacción	6.28942168	3	3.14471084	0.91289759	0.84564465	2.1577914
Dentro del grupo	99820.2237	72	49910.1119	1		

Tabla II. Valores de los coeficientes de distribución promedio obtenidos a partir del porcentaje de isopropanol distribuido en la fase orgánica (de hexano), dividido el porcentaje de isopropanol distribuido en la fase acuosa.

	TEMPERATURA		
	10 +/- 5°C	25 +/- 5°C	50 +/- 5°C
K	0.361 +/- 0.07	0.360 +/- 0.05	0.186 +/- 0.05

Punto de pliegue promedio para el rango de temperatura de 10 +/- 5°%.

4.00 % isopropanol
19.00 % hexano
77.00 % agua

Punto de pliegue promedio para el rango de temperatura de 25 +/- 5°%.

6.00 % isopropanol
21.00 % hexano
73.00 % agua

Punto de pliegue promedio para el rango de temperatura de 50 +/- 5°%.

8.00 % isopropanol

26.00 %	hexano
66.00 %	agua

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Concluida la parte experimental se interpreta y correlacionan los datos medidos para caracterizar el equilibrio de inmiscibilidad del sistema ternario Isopropanol-hexano-agua, se trabajó a tres temperaturas las cuales son de 10, 25, y 50 \pm 5°. Como el fin primordial del presente trabajo fue determinar el efecto que tiene la temperatura en la construcción de las curvas de equilibrio en dicho sistema, se realizó un análisis de los resultados obtenidos, para lo cual fué preciso mencionar que se obtuvieron veinte resultados principales.

Se correlacionó el porcentaje de isopropanol en agua en función del índice de refracción a temperatura de 10 \pm 5 °C . La figura 1 muestra la gráfica resultante de dicha correlación. La gráfica es ascendente de orden 2 según una regresión no lineal, muestra que existe una relación directamente proporcional entre el aumento del porcentaje en peso y el aumento del índice de refracción.

En el caso de la figura 2 se presenta la correlación de isopropanol en hexano en función del índice de refracción a 10 \pm 5 °C, la ecuación que resulta de esta correlación no lineal es de grado 4 y de forma descendente, es decir al aumentar la concentración disminuye el índice de refracción, la razón por la cual el índice de refracción disminuye se debe a que entre el isopropanol y el hexano existen a nivel molecular fuerzas más fuertes de atracción, respecto que a las de Isopropanol en agua; por lo que estas fuerzas de unión impiden la propagación del haz y de esta manera la lectura del índice es inversamente proporcional a la concentración.

En la figura tres se muestra que la correlación de isopropanol en agua a 25 \pm 5°C es ascendente al igual que la analizada a 10 °C, solamente que

cambia la forma de la correlación ya que esta es polinómica de grado 5, la forma de esta gráfica se debe a que en algunos porcentajes en peso de isopropanol en agua, el índice de refracción no variaba es decir que los índices de refracción quedaban constantes entre por lo menos dos concentraciones. Por su parte en la figura 4 se muestra la correlación del porcentaje de isopropanol en hexano contra el índice de refracción a temperatura de 25 ± 5 °C. En este caso la gráfica no difiere en mayor grado a la correlación de 10°C para el mismo sistema.

Se correlacionó el porcentaje en peso del isopropanol en agua a 50 °C, con lo cual se obtuvo una gráfica descendente polinómica de grado 5, dicha gráfica difiere en cuanto a dirección respecto de las otras dos temperaturas analizadas (10 y 25 °C), esta diferencia es lógica, ya que al aumentar la temperatura y la concentración, las fuerzas intermoleculares de atracción entre el isopropanol y el agua disminuyen

Es preciso mencionar que la temperatura más alta trabajada es de 50 °C ya que a una temperatura más alta se produce la evaporación de los reactivos volviendo mas difícil la caracterización del sistema.

La figura 6 muestra la distribución ternaria de los datos de isopropanol en agua a temperatura de 10 °C, se muestra que la gráfica es ascendente de izquierda a derecha ya que los volúmenes de Isopropanol y de agua son mayores a los de hexano requeridos para alcanzar el equilibrio.

La distribución de datos de isopropanol en hexano a 10 °C se muestra en la figura 7 en donde la curva de equilibrio es ascendente de derecha a izquierda en función del aumento de los porcentajes de isopropanol en hexano, esto muestra que de igual manera que el párrafo anterior el solvente en adición (agua), se encuentra en menor proporción que los otros dos componentes para alcanzar el equilibrio ternario de inmiscibilidad.

La curva de equilibrio de inmiscibilidad del sistema ternario isopropanol-hexano-agua (figura 8), se alcanza uniendo la figura 6 y la figura 7. El domo de

solubilidad presenta un punto máximo estimado en 11% de isopropanol, 10% de hexano y 79% de agua. Este punto indica que son éstas las coordenadas o proporciones indicadas de isopropanol, hexano y agua para alcanzar la solubilidad máxima a la temperatura analizada.

Es importante mencionar que fue esta la temperatura más difícil de trabajar, ya que en la mayoría de veces la temperatura ambiente superaba los 25 °C y el sistema debía de mantenerse a 10 °C por lo que estar controlando la temperatura del sistema era un factor crítico en la experimentación.

La distribución de los datos de isopropanol en agua a temperatura de 25 °C se muestra en la figura 9 la cual tiene el mismo comportamiento que la investigada al 10 °C. La figura 10 muestra los datos obtenidos a partir de las distribuciones de isopropanol en hexano y adición el solvente agua. Esta figura de la misma forma que la anterior, no muestra una diferencia significativa respecto de la anterior. La figura 11 muestra la unión de la figura 9 y 10 la cual representa la caracterización del sistema ternario estudiado a temperatura de 25 °C.

Para la obtención de los datos a temperatura de 50 °C se requirió de una plancha de calentamiento calibrada previamente para fijar la temperatura. En la figura 13 se presentan los datos de isopropanol en agua con adición por titulación de hexano se observa que tiene el mismo comportamiento que las curvas a las otras dos temperaturas analizadas al igual que la figura 14. Un cambio evidente se presenta al hacer la unión de la gráfica 13 y 14 formando la curva de equilibrio completa ya que el domo de la temperatura de 50 °C es menos pronunciado que el domo de la temperatura de 10 °C.

Las coordenadas del punto más alto de esta curva de equilibrio son de 11% isopropanol, 18 % hexano y 71% de agua. Si se compara este valor con el del punto más alto de la curva de solubilidad de 10 °C (11 % Isopropanol, 10 % Hexano y 79% agua), *se deduce que se necesita menos solvente para extraer más soluto (isopropanol) a una temperatura mayor.*

La diferencia se ve más marcada al unir en un solo diagrama (figura 16) las curvas de equilibrio resultantes a las tres temperaturas analizadas. En esta figura se muestra que la curva de menor temperatura (10 °C), se caracteriza por un domo de solubilidad más pronunciado y la curva trabajada a mayor temperatura (50 °C) presenta un domo de solubilidad menor, *es decir se demuestra que a mayor temperatura, disminuye la región de dos fases debajo de la curva binodal.*

Con los resultados obtenidos se demuestra que el isopropanol a las tres temperaturas, presenta una mayor solubilidad en agua que en hexano, esto se debe a que el isopropanol es un soluto prótico al igual que el agua, por lo que existe una mayor afinidad a ésta, a diferencia que con el hexano que es un solvente no polar, en el cual existe una solubilidad limitada. Por lo tanto si se considera al hexano como disolvente extractor, se establece que no es muy bueno para la recuperación de soluciones de isopropanol en agua, *esto se ve demostrado al determinar que los coeficientes de distribución son muy bajos para las tres temperaturas analizadas. Es decir si se analiza el coeficiente de distribución de 10 +/-5 °C (0.361) y el de 50 +/- 5°C (0.186), se demuestra que la distribución del IPA disminuye a la mitad al aumentar la temperatura.*

Se determinó el punto de pliegue para las tres temperaturas analizadas por medio de las figuras 17, 18 y 19. El punto de pliegue es la composición a la cual el extracto es igual a la composición del refinado, esto implica que los tres componentes se encuentran en una sola fase.

El punto de pliegue representa el límite de solubilidad del sistema e indica que para efectuar una mejor extracción, se debe de estar lo mas alejado posible de él. En este punto el coeficiente de distribución de la mezcla ternaria es igual a 1. Este punto se determinó mediante la intersección de la curva de distribución y la línea de 45 °. Los puntos de pliegue obtenidos demuestran tanto que el isopropanol tiene mayor afinidad por el agua que por el hexano y que sí existe una diferencia significativa entre las curvas binodales al equilibrio de inmiscibilidad.

El último resultado presentado muestra, un análisis de varianza entre grupos, para efectos prácticos solamente se analizaron y compararon las curvas de equilibrio con mayores variaciones, es decir las analizadas a temperaturas de 10 y 50 °C, para ello se estableció un nivel de significancia del 5%.

En la Tabla I se muestra, que el valor de la F calculada es menor a la F crítica, para la variable temperatura como fuente de variación. Esto indica que la diferencia entre los datos de inmiscibilidad entre la temperatura mas fría (10 °C) y la temperatura más caliente (50 °C); es significativa, debido a que también cae dentro del límite de significancia. *Por lo que se concluye que sí hay una diferencia significativa entre esas dos temperaturas.*

CONCLUSIONES

1. Para las soluciones de isopropanol en agua a temperaturas de 10 y 25 ± 5 °C, existe una relación directamente proporcional, entre porcentaje de Isopropanol en agua y el índice de refracción, no así para la temperatura de 50 ± 5 °C en la que la relación es inversamente proporcional.
2. Para las soluciones de isopropanol en hexano a las tres temperaturas analizadas, existe una relación inversamente proporcional entre el porcentaje de isopropanol en hexano y el índice de refracción.
3. Para el sistema de isopropanol-hexano-agua existe una relación inversamente proporcional entre la distribución de los datos de equilibrio de inmiscibilidad y la temperatura.
4. Para el sistema analizado existe una mayor afinidad entre el isopropanol y el agua que entre el isopropanol y el hexano.
5. Se determinó que el hexano no resulta ser un buen disolvente extractor debido a los bajos valores de coeficientes de distribución evaluados en el sistema a las tres temperaturas analizadas.
6. A partir de coeficiente de distribución de 10 ± 5 °C (0.361) y el de 50 ± 5 °C 0.186), se demuestra que la distribución del isopropanol en hexano y en agua disminuye el doble al aumentar la temperatura.

7. A partir de los valores de los coeficientes de distribución obtenidos se demuestra que el isopropanol a las tres temperaturas presenta una mayor solubilidad en agua que en hexano
8. Para el sistema isopropanol-hexano-agua a temperatura de $10 \pm 5^\circ\text{C}$ la condición límite de solubilidad representada por el punto de pliegue corresponde a la composición de 4% isopropanol, 77% agua y 19% hexano.
9. Para el sistema isopropanol-hexano-agua a temperatura de $25 \pm 5^\circ\text{C}$ la condición límite de solubilidad representada por el punto de pliegue corresponde a la composición de 6% isopropanol, 73% agua y 21% hexano.
10. Para el sistema isopropanol-hexano-agua a temperatura de $50 \pm 5^\circ\text{C}$ la condición límite de solubilidad representada por el punto de pliegue corresponde a la composición de 8% isopropanol, 66% agua y 26% hexano
11. Se demostró que existe una diferencia significativa entre las isotermas de temperatura de 10°C y 50°C para el sistema de isopropanol-hexano-agua, a partir de las curvas binodales al equilibrio de inmiscibilidad y de los puntos de pliegue obtenidos.

RECOMENDACIONES

1. Caracterizar un sistema ternario que presente un alcohol de mayor número de carbonos de menor volatilidad y trabajar a temperaturas más extremas, por ejemplo 5 °C y 60 °C para determinar de esa forma el efecto de la temperatura y la afinidad por el solvente no polar.
2. Para soluciones muy diluidas de isopropanol tanto en agua (menores que 5%), como en hexano, es necesario utilizar volúmenes de alícuotas muy pequeñas y tubo de Nessler de diámetro menor, para poder visualizar de esta manera el cambio de fase.
3. Investigar el equilibrio ternario de un aceite esencial por ejemplo de Eucalipto, en relación al agua y hexano, para determinar la selectividad y el grado de recuperabilidad que defina a ese equilibrio ternario, con el fin de aplicarlo en la destilación por arrastre con vapor en la Planta Piloto de Extracción, del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala..
4. Utilizar el paquete de software *TriDraw 4.1* como herramienta de procesamiento de datos, cuando se investigue un sistema ternario líquido-líquido.

BIBLIOGRAFÍA

1. *Farrington Daniels* **Fisicoquímica**. 1ª. Edición en español. Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. México, 1984.
2. *Levine Ira*. **Fisicoquímica** 1ª. Edición en español. Editorial McGraw-Hill.
México, 1991.
3. *Merck*. **“Merck Index”**. 8a. Edición. Editorial Merck & CO., Inc. Estados Unidos, 1968.
4. *Perry, Robert* **Manual del ingeniero químico**. Tomo IV. Sexta edición. Traducida del inglés, por: Fernando Corral García. Editorial McGraw-Hill. México, 1992.
5. *Kirk, Raymond*. **Enciclopedia de tecnología química**. Volumen 4. 1ª. Edición en español. Traducido por: Dr. Oscar Carrera. Editorial UTEHA. México, 1966.
6. *Treybal, Robert* **Operaciones de transferencia de masa**, Editorial Hispano Americana, 1968.

7. Hualde Jose I. TriDraw 4.1, Versión 4.1, Reg.NetID:5109 Technical Support.

<http://rt0323e.eresmas.net>.

APÉNDICE 1 DATOS ORIGINALES

Tabla III. Datos de los índices de refracción obtenidos para las soluciones de isopropanol en agua y titulación de hexano, para cada fase formada a temperatura de 10 +/- 5 °C.

Concentración	Primera corrida			Segunda corrida			Tercera corrida		
	Volumen de hexano	índice de refracción		Volumen de hexano	Índice de refracción		Volumen de hexano	índice de refracción	
		Fase agua	Fase hexano		Fase Agua	Fase Hexano		Fase agua	Fase hexano
5	0.55	1.341	1.340	0.60	1.341	1.341	0.60	1.341	1.340
25	0.75	1.351	1.350	0.75	1.353	1.354	0.75	1.353	1.354
45	3.00	1.364	1.363	2.80	1.363	1.362	2.85	1.364	1.362
65	2.00	1.369	1.368	1.85	1.369	1.368	2.10	1.369	1.368
85	5.25	1.371	1.370	5.20	1.371	1.370	5.25	1.371	1.371
90	8.00	1.371	1.371	8.00	1.371	1.370	8.00	1.372	1.371

Tabla IV. Datos de los índices de refracción obtenidos para las soluciones de isopropanol en hexano y titulación de agua, para cada fase formada a temperatura de 10 +/- 5 °C.

Concentración	Primera corrida			Segunda corrida			Tercera corrida		
	Volumen de agua	Índice de refracción		Volumen de agua	índice de refracción		Volumen de agua	índice de refracción	
		Fase agua	Fase hexano		Fase agua	Fase hexano		Fase agua	Fase hexano
5	0.15	1.386	1.374	0.15	1.388	1.371	0.10	1.387	1.372
25	0.70	1.374	1.375	0.70	1.372	1.376	0.65	1.376	1.376
45	1.50	1.373	1.375	1.40	1.372	1.375	1.40	1.373	1.376
65	3.00	1.380	1.372	2.90	1.381	1.373	3.00	1.380	1.372
85	6.50	1.372	1.372	6.75	1.372	1.372	6.55	1.371	1.372
90	10.00	1.371	1.372	9.75	1.372	1.371	10.00	1.371	1.372

Tabla V. Datos de los índices de refracción obtenidos para las soluciones de isopropanol en agua y titulación de hexano, para cada fase formada a temperatura de 25 +/- 5 °C.

Concentración	Primera corrida			Segunda corrida			Tercera corrida		
	Volumen de hexano	Índice de refracción		Volumen de hexano	Índice de refracción		Volumen de hexano	Índice de refracción	
		Fase agua	Fase hexano		Fase agua	Fase hexano		Fase agua	Fase hexano
5	0.75	1.341	1.340	0.60	1.340	1.340	0.70	1.341	1.340
25	1.00	1.351	1.337	0.90	1.352	1.343	0.85	1.353	1.349
45	2.00	1.364	1.360	1.70	1.367	1.356	1.75	1.366	1.366
65	1.80	1.369	1.385	1.75	1.368	1.383	1.70	1.368	1.383
85	7.20	1.371	1.384	6.75	1.369	1.383	7.00	1.368	1.383
90	13.50	1.372	1.384	13.50	1.372	1.384	13.00	1.370	1.384

Tabla VI. Datos de los índices de refracción obtenidos para las soluciones de isopropanol en hexano y titulación de agua, para cada fase formada a temperatura de 25 +/- 5 °C.

Concentración	Primera corrida		Segunda corrida		Tercera corrida	
	Volumen de agua	Índice de refracción	Volumen de agua	Índice de refracción	Volumen de agua	Índice de refracción

5	0.25	1.385	1.368	0.25	1.387	1.370	0.20	1.384	1.368
25	1.00	1.373	1.373	1.10	1.373	1.373	0.90	1.373	1.373
45	2.30	1.374	1.374	2.20	1.374	1.373	2.00	1.372	1.374
65	3.75	1.374	1.373	3.70	1.372	1.372	3.85	1.372	1.372
85	8.5	1.374	1.374	8.50	1.373	1.373	8.50	1.372	1.374
90	13.1	1.374	1.373	13.10	1.374	1.373	13.10	1.372	1.372

Tabla IX. Datos de pesos de las soluciones binarias de isopropanol en agua e Isopropanol en hexano a temperatura de 10 +/- 5 °C, utilizando un picnómetro de 10.705 ml y 28.135g de peso.

	% en peso nominal	Peso de la mezcla + peso del picnómetro			Índice de Refracción		
		Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
Isopropanol en agua	5	40.482	40.478	1.478	1.337	1.336	1.335
	25	40.228	40.248	40.231	1.331	1.333	1.331
	45	39.914	39.911	39.915	1.332	1.340	1.337
	65	39.510	39.510	39.504	1.337	1.338	1.341
	85	38.895	38.896	38.901	1.346	1.340	1.345
	90	38.371	38.369	38.374	1.347	1.347	1.345
Isopropanol en hexano	5	37.137	37.166	37.181	1.383	1.385	1.385
	25	37.434	37.434	37.434	1.373	1.38	1.38
	45	37.531	37.546	37.575	1.38	1.379	1.38
	65	37.929	37.909	37.911	1.378	1.38	1.377
	85	38.166	38.176	38.174	1.38	1.374	1.375
	90	38.247	38.242	38.242	1.37	1.368	1.368

Tabla X. Datos de pesos de las soluciones binarias de isopropanol en agua e isopropanol en agua a temperatura de 25 +/- 5 °C, utilizando un picnómetro de 10.705 ml y 28.135g de peso.

	% en peso nominal	Peso de la mezcla + peso del picnómetro			índice de refracción		
		Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
Isopropanol en agua	5	40.409	40.382	40.462	1.341	1.342	1.341
	25	40.139	40.139	40.14	1.352	1.353	1.352
	45	39.736	39.735	39.734	1.362	1.361	1.361
	65	39.343	39.342	39.343	1.367	1.367	1.367
	85	38.801	38.775	38.761	1.369	1.370	1.369
	90	38.566	38.558	38.566	1.37	1.370	1.369
Isopropanol en hexano	5	36.023	36.056	36.032	1.384	1.384	1.384
	25	36.264	36.27	36.293	1.379	1.378	1.378
	45	36.476	36.535	36.509	1.375	1.374	1.375
	65	36.787	36.781	36.771	1.371	1.372	1.371
	85	37.012	37.046	37.063	1.367	1.368	1.368
	90	37.035	37.061	37.088	1.367	1.367	1.367

Tabla XI. Datos de pesos de las soluciones binarias de isopropanol en agua e isopropanol en hexano a temperatura de 50 +/- 5 °C, utilizando un picnómetro de 10.705 ml y 28.135g de peso.

	% en peso nominal	Peso de la mezcla + peso del picnómetro			índice de refracción		
		Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
Isopropanol en agua	5	40.49	40.489	40.489	1.315	1.314	1.316
	25	40.228	40.248	40.231	1.319	1.321	1.32
	45	39.914	39.911	39.915	1.322	1.322	1.322
	65	39.51	39.1	39.504	1.326	1.324	1.327
	85	38.895	38.896	38.901	1.331	1.331	1.331
	90	38.901	38.901	38.881	1.337	1.338	1.336
Isopropanol en Hexano	5	38.149	38.15	38.149	1.384	1.383	1.385
	25	38.138	38.138	38.14	1.381	1.382	1.379
	45	38.112	38.115	38.112	1.377	1.376	1.375
	65	37.989	37.987	37.988	1.376	1.376	1.376
	85	37.954	37.954	37.954	1.375	1.375	1.375
	90	37.941	37.943	37.942	1.371	1.37	1.372

Tabla XII. Datos de los índices de refracción obtenidos para cada par de soluciones conjugadas (fase hexano y fase agua) obtenidas para cada mezcla ternaria reproducida a temperatura de.

Porcentaje en peso	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
--------------------	-----------	-----------	-----------

hexano	agua	isopropanol	Fase	índice de refracción	Volumen	índice de refracción	Volumen	índice de refracción	Volumen
70	10	20	hexano	1.385	33	1.384	34	1.384	33
			agua	1.367	14	1.367	14	1.366	16
30	40	30	hexano	1.385	13	1.384	13	1.385	12
			agua	1.364	35	1.364	34	1.36	33
40	20	40	hexano	1.384	20	1.384	20	1.384	20
			agua	1.368	30	1.384	30	1.384	30
20	10	70	hexano	1.383	5	1.383	5	1.383	5
			agua	1.37	45	1.37	45	1.37	45
20	60	20	hexano	1.384	9	1.384	9	1.385	10
			agua	1.355	41	1.355	41	1.355	40

APÉNDICE 2 MUESTRA DE CÁLCULO

1. Para determinar la media aritmética se realizó el siguiente cálculo:

$$X = \frac{\text{Sum } Xi}{N}$$

Donde:

X = media aritmética

Sum = sumatoria de datos

N = número de datos

Cálculo de la media aritmética del peso de las solución de Isopropanol en agua al 5% en peso a temperatura de 10 +/- 5°C.

$$X = (40.482 + 40.482 + 40.478) / 3 = 40.481g$$

1.2 Cálculo de la media aritmética de los índices de refracción de l isopropanol en agua a temperatura de de 10 +/- 5°C.

$$X = (1.331 + 1.330 + 1.332) / 3 = 1.331$$

Los resultados de todas las medias aritméticas tanto de pesos como de índice de refracción, se presentan en la sección de datos calculados.

2. Para determinar la densidad de las soluciones se realizó el siguiente cálculo:

$$D = (P_t - P_p) / V_p$$

Donde:

D = Densidad

P_t = Peso total (peso de la solución mas peso del picnómetro)

P_p = Peso del picnómetro

V_p = Volumen del picnómetro utilizado

- 2.1 Cálculo de la densidad de la solución al 5% de Isopropanol en agua a temperatura de 10 +/- 5°C.

$$D = (40.482 - 30.705) / 10.750 = 0.9132 \text{ g / ml}$$

3. Para determinar la concentración real de porcentaje en peso de las soluciones se realizó el siguiente cálculo:

$$C = (D_{\text{Iso}} X / D_{\text{sol}}) * 100$$

Donde:

C = concentración real de la solución (porcentaje en peso)

D_{Iso} = densidad de isopropanol a la temperatura analizada.

X = porcentaje en peso nominal

D_{sol} = densidad de la solución

- 3.1 Cálculo de la concentración real de la solución isopropanol en agua al 5% en peso nominal.

$$C = (0.7046 \times 0.05) / 0.9132 = 3.8579$$

Los resultados de las concentraciones reales de todos los porcentajes y temperaturas evaluadas se presentan en la sección de datos calculados.

4 Para la determinación de la curva de correlación de las soluciones binarias isopropanol-agua e isopropanol-hexano, se utilizó el programa de cálculo Excel.

4.1 Ecuación y coeficiente de correlación para la gráfica de concentración contra índice de refracción para el sistema isopropanol en agua a temperatura de 10 +/-5°C.

$$Y = 0.0003 \times E2 + 0.002 \times x + 1.313$$

Donde:

Y = índice de refracción

C = concentración (porcentaje en peso real)

4.2 Ecuación y coeficiente de correlación para la gráfica de concentración contra índice de refracción para el sistema isopropanol en agua a temperatura de 10 +/-5°C.

$$Y = -0.0001 \times E4 + 0.0019 \times E2 - 0.0078 \times E2 + 0.0092 \times x + 1.3808$$

Donde:

Y = índice de refracción

C = concentración (porcentaje en peso real)

Los resultados de todas las ecuaciones, tanto de isopropanol en agua como de isopropanol en hexano a las tres temperaturas analizadas se presentan en la sección de resultados.

5. Para determinar la composición porcentual de las mezclas ternarias, se utilizaron las siguientes fórmulas.

$$M_t = V_2 D_2 + V_1 D_{sol}$$

$$\% \text{ soluto} = x V_1 D_{iso} / M_t$$

$$\% \text{ solvente adicionado} = V_2 D_2 / M_t$$

$$\% \text{ solvente 1} = (V_1 D_{sol} - x V_1 D_{iso}) / M_t$$

Donde:

M_t = masa total de la mezcla ternaria

V_2 = volumen del solvente en adición (hexano o agua)

D_2 = densidad del solvente en adición

V_1 = volumen de la alícuota a titular

D_{sol} = densidad de la solución por titular

X = porcentaje en peso nominal

D_{iso} = densidad del isopropanol a la temperatura

analizada.

Cálculo de la composición porcentual de la mezcla ternaria formada a partir de isopropanol en agua al 5 % en peso nominal y la titulación de hexano; a temperatura de 25 +/- 5°C.

$$M_t = (0.70 \text{ ml}) (0.9997 \text{ g/ml}) + (50 \text{ ml}) (0.9132) = 46.1274 \text{ g}$$

$$\% \text{ de Isopropanol} = [[(0.05) * 50 \text{ ml} * 0.7648 \text{ g/ml}] / 46.1274] * 100 = 4\%$$

$$\% \text{ de Agua} = [[(50 - 0.9132) - 0.05] * 50 * 0.7648 \text{ g/ml}] / 46.1274] * 100 = 95\%$$

$$\% \text{ de Hexano} = [(0.7 \text{ ml} * 0.6634 \text{ g/ml}) / 46.1274] * 100 = 1 \%$$

Cálculo de la composición porcentual de la mezcla ternaria formada a partir de isopropanol en hexano al 5 % en peso nominal y la titulación de agua; a temperatura de 25 +/- 5°C.

$$M_t = (0.22 \text{ ml}) (0.9997 \text{ g/ml}) + (50 \text{ ml}) (0.6494) = 32.6899 \text{ g}$$

$$\% \text{ de Isopropanol} = [[(0.05) * 50 \text{ ml} * 0.7648 \text{ g/ml}] / 32.6899] * 100 = 6\%$$

$$\% \text{ de Hexano} = \left[\frac{[(50 - 0.649) - 0.05] \cdot 50 \cdot 0.7648 \text{ g/ml}}{32.6899} \right] \cdot 100 = 93\%$$

$$\% \text{ de Agua} = \left[\frac{0.22 \text{ ml} \cdot 0.9997 \text{ g/ml}}{32.6899} \right] \cdot 100 = 1\%$$

Los resultados de los porcentajes en peso, de todas las concentraciones realizadas a las tres temperaturas se presentan en la sección de datos calculados.

6. Para la obtención de la curva binodal, se graficaron las composiciones porcentuales en peso de las mezclas ternarias formadas por medio del paquete de *software* TriDraw 4.0, representando de esa manera el equilibrio de inmiscibilidad al equilibrio en un diagrama triangular, los cuales se muestran en la sección de resultados.
7. A partir de la elaboración de las mezclas ternarias de los cinco puntos escogidos bajo la curva, se determinó la composición del Isopropanol en la fase de hexano y en la fase de agua por medio de las siguientes ecuaciones.

Fase de agua = Se sustituye el valor del índice de correlación de la mezcla más densa formada (fase de abajo), en la ecuación de correlación de isopropanol en agua a la temperatura analizada.

Fase de hexano = Se sustituye el valor del índice de correlación de la mezcla menos densa formada (fase de arriba), en la ecuación de correlación de isopropanol en hexano a la temperatura analizada.

7.1 Cálculo de la composición de isopropanol en la fase de Agua a partir de la mezcla ternaria formada.

$$1.367 = 0.0003 \cdot E2 + 0.002 \cdot x + 1.313$$

$$x = 5.131$$

7.2 Cálculo de la composición de Isopropanol en la fase de hexano a partir de la mezcla ternaria formada.

$$1.385 = -0.0001 \times E4 + 0.0019 \times E2 - 0.0078 \times E2 + 0.0092 \\ x + 1.3808 \\ x = 0.896$$

8. Para trazar las curvas de unión, se graficaron los datos de las composiciones porcentuales de isopropanol en cada fase y se grafican en el diagrama triangular, posteriormente se unen dichos puntos mediante líneas de unión.

9. Para la obtención del punto de pliegue se procede la obtención de la curva de distribución, graficando los porcentajes de isopropanol en la fase de hexano contra los porcentajes de isopropanol en la fase de agua, así como la línea de 45 ° en un sistema de coordenadas rectangulares. Luego cada línea de unión en cada fase se proyecta desde el diagrama triangular, hacia la curva de distribución obtenida, los porcentajes de isopropanol en hexano se localizan en la curva de distribución y los porcentajes de isopropanol en agua se localizan en la línea de 45 °. El punto de pliegue viene dado por el punto en el cual, la curva de distribución intercepte la línea de 45°, es decir el porcentaje de isopropanol en el extracto es igual al porcentaje de Isopropanol en el refinado.

10. Para la determinación del coeficiente de distribución se realizó el siguiente cálculo.

$$K = Y / X$$

Donde:

K = Coeficiente de distribución

Y = Concentración al equilibrio de isopropanol en la fase del extracto

X = Concentración al equilibrio de isopropanol en la fase del refinado

10.1 Determinación del coeficiente de distribución para el punto 70% hexano, 10 % agua y 20 % isopropanol.

$$K = 0.896 / 5.132 = 0.3816$$

APÉNDICE 3 DATOS CALCULADOS

Tabla XIII. Datos de las densidades promedio de las soluciones de isopropanol en agua e isopropanol en hexano a las temperaturas de 10, 25 y 50 +/- 5°C respectivamente.

	% en peso nominal	Densidad		
		T = 10 °C	T = 23 °C	T = 50 °C
Isopropanol en agua	5	0.9140	0.9132	0.9472
	25	0.8903	0.8903	0.9212
	45	0.8602	0.8602	0.8834
	65	0.8096	0.8096	0.8468
	85	0.7653	0.7653	0.7941
	90	0.7650	0.7161	0.7740
	100	0.7648	0.7472	0.7698
Isopropanol en hexano	5	0.7417	0.6494	0.6353
	25	0.7407	0.6749	0.6576
	45	0.7383	0.6858	0.6792
	65	0.7267	0.7200	0.7047
	85	0.7235	0.7439	0.7290
	90	0.7224	0.7506	0.7310
	100	0.7648	0.7472	0.7698

Tabla XIV. Datos de las concentraciones reales e índices de refracción promedio, de las soluciones de Isopropanol en agua e Isopropanol en hexano a las temperaturas de 10, 25 y 50 +/- 5°C respectivamente.

	% en peso nominal	Temperatura 10 °C		Temperatura 25 °C		Temperatura 50 °C	
		Concentración real	índice de refracción	Concentración real	índice de refracción	Concentración real	índice de refracción
Isopropanol en agua	5	3.8545	1.3150	3.8579	1.3310	3.7194	1.3840
	25	19.7855	1.3190	19.7855	1.3360	19.1220	1.3780
	45	36.8605	1.3220	36.8605	1.3360	35.8912	1.3750
	65	56.5727	1.3260	56.5727	1.3380	54.0867	1.3710
	85	78.2601	1.3310	78.2601	1.3440	75.4186	1.3680
	90	82.8940	1.3370	88.5491	1.3460	81.9336	1.3670
Isopropanol en hexano	5	4.7496	1.3840	5.4246	1.3840	5.5453	1.3840
	25	23.7801	1.3810	26.0995	1.3790	26.7866	1.3780
	45	42.9432	1.3770	46.2325	1.3780	46.6839	1.3750
	65	63.0259	1.3760	63.6119	1.3770	64.9920	1.3710
	85	82.7803	1.3750	80.5140	1.3760	82.1509	1.3680
	90	87.7857	1.3710	84.4897	1.3690	86.7499	1.3670

Tabla XV. Datos de la composición porcentual de las mezclas ternarias formadas a partir de isopropanol en agua e Isopropanol en hexano a temperatura de 10+/- 5°C respectivamente, necesarios para graficar la curva binodal.

	% en peso nominal	Volumen de hexano o agua	Masa total	% Isopropanol	% Hexano	% Agua
Isopropanol en agua	5	0.7	46.1274	4	1	95
	25	0.9	45.1169	21	2	77
	45	1.82	44.2265	39	3	58
	65	1.75	41.6482	59	3	38
	85	6.98	42.9316	76	11	13
	90	13.33	44.7210	71	22	7
Isopropanol en hexano	5	0.22	32.6899	6	93	1
	25	0.66	33.1298	29	69	2
	45	1.56	34.0295	50	54	5
	65	3.17	35.6390	70	21	9
	85	8.98	41.4473	75	3	22
	90	13.76	46.2259	70	2	28

Tabla XVI. Datos de la composición porcentual de las mezclas ternarias formadas a partir de Isopropanol en agua e Isopropanol en hexano a temperatura de 25+/- 5°C respectivamente, necesarios para graficar la curva binodal

	% en peso nominal	Volumen de hexano	Masa total	% Isopropanol	% Hexano	% Agua
Isopropanol en agua	5	0.6	47.7607	4	1	95
	25	0.5	46.3938	20	1	79
	45	2.78	46.0299	37	4	59
	65	2.12	43.7561	56	3	41
	85	7.98	45.0420	70	12	18
	90	17.12	50.1466	67	23	10
Isopropanol en hexano	5	0.23	32.6999	6	94	1
	25	1	33.4697	28	69	3
	45	2.16	34.6294	49	45	6
	65	3.76	36.2289	67	23	10
	85	8.5	40.9675	78	2	21
	90	13.1	45.5661	74	1	25

Tabla XVII. Datos de la composición porcentual de las mezclas ternarias formadas a partir de Isopropanol en agua e isopropanol en hexano a temperatura de 50+/- 5°C respectivamente, necesarios para graficar la curva binodal

	% en peso nominal	Volumen de hexano	Masa total	% Isopropanol	% Hexano	% Agua
Isopropanol en agua	5	0.58	46.1463	4	1	95
	25	0.75	45.0924	21	1	77
	45	1.98	44.5337	39	3	58
	65	2.88	42.6950	59	5	37
	85	5.23	42.2901	77	8	14
	90	8.01	44.4161	78	12	10
Isopropanol en hexano	5	0.13	32.6000	5	94	1
	25	0.68	33.1498	29	69	2
	45	1.43	33.8996	51	45	4
	65	2.97	35.4391	70	21	8
	85	6.6	39.0680	76	4	20
	90	9.92	42.3870	72	2	26

Tabla XVIII. Datos de las concentraciones de los pares en equilibrio para el establecimiento de las líneas de unión, obtenidas para cada composición de los puntos escogidos bajo la curva binodal a temperatura de 10 +/- 5°C.

Porcentaje en peso				Concentración de Isopropanol (% en peso)			Media
hexano	agua	isopropanol	Fase	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	
70	10	20	hexano	0.896	1.012	0.896	3.0067
			agua	5.132	5.132	5.584	16.992
30	40	30	hexano	0.896	0.896	1.012	2.264
			agua	7.143	7.143	7.679	17.7358
40	20	40	hexano	1.012	1.012	1.012	4.0406
			agua	4.744	4.744	4.398	15.594
20	10	70	hexano	1.141	1.141	1.141	4.3680
			agua	4.083	4.083	4.083	15.632
20	60	20	hexano	1.012	1.012	0.896	2.250
			agua	7.679	7.679	7.679	17.750

Tabla XIX. Datos de las concentraciones de los pares en equilibrio, para el establecimiento de las líneas de unión, obtenidas para cada composición de los puntos escogidos bajo la curva binodal a temperatura de 25 +/- 5°C.

Porcentaje en peso				Concentración de Isopropanol (% en peso)			Media
hexano	agua	isopropanol	Fase	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	
70	10	20	hexano	3.694	3.577	3.694	5.524
			agua	9.538	9.538	9.655	14.476
30	40	30	hexano	3.694	3.694	3.694	5.412
			agua	10.124	10.124	9.619	14.588
40	20	40	hexano	3.577	3.577	3.694	5.068
			agua	10.611	10.611	10.73	14.932
20	10	70	hexano	3.442	3.442	3.442	4.818
			agua	10.848	10.848	10.848	15.182
20	60	20	hexano	3.577	3.442	3.577	5.656
			agua	8.959	8.959	8.959	14.344

Tabla XX. Datos de las concentraciones de los pares en equilibrio para el establecimiento de las líneas de unión, obtenidas para cada composición de los puntos escogidos bajo la curva binodal a temperatura de 50 +/- 5°C.

Porcentaje en peso			Fase	Concentración de isopropanol (% en peso)			Media
hexano	agua	isopropanol		Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	
70	10	20	hexano	3.323	1.323	3.302	4.464
			agua	9.223	9.225	9.223	15.536
30	40	30	hexano	3.258	3.258	3.162	5.182
			agua	9.223	9.223	9.225	14.818
40	20	40	hexano	3.162	3.162	3.363	5.186
			agua	9.225	9.225	9.225	14.814
20	10	70	hexano	3.383	3.383	3.383	5.366
			agua	9.228	9.228	9.225	14.634
20	60	20	hexano	3.021	3.021	3.021	4.934
			agua	9.223	9.223	9.225	15.066

Tabla XXI. Datos de los coeficientes de distribución promedio obtenidas para las mezclas efectuadas, a partir de los puntos escogidos bajo la curva binodal a las tres temperaturas analizadas.

Porcentaje en peso			10 ° C	25 ° C	50 ° C
hexano	agua	isopropanol	K	K	K
70	10	20	0.3816	0.2872	0.1769
30	40	30	0.371	0.3498	0.1277
40	20	40	0.3395	0.35	0.2186
20	10	70	0.3173	0.3666	0.2795
20	60	20	0.3942	0.3275	0.1268
Promedio +/- S			0.361 +/- 0.07	0.360 +/- 0.05	0.186 +/- 0.05

APÉNDICE 4

Correlaciones no lineales para la determinación de punto de pliegue

Figura 23. Gráfica de porcentajes de distribución de isopropanol en agua, en función de distribución de isopropanol en hexano, necesaria para determinar el punto de pliegue a temperatura de 10 +/- 5°C, en el sistema isopropanol-hexano-agua.

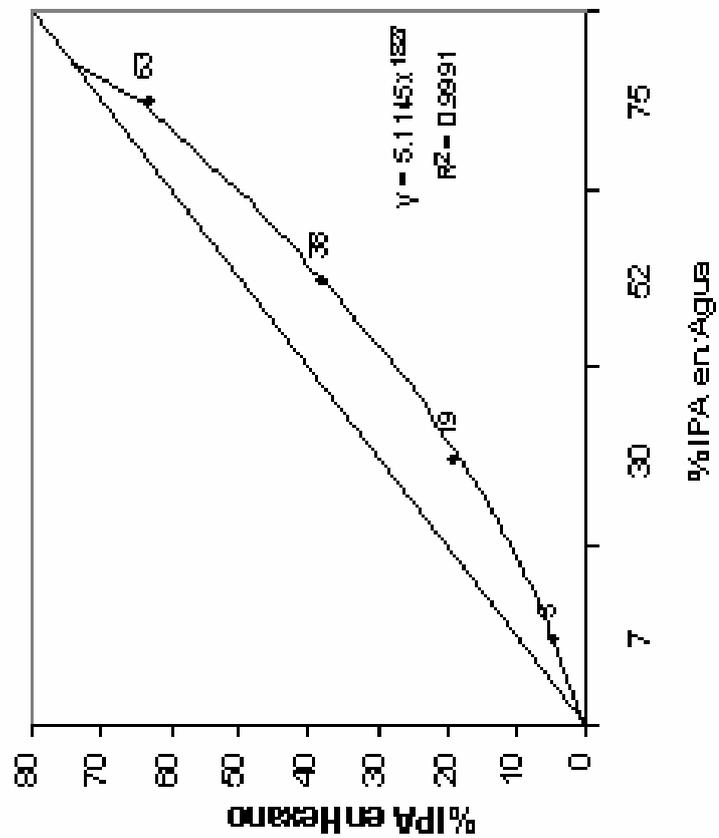


Figura 24. Gráfica de porcentajes de distribución de isopropanol en agua, en función de distribución de isopropanol en hexano, necesaria para determinar el punto de pliegue a temperatura de 25 +/- 5°C, en el sistema isopropanol-hexano-agua.

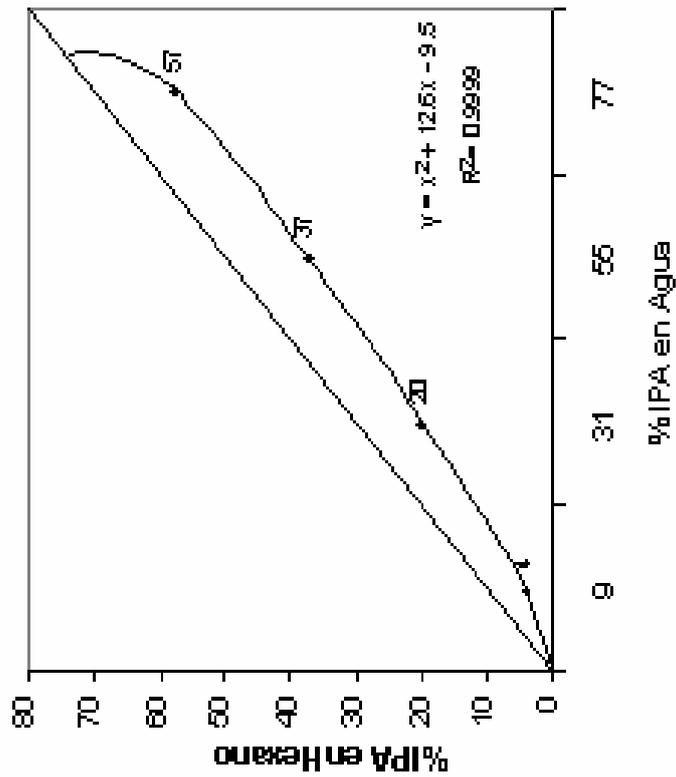


Figura 25 Gráfica de porcentajes de distribución de isopropanol en agua, en función de distribución de isopropanol en hexano, necesaria para determinar el punto de pliegue a temperatura de 50 +/- 5°C, en el sistema isopropanol-hexano-agua.

