

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 377 439**

51 Int. Cl.:
C09K 5/04 (2006.01)
C07C 309/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **06734482 .0**
96 Fecha de presentación: **03.02.2006**
97 Número de publicación de la solicitud: **1846535**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **24.10.2007**

54 Título: **Ciclo de absorción utilizando líquido iónico como fluido de trabajo**

30 Prioridad:
04.02.2005 US 650330 P

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
27.03.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
27.03.2012

73 Titular/es:
**E. I. DU PONT DE NEMOURS AND COMPANY
1007 MARKET STREET
WILMINGTON, DELAWARE 19898, US**

72 Inventor/es:
**SHIFLETT, Mark, Brandon y
YOKOZEKI, Akimichi**

74 Agente/Representante:
de Elzaburu Márquez, Alberto

ES 2 377 439 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Ciclo de absorción utilizando líquido iónico como fluido de trabajo

Campo técnico

5 La presente invención se refiere a la ejecución de un ciclo de refrigeración por absorción mediante el uso de un par refrigerante que comprenden al menos un refrigerante y al menos un líquido iónico.

Antecedentes

10 Como un nuevo tipo de disolvente con presión de vapor inmedible, se están usando líquidos iónicos a temperatura ambiente, para la separación química y como medio único de reacción. El comportamiento de la fase disolvente es un factor importante en cuanto a lo atractivo que sea el uso de líquidos iónicos en estas aplicaciones, así como en nuevas aplicaciones tales como el calentamiento y el enfriamiento por absorción.

15 El ciclo de refrigeración por absorción ha estado en uso, en diversas formas, durante más de 100 años. Aunque el ciclo de compresión de vapor se usa ahora en la mayoría de las aplicaciones de refrigeración y de aire acondicionado, los bien conocidos sistemas de refrigerante-absorbente ($H_2O/LiBr$ y NH_3/H_2O) se están usando todavía en ciertas aplicaciones, concretamente en el campo de aplicaciones industriales o en sistemas refrigeradores de agua a gran escala. Recientemente, se ha dirigido más la atención hacia la recuperación de calor residual usando el sistema NH_3/H_2O (Erickson, D.C., y colaboradores; [ASHRAE Trans., 2004, 110]). Los inconvenientes inherentes al uso de $LiBr$ y NH_3 como refrigerantes incluyen el poder corrosivo del $LiBr$ y la toxicidad e inflamabilidad del NH_3 . A finales de los años 50, hubo propuestas de nuevos pares refrigerantes-absorbentes, para el ciclo de absorción, usando refrigerantes de fluoroalcanos con absorbentes orgánicos (Eiseman, B.J. [ASHRAE J., 1959, 1:45]; Mastrangelo, S.V.R. [ASHRAE J., 1959, 1:64]). Estos estudios continúan activamente incluso en la actualidad, especialmente entre las instituciones académicas (Nezu, Y., y colaboradores [Natural Working Fluids 2002 (Fluidos naturales de trabajo 2002), IIR Gustav Lorentzen 5ª Conf. China, septiembre 17-20.2002, 446-453]; Angell, C.A. y colaboradores [Patente de EE.UU. N° 6155057 (2000) asignada a Arizona Board of Reagents]; Fatouh, M. Murthy, S.S. [Renewable Energy (Energía renovable), 1993, 3:31-37]; Bhatt, M.S. y colaboradores [Heat Recovery System & CHP (Sistema de recuperación de calor y calor y energía combinados (CHP)), 1992, 12:225-233]).

20 Aunque los documentos DE 3623680 y WO 2005/113702 describen el uso de líquidos iónicos en aplicaciones de refrigeración por absorción, todavía persiste la necesidad de pares de refrigeración que se caractericen por un conjunto de propiedades bien equilibrado.

30 Otras investigaciones sobre líquidos iónicos se han referido con su capacidad de almacenamiento térmico (Wu, B., y colaboradores [Proceedings of Solar Forum 2001, (Actas del Foro Solar 2001), Washington, D.C. abril 21-25.]) y su capacidad para separar mezclas de gases por absorción (Han, D.H., y colaboradores; Solicitud de patente coreana N° 10-2004-0017506, asignada a Korea Res. Inst. Chem. Tech.]).

Sumario

35 Una realización de esta invención es una composición que comprende uno o más refrigerantes absorbidos en un líquido iónico, en la que un refrigerante es un compuesto hidrocarbonado que tiene alguna combinación de hidrógeno, flúor átomos de carbono. El líquido iónico puede comprender un catión seleccionado del grupo consistente en piridinio, piridazinio, pirimidinio, pirazinio, imidazolio, pirazolio, tiazolio, oxazolio y triazolio, y un anión seleccionado del grupo consistente en $[CH_3CO_2]^-$, $[HSO_4]^-$, $[CH_3OSO_3]^-$, $[C_2H_5OSO_3]^-$, $[AlCl_4]^-$, $[CO_3]^{2-}$, $[HCO_3]^-$, $[NO_2]^-$, $[NO_3]^-$, $[SO_4]^{2-}$, $[PO_4]^{3-}$, $[HPO_4]^{2-}$, $[H_2PO_4]^-$, $[HSO_3]^-$, $[CuCl_2]^-$, Cl^- , Br^- , I^- , y algún anión fluorado. El catión y/o el anión pueden estar fluorados. Los aniones fluorados se pueden seleccionar del grupo consistente en $[BF_4]^-$, $[PF_6]^-$, $[SbF_6]^-$, $[CF_3SO_3]^-$, $[HCF_2CF_2SO_3]^-$, $[CF_3HFCF_2SO_3]^-$, $[HCClFCF_2SO_3]^-$, $[(CF_3SO_2)_2N]^-$, $[(CF_3SO_2)_3C]^-$, $[CF_3CO_2]^-$, y F^- .

45 Otra realización de esta invención es una composición en la que un refrigerante se selecciona del grupo consistente en difluorometano (HFC-32), pentafluoroetano (HFC-125), 1,1,2,2-tetrafluoroetano (HFC-134), 1,1,1,2-tetrafluoroetano (FC-134a), 1,1,1-trifluoroetano (HFC-143a), 1,1-difluoroetano (HFC-152a), y fluoroetano (HFC-161). El líquido iónico puede estar compuesto de un catión seleccionado del grupo consistente en piridinio, piridazinio, pirimidinio, pirazinio, imidazolio, pirazolio, tiazolio, oxazolio y triazolio, y un anión seleccionado del grupo consistente en $[CH_3CO_2]^-$, $[HSO_4]^-$, $[CH_3OSO_3]^-$, $[C_2H_5OSO_3]^-$, $[AlCl_4]^-$, $[CO_3]^{2-}$, $[HCO_3]^-$, $[NO_2]^-$, $[NO_3]^-$, $[SO_4]^{2-}$, $[PO_4]^{3-}$, $[HPO_4]^{2-}$, $[H_2PO_4]^-$, $[HSO_3]^-$, $[CuCl_2]^-$, Cl^- , Br^- , I^- , y algún anión fluorado, comprendiendo dicha composición de aproximadamente 0,05 a aproximadamente 99,95 por ciento en moles de hidrofluorocarburo, hidroclorofluorocarburo, clorofluorocarburo o fluorocarburo, por encima del intervalo de temperatura que va desde la temperatura del punto triple a la temperatura del punto crítico del refrigerante, a una presión que va desde el vacío a la presión crítica del refrigerante.

55 Una realización más de esta invención es un procedimiento para enfriar o calentar un objeto o un espacio, ejecutando un ciclo de refrigeración por absorción, usando uno o más refrigerantes y/o uno o más líquidos iónicos.

Otra realización más de esta invención es un aparato para ejecutar un ciclo de refrigeración por absorción que comprende cualquiera de las composiciones aquí descritas, y/o que realiza cualquiera de los procedimientos aquí descritos.

Breve descripción de los dibujos

5 La Figura 1 muestra un diagrama esquemático de un ciclo simple de refrigeración por absorción.

La Figura 2 muestra datos medidos de la solubilidad isotérmica (en fracción molar) del sistema HFC-32 + [bmim][PF₆] como una función de la presión. Los círculos rellenos (●) representan datos isotérmicos medidos a 10°C, los triángulos rellenos (▲) representan datos isotérmicos medidos a 25°C, los cuadrados rellenos (■) representan datos isotérmicos medidos a 50°C, y los rombos rellenos (◆) representan datos isotérmicos medidos a 75°C. Las líneas continuas representan tendencias de los datos.

La Figura 3 muestra datos medidos de la solubilidad isotérmica (en fracción molar) del sistema HFC-125 + [bmim][PF₆] como una función de la presión. Los círculos rellenos (●) representan datos isotérmicos medidos a 10°C, los triángulos rellenos (▲) representan datos isotérmicos medidos a 25°C, los cuadrados rellenos (■) representan datos isotérmicos medidos a 50°C, y los rombos rellenos (◆) representan datos isotérmicos medidos a 75°C. Las líneas continuas representan tendencias de los datos.

La Figura 4 muestra datos medidos de la solubilidad isotérmica (en fracción molar) del sistema HFC-134a + [bmim][PF₆] como una función de la presión. Los círculos rellenos (●) representan datos isotérmicos medidos a 10°C, los triángulos rellenos (▲) representan datos isotérmicos medidos a 25°C, los cuadrados rellenos (■) representan datos isotérmicos medidos a 50°C, y los rombos rellenos (◆) representan datos isotérmicos medidos a 75°C. Las líneas continuas representan tendencias de los datos.

La Figura 5 muestra datos medidos de la solubilidad isotérmica (en fracción molar) del sistema HFC-143a + [bmim][PF₆] como una función de la presión. Los círculos rellenos (●) representan datos isotérmicos medidos a 10°C, los triángulos rellenos (▲) representan datos isotérmicos medidos a 25°C, los cuadrados rellenos (■) representan datos isotérmicos medidos a 50°C, y los rombos rellenos (◆) representan datos isotérmicos medidos a 75°C. Las líneas continuas representan tendencias de los datos.

La Figura 6 muestra datos medidos de la solubilidad isotérmica (en fracción molar) del sistema HFC-152a + [bmim][PF₆] como una función de la presión. Los círculos rellenos (●) representan datos isotérmicos medidos a 10°C, los triángulos rellenos (▲) representan datos isotérmicos medidos a 25°C, los cuadrados rellenos (■) representan datos isotérmicos medidos a 50°C, y los rombos rellenos (◆) representan datos isotérmicos medidos a 75°C. Las líneas continuas representan tendencias de los datos.

La Figura 7 muestra datos medidos de la solubilidad isotérmica (en fracción molar) del sistema HFC-32 + [bmim][PF₆] como una función de la presión. Los círculos rellenos (●) representan datos isotérmicos medidos a 10°C, los triángulos rellenos (▲) representan datos isotérmicos medidos a 25°C, los cuadrados rellenos (■) representan datos isotérmicos medidos a 50°C, y los rombos rellenos (◆) representan datos isotérmicos medidos a 75°C. Las líneas continuas representan tendencias de los datos.

La Figura 8 muestra datos de solubilidad isotérmica, medidos a 25°C, de los sistemas HFC-32 + seis líquidos iónicos diferentes, como una función de la presión, a efectos de comparación. Los círculos en blanco (○) representan datos isotérmicos medidos para el HFC-32 + tris(trifluorometilsulfonil)metanuro de 1-propil-2,3-dimetilimidazolio a 25°C, los cuadrados en blanco (□) representan datos isotérmicos medidos para el HFC-32 + bis(trifluorometilsulfonil)imida de 1-propil-2,3-dimetilimidazolio a 25°C, los triángulos en blanco (Δ) datos isotérmicos medidos para el HFC-32 + hexafluorofosfato de 1-butil-3-metilimidazolio a 25°C, los círculos rellenos (●) representan datos isotérmicos medidos para el HFC-32 + tetrafluoroborato de 1-buti-3-metilimidazolio a 25°C, los cuadrados rellenos (■) representan datos isotérmicos medidos para el HFC-32 + yoduro de 1,3-dioctilimidazolio a 25°C, y los triángulos rellenos (▲) representan datos isotérmicos medidos para el HFC-32 + yoduro de 1-octil-3-metilimidazolio a 25°C. Las líneas continuas representan tendencias de los datos.

La Figura 9 muestra datos medidos de solubilidad isotérmica (en fracción molar), a 10°C, de los sistemas HFC-32, HFC-152a, HFC-134a, HFC-125, y HFC-143a + [bmim][PF₆] en términos de presión absoluta dividida por la presión de saturación del gas, a 10°C, mostrada por la relación (P/P₀). Las líneas cruzadas en aspa (X) representan datos isotérmicos medidos para el HFC-32 a 10°C, con P₀ = 1107 kPa, los rombos rellenos (◆) representan datos isotérmicos medidos para el HFC-152a, a 10°C con P₀ = 373 kPa, los círculos rellenos (●) representan datos isotérmicos medidos para el HFC-134a, a 10°C con P₀ = 415 kPa, los triángulos rellenos (▲) representan datos isotérmicos medidos para el HFC-125, a 10°C con P₀ = 909 kPa, los cuadrados rellenos (■) representan datos isotérmicos medidos para el HFC-143a, a 10°C con P₀ = 836 kPa. Las líneas continuas representan tendencias de los datos y la línea de trazos representa la Ley de Raoult.

55 La Figura 10 muestra un diagrama esquemático de la microbalanza usada para medir la absorción de gases en el líquido iónico.

Descripción detallada

La presente invención se refiere al descubrimiento de que los refrigerantes son solubles en líquidos iónicos. La invención proporciona pares refrigerantes que comprenden refrigerantes y líquidos iónicos, en los que el refrigerante exhibe una buena solubilidad y capacidad de difusión en el líquido iónico. Los pares refrigerante/líquido iónico son útiles en sistemas de calentamiento y enfriamiento por absorción. La invención proporciona también un procedimiento para enfriar o calentar utilizando pares refrigerante/líquido iónico.

En esta descripción, se proporcionan definiciones de diversos términos como se expone en la siguiente lista y en otros sitios más adelante:

El término "líquido iónico" significa una sal orgánica que es un fluido a, o por debajo de, 100°C.

El término "líquido iónico fluorado" significa un líquido iónico que tiene al menos un flúor, como catión o como anión. Un "catión fluorado" o un "anión fluorado" es un catión o un anión, respectivamente, que tiene al menos un flúor.

Los términos "par refrigerante" y "par refrigerante/líquido iónico" se usan de forma intercambiable, y se refieren a un par, o mezcla, que comprende a la vez un refrigerante y un líquido iónico. Una "composición par refrigerante" es una composición que comprende un par refrigerante. Un "refrigerante mixto" es una composición refrigerante que comprende al menos dos refrigerantes.

Un "refrigerante es una sustancia, como por ejemplo un hidrofluorocarburo (HFC), que cuando cambia de fase, de líquido a vapor (se evapora), extrae calor de los alrededores, y cuando cambia de fase de vapor a líquido (condensa), añade calor a los alrededores.

El término "refrigerante fluorado" o "refrigerante que contiene flúor" se refiere a un hidrofluorocarburo.

El término "vacío" se refiere a presiones inferiores a 100 kPa, pero superior a 10⁻² kPa, para el uso práctico en los ciclos de absorción.

Una mezcla "azeotrópica" o "de ebullición constante", de dos o más refrigerantes, es una mezcla en la que la composición de las fases vapor y líquida son sustancialmente las mismas a una temperatura y presión encontrada en un ciclo de enfriamiento o de calentamiento. Incluida en la definición de una mezcla de ebullición constante está una mezcla "cuasi-azeotrópica", la cual, como se describe en la Patente de EE.UU. N° 4.810.403, mantiene una presión de vapor sustancialmente constante, incluso después de las pérdidas por evaporación, exhibiendo por ello un comportamiento de ebullición constante.

Como un nuevo tipo de disolvente, con presión de vapor inmedible, para el calentamiento o el enfriamiento por absorción se usan aquí líquidos iónicos a temperatura ambiente. En la presente invención, la solubilidad y la capacidad de difusión de los refrigerantes fluorados, y de otros gases tales como el dióxido de carbono, el amoníaco y los hidrocarburos no fluorados, en diversos líquidos iónicos, determinadas por ejemplo usando una microbalanza gravimétrica, indican su utilidad para el calentamiento o el enfriamiento por absorción.

La presente invención proporciona composiciones de pares refrigerantes para su uso en ciclos de refrigeración por absorción. Aunque denominados como ciclos de refrigeración por absorción, los ciclos de absorción se pueden usar para enfriar o para generar calor, dependiendo de la aplicación. Un miembro del par refrigerante comprende al menos un refrigerante seleccionado del grupo consistente en hidrofluorocarburos. El segundo miembro del par refrigerante comprende al menos un líquido iónico, que se usa como un absorbente.

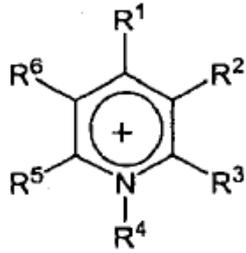
Los refrigerantes hidrofluorocarbonados incluyen compuestos con dobles enlaces carbono-carbono que tienen alguna combinación de hidrógeno y flúor, con puntos de ebullición por debajo de 0°C. Ejemplos de refrigerantes hidrofluorocarbonados útiles en la invención. Incluyen difluorometano (HFC-32), pentafluoroetano (HFC-125), 1,1,2,2-tetrafluoroetano (HFC-134), 1,1,1,2-tetrafluoroetano (FC-134a), 1,1,1-trifluoroetano (HFC-143a), 1,1-difluoroetano (HFC-152a), y fluoroetano (HFC-161). En una realización de la invención, los refrigerantes hidrofluorocarbonados se seleccionan del grupo consistente en difluorometano (HFC-32), pentafluoroetano (HFC-125), 1,1,1,2-tetrafluoroetano (FC-134a), 1,1,1-trifluoroetano (HFC-143a), 1,1-difluoroetano (HFC-152a).

También son útiles las mezclas de refrigerantes para conseguir la temperatura de ebullición apropiada, o la presión apropiada para la unidad de absorción. En particular, se prefieren mezclas que forman azeótropos o mezclas de ebullición constante, debido a que se producirá un mínimo fraccionamiento de la mezcla, o no se producirá, si el refrigerante se fuga del sistema de enfriamiento por absorción. Las composiciones azeotrópicas, o de ebullición constante, de difluorometano (HFC-32), pentafluoroetano (HFC-125), 1,1,1,2-tetrafluoroetano (FC-134a), adecuadas para su uso aquí como refrigerantes, están descritas, por ejemplo, en la Patente de EE.UU. N° 5.709.092.

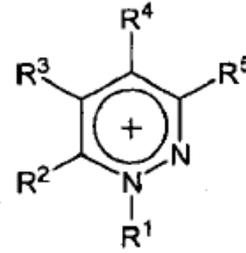
El líquido iónico usado en esta invención puede, en principio, ser cualquier líquido iónico que absorba el gas refrigerante, sin embargo los líquidos iónicos que tienen una absorción mínima del gas refrigerante serán menos eficaces como fluidos de trabajo del ciclo de absorción. Idealmente, se desea una alta absorción y capacidad de difusión para conseguir un ciclo de alta eficacia energética. Los líquidos iónicos se pueden sintetizar u obtenerse

comercialmente de varias compañías tales como Merck (Darmstadt, Alemania) o BASF (Mount Olive, NJ). Un catión o anión de un líquido iónico de la invención puede, en principio, ser cualquier catión o anión, de forma que el catión y el anión, juntos, forman una sal orgánica que es líquida a, o por debajo de, aproximadamente 100°C.

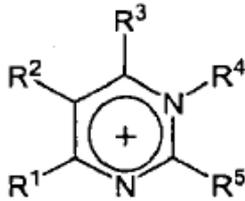
En una realización de la invención, los líquidos iónicos tienen cationes seleccionados de las siguientes fórmulas:



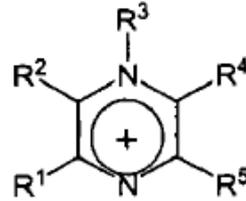
Piridinio



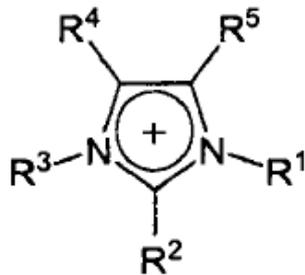
Piridazinio



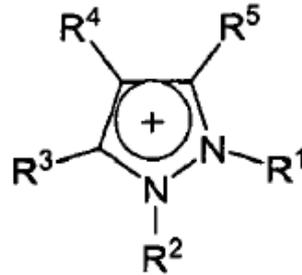
Pirimidinio



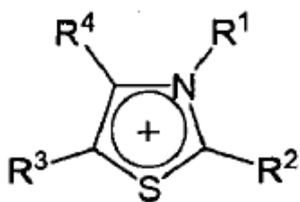
Pirazinio



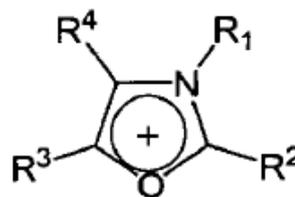
Imidazolio



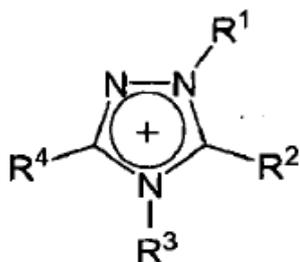
Pirazolio



Tiazolio



Oxazolio



Triazolio

en las que R_1 , R_2 , R_3 , R_4 , R_5 y R_6 se seleccionan, independientemente, del grupo consisten en:

- (i) H
- (ii) F
- 5 (iii) CH_3 , C_2H_5 o alcano o alqueno C_3 a C_{12} , de cadena lineal, ramificada o cíclica, sustituidos opcionalmente con Cl^- , Br^- , F^- , I^- , OH^- , NH_2^- o SH^- ;
- (iv) CH_3 , C_2H_5 o alcano o alqueno C_3 a C_{12} , de cadena lineal, ramificada o cíclica, que comprende uno a tres heteroátomos seleccionados del grupo consistente en O, N, Si y S, y opcionalmente sustituido con Cl^- , Br^- , F^- , I^- , OH^- , NH_2^- o SH^- ;
- 10 (v) arilo o heteroarilo C_6 a C_{20} , no sustituido, en el que uno a tres heteroátomos se seleccionan independientemente del grupo consistente en O, N, Si y S;
- (vi) arilo o heteroarilo C_6 a C_{20} , no sustituido, en el que uno a tres heteroátomos se seleccionan independientemente del grupo consistente en O, N, Si y S; y uno a tres sustituyentes se seleccionan independientemente del grupo consistente en 1) CH_3 , C_2H_5 o alcano o alqueno C_3 a C_{12} , de cadena lineal, ramificada o cíclica, sustituidos opcionalmente con Cl^- , Br^- , F^- , I^- , OH^- , NH_2^- o SH^- ; 2) OH^- ; 3) NH_2^- , y 4) SH^- ; y en las que
- 15

opcionalmente, al menos dos de R_1 , R_2 , R_3 , R_4 , R_5 y R_6 pueden juntos formar un grupo alcanilo o alqueno cíclico o bicíclico.

- 20 En otra realización, los líquidos iónicos de la invención pueden comprender cationes fluorados en los que al menos uno de R_1 , R_2 , R_3 , R_4 , R_5 y R_6 comprende F^- .

- En una realización de la invención, los líquidos iónicos tienen aniones seleccionados del grupo consistente en $[\text{CH}_3\text{CO}_2]^-$, $[\text{HSO}_4]^-$, $[\text{CH}_3\text{OSO}_3]^-$, $[\text{C}_2\text{H}_5\text{OSO}_3]^-$, $[\text{AlCl}_4]^-$, $[\text{CO}_3]^{2-}$, $[\text{HCO}_3]^-$, $[\text{NO}_2]^-$, $[\text{NO}_3]^-$, $[\text{SO}_4]^{2-}$, $[\text{PO}_4]^{3-}$, $[\text{HPO}_4]^{2-}$, $[\text{H}_2\text{PO}_4]^-$, $[\text{HSO}_3]^-$, $[\text{CuCl}_2]^-$, Cl^- , Br^- , I^- , y algún anión fluorado. Los aniones fluorados de la invención incluyen $[\text{BF}_4]^-$, $[\text{PF}_6]^-$, $[\text{SbF}_6]^-$, $[\text{CF}_3\text{SO}_3]^-$, $[\text{HCF}_2\text{CF}_2\text{SO}_3]^-$, $[\text{CF}_3\text{HFCCF}_2\text{SO}_3]^-$, $[\text{HCCIFCF}_2\text{SO}_3]^-$, $[(\text{CF}_3\text{SO}_2)_2\text{N}]^-$, $[(\text{CF}_3\text{SO}_2)_3\text{C}]^-$, $[\text{CF}_3\text{CO}_2]^-$, y F^- .
- 25

- En otra realización, los líquidos iónicos pueden comprender un catión seleccionado del grupo consistente en piridinio, piridazinio, pirimidinio, pirazinio, imidazolio, pirazolio, tiazolio, oxazolio y triazolio, como se definió anteriormente y un anión seleccionado del grupo consistente en $[\text{CH}_3\text{CO}_2]^-$, $[\text{HSO}_4]^-$, $[\text{CH}_3\text{OSO}_3]^-$, $[\text{C}_2\text{H}_5\text{OSO}_3]^-$, $[\text{AlCl}_4]^-$, $[\text{CO}_3]^{2-}$, $[\text{HCO}_3]^-$, $[\text{NO}_2]^-$, $[\text{NO}_3]^-$, $[\text{SO}_4]^{2-}$, $[\text{PO}_4]^{3-}$, $[\text{HPO}_4]^{2-}$, $[\text{H}_2\text{PO}_4]^-$, $[\text{HSO}_3]^-$, $[\text{CuCl}_2]^-$, Cl^- , Br^- , I^- , y algún anión fluorado. En otra realización más, los líquidos iónicos pueden comprender un catión seleccionado del grupo consistente en piridinio, piridazinio, pirimidinio, pirazinio, imidazolio, pirazolio, tiazolio, oxazolio y triazolio, como se definió anteriormente y un anión seleccionado del grupo consistente en $[\text{BF}_4]^-$, $[\text{PF}_6]^-$, $[\text{SbF}_6]^-$, $[\text{CF}_3\text{SO}_3]^-$, $[\text{HCF}_2\text{CF}_2\text{SO}_3]^-$, $[\text{CF}_3\text{HFCCF}_2\text{SO}_3]^-$, $[\text{HCCIFCF}_2\text{SO}_3]^-$, $[(\text{CF}_3\text{SO}_2)_2\text{N}]^-$, $[(\text{CF}_3\text{SO}_2)_3\text{C}]^-$, $[\text{CF}_3\text{CO}_2]^-$, y F^- .
- 30

- En otra realización más, los líquidos iónicos pueden comprender un catión seleccionado del grupo consistente en piridinio, piridazinio, pirimidinio, pirazinio, imidazolio, pirazolio, tiazolio, oxazolio y triazolio, como se definió anteriormente, en los que al menos uno de R₁, R₂, R₃, R₄, R₅ y R₆ comprende F⁻, y un anión seleccionado del grupo consistente en [CH₃CO₂]⁻, [HSO₄]⁻, [CH₃OSO₃]⁻, [C₂H₅OSO₃]⁻, [AlCl₄]⁻, [CO₃]²⁻, [HCO₃]⁻, [NO₂]⁻, [NO₃]⁻, [SO₄]²⁻, [PO₄]³⁻, [HPO₄]²⁻, [H₂PO₄]⁻, [HSO₃]⁻, [CuCl₂]⁻, Cl⁻, Br⁻, I⁻, y algún anión fluorado. En otra realización más, los líquidos iónicos pueden comprender un catión seleccionado del grupo consistente en piridinio, piridazinio, pirimidinio, pirazinio, imidazolio, pirazolio, tiazolio, oxazolio y triazolio, como se definió anteriormente, en los que al menos uno de R₁, R₂, R₃, R₄, R₅ y R₆ comprende F⁻, y un anión seleccionado del grupo consistente en [BF₄]⁻, [PF₆]⁻, [SbF₆]⁻, [CF₃SO₃]⁻, [HCF₂CF₂SO₃]⁻, [CF₃HFCCF₂SO₃]⁻, [HCCIFCF₂SO₃]⁻, [(CF₃SO₂)₂N]⁻, [(CF₃SO₂)₃C]⁻, [CF₃CO₂]⁻, y F⁻.
- En otra realización más, los líquidos iónicos pueden comprender imidazolio como el catión y un anión seleccionado del grupo consistente en [BF₄]⁻, [PF₆]⁻, [SbF₆]⁻, [CF₃SO₃]⁻, [HCF₂CF₂SO₃]⁻, [CF₃HFCCF₂SO₃]⁻, [HCCIFCF₂SO₃]⁻, [(CF₃SO₂)₂N]⁻, [(CF₃SO₂)₃C]⁻, [CF₃CO₂]⁻; 1-butil-3-metilimidazolio como el catión y un anión seleccionado del grupo consistente en [BF₄]⁻, [PF₆]⁻, [SbF₆]⁻, [CF₃SO₃]⁻, [HCF₂CF₂SO₃]⁻, [CF₃HFCCF₂SO₃]⁻, [HCCIFCF₂SO₃]⁻, [(CF₃SO₂)₂N]⁻, [(CF₃SO₂)₃C]⁻, [CF₃CO₂]⁻; 1-butil-3-metilimidazolio como el catión y [BF₄]⁻ o [PF₆]⁻ como el anión; 1-propil-2,3-dimetilimidazolio como el catión y [(CF₃SO₂)₂N]⁻, [(CF₃SO₂)₃C]⁻ como el anión; o 1,3-dioctilimidazolio o 1-octil-3-metilimidazolio como el catión y [I]⁻ como el anión.

Las mezclas de líquidos iónicos también son útiles para conseguir un nivel deseable de rendimiento en la absorción, en particular si se usa un refrigerante mixto en combinación con una unidad de absorción.

- La invención proporciona también composiciones que comprenden al menos un hidrofluorocarburo seleccionado del grupo consistente en difluorometano (HFC-32), pentafluoroetano (HFC-125), 1,1,2,2-tetrafluoroetano (HFC-134), 1,1,1,2-tetrafluoroetano (FC-134a), 1,1,1-trifluoroetano (HFC-143a), 1,1-difluoroetano (HFC-152a), y fluoroetano (HFC-161); y al menos un líquido iónico, compuesto dicho líquido iónico de un catión seleccionado del grupo consistente en piridinio, piridazinio, pirimidinio, pirazinio, imidazolio, pirazolio, tiazolio, oxazolio y triazolio, y un anión seleccionado del grupo consistente en [BF₄]⁻, [PF₆]⁻, [SbF₆]⁻, [CF₃SO₃]⁻, [HCF₂CF₂SO₃]⁻, [CF₃HFCCF₂SO₃]⁻, [HCCIFCF₂SO₃]⁻, [(CF₃SO₂)₂N]⁻, [(CF₃SO₂)₃C]⁻, [CF₃CO₂]⁻; en la que dichas composiciones se pueden usar como pares refrigerantes.

- Los pares refrigerantes de la invención pueden tener la composición que sigue. Las composiciones que comprenden al menos un refrigerante y al menos un líquido iónico pueden comprender desde aproximadamente 0,05 a aproximadamente 99,95 por ciento en moles de un refrigerante, en un intervalo de temperatura que va desde la temperatura del punto triple a la temperatura del punto crítico del refrigerante, a una presión que va desde el vacío a la presión crítica del refrigerante. En otra realización, las composiciones que comprenden al menos un refrigerante y al menos un líquido iónico pueden comprender desde aproximadamente 0,1 a aproximadamente 99,9 por ciento en moles de un refrigerante, en un intervalo de temperatura que va desde la temperatura del punto triple a la temperatura del punto crítico del refrigerante, a una presión que va desde el vacío a la presión crítica del refrigerante.

- Por ejemplo, las composiciones que comprenden HFC-32 y líquidos iónicos, pueden comprender desde aproximadamente 0,1 a aproximadamente 99,9 por ciento en moles de HFC-32, en un intervalo de temperatura de -136,8 a 78,1°C, a una presión que va desde el vacío a 5780 kPa. Las composiciones que comprendan HFC-125 y líquidos iónicos, pueden comprender desde aproximadamente 0,1 a aproximadamente 99,9 por ciento en moles de HFC-125, en un intervalo de temperatura de -100,6 a 66°C, a una presión que va desde el vacío a 3620 kPa. Las composiciones que comprendan HFC-134 y líquidos iónicos, pueden comprender desde aproximadamente 0,1 a aproximadamente 99,9 por ciento en moles de HFC-134, en un intervalo de temperatura de -100,0 a 119,1°C, a una presión que va desde el vacío a 4640 kPa. Las composiciones que comprendan HFC-134a y líquidos iónicos, pueden comprender desde aproximadamente 0,1 a aproximadamente 99,9 por ciento en moles de HFC-134a, en un intervalo de temperatura de -103,3 a 101°C, a una presión que va desde el vacío a 4060 kPa. Las composiciones que comprendan HFC-143a y líquidos iónicos, pueden comprender desde aproximadamente 0,1 a aproximadamente 99,9 por ciento en moles de HFC-143a, en un intervalo de temperatura de -111,8 a 72,7°C, a una presión que va desde el vacío a 3760 kPa. Las composiciones que comprendan HFC-152a y líquidos iónicos, pueden comprender desde aproximadamente 0,1 a aproximadamente 99,9 por ciento en moles de HFC-152a, en un intervalo de temperatura de -118,6 a 72,7°C, a una presión que va desde el vacío a 3760 kPa. Las composiciones que comprendan HFC-152a y líquidos iónicos, pueden comprender desde aproximadamente 0,1 a aproximadamente 99,9 por ciento en moles de HFC-152a, en un intervalo de temperatura de -118,6 a 113,3°C, a una presión que va desde el vacío a 4520 kPa.

- En la siguiente tabla se muestran ejemplos adicionales de refrigerantes útiles en composiciones que comprenden de aproximadamente 0,1 a 99,9 por ciento en moles de refrigerante en al menos un líquido iónico, junto con la temperatura del punto triple, la temperatura del punto crítico y la presión del punto crítico del refrigerante:

Refrigerante	Temperatura del punto triple (°C)	Temperatura del punto crítico (°C)	Presión del punto crítico (kPa)
Fluorometano (HFC-41)	-143,3	44,1	5900
1,1,1,3,3,3-hexafluoropropano (HFC-236fa)	-93,6	124,9	3200
1,1,1,2,3,3,3-heptafluoropropano (HFC-227ea)	-126,8	101,7	2930

Las composiciones de la invención se pueden preparar mediante cualquier método conveniente, que incluye mezclar o combinar las cantidades deseadas en un recipiente apropiado, o en un dispositivo que ejecute un ciclo de refrigeración por absorción.

- 5 A las composiciones de la invención se pueden añadir, con una diversidad de fines, aditivos tales como lubricantes, inhibidores de la corrosión, estabilizantes, tintes, y otros materiales apropiados, con tal que no tengan una influencia adversa sobre la composición, en sus aplicaciones pretendidas.

10 Las composiciones del par refrigerante son útiles en la ejecución de un ciclo de refrigeración por absorción. En la Figura 1 se muestra un diagrama esquemático de un ciclo de absorción simple aplicable en esta invención. El sistema se compone de unidades de condensador y de evaporador, con una válvula de expansión similar al equipo usado en un ciclo de compresión de vapor ordinario, pero un circuito con una unidad de absorción-generador-solución sustituye al compresor. El circuito puede estar compuesto de una unidad de absorción, un generador, un cambiador de calor, un dispositivo para el control de la presión y una bomba para hacer circular la solución.

15 Con el fin de evaluar el rendimiento en un ciclo de absorción de un refrigerante y/o un absorbente, se usan representaciones gráficas de propiedades termodinámicas, tales como diagramas de temperatura-presión-concentración (*TPX*) y entalpía-temperatura (*HT*). Estas representaciones gráficas corresponden a los familiares diagramas *PH* (presión-entalpía) o *TS* (temperatura-entropía) en el análisis del ciclo de compresión de vapor. Sin embargo, el uso de estas representaciones gráficas se adapta al caso particular de un ciclo de absorción, ya que la compresión de vapor usa un compresor, donde el proceso de compresión es, teóricamente, un único proceso isentrópico, mientras que el ciclo de absorción emplea el denominado circuito de unidad de absorción-generador-solución y están implicados varios procesos termodinámicos.

25 El diagrama *PH* o *TS*, en el ciclo de compresión de vapor, se construye usando ecuaciones de estado (EDE), y se puede calcular el rendimiento del ciclo y las propiedades termodinámicas. Las representaciones gráficas termodinámicas para el ciclo de absorción se hacen normalmente mediante ecuaciones de correlación empíricas, que se ajustan a los datos de la solubilidad experimental y a la capacidad calorífica para las propiedades de la solución, mientras que las propiedades de la fase vapor se calculan con las EDE del refrigerante. Algunas veces, los datos de solubilidad se correlacionan usando modelos teóricos de soluciones (con frecuencia denominados "actividad") (Nezu, Y. *supra*; Fatouh, M. y Murthy, S.S. [Renewable Energy, 1993, 3:31-37]; Bhatt, M.S. y colaboradores [Heat Recovery System & CHP, 1992, 12:225-233] [Classical Thermodynamics of Nonelectrolyte Solutions with Applications to Phase Equilibria (Termodinámica clásica de soluciones no electrolíticas con aplicaciones en los equilibrios de fases), 1982, McGraw-Hill, Nueva York]). Sin embargo, estos modelos están limitados, en su uso, a temperatura bien por debajo de la temperatura crítica del refrigerante, y las soluciones de los modelos pueden quedar invalidadas a las altas temperaturas del generador. El uso combinado de ecuaciones de ajuste empírico, o ecuaciones parcialmente correctas, con las EDE de la fase gaseosa puede no ser siempre completamente compatible. Por eso, es deseable hacer un modelo del proceso del ciclo de absorción con EDE termodinámicamente consistentes. Mediante el uso de EDE, incluso por encima de la temperatura crítica de los refrigerantes, se pueden calcular correctamente propiedades termodinámicas.

40 Aunque resulta familiar en hacer modelos de mezclas refrigerantes con EDE, las mezclas de refrigerantes y compuestos no volátiles son tratadas tradicionalmente con modelos empíricos de correlación por parte de los ingenieros de aire acondicionado y de refrigeración: por ejemplo, solubilidad refrigerante-aceite lubricante. Uno de los problemas difíciles al usar las EDE para estas mezclas, es determinar cómo establecer los parámetros para compuestos no volátiles sin mucha información sobre los parámetros críticos y los datos de la presión de vapor. Se ha superado, sin embargo, este problema y se han aplicado con éxito modelos de EDE a los datos de solubilidad de refrigerante-aceite lubricante, como describe de forma más completa Yokozeki, A. [Proc. Intl. Compressor Eng. Conf., en Purdue, 1994, 1:335-340]; Yokozeki, A. [Intl. J. Thermophys., 2001, 22:1057-1071]; y Yokozeki, A. [Applied Energy, 2005, 80:383-399]. Se pueden usar aquí, por lo tanto, modelos similares de EDE para calcular todas las propiedades termodinámicas y usarlas de forma consecuente como un indicador de la utilidad de los refrigerantes y los líquidos iónicos aquí descritos como nuevos pares de fluidos del ciclo de absorción.

50 Se emplea aquí un tipo de ecuaciones de estado (EDE) cúbicas de Redlich-Kwong (RK) genéricas (Shiflett, M.B. y Yokozeki, A. [Ind. Eng. Chem. Res. 2005, 44:4453-4464]), que se escriben de la siguiente forma:

$$P = \frac{RT}{\tilde{V} - b} - \frac{a(T)}{\tilde{V}(\tilde{V} + b)} \quad (1)$$

$$a(T) = 0,427480 \frac{R^2 T_c^2}{P_c} \alpha(T) \quad (2)$$

$$b = 0,08664 \frac{RT_c}{P_c} \quad (3)$$

5 La parte dependiente de la temperatura del parámetro a en la EDE para compuestos puros, se toma como modelo por la siguiente forma empírica (Yokozeki, A. [Intl. J. Thermophys., 2001, 22:1057-1071]; y Yokozeki, A. [Applied Energy, 2005, 80:383-399]; Shiflett, M.B. y Yokozeki, A. [Ind. Eng. Chem. Res. 2005, 44:4453-4464]:

$$\alpha(T) = \sum_{k=0}^{\leq 3} \beta_k \left(\frac{T_c}{T} - \frac{T}{T_c} \right)^k \quad (4)$$

Los coeficientes, β_k , se determinan para reproducir la presión de vapor de cada compuesto puro.

10 Para los absorbentes, sin embargo, normalmente no se dispone de datos de presión de vapor, o las presiones de vapor son prácticamente cero a las temperaturas de aplicación y, además, no existen datos para los parámetros críticos (T_c y P_c). Los parámetros críticos de los absorbentes se pueden estimar mediante métodos tales como los descritos, por ejemplo, en (Reid, R.C. y colaboradores [The Properties of Gases & Liquids (Las propiedades de gases y líquidos), 4ª Ed. 1987, McGraw-Hill, Nueva York]). Usando un método basado en Reid y colaboradores, las estimaciones de los parámetros críticos para compuestos de alto punto de ebullición son suficientes para correlacionar los datos de solubilidad (PT_x). Por otro lado, la parte del parámetro a , dependiente de la temperatura, para los absorbentes, es significativamente importante cuando se trata de correlacionar los datos PT_x de las mezclas refrigerante-absorbente, aunque la presión de vapor de los absorbentes es esencialmente cero a la temperatura de interés. Aquí, $\alpha(T)$, para un absorbente, está modelado por únicamente dos términos en la ecuación 4, según se aplica para el caso de mezclas de refrigerante-absorbente (Yokozeki, A. [Intl. J. Thermophys., 2001, 22:1057-1071]).

$$20 \quad k_{ij} = \frac{l_{ij} l_{ji} (x_i + x_j)}{l_{ji} x_i + l_{ij} x_j} \quad \text{donde } k_{ii} = 0 \quad (5)$$

$$\alpha(T) = 1 + \beta_1 \left(\frac{T_c}{T} - \frac{T}{T_c} \right) \quad (6)$$

El coeficiente β_1 en la ecuación 6 se tratará como un parámetro ajustable.

25 Luego, los parámetros a y b para mezclas generales de N componentes se modelan en términos de parámetros de interacción binaria (Yokozeki, A. [Applied Energy, 2005, 80:383-399]; Shiflett, M.B. y Yokozeki, A. [Ind. Eng. Chem. Res. 2005, 44:4453-4464]), que se pueden considerar como una fórmula mixta de van der Waals-Berthelot modificada.

$$a(T) = \sum_{i,j=1}^N \sqrt{a_i a_j} (1 - f(T) k_{ij}) x_i x_j, \quad a_i = 0,427480 \frac{R^2 T_{ci}^2}{P_{ci}} \alpha_i(T) \quad (7)$$

$$f(T) = 1 + \tau_{ij} / T, \quad \text{donde } \tau_{ij} = \tau_{ji}, \quad \text{y } \tau_{ii} = 0 \quad (8)$$

$$b = \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^N (b_i + b_j) (1 - m_{ij}) x_i x_j, \quad b_i = 0,08664 \frac{RT_{ci}}{P_{ci}}, \text{ donde } m_{ij} = m_{ji}, m_{ii} = 0 \quad (9)$$

T_{ci} : temperatura crítica de la especie i ,

P_{ci} : presión crítica de la especie i ,

X_i : fracción molar de la especie i .

- 5 En el presente modelo hay cuatro parámetros de interacción binaria: l_{ij} , l_{ji} , m_{ij} , y τ_{ij} para cada par binario. Se deberá indicar que cuando $l_{ij} = l_{ji}$ en la ecuación 5, y $\tau_{ij} = 0$ en la ecuación 8, la ecuación 7 se convierte en la regla de mezcla cuadrática ordinaria para el parámetro a . El presente modelo de EDE se ha aplicado con éxito para mezclas muy asimétricas (con respecto a la polaridad y el tamaño), tales como diversas mezclas refrigerante/aceite (Yokozeki, A. [Int. J. Thermophys., 2001, 22:1057-1071]) y mezclas de amoníaco/butano (Yokozeki, A. [Refrigerants of ammonia and n-butane mixtures (Refrigerantes de mezclas de amoníaco y n-butano), Proc. Intl. Congress of Refrigeration, Washington, D.C.], Equilibrium™, 1004, 3:20-24).

Para los cálculos de equilibrios de fase (solubilidad), se necesita el coeficiente de fugacidad ϕ_i para cada compuesto y la derivada para la presente regla de mezcla:

$$\ln \phi_i = -\ln \frac{PV}{RT} \left(1 - \frac{b}{V}\right) + \frac{b'_i}{V-b} - \frac{ab'_i}{bRT(V+b)} + \frac{a}{bRT} \left(\frac{a'_i}{a} - \frac{b'_i}{b} + 1\right) \ln \frac{V}{V+b}, \quad (10)$$

- 15 donde b'_i y a'_i , vienen dados por:

$$b'_i = \sum_{j=1}^N (b_i + b_j) (1 - m_{ij}) x_j - b \quad (11)$$

$$a'_i = 2 \sum_{j=1}^N \sqrt{a_i a_j} x_j \left\{ 1 - k_{ij} - \frac{x_i x_j (l_{ji} - l_{ij}) (1 + \tau_{ij} / T)}{(l_{ji} x_i + l_{ij} x_j)^2} \right\}. \quad (12)$$

Una función termodinámicamente derivada, relevante para el presente estudio, es una entalpía (H) que está dada en forma general:

$$H = \sum_{i=1}^N C_{pi}^0 x_i dT + \left(\frac{a}{b} - \frac{T}{b} \frac{da}{dT}\right) \ln \frac{V}{V+b} + RT \left(\frac{PV}{RT} - 1\right) - \frac{RT^2}{V-b} \frac{db}{dT} + \frac{a}{b} \frac{db}{dT} \left[\frac{1}{V+b} - \frac{1}{b} \ln \left(1 + \frac{b}{V}\right)\right] + C, \quad (13)$$

- 20 Donde C es una constante arbitraria, que puede ser cualquier valor de nuestra elección, pero debe ser la misma constante para cualquiera de las mezclas de componentes dentro del sistema en cuestión. La capacidad calorífica, como gas ideal, para cada compuesto, C_{pi}^0 , en la ecuación 3, está modelada con la forma polinómica:

$$C_p^0 = C_0 + C_1 T + C_2 T^2 + C_3 T^3. \quad (14)$$

- 25 En la Figura 1 se muestra un diagrama esquemático del equipo en un sistema de ciclo de refrigeración por absorción simple, adecuado para usarlo en este caso. El sistema está compuesto por una unidad de condensación y una unidad evaporadora, con una válvula de expansión similar a un ciclo de compresor de vapor ordinario, pero la unidad del compresor está sustituida aquí por un circuito de unidad de absorción-generador-solución, que tiene una unidad de absorción de vapor, un generador de gas, un cambiador de calor, una válvula para el control (reducción) de la presión y una bomba para el líquido de la solución.

Los rendimientos de ciclo teórico, para el ciclo de refrigeración por absorción mostrado en la Figura 1, están modelados como sigue. El equilibrio de energía global da:

$$Q_g + Q_e + W_p = Q_c + Q_a \quad (15)$$

A partir del balance de materia en la unidad de absorción o en el generador, tenemos:

$$m_s x_a = (m_s - m_r) x_g, \quad (16)$$

Y esto proporciona una tasa de flujo másico, f , definida por

$$f \equiv \frac{m_s}{m_r} = \frac{x_g}{x_g - x_a}, \quad (17)$$

donde x es una fracción de masa de un absorbente en solución, los subíndices a y g representan las soluciones de la unidad de absorción y del generador, y m_r y m_s son flujos másicos del refrigerante gaseoso y de la solución que sale de la unidad de absorción (o velocidad de bombeo de la solución), respectivamente. Esta tasa de flujo másico f , es un parámetro importante para caracterizar el rendimiento del sistema.

10 Cuando en una unidad de transferencia de calor, suponemos una eficacia de transferencia de calor igual a la unidad, la ecuación del balance de energía se hace:

$$Q_h \equiv (H_2 - H_3)(m_s - m_r) = (H_1 - H_4)m_s - W_p, \quad (18)$$

donde H es una entalpía, los números de los subíndices (1, 2, 3, y 4) corresponden a los lugares mostrados en la Figura 1. A partir de la ecuación 18, la energía de entrada en el generador, H_1 , se puede obtener:

$$15 \quad H_1 = H_4 + (H_2 - H_3)(1 - 1/f) + W_p / m_r. \quad (19)$$

A partir del balance de energía alrededor del generador, la entrada de calor al generador, Q_g , viene dada por:

$$Q_g = H_5 m_r + H_2 (m_s - m_r) - H_1 m_s. \quad (20)$$

Eliminando H_1 de esta ecuación con la ecuación 19, la ecuación 20 se puede escribir como:

$$Q_g / m_r = H_5 - H_4 f + H_3 (f - 1) - W_p / m_r, \quad (21)$$

20 De forma similar, la eliminación de calor en la unidad de absorción, Q_a , viene dada por,

$$Q_a / m_r = H_3 (f - 1) + H_7 - H_4 f. \quad (22)$$

Los valores del condensador y del evaporador por unidad de flujo másico son, respectivamente:

$$Q_c / m_r = H_5 - H_6 \quad (23)$$

$$Q_e / m_r = H_7 - H_6. \quad (24)$$

25 Luego, el rendimiento del sistema está definido por un *coeficiente de calor*, η , (energía de salida dividida por la energía de entrada):

$$\eta = \frac{Q_e}{Q_g + W_p}.$$

Sin embargo, la energía de bombeo, W_p , de la solución es normalmente mucho más pequeña que Q_g , y la costumbre es usar un coeficiente de rendimiento (COP) (del inglés; coefficient of performance), definido como:

$$30 \quad COP = \frac{Q_e}{Q_g}. \quad (25)$$

Esto se puede expresar en términos de H y f :

$$COP = \frac{H_7 - H_6}{H_5 + H_3(f - 1) - H_4f} \quad (26)$$

Las entalpías en todos los lugares, y la solubilidad en las unidades de absorción y en el generador se calculan de una forma termodinámicamente consistente mediante el uso del presente modelo de EDE, anteriormente discutido.

5 Se deben establecer los parámetros de las EDE. Las constantes de las EDE de componentes puros para refrigerantes, en el presente estudio, están basadas en métodos como los descritos, por ejemplo, en Yokozeki, A. [Int. J. Thermophys., 2001, 22:1057-1071]; y Yokozeki, A. [Refrigerants of ammonia and n-butane mixtures, Proc. Intl. Congress of Refrigeration, Washington, D.C.], Equilibrium™, 1004, 3:20-24, y se enumeran aquí en el Ejemplo 1, Tabla 1. Para los absorbentes seleccionados, los parámetros críticos se han estimado a partir de métodos de
 10 contribución de grupos, tales como los descritos, por ejemplo, en Reid, R.C. y colaboradores [The Properties of Gases & Liquids, 4ª Ed. 1987, McGraw-Hill, Nueva York], y también se muestran en el Ejemplo 1, Tabla 1. La precisión en los parámetros críticos, para estos materiales de alto punto de ebullición, es de menor importancia para correlacionar los datos de solubilidad (Yokozeki, A. [Int. J. Thermophys., 2001, 22:1057-1071]). Sin embargo, el parámetro β_1 en la ecuación 6, como se mencionó anteriormente, es de mayor importancia, y será tratado como un
 15 parámetro ajustable en el análisis de los datos de solubilidad binaria.

Con el fin de calcular las propiedades térmicas con las EDE, se necesita la capacidad calorífica, como gas ideal, de cada compuesto puro como una función de la temperatura: véase la ecuación 14. Los coeficientes para la ecuación 14 se enumeran en el Ejemplo 1, Tabla 2, donde los de los absorbentes han sido todos ellos estimados a partir de métodos de contribución de grupos (Reid, R.C. y colaboradores [The Properties of Gases & Liquids, 4ª Ed. 1987, McGraw-Hill, Nueva York]).
 20

Los datos de solubilidad (EVL: equilibrio vapor líquido) de las mezclas binarias fluorocarbono/líquido iónico se analiza a continuación con el fin de determinar los parámetros de las EDE para las mezclas. Los cuatro parámetros de interacción binaria, l_{ij} , l_{ji} , m_{ij} , y τ_{ij} , y el parámetro β_1 del absorbente, para cada par binario, se ha determinado mediante análisis de mínimos cuadrados no lineales con una función objetivo de diferencias de presiones relativas. Los resultados para las mezclas binarias seleccionadas se muestran en el Ejemplo 1, Tabla 3.
 25

Haciendo uso de los parámetros de las EDE para los presentes pares refrigerante/absorbente, se puede calcular cualquiera de las propiedades termodinámicas de una forma termodinámicamente consistente.

El rendimiento de un ciclo de refrigeración por absorción puede estar basado en un ciclo típicamente simple, como el mostrado en la Figura 1, y el presente modelo teórico. Aquí, la energía de bombeo, W_p , es despreciable, ya que es normalmente insignificante con respecto a otras energías térmicas. Además, se hacen varias suposiciones, que no están explícitamente establecidas:
 30

- (1) No hay caída de presión en las líneas de conexión.
- (2) El proceso de expansión del refrigerante desde el condensador hasta el evaporador es isoentálpico, como normalmente se hace en los cálculos del ciclo de compresión de vapor. El estado en el Punto 7 de la Figura 1 (salida del evaporador) es un punto de rocío del refrigerante puro con $T = T_{eva}$.
 35
- (3) El estado en el Punto 6 es un punto de burbuja del refrigerante, y no hay líquido subenfriado. El estado en el Punto 5 (entrada al condensador) es un estado sobrecalentado de un refrigerante puro con $P = P_{con}$ y $T = T_g$.
- (4) Las presiones en el condensador y en el generador (P_{con} y P_g) son la misma y, de forma similar, las presiones del evaporador y de la unidad de absorción (P_{eva} y P_a) son iguales.
 40
- (5) El estado en el Punto 3 (entrada de la solución a la unidad de absorción) es un punto de burbuja de la solución especificado con la presión de vapor (P_a) en la unidad de absorción y la concentración de la solución en el generador (x_g).
- (6) Las temperaturas en el generador (T_g), en la unidad de absorción (T_a), en el condensador (T_{con}), y en el evaporador (T_{eva}) están especificadas como una condición del ciclo dada.
 45
- (7) El caudal de gas refrigerante (m_r) se establece que va a ser de $1 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$, sin perder el carácter general. Y el insignificante vapor del absorbente se desprecia.

La primera etapa de los cálculos del ciclo es obtener P_{eva} y P_{con} como presiones de vapor saturado de un refrigerante puro a temperaturas dadas, usando métodos tales como un programa Bubble-Point P (presión del punto de burbuja), como se describe, por ejemplo en Ness, H.C.V. y Abbot, M.M. [Classical Thermodynamics of Nonelectrolyte Solutions with Applications to Phase Equilibria, 1982, McGraw-Hill, Nueva York]. Luego, usando métodos tales como
 50

programa TP Flash (temperatura-presión), como se describe, por ejemplo, en Ness, H.C.V. y Abbot, M.M. [Classical Thermodynamics of Nonelectrolyte Solutions with Applications to Phase Equilibria, 1982, McGraw-Hill, Nueva York], se calculan las composiciones del absorbente, x_g y x_a , en el generador y en las unidades de absorción. Esto proporciona f (tasa de caudal) en la ecuación 17. Las propiedades termodinámicas en el Punto 3 se determinan a partir de la suposición (5) usando métodos tales como el programa Bubble-Point T, como se describe, por ejemplo, en Ness, H.C.V. y Abbot, M.M. [Classical Thermodynamics of Nonelectrolyte Solutions with Applications to Phase Equilibria, 1982, McGraw-Hill, Nueva York]. La entalpía en el Punto 1 se obtiene a partir de la ecuación 19. Las entalpías en todos los otros puntos se calculan con T , P y composiciones conocidas. Por eso, las cantidades necesarias para la evaluación del rendimiento se pueden obtener usando las ecuaciones enumeradas. Los rendimientos del ciclo para los sistemas binarios se resumen en el Ejemplo 1, Tabla 4, con cantidades termodinámicas seleccionadas, donde las temperaturas especificadas para el estado del ciclo son: $T_g / T_{com} / T_a / T_{eva} = 100 / 40 / 30 / 10^\circ\text{C}$, y $m_r = 1 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$.

También se han calculado los bien conocidos pares refrigerante-absorbente, $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$ y $\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$, y se muestran en el Ejemplo 1, Tabla 4, para comparación. En el caso del $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$, el absorbente H_2O tiene una presión de vapor no despreciable a la salida del generador y, en aplicaciones prácticas, se requiere una unidad de rectificación (destilación) con el fin de separar el refrigerante del agua absorbente. En el presente estudio, hemos despreciado semejante efecto y la necesidad de una energía extra. Por eso, el COP calculado está sobrestimado para la comparación del presente rendimiento. Para el $\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$, no se ha desarrollado el modelo de EDE. En cambio, se han empleado diagramas de correlaciones empíricas para las propiedades termodinámicas (véase, por ejemplo, Stoecker, W.F. y Jones, J.W. [Refrigeration and Air Conditioning, (Refrigeración y aire acondicionado), 1982, McGraw-Hill, Nueva York, páginas 328-350]): diagrama temperatura-presión-concentración y diagrama entalpía-temperatura.

Aunque los cálculos del ciclo, para un ciclo de refrigeración por absorción, se pueden obtener de una manera que es relativamente simple y sencilla, en particular mediante el uso de la presente EDE, la comprensión de los resultados requiere un enfoque diferente del que se usa en el caso de un ciclo de compresión de vapor ordinario. En el último caso, se produce un gas refrigerante a alta presión/temperatura mediante un compresor de vapor, donde el proceso termodinámico es teóricamente una única etapa isentrópica: las entalpías de entrada y salida del compresor son suficientes para describir el trabajo del compresor. En el ciclo de absorción, sin embargo, el proceso que genera el correspondiente gas a alta presión/temperatura se complica por el hecho de que las entalpías en varios lugares diferentes, así como las diferencias de solubilidad de refrigerante-absorbente, en las unidades del generador y de absorción (relacionado con el valor f) deben ser conocidas, como se ve en las ecuaciones 17, 21 y 22.

El rendimiento del condensador y del evaporador es el mismo para ambos ciclos a las temperaturas dadas, y se puede comprender en base al calor latente de vaporización (o condensación). En general, el efecto refrigerante es el calor latente en el evaporador, que aumenta con el aumento en la diferencia de temperatura entre T_c y T_{eva} . Además, el *calor latente molar* (J/mol) es, generalmente, no tan diferente entre los refrigerantes, en sus puntos de ebullición (o alejadas de T_c), mientras que el *calor latente específico* (J/kg) puede ser significativamente diferentes debido a una gran diferencia en las masas molares. Estos factores pueden explicar grandes diferencias en la energía refrigerante Q_e entre refrigerantes en el Ejemplo 1, Tabla 4.

Un absorbente útil es, en general, un compuesto que tiene alta solubilidad para un refrigerante y también un muy alto punto de ebullición con respecto al refrigerante. Como ejemplo, los sistemas aquí usados incluyen HFC-32 + [bmim][PF₆], HFC-32 + [bmim][BF₄], HFC-134 + [bmim][PF₆], HFC-134a + [bmim][PF₆], HFC-152a + [bmim][PF₆], y HFC-125 + [bmim][PF₆], que tienen valores de COP/f de 0,385/7,35; 0,330/6,41; 0,348/4,38; 0,254/10,66; 0,300/13,27; y 0,128/16,49, respectivamente (véase el Ejemplo 1, Tabla 4). Las curvas de solubilidad para estos pares refrigerantes se muestran en las Figuras 2 a 8, a T constante de 10, 25, 50, y 75°C . De hecho, la buena solubilidad en la parte rica en absorbente, que es indicativa de la zona cóncava ascendente o cerca de las presiones de vapor lineales, corresponde a un buen rendimiento.

Basándose en COP/f , los pares refrigerante + líquido iónico se clasifican en el orden de preferencia para sustituir al $\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$ y $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$. Idealmente, el COP es alto y el factor f es bajo. Basándose en este criterio, los candidatos más preferidos son + [bmim][PF₆], HFC-32 + [bmim][BF₄], HFC-32 + [emim][BEI], HFC-32 + [pmpy][BMeI], HFC-32 + [dmpim][TMeM], HFC-32 + [emim][BMeI], HFC-134 + [bmim][PF₆]. HFC-32 y HFC-134 son los refrigerantes preferidos para combinar con los líquidos iónicos fluorados.

Los HFC, en general, se prefieren como los refrigerantes para usar en este caso, debido a que no tienen potencial de agotamiento de ozono y tienen un bajo potencial de calentamiento global. En particular, los CFC y los HCFC pueden agotar el ozono, y los FC tienen un potencial de calentamiento global más alto. Entre los HFC, los 134, 134a, y 125 son todos ellos ininflamables, y los HFC que son inflamables (32, 143a, 152a y 161) se pueden mezclar con los HFC ininflamables para hacer una mezcla ininflamable. Como se indicó anteriormente, entre los HFC, se prefiere el 32 y el 134 porque tienen el COP más alto, basándonos en la Tabla 4, y el 134 será muy preferido porque también es ininflamable.

Las composiciones de esta invención comprenden pares refrigerante que pueden incluir al menos un refrigerante seleccionado del grupo consistente en hidrofluorocarburos; y al menos un líquido iónico. El líquido iónico puede

comprender un catión seleccionado del grupo consistente en piridinio, piridazinio, pirimidinio, pirazinio, imidazolio, pirazolio, tiazolio, oxazolio y triazolio, y un anión seleccionado del grupo consistente en $[\text{CH}_3\text{CO}_2]^-$, $[\text{HSO}_4]^-$, $[\text{CH}_3\text{OSO}_3]^-$, $[\text{C}_2\text{H}_5\text{OSO}_3]^-$, $[\text{AlCl}_4]^-$, $[\text{CO}_3]^{2-}$, $[\text{HCO}_3]^-$, $[\text{NO}_2]^-$, $[\text{NO}_3]^-$, $[\text{SO}_4]^{2-}$, $[\text{PO}_4]^{3-}$, $[\text{HPO}_4]^{2-}$, $[\text{H}_2\text{PO}_4]^-$, $[\text{HSO}_3]^-$, $[\text{CuCl}_2]^-$, Cl^- , Br^- , I^- , y algún anión fluorado. El catión y/o el anión pueden estar fluorados. Los aniones fluorados se pueden seleccionar del grupo consistente en $[\text{BF}_4]^-$, $[\text{PF}_6]^-$, $[\text{SbF}_6]^-$, $[\text{CF}_3\text{SO}_3]^-$, $[\text{HCF}_2\text{CF}_2\text{SO}_3]^-$, $[\text{CF}_3\text{HFCCF}_2\text{SO}_3]^-$, $[\text{HCCIFCF}_2\text{SO}_3]^-$, $[(\text{CF}_3\text{SO}_2)_2\text{N}]^-$, $[(\text{CF}_3\text{SO}_2)_3\text{C}]^-$, $[\text{CF}_3\text{CO}_2]^-$, y F^- .

Las composiciones de esta invención comprenden pares refrigerantes que pueden incluir al menos un refrigerante seleccionado del grupo consistente en HFC-32, HFC-125, HFC-134, HFC-134a, HFC-143a, HFC-152a, HFC-161, y al menos un líquido iónico. En otra realización, las composiciones de esta invención comprenden pares refrigerantes que pueden incluir al menos un refrigerante seleccionado del grupo consistente en HFC-32, HFC-125, HFC-134, HFC-134a, HFC-143a, HFC-152a, HFC-161, y al menos un líquido iónico que tiene al menos un flúor. En otra realización más, las composiciones de esta invención comprenden pares refrigerante que pueden incluir al menos un refrigerante seleccionado del grupo consistente en HFC-32, HFC-125, HFC-134, HFC-134a, HFC-143a, HFC-152a, HFC-161, y al menos un líquido iónico que tiene un catión seleccionado del grupo consistente en piridinio, piridazinio, pirimidinio, pirazinio, imidazolio, pirazolio, tiazolio, oxazolio y triazolio, como se definió anteriormente.

En otra realización más, las composiciones de esta invención comprenden pares refrigerante que pueden incluir al menos un refrigerante seleccionado del grupo consistente en HFC-32, HFC-125, HFC-134, HFC-134a, HFC-143a, HFC-152a, HFC-161, y al menos un líquido iónico que tiene un catión seleccionado del grupo consistente en piridinio, piridazinio, pirimidinio, pirazinio, imidazolio, pirazolio, tiazolio, oxazolio y triazolio, como se definió anteriormente, en los que al menos uno de R_1 , R_2 , R_3 , R_4 , R_5 , y R_6 , comprende F^- . Los aniones del líquido iónico se pueden seleccionar del grupo consistente en $[\text{CH}_3\text{CO}_2]^-$, $[\text{HSO}_4]^-$, $[\text{CH}_3\text{OSO}_3]^-$, $[\text{C}_2\text{H}_5\text{OSO}_3]^-$, $[\text{AlCl}_4]^-$, $[\text{CO}_3]^{2-}$, $[\text{HCO}_3]^-$, $[\text{NO}_2]^-$, $[\text{NO}_3]^-$, $[\text{SO}_4]^{2-}$, $[\text{PO}_4]^{3-}$, $[\text{HPO}_4]^{2-}$, $[\text{H}_2\text{PO}_4]^-$, $[\text{HSO}_3]^-$, $[\text{CuCl}_2]^-$, Cl^- , Br^- , I^- , y algún anión fluorado. En otra realización más, las composiciones de esta invención comprenden pares refrigerante que pueden incluir al menos un refrigerante seleccionado del grupo consistente en HFC-32, HFC-125, HFC-134, HFC-134a, HFC-143a, HFC-152a, HFC-161, y al menos un líquido iónico que tiene un anión fluorado. El anión fluorado se puede seleccionar del grupo consistente en $[\text{BF}_4]^-$, $[\text{PF}_6]^-$, $[\text{SbF}_6]^-$, $[\text{CF}_3\text{SO}_3]^-$, $[\text{HCF}_2\text{CF}_2\text{SO}_3]^-$, $[\text{CF}_3\text{HFCCF}_2\text{SO}_3]^-$, $[\text{HCCIFCF}_2\text{SO}_3]^-$, $[(\text{CF}_3\text{SO}_2)_2\text{N}]^-$, $[(\text{CF}_3\text{SO}_2)_3\text{C}]^-$, $[\text{CF}_3\text{CO}_2]^-$, y F^- .

Las composiciones de esta invención comprenden pares refrigerantes que pueden incluir al menos un refrigerante seleccionado del grupo consistente en HFC-32, HFC-125, HFC-134, HFC-134a, HFC-143a, HFC-152a, HFC-161, y al menos un líquido iónico que tiene un catión imidazolio o un catión imidazolio fluorado, y un anión seleccionado del grupo consistente en $[\text{BF}_4]^-$, $[\text{PF}_6]^-$, $[\text{SbF}_6]^-$, $[\text{CF}_3\text{SO}_3]^-$, $[\text{HCF}_2\text{CF}_2\text{SO}_3]^-$, $[\text{CF}_3\text{HFCCF}_2\text{SO}_3]^-$, $[\text{HCCIFCF}_2\text{SO}_3]^-$, $[(\text{CF}_3\text{SO}_2)_2\text{N}]^-$, $[(\text{CF}_3\text{SO}_2)_3\text{C}]^-$, $[\text{CF}_3\text{CO}_2]^-$.

Las composiciones de esta invención comprenden pares refrigerantes que pueden incluir al menos un refrigerante seleccionado del grupo consistente en HFC-32, HFC-125, HFC-134, HFC-134a, HFC-143a, HFC-152a, HFC-161, y al menos un líquido iónico que tiene un catión 1-butil-3-metilimidazolio o un catión 1-butil-3-metilimidazolio fluorado, y un anión seleccionado del grupo consistente en $[\text{BF}_4]^-$, $[\text{PF}_6]^-$, $[\text{SbF}_6]^-$, $[\text{CF}_3\text{SO}_3]^-$, $[\text{HCF}_2\text{CF}_2\text{SO}_3]^-$, $[\text{CF}_3\text{HFCCF}_2\text{SO}_3]^-$, $[\text{HCCIFCF}_2\text{SO}_3]^-$, $[(\text{CF}_3\text{SO}_2)_2\text{N}]^-$, $[(\text{CF}_3\text{SO}_2)_3\text{C}]^-$, $[\text{CF}_3\text{CO}_2]^-$. Las composiciones de esta invención comprenden pares refrigerantes que pueden incluir al menos un refrigerante seleccionado del grupo consistente en HFC-32, HFC-125, HFC-134, HFC-134a, HFC-143a, HFC-152a, HFC-161, y al menos un líquido iónico que tiene un catión 1-propil-2,3-dimetilimidazolio o un catión 1-propil-2,3-dimetilimidazolio fluorado, y un anión seleccionado del grupo consistente en $[\text{BF}_4]^-$, $[\text{PF}_6]^-$, $[\text{SbF}_6]^-$, $[\text{CF}_3\text{SO}_3]^-$, $[\text{HCF}_2\text{CF}_2\text{SO}_3]^-$, $[\text{CF}_3\text{HFCCF}_2\text{SO}_3]^-$, $[\text{HCCIFCF}_2\text{SO}_3]^-$, $[(\text{CF}_3\text{SO}_2)_2\text{N}]^-$, $[(\text{CF}_3\text{SO}_2)_3\text{C}]^-$, $[\text{CF}_3\text{CO}_2]^-$. Las composiciones de esta invención comprenden pares refrigerantes que pueden incluir al menos un refrigerante seleccionado del grupo consistente en HFC-32, HFC-125, HFC-134, HFC-134a, HFC-143a, HFC-152a, HFC-161, y al menos un líquido iónico que tiene un catión 1,3-dioctilimidazolio o 1-octil-3-metilimidazolio o un catión 1,3-dioctilimidazolio fluorado o un catión 1-octil-3-metilimidazolio fluorado, y un anión seleccionado del [I].

Esta invención proporciona también un procedimiento para enfriar un objeto o un espacio, consistente en (a) absorber, con un líquido iónico, el vapor de un refrigerante seleccionado del grupo consistente en hidrofluorocarburos para formar una mezcla de ambos constituyentes; (b) calentar la mezcla para separar el refrigerante, en forma de vapor, del líquido iónico; (c) condensar el vapor refrigerante, bajo presión, para dar un líquido; (d) reducir la presión del refrigerante líquido, y evaporar el refrigerante para formar vapor refrigerante, en las proximidades del objeto o del espacio que se va a enfriar; y (e) reabsorber el vapor refrigerante con un líquido iónico.

Esta invención proporciona un procedimiento para calentar un objeto o un espacio, consistente en (a) absorber, con un líquido iónico, el vapor de un refrigerante seleccionado del grupo consistente en hidrofluorocarburos para formar una mezcla de ambos constituyentes; (b) calentar la mezcla para separar el refrigerante, en forma de vapor, del líquido iónico; (c) condensar el vapor refrigerante, bajo presión, para dar un líquido en las proximidades del objeto o del espacio que se va a calentar; (d) reducir la presión del refrigerante líquido, y evaporar el refrigerante para formar vapor refrigerante; y (e) reabsorber el vapor refrigerante con un líquido iónico.

Esta invención proporciona también un procedimiento para enfriar un objeto o un espacio en un aparato que ejecute un ciclo de refrigeración por absorción, consistente en (a) formar en una unidad de absorción una mezcla de un refrigerante y un líquido iónico, donde el refrigerante se selecciona del grupo consistente en hidrofluorocarburos para

formar una mezcla de ambos constituyentes; (b) pasar la mezcla a un generador donde la mezcla se calienta para separar el refrigerante, en forma de vapor, del líquido iónico; (c) pasar el vapor refrigerante a un condensador donde el vapor se condensa bajo presión para dar un líquido; (d) pasar el refrigerante líquido a un evaporador donde el líquido se evapora bajo presión reducida, para formar vapor refrigerante, en las proximidades del objeto o del espacio que se va a enfriar; y (e) pasar el vapor refrigerante a la unidad de absorción.

Esta invención proporciona también un procedimiento para calentar un objeto o un espacio en un aparato que ejecute un ciclo de refrigeración por absorción, consistente en (a) formar en una unidad de absorción una mezcla de un refrigerante y un líquido iónico, donde el refrigerante se selecciona del grupo consistente en hidrofluorocarburos para formar una mezcla de ambos constituyentes; (b) pasar la mezcla a un generador donde la mezcla se calienta para separar el refrigerante, en forma de vapor, del líquido iónico; (c) pasar el vapor refrigerante a un condensador donde el vapor se condensa bajo presión para dar un líquido en las proximidades del objeto o del espacio que se va a calentar; (d) pasar el refrigerante líquido a un evaporador donde el líquido se evapora bajo presión reducida, para formar vapor refrigerante; y (e) pasar el vapor refrigerante a la unidad de absorción.

En cualquier procedimiento como el anteriormente descrito, el líquido iónico separado de refrigerante en la etapa (b) se puede recircular para usarlo en la etapa (e).

La presente invención proporciona también un aparato para ajustar la temperatura a la que se ejecuta un ciclo de absorción, como el aquí descrito, para enfriar o calentar un objeto o un espacio. El aparato puede incluir componentes tales como un circuito para la solución con una unidad de absorción-generador, que sustituya a un compresor, donde el circuito, tal vez compuesto de una unidad de absorción, un generador, un cambiador de calor, un dispositivo para controlar la presión y una bomba para hacer circular la solución; y el aparato está compuesto también por unidades de condensación y de evaporación, con una válvula de expansión similar al equipo usado en un ciclo de compresión de vapor ordinario. El presente aparato es capaz de ejecutar un ciclo de refrigeración por absorción usando uno cualquiera, o más, de los refrigerantes aquí descritos y/o uno cualquiera, o más, de los líquidos iónicos aquí descritos. El presente aparato es capaz de ejecutar uno cualquiera, o más, de los procedimientos aquí descritos. Un aparato de esta invención se puede utilizar para usarlo en, o como, un equipo refrigerante, un acondicionador de aire, una máquina para hacer hielo, un sistema de enfriamiento industrial, un calentador o una bomba de calor.

Los siguientes ejemplos se presentan para ilustrar las ventajas de la presente invención y para ayudar a un experto en la técnica en la construcción y uso del mismo. Estos ejemplos no pretenden, en modo alguno, limitar el alcance de la descripción o de las reivindicaciones adjuntas.

Métodos generales y materiales

Se obtuvieron de Fluka Chemika, hexafluorofosfato de 1-butil-3 metilimidazolio ([bmim][PF₆], C₈H₁₅N₂F₆P, con un peso molecular de 284 g·mol⁻¹, código de lote y catalogación, 1055432 31304010), tetrafluoroborato de 1-butil-3-metilimidazolio ([bmim][BF₄], C₈H₁₅N₂F₄B, con un peso molecular de 226 g·mol⁻¹, código de lote y catalogación, 1080045 11304079), tris(trifluorometilsulfonil)metanuro de 1,2-dimetil-3-propilimidazolio ([dmpim][tTFMSmetanuro] o [dmpim][TMeM], C₁₂H₁₅N₂F₉O₆S₃, con un peso molecular de 550 g·mol⁻¹, código de lote 439706), y bis(trifluorometilsulfonil)imida de 1,2-dimetil-3-propilimidazolio ([dmpim][bTFMSimida] o [dmpim][BMeI], C₁₀H₁₅N₃F₆O₄S₂, con un peso molecular de 419 g·mol⁻¹, código de lote 439391), bis(trifluorometilsulfonil)imida de 3-metil-1-propilpiridinio ([pmpy][BMeI] con un peso molecular de 416,4 g·mol⁻¹), bis(pentafluoroetilsulfonil)imida de 1-etil-3-metilimidazolio ([emim][BEI] con un peso molecular de 491,32 g·mol⁻¹), bis(trifluorometilsulfonil)imida de 1-etil-3-metilimidazolio ([emim][BMe] con un peso molecular de 391,31 g·mol⁻¹), hexafluorofosfato de 1-etil-3-metilimidazolio [emim][PF₆], bis(trifluorometilsulfonil)imida de 1-butil-3-metilpiridinio [bmpy][BMeI], acetato de 1-butil-3-metilimidazolio, metil-sulfonato de 1-butil-3 metilimidazolio y tiocianato de 1-butil-3 metilimidazolio, con una pureza de >96 a 97% cada uno.

Se obtuvieron de DuPont Fluorochemicals (Wilmington, Delaware), clorodifluorometano (HCFC-22, CHClF₂, con un peso molecular de 86,47 g·mol⁻¹), difluorometano (HFC-32, CH₂F₂, con un peso molecular de 52,02 g·mol⁻¹), pentafluoroetano (HFC-125, C₂H₅F₅, con un peso molecular de 120,02 g·mol⁻¹), 1,1,1,2-tetrafluoroetano (HFC-134, C₂H₂F₄, con un peso molecular de 102,03 g·mol⁻¹), 1,1,1,2-tetrafluoroetano (HFC-134a, C₂H₂F₄ con un peso molecular de 102,03 g·mol⁻¹), 1,1,1-trifluoroetano (HFC-143a, C₂H₃F₃, con un peso molecular de 82,04 g·mol⁻¹), y 1,1-difluoroetano (HFC-152a, C₂H₄F₂, con un peso molecular de 66,05 g·mol⁻¹), y HFC-134, con una pureza mínima del 99,99%. Se instaló una trampa de tamiz molecular para retirar de los gases cantidades tras de agua, y cada uno de los líquidos iónico sometido a ensayo se desgasearon antes de hacer medidas de solubilidad.

Los Ejemplos 2 – 6 y las Figuras 2 – 6, muestran los resultados de la solubilidad y de la capacidad de difusión para varios hidrofluorocarburos (HFC-32, HFC-125, HFC-134a, HFC-143a, y HFC-152a) en un líquido iónico, ([bmim][PF₆], a 10, 25, 50 y 75°C.

Los Ejemplos 7 – 11 y la Figura 7, muestran los resultados de la solubilidad y de la capacidad de difusión para el HFC-32 en varios líquidos iónicos adicionales ([bmim][BF₄], [omim][I], [doim][I], [dmpim][tTFMSmetanuro], y [dmpim][bTFMSimida].

Los Ejemplos 12 y 13 proporcionan un método para la preparación del yoduro de 1,3-dioctilimidazolio [ooim][I] y un método para la preparación del yoduro de 1-metil-3-dioctilimidazolio [ooim][I].

El Ejemplo 14 proporciona una descripción de los componentes en la microbalanza gravimétrica.

- 5 Los Ejemplos 15 – 41 muestran los resultados de la solubilidad para diversos refrigerante en líquidos iónicos, que incluyen con fines de comparación HCFC-22 (CHClF_2 , un ejemplo de los clorohidrocarburos fluorados descritos en el documento WO 2005/113702.

Se usan la siguiente nomenclatura y abreviaturas:

a_i = parámetro de la EDE RK (Redlich-Kwong) genérica de la especie i , ($\text{m}^6 \cdot \text{MPa} \cdot \text{mol}^{-2}$)

b_i = parámetro de la EDE RK genérica de la especie i , ($\text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$)

- 10 C = concentración ($\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$)

C_b = fuerza hidrostática (N)

C_f = factor de corrección (kg)

C_{pi}^0 = capacidad calorífica, como gas ideal, de la especie i ($\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}$)

C_0 = concentración inicial ($\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$)

- 15 C_s = concentración de saturación ($\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$)

$\langle C \rangle$ = concentración media en el espacio ($\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$)

COP = coeficiente de rendimiento

D = constante de difusión ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)

g = aceleración gravitacional ($9,80665 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$)

- 20 f = tasa de flujo másico

$f(T)$ = término dependiente de la temperatura del parámetro de interacción binaria, $1 + \tau_{ij}/T$

H_i = entalpía en el punto i ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$)

K_{ij} , K_{ji} , l_{ij} , l_{ji} = parámetros de interacción binaria

L = longitud (m)

- 25 m_a = masa absorbida (kg)

m_i = masa de la especie i en el lado de la muestra de la balanza (kg)

m_j = masa de la especie j en el lado del contrapeso de la balanza (kg)

m_{ij} = parámetro de interacción binaria

m_s = flujo másico de la solución ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$)

- 30 m_r = flujo másico del refrigerante ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$)

m_{LL} = masa de la muestra de líquido iónico (kg)

MW_i = peso molecular de la especie i ($\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$)

N = componente enésimo

P = presión (MPa)

- 35 P_{ci} = presión crítica de la especie i (MPa)

P_0 = presión inicial (MPa)

Q_i = calor (kW)

R = constante de los gases ($8,31434 \text{ m}^3 \cdot \text{Pa} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

t = tiempo (s)

T_{ci} = temperatura crítica de la especie i (K)

T_i = temperatura de la especie i (K)

T_j = temperatura de la especie j (K)

5 T_s = temperatura de la muestra (K)

V_i = volumen de la especie i (m³)

V_{IL} = volumen del líquido iónico (m³)

V_m = volumen de la muestra líquida (m³)

\tilde{V}_g = volumen molar del gas (m³·mol⁻¹)

10 \tilde{V}_i = volumen molar de la especie i (m³·mol⁻¹)

\tilde{V}_{IL} = volumen molar del líquido iónico (m³·mol⁻¹)

\tilde{V}_m = volumen molar de la mezcla (m³·mol⁻¹)

\tilde{V}_0 = volumen molar inicial (m³·mol⁻¹)

$\Delta\tilde{V}$ = cambio en el volumen molar (m³·mol⁻¹)

15 W_i = trabajo (kW)

x_i = fracción molar de la especie i

z = profundidad (m)

α = parámetro de dependencia de la temperatura en la EDE

β_k = coeficiente del parámetro de dependencia de la temperatura

20 λ_n = valor propio (m⁻¹)

ρ_g = densidad del gas (kg·m⁻³)

ρ_i = densidad del componente i en el lado de la muestra de la balanza (kg·m⁻³)

ρ_j = densidad del componente j en el lado del contrapeso de la balanza (kg·m⁻³)

ρ_{air} = densidad del aire (kg·m⁻³)

25 ρ_s = densidad de la muestra (kg·m⁻³)

η = coeficiente de calor, energía de salida dividida por la energía de entrada

τ_{ij} = parámetro (K) de interacción binaria para el término de dependencia de la temperatura, $f(T)$

Unidades

Pa \equiv pascal

30 MPa \equiv megapascal

mol \equiv mol

m \equiv metro

cm \equiv centímetro

kW \equiv kilovatio

K ≡ kelvin

N ≡ newton

J ≡ julio

kJ ≡ kilojulio

5 kg ≡ kilogramo

mg ≡ miligramo

µg ≡ microgramo

T ≡ temperatura

P ≡ presión

10 mbar ≡ milibar

min ≡ minuto

°C ≡ grados centígrados

s ≡ segundo

15 En la siguiente descripción, (A) - (D) proporcionan síntesis para aniones de líquidos iónicos que son útiles para la invención, y (E) - (U) proporcionan síntesis para líquidos iónicos útiles para la invención.

Preparación de aniones que generalmente no se pueden conseguir comercialmente

(A) Síntesis del 1,1,2,2-tetrafluoroetanosulfonato de potasio (TFES-K) ($[\text{HCF}_2\text{CF}_2\text{SO}_3^-]$):

20 Se cargó un recipiente de reacción de Hastelloy® C276 de aproximadamente 4 litros con una solución de sulfito de potasio hidratado (176 g, 1,0 mol), metabisulfito de potasio (610 g, 2,8 moles) y agua desionizada (2000 ml). El pH de esta solución era de 5,8. Se enfrió el recipiente a 18°C, se hizo vacío hasta 100 kPa, y se purgó con nitrógeno. El ciclo de hacer el vacío/purga se repitió dos veces más. Se le añadió luego al recipiente tetrafluoroetileno (TFE, 66 g), y se calentó a 100°C, en cuyo momento la presión en el interior era de 1140 kPa. Se aumentó la temperatura de reacción a 125°C y se mantuvo durante 3 horas. A medida que la presión del TFE disminuyó debido a la reacción, se añadió más TFE en pequeñas partes alícuotas (20-30 g cada una) para mantener la presión operativa más o menos
25 entre 1140 y 1480 kPa. Una vez que se han introducido 500 g (5,0 moles) de TFE después de la precarga inicial de 66 g, el recipiente se ventiló y se enfrió a 25°C. El pH de la solución de reacción transparente de color amarillo claro era de 10-11. Esta solución se tamponó a pH 7 mediante la adición de metabisulfito de potasio (16 g).

30 Se quitó el agua a vacío en un evaporador rotatorio para producir un sólido mojado. Se puso luego el sólido en un secador por congelación (Virtis Freezemobile 35x1; Gardiner, NY), durante 72 h, para reducir el contenido de agua hasta aproximadamente el 1,5% en peso (1387 g de material crudo). La masa teórica de los sólidos totales era de 1351 g. El balance de masas estaba muy próximo al ideal y el sólido aislado tenía una masa ligeramente más alta debido a la humedad. Esta etapa añadida de secado por congelación tenía la ventaja de producir un polvo blanco suelto, mientras que el tratamiento en un horno a vacío dio como resultado una torta sólida jabonosa que era muy difícil de retirar y tenía que ser desmenuzado y partido fuera del matraz. El TFES-K crudo se puede purificar más y
35 aislar mediante extracción con acetona de calidad reactivo, filtración, y secado.

RMN de ^{19}F (D_2O) δ , -122,0(dt, $J_{\text{FH}} = 6$ Hz, $J_{\text{FH}} = 6$ Hz, 2F); -136,1(dt, $J_{\text{FH}} = 53$ Hz, 2F)

RMN de ^1H (D_2O) δ , 6,4(tt, $J_{\text{FH}} = 53$ Hz, $J_{\text{FH}} = 6$ Hz, 1H).

% de agua mediante valoración Karl-Fisher: 580 ppm.

Cálculo analítico para $\text{C}_2\text{HO}_3\text{F}_4\text{SK}$: C, 10,9; H, 9,5; N, 9,9. Resultados experimentales: C, 11,1; H, 0,7; N, 0,2.

40 Pf (DSC): 242°C

TGA (aire): pérdida del 10% en peso a 367°C, pérdida del 50% en peso a 375°C.

TGA (N_2): pérdida del 10% en peso a 363°C, pérdida del 50% en peso a 375°C.

(B) Síntesis del 1,1,2-trifluoro-2-(perfluoroetoxi)etanosulfonato de potasio (TPES-K)

45 Se cargó un recipiente de reacción de Hastelloy® C276 de aproximadamente 4 litros con una solución de sulfito de potasio hidratado (88 g, 0,56 mol), metabisulfito de potasio (340 g, 1,53 moles) y agua desionizada (2000 ml). Se

5 enfrió el recipiente a 7°C, se hizo vacío hasta 50 kPa, y se purgó con nitrógeno. El ciclo de hacer el vacío/purga se repitió dos veces más. Se le añadió luego al recipiente perfluoro(etil-vinil-éter) (PEVE, 600 g, 2,78 moles), y se calentó a 125°C, en cuyo momento la presión en el interior era de 2310 kPa. Se mantuvo la temperatura de reacción a 125°C durante 10 h. La presión cayó a 260 kPa, en cuyo punto se ventiló el recipiente y se enfrió a 25°C. El producto crudo de reacción era un precipitado blanco cristalino con una capa acuosa incolora (pH = 7) sobre él.

10 El espectro RMN de ^{19}F del sólido blanco mostró el producto puro deseado, mientras que el espectro de la capa acuosa mostró una cantidad pequeña, pero detectable, de una impureza fluorada. El isómero deseado es menos soluble en agua, de forma que precipita en forma isoméricamente pura. La suspensión del producto se filtró por succión a través de un embudo de vidrio poroso, y la torta mojada se secó en un horno a vacío (60°C, 10 kPa) durante 48 horas. El producto se obtuvo como cristales blanquecinos (904 g, rendimiento del 97%).

RMN de ^{19}F (D_2O) δ , -86,5(s, 3F); -89,2, -91,3(subdivisión ABq, $J_{\text{FF}} = 147$ Hz, 2F); -119,3, -121,2 (subdivisión, ABq, $J_{\text{FF}} = 258$ Hz, 2F); -144,3(dm, $J_{\text{FH}} = 53$ Hz, 1F).

RMN de ^1H (D_2O) δ , 6,7(dm, $J_{\text{FH}} = 53$ Hz, 1H).

Pf (DSC): 263°C.

15 Cálculo analítico para $\text{C}_4\text{HO}_4\text{F}_8\text{SK}$: C, 14,3; H, 0,3. Resultados experimentales: C, 14,1; H, 0,3

TGA (aire): pérdida del 10% en peso a 359°C; pérdida del 50% en peso a 367°C.

TGA (N_2): pérdida del 10% en peso a 362°C; pérdida del 50% en peso a 374°C.

(C) Síntesis del 1,1,2-trifluoro-2-(trifluorometoxi)etanosulfonato de potasio (TTES-K):

20 Se cargó un recipiente de reacción de Hastelloy® C276 de aproximadamente 4 litros con una solución de sulfito de potasio hidratado (114 g, 0,72 mol), metabisulfito de potasio (440 g, 1,98 moles) y agua desionizada (2000 ml). El pH de la solución era de 5,8. Se enfrió el recipiente a -35°C, se hizo vacío hasta 80 kPa, y se purgó con nitrógeno. El ciclo de hacer el vacío/purga se repitió dos veces más. Se le añadió luego al recipiente perfluoro(metil-vinil-éter) (PEVE, 600 g, 3,61 moles), y se calentó a 125°C, en cuyo momento la presión en el interior era de 3290 kPa. Se mantuvo la temperatura de reacción a 125°C durante 6 h. La presión cayó a 270 kPa, en cuyo punto se ventiló el recipiente y se enfrió a 25°C. Una vez enfriado, se formó un precipitado blanco cristalino del producto deseado dejando una solución acuosa clara e incolora sobre él (pH = 7).

30 El espectro RMN de ^{19}F del sólido blanco mostró el producto puro deseado, mientras que el espectro de la capa acuosa mostró una cantidad pequeña, pero detectable, de una impureza fluorada. La solución se filtró por succión a través de un embudo de vidrio poroso durante 6 h para quitar la mayoría del agua. La torta mojada se secó luego en un horno a vacío, a 10 kPa y 50°C, durante 48 horas. Esto dio 854 g (rendimiento del 83%) de un polvo blanco. El producto final era isoméricamente puro (mediante RMN de ^{19}F y ^1H) ya que el isómero no deseado permaneció en el agua durante la filtración.

RMN de ^{19}F (D_2O) δ , -59,9(d, $J_{\text{FH}} = 4$ Hz, 3F); -119,6, -120,2(subdivisión ABq, $J = 260$ Hz, 2F); -144,9(dm, $J_{\text{FH}} = 53$ Hz, 1F).

35 RMN de ^1H (D_2O) δ , 6,6(dm, $J_{\text{FH}} = 53$ Hz, 1H).

% de agua mediante valoración por Karl-Fisher: 71 ppm

Cálculo analítico para $\text{C}_3\text{HF}_6\text{SO}_4\text{K}$: C, 12,6; H, 0,4; N, 0,0. Resultados experimentales: C, 12,6; H, 0,0; N, 0,1

Pf (DSC): 257°C

TGA (aire): pérdida del 10% en peso a 343°C; pérdida del 50% en peso a 358°C.

40 TGA (N_2): pérdida del 10% en peso a 341°C; pérdida del 50% en peso a 357°C.

(D) Síntesis del 1,1,2,3,3,3-hexafluoropropanosulfonato de sodio (HFPS-Na)

45 Se cargó un recipiente de reacción de Hastelloy® C276 de aproximadamente 4 litros con una solución de sulfito de potasio hidratado (25 g, 0,20 mol), bisulfito de sodio (73 g, 0,70 moles) y agua desionizada (400 ml). El pH de la solución era de 5,7. Se enfrió el recipiente a 4°C, se hizo vacío hasta 80 kPa, y luego se cargó con hexafluoropropano (HFP, 120 g, 0,8 moles, 430 kPa). Se calentó el recipiente, con agitación, a 120°C, y se mantuvo así durante 3 h. La presión se elevó hasta un máximo de 1830 kPa, y luego cayó a 270 kPa, en 30 minutos. Al final, el recipiente se enfrió y se dio salida al HFP restante, y se purgó el reactor con nitrógeno. La solución final tenía un pH de 7,3.

50 Se quitó el agua a vacío en un evaporador rotatorio para producir un sólido mojado. Se puso luego el sólido en un horno de vacío (20 kPa, 140°C, 48 h) para producir 219 g de un sólido blanco, que contenía aproximadamente un

1% de agua. La masa teórica de los sólidos totales era 217 g. El HFPS-Na se puede purificar más y aislarse mediante extracción con acetona de calidad reactivo, filtración, y secado.

RMN de ^{19}F (D_2O) δ , -74,5(m, 3F); -113,1, -120,4(ABq, $J = 264$ Hz, 2F); -211,6(dm, 1F).

RMN de ^1H (D_2O) δ , 5,8(dm, $J_{\text{FH}} = 43$ Hz, 1H).

5 Pf (DSC): 126°C

TGA (aire): pérdida del 10% en peso a 326°C; pérdida del 50% en peso a 446°C.

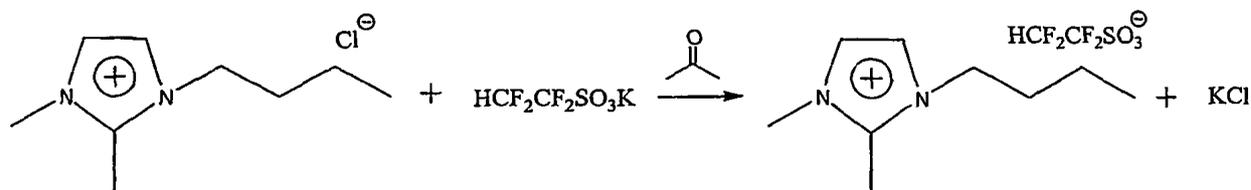
TGA (N_2): pérdida del 10% en peso a 322°C; pérdida del 50% en peso a 449°C.

Preparación de líquidos iónicos

E) Síntesis del 1,1,2,2-tetrafluoroetanosulfonato de 1-butil-2,3-dimetilimidazolio

- 10 Se mezcló cloruro de 1-butil-2,3-dimetilimidazolio (22,8 g, 0,121 moles) con acetona de calidad reactivo (250 ml) en un matraz grande de fondo redondo, y se agitó vigorosamente. Por separado, se añadió 1,1,2,2-tetrafluoroetanosulfonato de potasio (TFES-K, 26,6 g, 0,121 moles) a acetona de calidad reactivo (250 ml) en un matraz de fondo redondo, y esta solución se añadió con cuidado a la solución de cloruro de 1-butil-2,3-dimetilimidazolio. Se sumergió el matraz grande en un baño de aceite y se calentó a 60°C, bajo reflujo, durante 10
- 15 horas. Se filtró luego la mezcla de reacción usando un gran embudo de vidrio poroso para separar el precipitado blanco de KCl formado, y el filtrado se puso en un evaporador rotatorio durante 4 horas para retirar la acetona.

A continuación se muestra el esquema de la reacción:



F) Síntesis del 1,1,2,2-tetrafluoroetanosulfonato de 1-butil-3-metilimidazolio

- 20 Se combinaron cloruro de 1-butil-3-metilimidazolio (60,0 g) y acetona seca de alta pureza (>99,5%, Aldrich, 300 ml) en un matraz de 1 l, y se calentó a reflujo, con agitación magnética, hasta que se disolvió completamente el sólido. A temperatura ambiente, y por separado, se disolvió en un matraz de 1 l, 1,1,2,2-tetrafluoroetanosulfonato de potasio (TFES-K, 75,6 g) en acetona de alta pureza (500 ml). Estas dos soluciones se combinaron a temperatura ambiente y se dejó con agitación magnética durante 2 h, bajo presión positiva de nitrógeno. Se paró la agitación y se dejó que el
- 25 precipitado de KCl reposara, luego se separó por filtración con succión a través de un embudo de vidrio poroso con una almohadilla de celita. La acetona se separó mediante vacío para dar un aceite amarillo. Se purificó luego el aceite diluyendo con acetona de alta pureza (100 ml) y agitando con carbono decolorante (5 g). La mezcla se filtró de nuevo por succión y la acetona se separó a vacío para dar un aceite incoloro. Esto se secó más, a 4 Pa y 25°C durante 4 h, para proporcionar 83,6 g de producto.

30 RMN de ^{19}F ($\text{DMSO}-d_6$) δ , -124,7(dt, $J = 6$ Hz, $J = 8$ Hz, 2F); -136,8(dt, $J = 53$ Hz, 2F).

RMN de ^1H ($\text{DMSO}-d_6$) δ , 0,9(t, $J = 7,4$ Hz, 3H); 1,3(m, 2H); 1,8(m, 2H); 3,9(s, 3H); 4,2(t, $J = 7$ Hz, 2H); 6,3(dt, $J = 53$ Hz, $J = 6$ Hz, 1H); 7,4(s, 1H); 7,5(s, 1H); 8,7(s, 1H)

% de agua mediante valoración por Karl-Fisher: 0,14%

Cálculo analítico para $\text{C}_9\text{H}_{12}\text{F}_6\text{N}_2\text{O}_3\text{S}$: C, 37,6; H, 4,7.; N, 8,8. Resultados experimentales: C, 37,6; H, 4,6; N, 8,7

35 TGA (aire): pérdida del 10% en peso a 380°C; pérdida del 50% en peso a 420°C.

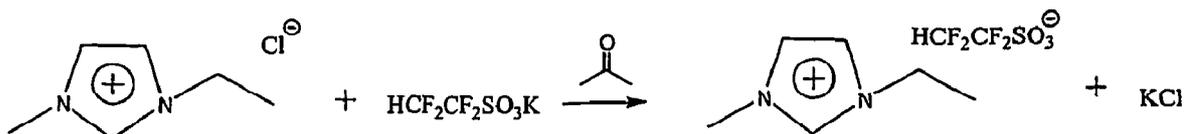
TGA (N_2): pérdida del 10% en peso a 375°C; pérdida del 50% en peso a 422°C.

G) Síntesis del 1,1,2,2-tetrafluoroetanosulfonato de 1-etil-3-metilimidazolio

- A un matraz de fondo redondo de 500 ml se añadió cloruro de 1-etil-3-metilimidazolio (Emim-Cl, 98%, 61,0 g) y acetona de calidad reactivo (500 ml). Se calentó suavemente la mezcla (50°C) hasta que se disolvió la casi totalidad del Emim-Cl. Por separado, en un matraz de 500 ml, se añadió 1,1,2,2-tetrafluoroetanosulfonato de potasio (TFES-K, 90,2 g) junto con acetona de calidad reactivo (350 ml). Esta segunda mezcla se agitó magnéticamente a 24°C hasta que se disolvió la totalidad del TFES-K. Se combinaron estas soluciones en un matraz de 1 l produciendo una suspensión blanca lechosa. La mezcla se agitó a 24°C durante 24 h. Se dejó luego que el precipitado de KCl
- 40

reposara dejando una solución verde clara encima de él. Se filtró la mezcla de reacción, una vez, a través de una almohadilla de celita/acetona, y otra vez a través de un embudo de vidrio poroso para separar el KCl. Se retiró la acetona a vacío, primero en un rotavapor y luego en una línea de alto vacío (4Pa, 25°C) durante 2 h. El producto era un aceite viscoso de color amarillo claro (76,0 g, rendimiento del 64%).

5 A continuación se muestra el esquema de la reacción:



RMN de ^{19}F (DMSO- d_6) δ , -124,7(dt, $J = 6$ Hz, $J_{\text{FF}} = 6$ Hz, 2F); -138,4(dt, $J_{\text{FH}} = 53$ Hz, 2F).

RMN de ^1H (DMSO- d_6) δ , 1,3(t, $J = 7,3$ Hz, 3H); 3,7(s, 3H); 4,0(q, $J = 7,3$ Hz, 2H); 6,1(tt, $J_{\text{FH}} = 53$ Hz, $J_{\text{FH}} = 6$ Hz, 1H); 7,4(s, 1H); 7,3(s, 1H); 8,5(s, 1H)

10 % de agua mediante valoración por Karl-Fisher: 0,18%

Cálculo analítico para $\text{C}_8\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_3\text{F}_4\text{S}$: C, 32,9; H, 4,1; N, 9,6. Hallados: C, 33,3; H, 3,7; N, 9,6

Pf: 45-46°C

TGA (aire): pérdida del 10% en peso a 379°C; pérdida del 50% en peso a 420°C.

TGA (N_2): pérdida del 10% en peso a 378°C; pérdida del 50% en peso a 418°C.

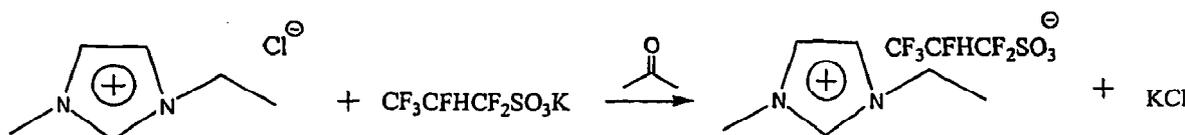
15 H) Síntesis del 1,1,2,3,3,3-hexafluoropropanosulfonato de 1-etil-3-metilimidazolio

A un matraz de fondo redondo de 1 l, se añadió cloruro de 1-etil-3-metilimidazolio (Emim-Cl, 98%, 50,5 g) y acetona de calidad reactivo (400 ml). Se calentó suavemente la mezcla (50°C) hasta que se disolvió la casi totalidad de Emim-Cl. Por separado, en un matraz de 500 ml, se añadió 1,1,2,3,3,3-hexafluoropropanosulfonato de potasio (HFPS-K, 92,2 g) junto con acetona de calidad reactivo (300 ml). Esta segunda mezcla se agitó magnéticamente a 24°C hasta que se disolvió la totalidad del TFES-K.

Estas soluciones se combinaron y agitaron bajo presión positiva de N_2 , a 26°C durante 12 horas, produciendo una suspensión blanca lechosa. Se dejó reposar el precipitado de KCl durante una noche lo que dio una solución de color amarillo claro encima de él. Se filtró la mezcla de reacción, una vez, a través de una almohadilla de celita/acetona y, otra vez, a través de un embudo de vidrio poroso. Se retiró la acetona a vacío, primero en un rotavapor y luego en una línea de alto vacío (4Pa, 25°C) durante 2 h. El producto era un aceite viscoso de color amarillo claro (103,8 g, rendimiento del 89%).

25

A continuación se muestra el esquema de la reacción:



RMN de ^{19}F (DMSO- d_6) δ , -73,8(s, 3F); -114,5, -121,0 (ABq, $J = 258$ Hz, 2F); -210,6(m, 1F, $J_{\text{HF}} = 41,5$ Hz).

30 RMN de ^1H (DMSO- d_6) δ , 1,4(t, $J = 7,3$ Hz, 3H); 3,9(s, 3H); 4,2(q, $J = 7,3$ Hz, 2H); 5,8(m, $J_{\text{FH}} = 41,5$ Hz, 1H); 7,7(s, 1H); 7,8(s, 1H); 9,1(s, 1H)

% de agua mediante valoración por Karl-Fisher: 0,12%

Cálculo analítico para $\text{C}_9\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_3\text{F}_6\text{S}$: C, 31,5; H, 3,5; N, 8,2. Resultados experimentales: C, 30,9; H, 3,9; N, 7,8

TGA (aire): pérdida del 10% en peso a 342°C; pérdida del 50% en peso a 373°C.

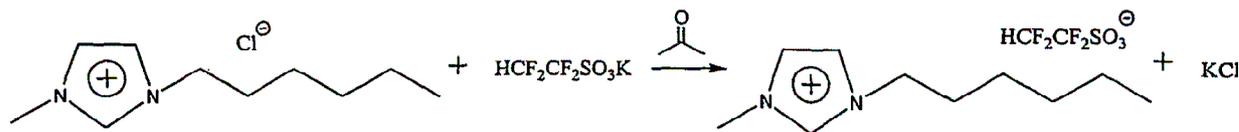
35 TGA (N_2): pérdida del 10% en peso a 341°C; pérdida del 50% en peso a 374°C.

I) Síntesis del 1,1,2,2-tetrafluoroetanosulfonato de 1-hexil-3-metilimidazolio

Se mezcló cloruro de 1-hexil-3-metilimidazolio (10 g, 0,0493 moles) con acetona de calidad reactivo (100 ml) en un matraz grande de fondo redondo, y se agitó vigorosamente bajo una protección gaseosa de nitrógeno. Por separado, se añadió 1,1,2,2-tetrafluoroetanosulfonato de potasio (TFES-K, 10 g, 0,455 moles) a acetona de calidad

reactivo (100 ml) en un matraz de fondo redondo, y esta solución se añadió con cuidado a la mezcla de cloruro de 1-hexil-3-metilimidazolio/acetona. La mezcla se dejó agitándola durante una noche. Se filtró luego la mezcla usando un embudo grande de vidrio poroso para separar el precipitado blanco de KCl formado, y se puso el filtrado en un evaporador rotatorio durante 4 horas para retirar la acetona.

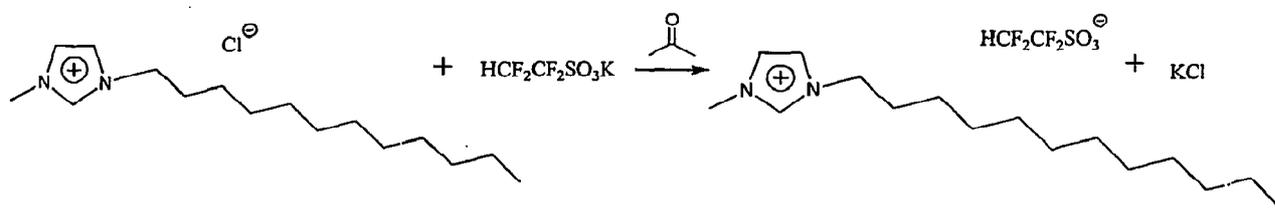
5 A continuación se muestra el esquema de la reacción:



J) Síntesis del 1,1,2,2-tetrafluoroetano sulfonato de 1-dodecil-3-metilimidazolio

10 Se disolvió parcialmente cloruro de 1-dodecil-3-metilimidazolio (34,16 g, 0,119 moles) en acetona de calidad reactivo (400 ml) en un matraz grande de fondo redondo, y se agitó vigorosamente. En un matraz de fondo redondo, por separado, se añadió 1,1,2,2-tetrafluoroetano sulfonato de potasio (TFES-K, 26,24 g, 0,119 moles) a la acetona de calidad reactivo (400 ml), y esta solución se añadió con cuidado a la solución de cloruro de 1-dodecil-3-metilimidazolio. La mezcla de reacción se calentó a 60°C, bajo reflujo, durante aproximadamente 16 horas. Se filtró luego la mezcla de reacción usando un embudo grande de vidrio poroso para separar el precipitado blanco de KCl, y el filtrado se puso en un evaporador rotatorio durante 4 horas para retirar la acetona.

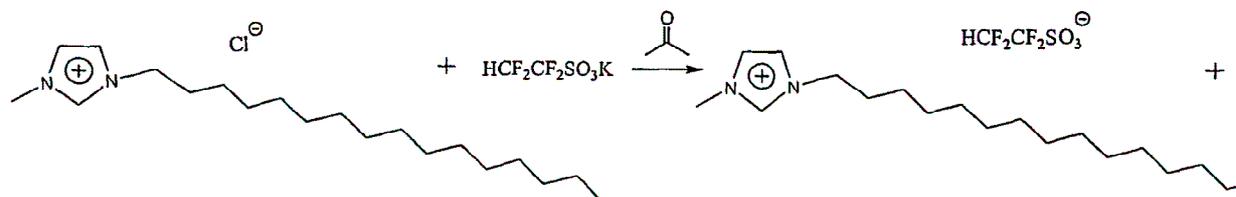
15 A continuación se muestra el esquema de la reacción:



K) Síntesis del 1,1,2,2-tetrafluoroetano sulfonato de 1-hexadecil-3-metilimidazolio

20 Se disolvió parcialmente cloruro de 1-hexadecil-3-metilimidazolio (17,0 g, 0,0496 moles) en acetona de calidad reactivo (100 ml) en un matraz grande de fondo redondo, y se agitó vigorosamente. En un matraz de fondo redondo, por separado, se añadió 1,1,2,2-tetrafluoroetano sulfonato de potasio (TFES-K, 10,0 g, 0,0495 moles) a la acetona de calidad reactivo (100 ml), y esta solución se añadió con cuidado a la solución de cloruro de 1-hexadecil-3-metilimidazolio. La mezcla de reacción se calentó a 60°C, bajo reflujo, durante aproximadamente 16 horas. Se filtró luego la mezcla de reacción usando un embudo grande de vidrio poroso para separar el precipitado blanco de KCl, y el filtrado se puso en un evaporador rotatorio durante 4 horas para retirar la acetona.

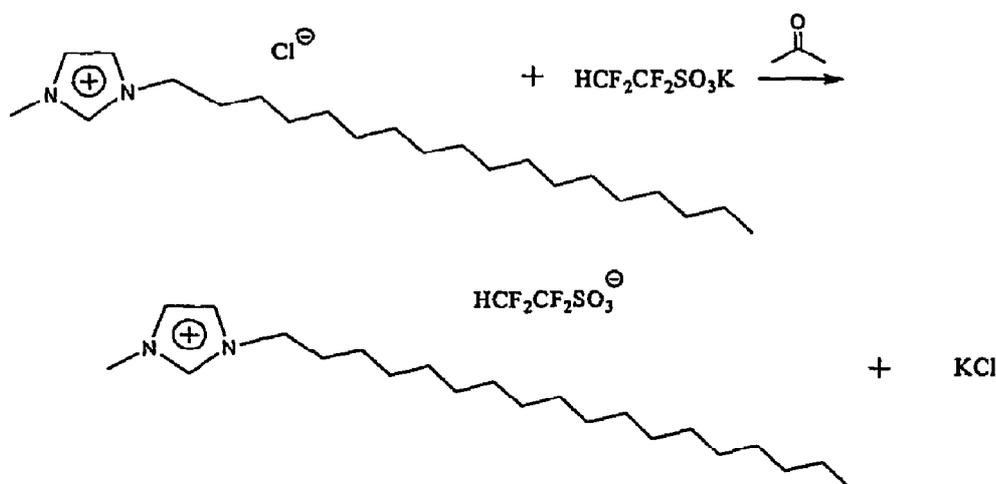
25 A continuación se muestra el esquema de la reacción:



L) Síntesis del 1,1,2,2-tetrafluoroetano sulfonato de 1-octadecil-3-metilimidazolio

30 Se disolvió parcialmente cloruro de 1-octadecil-3-metilimidazolio (17,0 g, 0,0458 moles) en acetona de calidad reactivo (200 ml) en un matraz grande de fondo redondo, y se agitó vigorosamente. En un matraz de fondo redondo, por separado, se añadió 1,1,2,2-tetrafluoroetano sulfonato de potasio (TFES-K, 10,1 g, 0,0459 moles) a la acetona de calidad reactivo (200 ml), y esta solución se añadió con cuidado a la solución de cloruro de 1-hexadecil-3-metilimidazolio. La mezcla de reacción se calentó a 60°C, bajo reflujo, durante aproximadamente 16 horas. Se filtró luego la mezcla de reacción usando un embudo grande de vidrio poroso para separar el precipitado blanco de KCl, y el filtrado se puso en un evaporador rotatorio durante 4 horas para retirar la acetona.

35 A continuación se muestra el esquema de la reacción:



M) Síntesis del 1,1,2,2-tetrafluoroetanosulfonato de 1-propil-3-(1,1,2,2-TFE)imidazolio

Se añadió imidazol (19,2 g) a tetrahidrofurano (80 ml). Se llenó un recipiente tubular de reacción, de vidrio y con agitador, con la solución de imidazol en THF. Se enfrió el recipiente a 18°C, se hizo vacío a 80 kPa, y se purgó con nitrógeno. El ciclo de hacer el vacío/purga se repitió dos veces más. Luego se añadió al recipiente tetrafluoroetileno (TFE, 5 g), y se calentó a 100°C, en cuyo momento la presión en el interior era de 720 kPa. A medida que la presión del TFE disminuía debido a la reacción, se añadió más TFE en pequeñas partes alicuotas (5 g cada una) para mantener la presión operativa más o menos entre 340 kPa y 860 kPa. Una vez que se hubieron introducido 40 g de TFE, se ventilo en recipiente y se enfrió a 25°C. Se retiró luego el THF a vacío y el producto se destiló a vacío, a 40°C, para dar un producto puro como se demuestra mediante RMN de ^1H y de ^{19}F (producción, 44 g). Se mezcló yodopropano (16,99 g) con 1-(1,1,2,2-tetrafluoroetil)imidazol (16, 8 g) en acetonitrilo seco (100 ml), y la mezcla se puso a reflujo durante 3 días. Se retiró el disolvente a vacío, produciendo un sólido amarillo ceroso (producción, 29 g). El producto, yoduro de 1-propil-3-(1,1,2,2-tetrafluoroetil)imidazolio se confirmó mediante RMN de ^1H (en CD_3CN) [0,96(t, 3H); 1,99(m, 2H); 4,27(t, 2H); 6,75(t, 1H); 7,72(d, 2H); 9,95(s, 1H)].

Se añadió luego yodo (24 g) a 60 ml de acetona seca, seguido de 15,4 g de 1,1,2,2-tetrafluoroetanosulfonato de potasio en 75 ml de acetona seca. La mezcla se calentó a 60°C durante una noche y se formó un precipitado blanco denso (yoduro de potasio). Se enfrió la mezcla, se filtró, y se separó el disolvente del filtrado usando un evaporador rotatorio. Se retiró algo más de yoduro de potasio por filtración. El producto se purificó más añadiendo 50 g de acetona, 1 g de carbón vegetal, 1 g de celita y 1 g de gel de sílice. La mezclase agitó durante 2 horas, se filtró y se retiró el disolvente. Esto produjo 15 de un líquido, demostrando mediante RMN que era el producto deseado.

N) Síntesis del 1,1,2,3,3,3-hexafluoropropanosulfonato de 1-butil-3-metilimidazolio (Bmim-HFPS)

Se combinaron en un matraz de 1 l, cloruro de 1-butil-3-metilimidazolio (Bmim-Ci, 50,0 g) y acetona seca de alta pureza (>99,5%, 500 ml), y se calentó a reflujo con agitación magnética hasta que se disolvió todo el sólido. A temperatura ambiente, y en un matraz de 1 l, por separado, se disolvió 1,1,2,3,3,3-hexafluoropropanosulfonato de potasio (HFPS-K) en acetona seca de alta pureza (550 ml). Estas dos soluciones se combinaron a temperatura ambiente y se dejó con agitación magnética durante 12 h, bajo presión positiva de nitrógeno. Se paró la agitación, y se dejó que el precipitado de KCl reposara. Este sólido se separó mediante filtración con succión a través de un embudo de vidrio poroso con almohadilla de celita. Se retiró la acetona a vacío para dar un aceite amarillo. El aceite se purificó más diluyendo con acetona de alta pureza (100 ml) y agitando con carbono decolorante (5 g). La mezcla se filtró con succión y se retiró la acetona a vacío para dar un aceite incoloro. Esto se secó más, a 4 Pa y 25°C durante 2 h, para proporcionar 68,6 g de producto.

RMN de ^{19}F (DMSO-d_6) δ , -73,8(s, 3F); -114,5, -121,0 (ABq, $J = 258$ Hz, 2F); -210,6(m, $J = 42$ Hz, 1F).

RMN de ^1H (DMSO-d_6) δ , 0,9(t, $J = 7,4$ Hz, 3H); 1,3(m, 2H); 1,8(m, 2H); 3,9(s, 3H); 4,2(t, $J = 7$ Hz, 2H); 5,8(dm, $J = 42$ Hz, 1H); 7,7(s, 1H); 7,8(s, 1H); 9,1(s, 1H).

% de agua mediante valoración por Karl-Fisher: 0,12%

Cálculo analítico para $\text{C}_9\text{H}_{12}\text{F}_6\text{N}_2\text{O}_3\text{S}$: C, 35,7; H, 4,4; N, 7,6. Resultados experimentales: C, 34,7; H, 3,8; N, 7.2

TGA (aire): pérdida del 10% en peso a 340°C; pérdida del 50% en peso a 367°C.

TGA (N_2): pérdida del 10% en peso a 335°C; pérdida del 50% en peso a 361°C.

Cloruro extraíble por cromatografía iónica: 27 ppm.

O) Síntesis del 1,1,2-trifluoro-2-(trifluorometoxi)etanosulfonato de 1-butil-3-metilimidazolio (Bmim-TTES)

Se combinaron, a temperatura ambiente, cloruro de 1-butil-3-metilimidazolio (Bmim-Cl, 10,0 g) y agua desionizada (15 ml), en un matraz de 200 ml. Se disolvió, por separado, en un matraz de 200 ml, a temperatura ambiente, 1,1,2-trifluoro-2-(trifluorometoxi)etanosulfonato de potasio (TTES-K, 16,4 g) en agua desionizada (90 ml). Estas dos soluciones de combinaron a temperatura ambiente y se dejó con agitación magnética durante 30 minutos, bajo presión positiva de nitrógeno, para dar una mezcla bifásica, con el líquido iónico deseado como la fase del fondo. Se separaron las dos capas, y la fase acuosa se extrajo con 2 porciones de 50 ml de cloruro de metileno. Las capas orgánicas combinadas se secaron sobre sulfato de magnesio y se concentraron a vacío. El aceite incoloro producto se secó durante 4 h, a 5 Pa y 25°C, para dar 15,0 g de producto.

5 RMN de ^{19}F (DMSO- d_6) δ , -56,8(d, $J_{\text{FH}} = 4$ Hz, 3F); -119,5, -119,9 (subdivisión ABq, $J = 260$ Hz, 2F); -142,2(dm, $J_{\text{FH}} = 53$ Hz, 1F).

RMN de ^1H (DMSO- d_6) δ , 0,9(t, $J = 7,4$ Hz, 3H); 1,3(m, 2H); 1,8(m, 2H); 3,9(s, 3H); 4,2(t, $J = 7,0$ Hz, 2H); 6,5(dt, $J = 53$ Hz, $J = 7$ Hz, 1H); 7,7(s, 1H), 7,8(s, 1H); 9,1(s, 1H).

% de agua mediante valoración por Karl-Fisher: 613 ppm.

15 Cálculo analítico para $\text{C}_{11}\text{H}_{16}\text{F}_6\text{N}_2\text{O}_4\text{S}$: C, 34,2; H, 4,2; N, 7,3. Resultados experimentales: C, 34,0; H, 4,0; N, 7,1

TGA (aire): pérdida del 10% en peso a 328°C; pérdida del 50% en peso a 354°C.

TGA (N_2): pérdida del 10% en peso a 324°C; pérdida del 50% en peso a 351°C.

Cloruro extraíble por cromatografía iónica: <2 ppm.

P) Síntesis del 1,1,2-trifluoro-2-(perfluoroetoxi)etanosulfonato de 1-butil-3-metilimidazolio (Bmim-TPES)

20 Se combinaron, a temperatura ambiente, cloruro de 1-butil-3-metilimidazolio (Bmim-Cl, 7,8 g) y acetona seca (150 ml), en un matraz de 500 ml. Se disolvió, por separado, en un matraz de 200 ml, a temperatura ambiente, 1,1,2-trifluoro-2-(perfluorometoxi)etanosulfonato de potasio (TPES-K, 15,0 g) en acetona seca (300 ml). Estas dos soluciones de combinaron y se dejó con agitación magnética durante 12 h, bajo presión positiva de nitrógeno. Se dejó luego que el precipitado de KCl reposara dejando una solución incolora encima de él. Se filtró la mezcla de reacción, una vez, a través de una almohadilla de celita/acetona, y otra vez a través de un embudo de vidrio poroso para separar el KCl. Se retiró la acetona a vacío, primero en un rotavapor y luego en una línea de vacío (4 Pa, 25°C) durante 2 h. Al precipitar todavía KCl residual a partir de la solución, se añadió cloruro de metileno (50 ml) al producto crudo, el cual se lavó luego con agua desionizada (2 x 50 ml). La solución se secó sobre sulfato de magnesio, y el disolvente se retiró a vacío para dar el producto como un aceite viscoso de color amarillo claro (12,0 g, rendimiento del 62%).

25 RMN de ^{19}F (CD_3CN) δ , -85,8(s, 3F); -87,0, -90,1(subdivisión ABq, $J_{\text{FF}} = 147$ Hz, 2F); -120,6, -122,4(subdivisión ABq, $J_{\text{FF}} = 258$ Hz, 2F); -142,2(dm, $J_{\text{FH}} = 53$ Hz, 1F).

RMN de ^1H (CD_3CN) δ , 1,0(t, $J = 7,4$ Hz, 3H); 1,4(m, 2H); 1,8(m, 2H); 3,9(s, 3H); 4,2(t, $J = 7,0$ Hz, 2H); 6,5(dm, $J = 53$ Hz, 1H); 7,4(s, 1H), 7,5(s, 1H); 8,6(s, 1H).

35 % de agua mediante valoración por Karl-Fisher: 0,461.

Cálculo analítico para $\text{C}_{12}\text{H}_{16}\text{F}_8\text{N}_2\text{O}_4\text{S}$: C, 33,0; H, 3,7. Resultados experimentales: C, 32,0; H, 3,6.

TGA (aire): pérdida del 10% en peso a 334°C; pérdida del 50% en peso a 353°C.

TGA (N_2): pérdida del 10% en peso a 330°C; pérdida del 50% en peso a 365°C.

Q) Síntesis del 1,1,2,3,3,3-hexafluoropropanosulfonato de tetradecil(tri-n-butil)fosfonio ([4.4.4,14]P-HFPS)

40 A un matraz de fondo redondo de 4 l, se añadió el líquido iónico, cloruro de tetradecil(tri-n-butil)fosfonio (Cyphos® IL, 167, 345 g), y agua desionizada (1000 ml). La mezcla se agitó magnéticamente hasta que hubo una fase. En un matraz de 2 l, por separado, se disolvió 1,1,2,3,3,3-hexafluoropropanosulfonato de potasio (HFPS-K, 214,2 g) en agua desionizada (1100 ml). Se combinaron estas soluciones y se agitó bajo presión positiva de N_2 , a 26°C durante 2 h, produciendo un aceite blanco lechoso. El aceite solidificó lentamente (439 g) y se separó mediante filtración con succión, y luego se disolvió en cloroformo (300 ml). Se extrajo una vez, con cloroformo (100 ml), la capa acuosa restante (pH = 2). Se combinaron las capas de cloroformo y se lavó con una solución acuosa (50 ml) de carbonato de sodio para quitar cualquier impureza ácida. Luego se secaron sobre sulfato de magnesio, se filtró con succión, y se redujo a vacío, primero en un rotavapor y luego en una línea de alto vacío (4 Pa, 100°C), durante 16 horas, para producir el producto final como un sólido blanco (380 g, rendimiento del 76%)

50 RMN de ^{19}F (DMSO- d_6) δ , -73,7(s, 3F); -114,6, -120,9 (ABq, $J = 258$ Hz, 2F); -210(m, $J_{\text{FH}} = 41,5$ Hz, 1F).

RMN de ^1H (DMSO- d_6) δ , 0,8(t, $J = 7,0$ Hz, 3H); 0,9(t, $J = 7,0$, 9H); 1,3(br s, 20H); 1,4(m, 16H); 2,2(m, 8H); 5,9(m, $J_{\text{HF}} = 42$ Hz, 1H)

% de agua mediante valoración por Karl-Fisher: 895 ppm.

Cálculo analítico para $\text{C}_{29}\text{H}_{57}\text{F}_6\text{O}_3\text{PS}$: C, 55,2; H, 9,1; N, 0,0. Resultados experimentales: C, 55,1; H, 8,8; N, 0,0

5 TGA (aire): pérdida del 10% en peso a 373°C; pérdida del 50% en peso a 421°C.

TGA (N_2): pérdida del 10% en peso a 383°C; pérdida del 50% en peso a 436°C.

R) Síntesis del 1,1,2-trifluoro-2-(perfluoroetoxi)etanosulfonato de tetradecil(tri-n-hexil)fosfonio ([6,6,6,14]P-TPES)

10 A un matraz de fondo redondo de 500 ml, se añadió acetona (calidad espectroscópica, 50 ml) y el líquido iónico cloruro de tetradecil(tri-n-hexil)fosfonio (Cyphos® IL, 101, 33,7 g). En un matraz de 1 l, por separado, se disolvió 1,1,2-trifluoro-2-(perfluorometoxi)etanosulfonato de potasio (TPES-K, 21,6 g) en acetona (400 ml). Estas soluciones se combinaron y se agitaron bajo presión positiva de N_2 , a 26°C durante 12 h, produciendo un precipitado blanco de KCl. Se separó el precipitado mediante filtración con succión, y la acetona se retiró a vacío, en un rotavapor, para producir el producto crudo como un aceite turbio (48 g). Se añadió cloroforma (100 ml), y la solución se lavó con agua desionizada (50 ml). Luego se secó sobre sulfato de magnesio y se redujo a vacío, primero en un rotavapor y

15 luego en una línea de alto vacío (8 Pa, 24°C) durante 8 horas para producir el producto final como un aceite ligeramente amarillo (28 g, rendimiento del 56%).

RMN de ^{19}F (DMSO- d_6) δ , -86,1(s, 3F); -88,4, -90,3 (subdivisión ABq, $J_{\text{FF}} = 147$ Hz, 2F); -121,4, -122,4(subdivisión ABq, $J_{\text{FF}} = 258$ Hz, 2F); -143,0(dm, $J_{\text{FH}} = 53$ Hz, 1F)

20 RMN de ^1H (DMSO- d_6) δ , 0,9(m, 12H); 1,2(m, 16H); 1,3(m, 16H); 1,4(m, 8H); 1,5(m, 8H); 2,2(m, 8H); 6,3(dm, $J_{\text{HF}} = 54$ Hz, 1H)

% de agua mediante valoración por Karl-Fisher: 0,11

Cálculo analítico para $\text{C}_{36}\text{H}_{69}\text{F}_8\text{O}_4\text{PS}$: C, 55,4; H, 8,9; N, 0,0. Resultados experimentales: C, 55,2; H, 8,2; N, 0,1

TGA (aire): pérdida del 10% en peso a 311°C; pérdida del 50% en peso a 339°C.

TGA (N_2): pérdida del 10% en peso a 315°C; pérdida del 50% en peso a 343°C.

25 S) Síntesis del 1,1,2-trifluoro-2-(perfluorometoxi)etanosulfonato de tetradecil(tri-n-hexil)fosfonio ([6,6,6,14]P-TTES)

30 A un matraz de fondo redondo, de 100 ml, se añadió acetona (calidad espectroscópica, 50 ml) y líquido iónico, cloruro de tetradecil(tri-n-hexil)fosfonio (Cyphos® 1 l 101, 20,2 g). La mezcla se agitó magnéticamente hasta que hubo una fase. En un matraz de 100 ml, por separado, se disolvió 1,1,2-trifluoro-2-(perfluorometoxi)etanosulfonato de potasio (TTES-K, 11,2) en acetona (100 ml). Estas soluciones se combinaron y se agitó bajo presión positiva de N_2 , a 26°C durante 12 h, produciendo un precipitado blanco de KCl.

35 Se separó el precipitado mediante filtración con succión, y la acetona se retiró a vacío, en un rotavapor, para producir el producto crudo como un aceite turbio. El producto se diluyó con éter etílico (100 ml) y se lavó luego, una vez, con agua desionizada (50 ml), dos veces con una solución acuosa (50 ml) de carbonato de sodio para retirar cualquier impureza ácida, y dos veces más con agua desionizada (50 ml). La solución de éter se secó luego sobre sulfato de magnesio y se redujo a vacío, primero en un rotavapor y luego en una línea de alto vacío (4 Pa, 24°C) durante 8 h, para producir el producto fina como un aceite (19,0 g, rendimiento del 69%).

RMN de ^{19}F (CD_2Cl_2) δ , -60,2(d, $J_{\text{FH}} = 4$ Hz, 3F); -120,8, -125,1 (subdivisión ABq, $J = 260$ Hz, 2F); -143,7(dm, $J_{\text{FH}} = 53$ Hz, 1F).

40 RMN de ^1H (CD_2Cl_2) δ , 0,9(m, 12H); 1,2(m, 16H); 1,3(m, 16H); 1,4(m, 8H); 1,5(m, 8H); 2,2(m, 8H); 6,3(dm, $J_{\text{FH}} = 54$ Hz, 1H).

% de agua mediante valoración por Karl-Fisher: 412 ppm

Cálculo analítico para $\text{C}_{35}\text{H}_{69}\text{F}_6\text{O}_4\text{PS}$: C, 57,5; H, 9,5; N, 0,0. Resultados experimentales: C, 57,8; H, 9,3; N, 0,0

TGA (aire): pérdida del 10% en peso a 331°C; pérdida del 50% en peso a 359°C.

TGA (N_2): pérdida del 10% en peso a 328°C; pérdida del 50% en peso a 360°C.

45 T) Síntesis del 1,1,2,2-tetrafluoro-2-(pentafluoroetoxi)sulfonato de 1-etil-3-metilimidazolio (Emim-TPENTAS)

A un matraz de fondo redondo, de 500 ml, se añadió cloruro de 1-etil-3-metilimidazolio (Emim-Cl, 98%, 18,0 g) y acetona de calidad reactivo (150 ml). Se calentó ligeramente la mezcla (50°C) hasta que se disolvió todo el Emim-Cl.

En un matraz de 500 ml, por separado, se disolvió 1,1,2,2-tetrafluoro-2-(pentafluoroetoxi)sulfonato de potasio (TPENTAS-K, 43,7 g) en acetona de calidad reactivo (450 ml).

5 Estas soluciones se combinaron en un matraz de 1 l produciendo un precipitado blanco (KCl). La mezcla se agitó a 24°C durante 8 horas. Se dejó luego reposar el precipitado de KCl dejando una solución amarilla clara sobre él. El KCl se separó por filtración a través de una almohadilla de celita/acetona. Se retiró la acetona a vacío para dar un aceite amarillo, que se diluyó luego con cloroformo (100 ml). El cloroformo se lavó tres veces con agua desionizada (50 ml), se secó sobre sulfato de magnesio, se filtró, y se redujo a vacío, primero en un rotavapor y luego en una línea de vacío (4 Pa, 25°C) durante 8 h. El producto era un aceite de color amarillo claro (22,5 g).

RMN de ^{19}F (DMSO- d_6) δ , -82,9(m, 2F); -87,3(s, 3F); -89,0(m, 2F); -118,9(s, 2F)

10 RMN de ^1H (DMSO- d_6) δ , 1,5(t, $J = 7,3$ Hz, 3H); 3,9(s, 3H); 4,2(q, $J = 7,3$ Hz, 2H); 7,7(1, 1H); 7,8(s, 1H); 9,1(s, 1H).

% de agua mediante valoración por Karl-Fisher: 0,17%

Cálculo analítico para $\text{C}_{10}\text{H}_{11}\text{N}_2\text{O}_4\text{F}_9\text{S}$: C, 28,2; H, 2,6; N, 6,6. Resultados experimentales: C, 28,1; H, 2,9; N, 6,6

TGA (aire): pérdida del 10% en peso a 351°C; pérdida del 50% en peso a 401°C.

TGA (N_2): pérdida del 10% en peso a 349°C; pérdida del 50% en peso a 406°C.

15 U) Síntesis del 1,1,2-trifluoro-2-(perfluorometoxi)etanosulfonato de tetrabutilfosfonio (TBP-TPES)

A un matraz de fondo redondo, de 200 ml, se añadió agua desionizada (100 ml) y bromuro de tetra-*n*-butilfosfonio (Cytec Canada Inc., 20,2 g). La mezcla se agitó magnéticamente hasta que se disolvió todo el sólido. En un matraz de 300 ml, por separado, se disolvió 1,1,2-trifluoro-2-(perfluorometoxi)etanosulfonato de potasio (TPES-K, 20,0 g) en agua desionizada (400 ml) calentada a 70°C. Estas soluciones se combinaron y se agitó bajo presión positiva de N_2 , a 26°C durante 2 h, produciendo una capa inferior de aceite. La capa de aceite producto se separó y se diluyó con cloroformo (30 ml), luego se lavó una vez con una solución acuosa (4 ml) de carbonato de sodio para quitar cualquier impureza ácida, y tres veces con agua desionizada (20 ml). Se secó luego sobre sulfato de magnesio y se redujo a vacío, primero en un rotavapor y luego en una línea de alto vacío (8 Pa, 24°C) durante 2 h, para producir el producto final como un aceite incoloro (28,1 g, rendimiento del 85%).

25 RMN de ^{19}F (CD_2Cl_2) δ , -86,4(s, 3F); -89,0, -90,8(subdivisión ABq, $J_{\text{FF}} = 147$ Hz, 2F); -119,2, -125,8(subdivisión ABq, $J_{\text{FF}} = 254$ Hz, 2F); -141,7(dm, $J_{\text{FH}} = 53$ Hz, 1F).

RMN de ^1H (CD_2Cl_2) δ , 1,0(t, $J = 7,3$ Hz, 12H); 1,5(m, 16H); 2,2(m, 8H); 6,3(dm, $J_{\text{FH}} = 54$ Hz, 1H)

% de agua mediante valoración por Karl-Fisher: 0,29

Cálculo analítico para $\text{C}_{20}\text{H}_{37}\text{NF}_8\text{O}_4\text{PS}$: C, 43,2; H, 6,7; N, 0,0. Resultados experimentales: C, 42,0; H, 6,9; N, 0,1

30 Bromuro extraíble mediante cromatografía iónica: 21 ppm.

Las medidas de solubilidad y de capacidad de difusión de los gases se hicieron usando una microbalanza gravimétrica (Hiden Isochema Ltd, IGA003, Warrington, Reino Unido). El diseño de la IGA integra el preciso control por ordenador y la medida del cambio de peso, la presión y la temperatura para hacer posible la determinación completamente automática y reproducible de las isotermas e isobaras de adsorción-desorción del gas. La microbalanza consiste en una electrobalanza con componentes de muestra y de contrapeso dentro de un recipiente a presión, de acero inoxidable, como se muestra en la Figura 10 y se describe en el Ejemplo 4, Tabla 15. La balanza tiene un intervalo de pesos de 0-100 mg, con una resolución de 0,1 μg . Se instaló un reactor (SS316LN) de presión elevada, de acero inoxidable, capaz de operar a 2000 kPa y 100°C. Se añadieron al recipiente de muestras aproximadamente 60 mg de muestra de líquido iónico y se cerró herméticamente el reactor. La muestra se secó y se desgasificó haciendo una primera succión de vacío previo sobre la muestra con una bomba de diafragma (Pfeiffer, modelo MVP055, Asslar, Alemania) y luego haciendo completamente el vacío en el reactor a 10^{-3} Pa con una turbobomba (Pfeifer, modelo TSH-071). Mientras que estaba a alto vacío, se calentó la muestra a 75°C con una camisa externa de agua conectada a un baño a temperatura constante con control remoto (Huber Ministat, modelo cc-S3, Offenburg, Alemania). Se usó una mezcla de 30 por ciento de etilenglicol y 70 por ciento de agua, en volumen, como el fluido de recirculación, con un intervalo de temperatura de 5 a 90°C. La masa de la muestra disminuyó lentamente a medida que se quitaban los gases y el agua residual. Una vez que se hubo estabilizado la masa durante al menos 60 minutos, se registró la masa seca de la muestra. La pérdida de peso en tanto por ciento de los diversos líquidos iónicos se comprobó que estaba en el intervalo de 1 al 3%.

50 La IGA003 puede operar tanto en modo estático como en modo dinámico. La operación en modo dinámico proporciona un flujo continuo de gas (máximo, $500 \text{ cm}^3 \cdot \text{minuto}^{-1}$ que pasa por la muestra y la válvula de escape controla la presión preestablecida. La operación en modo estático introduce gas en la parte superior de la balanza, lejos de la muestra, y tanto las válvulas de admisión como la de escape controlan la presión preestablecida. Todas las medidas de absorción se realizaron en modo estático. La temperatura de la muestra se midió con un termopar

tipo K con una precisión de $\pm 0,1^\circ\text{C}$. El termopar se situó en el interior del reactor cerca del recipiente de muestra. La camisa de agua mantuvo automáticamente la temperatura preestablecida dentro de una precisión típica de regulación de $\pm 0,1^\circ\text{C}$. Se midieron cuatro isotermas (a 10, 25, 50 y 75°C), empezando por 10°C . Una vez que se consiguió la temperatura deseada y fue estable, las válvulas de admisión y de escape se abrieron y se cerraron automáticamente para ajustar la presión a la preestablecida. Se midieron presiones de 10^{-7} a 10 kPa usando un manómetro de capacitancia (Pfeifer, modelo PKR251), y se midieron presiones de 10 kPa a 2000 kPa usando un extensómetro piezo-resistivo (Druck, modelo PDCR4010, New Fairfield, CT). La regulación mantuvo la presión del reactor preestablecida dentro de $\pm 0,4$ a $0,8$ kPa. La velocidad de la rampa de presión se estableció en $20 \text{ kPa}\cdot\text{minuto}^{-1}$, y la velocidad de la rampa de temperatura se estableció en $1^\circ\text{C}\cdot\text{minuto}^{-1}$. El límite superior de la presión del reactor de acero inoxidable era de 2000 kPa, y se midieron varias isobaras hasta 1000 kPa (es decir, 10; 50; 100; 400; 700; 1000 kPa). Para asegurar un tiempo suficiente para el equilibrio gas-líquido, las muestras de líquido iónico se mantuvieron en las condiciones preestablecidas durante un mínimo de 3 h, con un fin de plazo máximo de 8 h.

El método de la IGA explota el comportamiento de relajación que sigue a los cambios de presión y de temperatura para evaluar simultáneamente la absorción dependiente del tiempo y la absorción asintótica. Se usó el procesador en tiempo real para determinar el punto final para cada isoterma. El tanto por ciento de relajación usado como punto final para el análisis en tiempo real fue del 99 por ciento. El cambio de peso mínimo para el análisis en tiempo real se estableció en $1 \mu\text{g}$, la desviación media aceptable del modelo de los datos adquiridos se estableció en $7 \mu\text{g}$. Y el intervalo fijado como objetivo para la adquisición de pesos se estableció en un valor típico de $1 \mu\text{g}$. La variación de temperatura durante una isoterma se mantuvo en menos de $0,1^\circ\text{C}\cdot\text{minuto}^{-1}$.

Las características de seguridad de la IGA003 incluían una válvula de descarga de presión y un control de sobre-temperatura para el reactor. La válvula de descarga instalada de fábrica fue sustituida por una válvula de descarga de la línea DuPont (Circle-Seal, presión preestablecida 2450 kPa; DuPont, Wilmington, Delaware). Para proteger más el sistema de la microbalanza de una sobrepresión, se instalaron válvulas de descarga adicionales en el distribuidor de gas del cliente y en cada botella de gas, y se estableció que estas válvulas de descarga se abrieran si la presión excedía de 2500 kPa. El controlador de interbloqueo de la sobre-temperatura del reactor que viene instalada de forma estándar en la IGA003, se estableció que cerrara el baño de agua si la temperatura del baño excedía de 100°C . debido al hecho de que algunos de los gases probados eran inflamables (por ejemplo, HFC-32, HFC-143a, y HFC-152a), La IGA003 se montó dentro de una cabina de acero, hecha de encargo, purgada con nitrógeno que minimizaría la posibilidad de un incendio.

Las medidas termogravimétricas se corrigieron para un número de fuerzas de equilibrio gravitacionales, introducidas a alta presión, como describe Pinkerton, E. y colaboradores (High-pressure gravimetric measurement of hydrogen capacity in vapor-grown carbón nanofibers and related materials; Proceedings of the 11th Canadian Hydrogen Conference, [Medida gravimétrica a alta presión de la capacidad de hidrógeno nanofibras de carbono crecidas en fase vapor, y materiales relacionados; Actas de la 11^a Conferencia Canadiense sobre el Hidrógeno], Victoria, BC (2001), páginas 633-642). Estas incluían:

- (1) Cambios en las fuerzas hidrostáticas debido a los cambios en la presión y en la temperatura.
- (2) Fuerzas de arrastre aerodinámico creadas por el flujo de gas.
- (3) Cambios en la sensibilidad de la balanza debidos a los cambios de temperatura y de presión.
- (4) Cambios volumétricos en las muestras debido a su capacidad de expansión.

Las fuerzas de equilibrio gravitacionales anteriormente descritas son, con frecuencia, del mismo orden de magnitud ($0,1$ a 5 mg) que los cambios globales de peso en la muestra y pueden conducir a resultados erróneos si no se tienen en cuenta para la precisión. Distinguir los cambios de masa con una exactitud del $0,01\%$ en peso sobre pequeñas y algunas veces limitadas cantidades de muestra, requiere el conocimiento del peso de la muestra en un intervalo dentro de 5 a $10 \mu\text{g}$.

La corrección hidrostática procede del principio de Arquímedes: hay una fuerza hacia arriba ejercida sobre un objeto, equivalente a la masa del fluido desplazado. La fuerza hacia arriba (C_b) debida al empuje hidrostático se calcula usando la ecuación 27, donde la masa del gas desplazado es equivalente al volumen del objeto sumergido (V_i) veces la densidad (ρ_g) del gas a una (T, p) dadas y la aceleración gravitacional (g). Si el volumen del objeto permanece constante, V_i se puede calcular conociendo la masa (m_i) y la densidad (ρ_i) del objeto.

$$C_b = \text{empuje hidrostático} = gV_i\rho_g(T, P) = g\frac{m_i}{\rho_i}\rho_g(T, P) \quad (27)$$

En vez de usar las densidades de los gases suministrados en el software Hiden Isochema IGA, la densidad del gas se calculó, para cada gas, usando un programa de ordenador (Refprop v.7) desarrollado por el National Institute of Standards and Technology (NIST) (Lemmon, E.W.; McLinden, M.O.; Huber, M.L. NIST reference fluid thermodynamics and transport properties (Propiedades termodinámicas y de transporte de fluidos de referencia del

NIST) – REFPROP, versión 7.0, guía del usuario. U.S. Department of Commerce, Technology Administration, National Institute of Standards and Technology, Standard Reference Data Program, Gaithersburg, Maryland, 2002).

La corrección del empuje hidrostático que usa el sistema IGA003 implica muchos objetivos adicionales para pesar la muestra. La Tabla 15 proporciona una lista de cada componente crítico junto con los objetivos, peso, material, densidad, y temperatura. La disposición de los componentes en la Figura 10 conduce a un balance de masas como el mostrado por la ecuación 28. Esta expresión da cuenta de la suma de todos los componentes, así como la contribución de la masa de gas absorbido (m_a) y el factor de corrección (C_f) da cuenta de la sensibilidad del balance a T , P . La densidad del aire (ρ_{aire}) a temperatura y presión ambiente se restó de ρ_i y ρ_j porque los componentes se pesaron inicialmente en el aire.

$$\sum_{i=1} m_i - \sum_{j=1} m_j - \sum_{i=1} \frac{m_i}{\rho_i} \rho_g(T_i, P) + \sum_{j=1} \frac{m_j}{\rho_j} \rho_g(T_j, P) + m_{IL} + m_a - \frac{m_{IL}}{\rho_s(T_s)} \rho_g(T_s, P) - \frac{m_a}{\rho_a(T_s)} \rho_g(T_s, P) - C_f(T_s, P) = \text{lectura} \quad (28)$$

Las mayores contribuciones en la ecuación 28 son, habitualmente, las del recipiente de muestra, la muestra y el contrapeso; los otros objetivos referenciados en la Tabla 15 contribuyen menos a causa de sus mayores densidades (denominadores en la ecuación 28). Las densidades físicas de los líquidos iónicos se midieron usando un picnómetro de helio Micrometrics Accupyc 1330, con una exactitud de $\pm 0,001 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (Micrometrics Instrumen Corp., Norcross, GA). Inicialmente, el volumen (V_L) de cada muestra se calculó a partir de su densidad picnométrica (ρ_s) y el peso (ρ_s) de la muestra de masa seca, pero la expresión volumétrica ($\Delta\tilde{V}/\tilde{V}_0$) debido a la absorción del gas se tomó luego en cuenta como se describe más adelante para determinar de forma más exacta el efecto del empuje hidrostático.

Se hizo operar el sistema en modo estático que, esencialmente, elimina cualquier fuerza de arrastre aerodinámico debida a los gases que fluyen. Las electrobalanzas son sensibles a las fluctuaciones de presión y de temperatura sobre el brazo de la balanza y la electrónica interna. Para minimizar este efecto, la electrónica de la balanza se calienta externamente con un calentador de cinta a una temperatura de $45 \pm 0,1^\circ\text{C}$. Además, las temperaturas de los componentes suministradas en la tabla 15 se miden para la muestra (T_s) y todas las otras se estiman. Por lo tanto, se determinó un factor de corrección (C_f) como una función de T , P midiendo el efecto del empuje hidrostático sin una muestra, y calculando un ajuste por mínimos cuadrados para tarar la balanza. El factor de corrección era del orden de 0,1 a 0,3 y aumentaba, como se esperaba, con la disminución de la temperatura y el aumento de la presión.

Inicialmente, el volumen de la muestra de líquido iónico se consideró que era constante y la solubilidad de la fracción molar calculada sin tener en cuenta los efectos del empuje hidrostático debido a la capacidad de expansión de la muestra. Con el fin de hacer una corrección apropiada del empuje hidrostático debido al cambio de volumen del líquido, se usó un simple promedio de la fracción molar para el volumen molar, \tilde{V}_m .

$$\tilde{V}_m(T, P) = \tilde{V}_{IL}(1 - x) + \tilde{V}_g x, \quad (29)$$

donde $\tilde{V}_i = MW_i/\rho_i$ y x representa la fracción molar del gas en la solución.

$$V_m(T, P) = \tilde{V}_m(T, P) \left[\left(\frac{m_{IL}}{MW_{IL}} \right) + \left(\frac{m_g}{MW_g} \right) \right] \quad (30)$$

$$\frac{m_s}{\rho_s(T_s)} \rho_g(T_s, P) + \frac{m_a}{\rho_a(T_s)} \rho_g(T_s, P) = V_m(T, P) \rho_g(T, P) \quad (31)$$

Como una primera aproximación, las ecuaciones 29 y 30 se usaron para estimar el cambio en el volumen de la muestra líquida, V_m , en las condiciones de T , P medidas. La ecuación 31 se puede sustituir en la ecuación 28 para dar cuenta del cambio del empuje hidrostático con respecto a la capacidad de expansión de la muestra.

Además de la solubilidad en el equilibrio, se recogieron también datos de la absorción dependiente del tiempo, usando la microbalanza gravimétrica Hiden, para cada T , P preestablecidas. Con el fin de entender el comportamiento, dependiente del tiempo, del gas que se disuelve en el líquido, se aplica un modelo matemático

basado en un proceso simplificado de difusión de masa. Imaginemos un recipiente de muestra de fondo plano, lleno con líquido iónico con una cierta altura (L) del nivel de líquido. La altura se determina conociendo la geometría cilíndrica del recipiente de muestra, el peso de la muestra seca después de hacer vacío y calentar, y la densidad del líquido iónico a la temperatura apropiada. Después de hacer el vacío, el gas es introducido en el recipiente de muestra Pyrex® con una presión constante a una temperatura dada. Una pequeña cantidad de gas empezará a disolverse en el líquido iónico, y después de un tiempo suficiente, alcanzará un equilibrio termodinámico, que es el límite de solubilidad del gas en el líquido iónico a la T y P dadas. Este comportamiento transitorio con el tiempo será tomado como modelo basándose en el trabajo previo (Shiflett, M.B. y Yokozeki, A. [Ind. Eng. Chem. Res. 2005, 44:4453-4464]; Yokozeki, A. [Intl. J. refrigeration, 2002, 22:695-704]).

Los procesos de disolver gases en un líquido pueden ser fenómenos muy complejos a causa de una posible evolución del calor de mezcla, la subsiguiente convección del líquido debida a la diferencia de la temperatura local, así como a la convección libre debida a la diferencia de densidad, y el posible cambio de las propiedades termofísicas del líquido.

Se hicieron las siguientes suposiciones para disolver el gas (Shiflett, M.B. y Yokozeki, A. [Ind. Eng. Chem. Res. 2005, 44:4453-4464]; Yokozeki, A. [Intl. J. refrigeration, 2002, 22:695-704]):

- (1) El gas se disuelve mediante un proceso de difusión unidimensional (vertical), en el que no hay flujo convectivo en el líquido.
- (2) Existe una fina capa límite entre el gas y la fase líquida, donde se establece instantáneamente el equilibrio termodinámico con la concentración de saturación (C_s), y donde la concentración es constante todo el tiempo a una temperatura y presión dadas.
- (3) La temperatura y la presión se mantienen constantes
- (4) El gas disuelto en el líquido es una solución muy diluida y, por eso, las propiedades termofísicas de la solución no cambian.

El proceso se puede describir entonces mediante una difusión unidimensional de la masa debido a la diferencia de concentración local. Las ecuaciones diferenciales que lo rigen son:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \quad (32)$$

$$\text{Condición inicial: } C = C_0 \text{ cuando } t = 0 \text{ y } 0 < z < L \quad (33)$$

$$\text{Condiciones del límite: } C = C_s \text{ cuando } t > 0 \text{ y } z = 0 \quad (34)$$

$$\frac{\partial C}{\partial z} = 0 \text{ para } z = L \quad (35)$$

donde C es la concentración de una sustancia que se disuelve en el líquido iónico en función del tiempo, t , y en posición vertical, z , donde L es la profundidad del líquido iónico en el recipiente, y $z = 0$ corresponde al límite vapor-líquido. C_0 es la concentración homogénea inicial del gas que se disuelve, y es cero (inicialmente) o una cantidad pequeña finita para $t > 0$. D es el coeficiente de difusión que se supone que es constante.

La ecuación 32 se puede resolver analíticamente para las condiciones iniciales y del límite, ecuaciones 33 – 35, mediante un método estándar tal como separación de variables o transformada de Laplace, y produce:

$$C = C_s \left[1 - 2 \left(1 - \frac{C_0}{C_s} \right) \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\exp(-\lambda_n^2 D t) \text{sen } \lambda_n z}{L \lambda_n} \right], \quad (36)$$

$$\text{donde } \lambda_n = \left(n + \frac{1}{2} \right) \frac{\pi}{L}.$$

Una cantidad experimentalmente observada en un tiempo especificado es la concentración total (o masa) del gas disuelto en el líquido iónico, y no el perfil de concentración en z . Esta concentración promediada en el espacio, en un tiempo dado, $\langle C \rangle$, se puede calcular a partir de la ecuación 37.

$$\langle C \rangle = \int_0^L C dz / L \quad (37)$$

$$\langle C \rangle = C_s \left[1 - 2 \left(1 - \frac{C_0}{C_s} \right) \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\exp(-\lambda_n^2 D t)}{L^2 \lambda_n^2} \right] \quad (38)$$

Aunque la ecuación 38 contiene una suma infinita, únicamente los pocos primeros términos, excepto para pequeños periodos iniciales de tiempo, son suficientes en las aplicaciones prácticas. En este trabajo, la suma se terminó al cabo de diez términos, cuando la contribución numérica a la suma en $\langle C \rangle$ se hizo inferior a 10^{-12} . Analizando los datos experimentales con esta ecuación, se obtuvo la concentración de saturación (C_s) y la constante de difusión (D) a T y P dadas, cuando C_0 era conocido.

Los Ejemplos 2 – 6, y las Figuras 2 – 6, muestran resultados de la solubilidad y la capacidad de difusión para varios hidrofluorocarburos (HFC-32, HFC-125, HFC-134a, HFC-143a, y HFC-152a) en un líquido iónico, [bmim][PF₆], a 10, 25, 50, y 75°C. Se prepararon las composiciones que consistían en HFC-32 y [bmim][PF₆] a partir de aproximadamente 0,3 a aproximadamente 81,2 por ciento en moles de HFC-32 en un intervalo de temperatura de 10 a 75°C, a una presión de aproximadamente 10 a 1000 kPa. Se prepararon las composiciones que consistían en HFC-125 y [bmim][PF₆] a partir de aproximadamente 0,1 a 65,1 por ciento en moles de HFA-125 en un intervalo de temperatura de 10 a 75°C, a una presión de aproximadamente 10 a 1000 kPa. Se prepararon las composiciones que consistían en HFC-134a y [bmim][PF₆] a partir de aproximadamente 0,1 a 72,1 por ciento en moles de HFA-134a en un intervalo de temperatura de 10 a 75°C, a una presión de aproximadamente 10 a 350 kPa. Se prepararon las composiciones que consistían en HFC-143a y [bmim][PF₆] a partir de aproximadamente 0,1 a 26,5 por ciento en moles de HFA-143a en un intervalo de temperatura de 10 a 75°C, a una presión de aproximadamente 10 a 750 kPa. Se prepararon las composiciones que consistían en HFC-152a y [bmim][PF₆] a partir de aproximadamente 0,1 a 70,7 por ciento en moles de HFA-152a en un intervalo de temperatura de 10 a 75°C, a una presión de aproximadamente 10 a 450 kPa.

Los Ejemplos 7 – 11, y las Figuras 7 y 8, muestran resultados de la solubilidad y la capacidad de difusión para el HFC-32 en varios líquidos iónicos ([bmim][BF₄], [omim][I], [doim][I], [dmpim][tTFMSmetanuro], y [dmpim][tTFMSimida]). Se prepararon las composiciones que consistían en HFC-32 y [bmim][BF₄] a partir de aproximadamente 0,1 a aproximadamente 76,5 por ciento en moles de HFC-32 en un intervalo de temperatura de 10 a 75°C, a una presión de aproximadamente 10 a 1000 kPa. Se prepararon las composiciones que consistían en HFC-32 y [omim][I] a partir de aproximadamente 0,4 a aproximadamente 41,6 por ciento en moles de HFC-32 a una temperatura de 25°C, y a una presión de aproximadamente 10 a 1000 kPa. Se prepararon las composiciones que consistían en HFC-32 y [doim][I] a partir de aproximadamente 0,7 a aproximadamente 46,8 por ciento en moles de HFC-32 a una temperatura de 25°C, y a una presión de aproximadamente 10 a 1000 kPa. Se prepararon las composiciones que consistían en HFC-32 y [dmpim][tTFMSmetanuro] a partir de aproximadamente 0,9 a aproximadamente 66 por ciento en moles de HFC-32 a una temperatura de 25°C, y a una presión de aproximadamente 10 a 1000 kPa. Se prepararon las composiciones que consistían en HFC-32 y [dmpim][tTFMSimida] a partir de aproximadamente 0,8 a aproximadamente 64,5 por ciento en moles de HFC-32 a una temperatura de 25°C, y a una presión de aproximadamente 10 a 1000 kPa.

La Figura 9 muestra datos medidos de solubilidad isoterma (en fracción molar) a 10°C de los sistemas HFC-32, HFC-152a, HFC-134a, HFC-125, y HFC-143a + [bmim][PF₆], en términos de presión absoluta dividida por la presión de saturación del gas (P_0), a 10°C, mostrada por la relación (P/P_0). Las presiones de saturación para HFC-32, HFC-125, HFC-134a, HFC-143a, y HFC-152a, a 10°C, son $P_0 = 1106,9$ kPa, $P_0 = 372,77$ kPa, $P_0 = 414,61$ kPa, $P_0 = 908,75$ kPa, y $P_0 = 836,28$ kPa, respectivamente. Las desviaciones negativas de la ley de Raoult (es decir, curvatura por debajo de la línea discontinua) son inusuales, e indican fuertes interacciones entre el refrigerante y el líquido iónico. Esto, a su vez, se traduce en una alta solubilidad que es ideal para un fluido que trabaja en un ciclo de absorción. En particular, el HFC-32 tiene desviación negativa de la ley de Raoult, como se muestra en la Figura 9. Las composiciones comprenden HFC-32 y [bmim][PF₆] desde aproximadamente 0,1 a 63 por ciento en moles de HFC-32 y 10°C, y P/P_0 desde aproximadamente 0,1 a aproximadamente 0,63. Las desviaciones positivas fuertes de la ley de Raoult (es decir, una curvatura por encima de la línea discontinua) son más típicas e indican que el refrigerante y los líquidos iónicos son menos solubles y, eventualmente, pueden formar una separación líquido-líquido. Las composiciones comprenden HFC-152a y [bmim][PF₆] desde aproximadamente 0,1 a 80 por ciento en moles de HFC-152a y 10°C, y P/P_0 desde aproximadamente 0,1 a aproximadamente 0,86. Las composiciones comprenden HFC-134a y [bmim][PF₆] desde aproximadamente 0,1 a 72 por ciento en moles de HFC-134a y 10°C, y P/P_0 desde aproximadamente 0,1 a aproximadamente 0,84. Las composiciones comprenden HFC-125 y [bmim][PF₆] desde aproximadamente 0,1 a 65 por ciento en moles de HFC-152a y 10°C, y P/P_0 desde aproximadamente 0,1 a aproximadamente 0,88. Las composiciones comprenden HFC-143a y [bmim][PF₆] desde aproximadamente 0,1 a 25 por ciento en moles y 10°C, y P/P_0 desde aproximadamente 0,1 a aproximadamente 0,90.

Los Ejemplos 12 y 13 proporcionan un método para la preparación yoduro de 1,3-dioctilimidazolio [oim][I], y un método para la preparación de yoduro de 1-metil-3-dioctilimidazolio [oim][I]. El Ejemplo 14 proporciona una

descripción de los componentes de una microbalanza. Los Ejemplos 15 – 41 muestran los resultados de la solubilidad para diversos refrigerante en líquidos iónicos.

Ejemplo 1

Proceso de enfriamiento por absorción

5 Tabla 1- Constantes de la EDE de absorbentes y refrigerantes puros

Compuesto	Masa molar	T_c (K)	P_c (kPa)	β_0	β_1	β_2	β_3
HCFC-22	86,47	369,17	4913	1,0011	0,43295	-0,06921	0,01501
HCF-32	52,02	351,56	5738	1,0019	0,48333	-0,07538	0,00673
HCF-125	120,22	339,19	3637	1,0001	0,47736	-0,01977	-0,0177
HCF-134	102,03	391,97	4580	1,0012	0,48291	-0,05070	0
HCF-134a	102,03	374,25	4059	1,0025	0,50532	-0,04983	0
HCF-143a	84,04	346,20	3759	1,0006	0,45874	-0,04846	-0,0143
HCF-152a	66,05	386,44	4520	1,0012	0,48495	-0,08508	0,0146
NH ₃	17,03	405,40	11333	1,0018	0,46017	-0,06158	0,00168
H ₂ O	18,02	647,10	22064	1,0024	0,54254	-0,08667	0,00525
[bmim][PF ₆]	284,18	950	2027	1	0,6571	0	0
[bmim][BF ₄]	226,02	950	2533	1	0,8362	0	0
[emim][BEI]	491,32	782	1626	1	0,60391	0	0
[bmim][TPES]	436,32	778	1631	1	0,63808	0	0
[pmpy][BMeI]	416,4	820	1809	1	0,50298	0	0
[dmpim][TMeM]	551,45	1123	1927	1	0,23836	0	0
[emim][BMeI]	391,31	809	2001	1	0,59726	0	0
[bmim][TTES]	320,3	778	2198	1	0,55868	0	0
[6,6,6,14-P][TPES]	780,0	776	681	1	0,76744	0	0
[bmim][HFPS]	370,31	848	2037	1	0,79449	0	0
[4,4,4,14-P][HFPS]	629,36	803	872	1	0,47453	0	0

Tabla 2. Coeficientes para la capacidad calorífica como gases ideales [J·mol⁻¹·K⁻¹] en la ecuación 14

Compuesto	C_0	C_1	C_2	C_3
R-22	17,30	0,16180	-1,170 x 10 ⁻⁴	3,058 x 10 ⁻⁷
R-32	20,34	0,07534	1,872 x 10 ⁻⁵	-3,116 x 10 ⁻⁸
R-125	16,58	0,33983	-2,873 x 10 ⁻⁴	8,870 x 10 ⁻⁸
R-134	15,58	0,28694	-2,028 x 10 ⁻⁴	5,396 x 10 ⁻⁸
R-134a	12,89	0,30500	-2,342 x 10 ⁻⁴	6,852 x 10 ⁻⁸
R-143a	5,740	0,31388	-2,595 x 10 ⁻⁴	8,410 x 10 ⁻⁸
R-152a	8,670	0,2394	-1,456 x 10 ⁻⁴	3,392 x 10 ⁻⁸
NH ₃	27,31	0,02383	1,707 x 10 ⁻⁵	-1,185 x 10 ⁻⁸
H ₂ O	32,24	1,924 x 10 ⁻³	1,055 x 10 ⁻⁵	-3,596 x 10 ⁻⁹
[bmim][PF ₆]	-2,214	0,57685	-3,854 x 10 ⁻⁴	9,785 x 10 ⁻⁸
[bmim][BF ₄]	8,946	0,43986	-1,881 x 10 ⁻⁴	1,177 x 10 ⁻⁸

Compuesto	C_0	C_1	C_2	C_3
[emim][BEI]	-39,23	1,83633	$-1,368 \times 10^{-3}$	$3,569 \times 10^{-7}$
[bmim][TPES]	-58,16	1,87023	$-1,335 \times 10^{-3}$	$3,399 \times 10^{-7}$
[pmpy][BMeI]	-42,88	1,67703	$-1,194 \times 10^{-3}$	$3,027 \times 10^{-7}$
[dmpim][TMeM]	-46,66	2,08141	$-1,511 \times 10^{-3}$	$3,864 \times 10^{-7}$
[emim][BMeI]	-19,61	1,44867	$-1,039 \times 10^{-3}$	$2,633 \times 10^{-7}$
[bmim][TTES]	-39,39	1,43813	$-9,730 \times 10^{-4}$	$2,383 \times 10^{-7}$
[6,6,6,14-P][TPES]	-225,63	4,60000	$-2,939 \times 10^{-3}$	$6,929 \times 10^{-7}$
[bmim][HFPS]	-49,13	1,63180	$-1,137 \times 10^{-3}$	$2,850 \times 10^{-7}$
[4,4,4,14-P][HFPS]	-168,87	3,63969	$-2,299 \times 10^{-3}$	$5,369 \times 10^{-7}$

Tabla 3. Parámetros de interacción binaria de pares de refrigerante-absorbente, determinados a partir de los datos de PT_x experimentales mostrados en los Ejemplos 2 – 11, y 15 – 41.

Sistemas binarios (1)/(2)	l_{12}	l_{21}	$m_{12,21}$	$T_{12,21}$	β_1 (absorbente)
R-22/[bmim][PF ₆]	-0,1394	-0,1394	0	0	0,6263
R-32/[bmim][PF ₆]	-0,142	-0,0123	0	0	0,6571
R-32/[bmim][BF ₄]	-0,0474	-0,0474	0	0	0,8362
R-32/[emim][BEI]	0,0695	0,0103	0	0	0,6039
R-32/[pmpy][BMeI]	$3,126 \times 10^{-3}$	$2,177 \times 10^{-2}$	0	0	0,5030
R-32/[dmpim][TMeM]	0,0836	0,0066	0	0	0,2384
R-32/[emim][BMeI]	$2,718 \times 10^{-3}$	$6,400 \times 10^{-3}$	0	0	0,5973
R-134a/[bmim][PF ₆]	-0,0957	-0,1037	0	0	0,6571
R-134a/[bmim][PF ₆]	0,0730	0,0187	0	0	0,6571
R-134a/[emim][BEI]	$6,508 \times 10^{-3}$	0,0309	0	0	0,6039
R-134a/[bmim][TPES]	0,0059	0,0288	0	0	0,6381
R-134a/[bmim][TTES]	0,0057	0,0363	0	0	0,5587
R-134a/[6,6,6,14-P][TPES]	$-9,072 \times 10^{-5}$	$-5,540 \times 10^{-4}$	0	0	0,7674
R-134a/[bmim][HFPS]	$5,559 \times 10^{-3}$	$5,628 \times 10^{-3}$	0	0	0,7945
R-134a/[4,4,4,14-P][HFPS]	-0,0316	-0,0047	0	0	0,4745
R-152a/[bmim][PF ₆]	0,0483	0,0212	0	0	0,6571
R-125/[bmim][PF ₆]	0,1575	0,0218	0	0	0,6571
NH ₃ /H ₂ O	-0,316	-0,316	-0,0130	0	0,54254

Tabla 4. Comparaciones de los rendimientos de los ciclos teóricos^(a)

Sistemas binarios (1)/(2)	P_{con}, P_g kPa	P_{eva}, P_a kPa	f	x_g % en masa	x_a % en masa	Q_g kW	COP
R-22/[bmim][PF ₆]	1531	680	5,12	89,7	72,	160,8	0,319
R-32/[bmim][PF ₆]	2486	1106	7,35	90,4	78,1	250,4	0,385
R-32/[bmim][BF ₄]	2486	1106	6,41	90,2	76,1	250,4	0,330
R-32/[emim][BEI]	2486	1106	10,56	91,4	82,8	250,4	0,386

Sistemas binarios (1)/(2)	P_{con}, P_g kPa	P_{eva}, P_a kPa	f	x_g % en masa	x_a % en masa	Q_g kW	COP
R-32/[pmpy][BMeI]	2486	1106	10,09	90,8	81,8	250,4	0,387
R-32/[dmpim][TMeM]	2486	1106	11,51	92,6	84,5	250,4	0,388
R-32/[emim][BMeI]	2486	1106	9,26	91,1	81,2	250,4	0,377
R-134a/[bmim][PF ₆]	810	322	4,38	88,8	68,5	165,5	0,348
R-134a/[bmim][PF ₆]	1015	414	10,66	92,4	83,7	150,8	0,254
R-134a/[emim][BEI]	1015	414	9,46	91,4	81,8	150,8	0,308
R-134a/[bmim][TPES]	1015	414	8,57	90,5	80,0	150,8	0,306
R-134a/[bmim][TTES]	1015	414	7,67	89,5	77,8	150,8	0,301
R-134a/[6,6,6,14-P][TPES]	1015	414	12,42	90,8	83,5	150,8	0,269
R-134a/[bmim][HFPS]	1015	414	11,38	92,8	84,6	150,8	0,218
R-134a/[4,4,4,14-P][HFPS]	1015	414	11,92	89,9	82,4	150,8	0,302
R-152a/[bmim][PF ₆]	907	373	13,27	94,1	87,0	247,7	0,300
R-125/[bmim][PF ₆]	2011	909	16,49	92,2	86,6	82,4	0,128
NH ₃ /H ₂ O	1548	615	2,54	59,5	36,1	1112	0,646
H ₂ O/LiBr	7,38	1,23	4,08	66,3	50,0	2502	0,833

(a) Condiciones del ciclo: $T_g / T_{con} / T_a / T_{eva} = 100 / 40 / 30 / 10^\circ\text{C}$, y $m_r = 1 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$.

Ejemplo 2

Solubilidad de difluorometano (HFC-32) en hexafluorofosfato de 1-butil-3-metilimidazolio [bmim][PF₆]

5 Se hizo un estudio de la solubilidad y de la capacidad de difusión a temperaturas de 10, 25, 50 y 75°C, en un intervalo de presión de 0 a 1000 kPa, donde las solubilidades (X_{med}) se midieron usando una microbalanza gravimétrica y las capacidades de difusión (D) se calcularon usando un análisis de un modelo de difusión unidimensional. En la Tabla se proporciona también la concentración inicial (C_0), la concentración de saturación final (C_s), y la solubilidad calculada (X_{calc}).

Las Tablas 5a, 5b, 5c y 5d proporcionan datos de C_0 , C_s , D, X_{calc} y X_{med} , a temperaturas de 10, 25, 50 y 75°C, respectivamente.

10 Tabla 5a

T (°C)	P (kPa)	C_0 (% en masa)	C_s (% en masa)	D (m ² /s)	X_{calc} (fracción molar)	X_{med} (fracción molar)
10,0	9,79	0,52	0,54	$1,54 \times 10^{-9}$	0,029	0,026
10,0	99,57	0,82	2,53	$1,94 \times 10^{-11}$	0,124	0,106
10,0	249,67	3,32	7,56	$1,71 \times 10^{-11}$	0,309	0,270
10,0	399,64	8,18	12,38	$3,65 \times 10^{-11}$	0,436	0,426
10,0	549,75	14,44	18,71	$6,34 \times 10^{-11}$	0,557	0,555
10,0	699,65	22,12	27,85	$7,42 \times 10^{-11}$	0,678	0,676
10,0	849,54	--	--	--	--	0,812

Tabla 5b

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
24,9	9,65	0,16	0,21	1,84 x 10 ⁻¹⁰	0,012	0,018
25,0	99,52	0,49	1,69	2,45 x 10 ⁻¹¹	0,086	0,076
25,0	249,65	2,22	4,53	2,44 x 10 ⁻¹¹	0,206	0,189
25,0	399,79	5,05	7,37	3,51 x 10 ⁻¹¹	0,303	0,295
24,9	549,69	8,23	10,47	5,41 x 10 ⁻¹¹	0,390	0,387
24,9	699,50	11,82	14,09	6,75 x 10 ⁻¹¹	0,473	0,471
25,0	850,12	15,75	18,26	8,33 x 10 ⁻¹¹	0,550	0,548
24,9	999,94	20,38	23,31	8,84 x 10 ⁻¹¹	0,624	0,622

Tabla 5c

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
49,6	9,92	0,00	0,12	4,76 x 10 ⁻¹¹	0,007	0,006
49,9	99,54	0,33	0,92	5,28 x 10 ⁻¹¹	0,048	0,047
49,9	249,63	1,43	2,31	5,29 x 10 ⁻¹¹	0,115	0,113
49,9	399,49	2,84	3,72	5,98 x 10 ⁻¹¹	0,174	0,173
49,9	549,66	4,41	5,22	5,99 x 10 ⁻¹¹	0,231	0,229
49,9	699,65	5,81	6,72	7,69 x 10 ⁻¹¹	0,282	0,282
50,0	849,59	7,37	8,32	8,54 x 10 ⁻¹¹	0,331	0,331
50,0	999,59	9,78	10,05	4,04 x 10 ⁻¹¹	0,379	0,337

Tabla 5d

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
75,0	9,88	0,00	0,06	7,12 x 10 ⁻¹¹	0,003	0,003
75,0	99,68	0,30	0,56	8,19 x 10 ⁻¹¹	0,030	0,029
75,0	249,50	0,96	1,38	8,14 x 10 ⁻¹¹	0,071	0,069
75,0	399,44	1,74	2,19	9,82 x 10 ⁻¹¹	0,109	0,108
74,9	549,83	2,60	3,03	9,70 x 10 ⁻¹¹	0,146	0,145
74,9	699,66	3,42	3,89	9,58 x 10 ⁻¹¹	0,181	0,180
75,0	849,58	4,28	4,77	9,56 x 10 ⁻¹¹	0,215	0,212
75,0	999,89	5,12	5,62	1,18 x 10 ⁻¹⁰	0,245	0,244

Ejemplo 3

- 5 Solubilidad del pentafluoroetano (HFC-125) en hexafluorofosfato de 1-butil-3-metilimidazolio ([bmim][PF₆])

ES 2 377 439 T3

5 Se hizo un estudio de la solubilidad y de la capacidad de difusión a temperaturas de 10, 25, 50, y 75°C, en un intervalo de presión de 0 a 1000 kPa, donde las solubilidades (X_{med}) se midieron usando una microbalanza gravimétrica y las capacidades de difusión (D) se calcularon usando un análisis de un modelo de difusión unidimensional. En la Tabla se proporciona también la concentración inicial (C_0), la concentración de saturación final (C_s), y la solubilidad calculada (X_{calc}).

Las Tablas 6a, 6b, 6c, y 6d proporcionan datos de C_0 , C_s , D, X_{calc} y X_{med} , a temperaturas de 10, 25, 50 y 75°C, respectivamente.

Tabla 6a

T (°C)	P (kPa)	C_0 (% en masa)	C_s (% en masa)	D (m^2/s)	X_{calc} (fracción molar)	X_{med} (fracción molar)
9,9	9,92	0,0	0,12	$2,52 \times 10^{-12}$	0,003	0,013
10,0	99,64	0,73	1,50	$1,83 \times 10^{-11}$	0,035	0,034
10,1	199,59	1,72	3,96	$3,36 \times 10^{-12}$	0,089	0,074
10,0	299,60	3,55	6,25	$9,31 \times 10^{-12}$	0,136	0,125
10,1	399,64	6,03	8,88	$1,56 \times 10^{-11}$	0,187	0,182
9,9	499,65	9,10	12,52	$2,44 \times 10^{-11}$	0,253	0,250
10,0	599,65	13,18	17,56	$4,05 \times 10^{-11}$	0,335	0,336
9,9	699,62	19,19	26,04	$6,12 \times 10^{-11}$	0,455	0,454
10,0	799,79	--	--	--	--	0,651

Tabla 6b

T (°C)	P (kPa)	C_0 (% en masa)	C_s (% en masa)	D (m^2/s)	X_{calc} (fracción molar)	X_{med} (fracción molar)
25,0	9,77	0,0	0,09	$3,29 \times 10^{-12}$	0,002	0,003
25,0	99,63	0,23	0,09	$1,81 \times 10^{-11}$	0,002	0,023
25,0	199,52	1,05	2,12	$1,50 \times 10^{-11}$	0,049	0,050
24,9	299,49	2,13	3,11	$2,15 \times 10^{-11}$	0,071	0,079
25,0	399,82	3,50	4,71	$2,03 \times 10^{-11}$	0,105	0,109
25,0	499,47	4,84	6,18	$2,39 \times 10^{-11}$	0,135	0,140
25,0	599,51	6,38	7,91	$2,65 \times 10^{-11}$	0,169	0,176
25,0	799,55	8,96	12,10	$4,81 \times 10^{-11}$	0,246	0,254
24,9	999,77	14,20	18,16	$7,82 \times 10^{-11}$	0,344	0,352

10 Tabla 6c

T (°C)	P (kPa)	C_0 (% en masa)	C_s (% en masa)	D (m^2/s)	X_{calc} (fracción molar)	X_{med} (fracción molar)
49,9	10,03	0,0	0,02	$1,96 \times 10^{-10}$	0,000	0,000
49,9	99,63	0,18	0,55	$4,29 \times 10^{-11}$	0,013	0,013
49,9	199,83	0,73	1,17	$4,59 \times 10^{-11}$	0,027	0,027
50,0	299,96	1,34	1,78	$5,19 \times 10^{-11}$	0,041	0,041

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
49,9	399,69	1,96	2,44	4,75 x 10 ⁻¹¹	0,056	0,056
50,0	499,93	2,60	3,10	5,38 x 10 ⁻¹¹	0,070	0,070
49,9	599,61	3,29	3,80	5,14 x 10 ⁻¹¹	0,086	0,085
49,9	799,70	4,38	5,25	5,55 x 10 ⁻¹¹	0,116	0,116
49,9	999,58	5,85	6,82	5,87 x 10 ⁻¹¹	0,148	0,148

Tabla 6d

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
75,0	10,21	0,0	0,03	6,85 x 10 ⁻¹⁰	0,001	0,001
74,9	99,65	0,07	0,28	7,49 x 10 ⁻¹¹	0,007	0,007
75,0	199,61	0,36	0,60	9,46 x 10 ⁻¹¹	0,014	0,016
75,1	299,67	0,70	0,93	7,04 x 10 ⁻¹¹	0,022	0,025
75,0	399,71	1,04	1,27	7,96 x 10 ⁻¹¹	0,030	0,033
75,0	499,83	1,36	1,61	9,86 x 10 ⁻¹¹	0,037	0,042
75,0	599,80	1,75	1,97	7,12 x 10 ⁻¹¹	0,045	0,052
75,1	799,97	2,26	2,65	1,14 x 10 ⁻¹⁰	0,061	0,068
75,0	999,59	3,00	3,33	8,89 x 10 ⁻¹¹	0,075	0,085

Ejemplo 4

Solubilidad del 1,1,1,2-tetrafluoroetano (HFC-134a) en hexafluorofosfato de 1-butil-3-metilimidazolio ([bmim][PF₆])

- 5 Se hizo un estudio de la solubilidad y de la capacidad de difusión a temperaturas de 10, 25, 50, y 75°C, en un intervalo de presión de 0 a 350 kPa, donde las solubilidades (X_{med}) se midieron usando una microbalanza gravimétrica y las capacidades de difusión (D) se calcularon usando un análisis de un modelo de difusión unidimensional. En la Tabla se proporciona también la concentración inicial (C₀), la concentración de saturación final (C_s), y la solubilidad calculada (X_{calc}).

- 10 Las Tablas 7a, 7b, 7c, y 7d proporcionan datos de C₀, C_s, D, X_{calc} y X_{med}, a temperaturas de 10, 25, 50 y 75°C, respectivamente.

Tabla 7a

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
9,8	9,99	0,0	0,23	4,21 x 10 ⁻¹²	0,006	0,003
10,0	49,81	0,35	0,20	6,46 x 10 ⁻¹²	0,059	0,050
9,9	99,86	2,25	5,37	5,78 x 10 ⁻¹²	0,145	0,126
9,9	149,81	5,40	9,15	1,01 x 10 ⁻¹¹	0,219	0,212
9,9	200,24	9,50	13,64	1,48 x 10 ⁻¹¹	0,306	0,303
9,9	249,07	14,39	19,36	2,67 x 10 ⁻¹¹	0,401	0,402
9,9	299,74	20,96	27,51	5,33 x 10 ⁻¹¹	0,514	0,516

ES 2 377 439 T3

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
9,9	349,00	--	--	--	--	0,721

Tabla 7b

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
25,0	10,02	0,17	0,29	4,36 x 10 ⁻¹²	0,008	0,011
24,9	49,81	0,57	1,52	1,89 x 10 ⁻¹¹	0,041	0,042
25,0	99,72	1,82	3,26	1,71 x 10 ⁻¹¹	0,086	0,085
25,0	149,87	3,60	5,09	2,00 x 10 ⁻¹¹	0,130	0,130
25,0	199,30	5,43	7,09	2,27 x 10 ⁻¹¹	0,175	0,175
24,9	249,96	7,53	9,31	2,59 x 10 ⁻¹¹	0,222	0,222
25,0	299,52	9,78	11,82	2,82 x 10 ⁻¹¹	0,272	0,273
24,9	350,00	12,51	14,62	3,99 x 10 ⁻¹¹	0,323	0,323

Tabla 7c

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
49,9	9,92	0,07	0,13	2,44 x 10 ⁻¹¹	0,004	0,004
50,0	49,84	0,25	0,75	4,39 x 10 ⁻¹¹	0,021	0,021
49,9	99,71	1,00	1,57	3,94 x 10 ⁻¹¹	0,043	0,043
49,9	149,89	1,79	2,42	4,48 x 10 ⁻¹¹	0,064	0,065
50,0	198,95	2,65	3,28	4,38 x 10 ⁻¹¹	0,086	0,086
50,0	249,00	3,75	4,23	2,33 x 10 ⁻¹¹	0,110	0,108
25,0	298,97	4,43	5,10	4,90 x 10 ⁻¹¹	0,130	0,130
50,0	349,33	5,39	6,06	5,00 x 10 ⁻¹¹	0,152	0,152

Tabla 7d

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
75,0	9,70	0,00	0,03	6,45 x 10 ⁻¹¹	0,001	0,001
74,9	49,84	0,09	0,32	7,49 x 10 ⁻¹¹	0,009	0,009
74,9	99,34	0,51	0,79	7,93 x 10 ⁻¹¹	0,022	0,022
74,9	150,10	0,98	1,27	7,78 x 10 ⁻¹¹	0,035	0,035
75,0	199,83	1,44	1,73	8,37 x 10 ⁻¹¹	0,047	0,046
75,0	250,14	1,89	2,21	8,37 x 10 ⁻¹¹	0,059	0,059
75,0	300,22	2,39	2,71	8,26 x 10 ⁻¹¹	0,072	0,072

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
75,0	349,97	2,95	3,21	5,53 x 10 ⁻¹¹	0,085	0,084

Ejemplo 5

Solubilidad del 1,1,1-trifluoroetano (HFC-143a) en hexafluorofosfato de 1-butil-3-metilimidazolio ([bmim][PF₆])

5 Se hizo un estudio de la solubilidad y de la capacidad de difusión a temperaturas de 10, 25, 50, y 75°C, en un intervalo de presión de 0 a 750 kPa, donde las solubilidades (X_{med}) se midieron usando una microbalanza gravimétrica y las capacidades de difusión (D) se calcularon usando un análisis de un modelo de difusión unidimensional. En la Tabla se proporciona también la concentración inicial (C₀), la concentración de saturación final (C_s), y la solubilidad calculada (X_{calc}).

Las Tablas 8a, 8b, 8c, y 8d proporcionan datos de C₀, C_s, D, X_{calc} y X_{med}, a temperaturas de 10, 25, 50 y 75°C, respectivamente.

10 Tabla 8a

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
11,7	9,56	0,03	0,10	8,10 x 10 ⁻¹²	0,003	0,003
12,0	99,70	0,22	0,92	8,51 x 10 ⁻¹²	0,031	0,029
11,9	198,30	0,99	1,93	8,11 x 10 ⁻¹²	0,064	0,060
12,0	297,40	1,95	2,39	3,21 x 10 ⁻¹²	0,078	0,093
12,3	398,08	3,06	4,03	1,04 x 10 ⁻¹¹	0,127	0,124
12,0	499,75	4,16	5,23	1,10 x 10 ⁻¹¹	0,161	0,156
12,0	598,21	5,30	6,42	1,44 x 10 ⁻¹¹	0,192	0,188
12,2	699,75	6,54	7,63	1,94 x 10 ⁻¹¹	0,223	0,219
12,2	748,32	7,80	8,31	2,03 x 10 ⁻¹¹	0,239	0,235

Tabla 8b

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
25,0	9,51	0,00	0,01	1,53 x 10 ⁻¹¹	0,001	0,004
24,9	99,70	0,24	0,69	2,05 x 10 ⁻¹¹	0,023	0,023
24,9	200,54	0,84	1,33	2,56 x 10 ⁻¹¹	0,045	0,042
24,9	298,95	1,40	2,10	1,83 x 10 ⁻¹²	0,069	0,068
24,9	401,47	2,26	2,89	1,77 x 10 ⁻¹¹	0,093	0,090
24,9	498,86	2,95	3,60	2,24 x 10 ⁻¹¹	0,114	0,112
24,9	598,55	3,71	4,33	2,73 x 10 ⁻¹¹	0,136	0,134
24,9	700,19	4,47	5,12	2,83 x 10 ⁻¹¹	0,157	0,155
24,9	750,11	5,14	5,53	3,61 x 10 ⁻¹¹	0,169	0,165

Tabla 8c

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
49,9	10,50	0,00	0,03	1,51 x 10 ⁻¹⁰	0,000	0,001
49,9	100,23	0,16	0,40	4,47 x 10 ⁻¹¹	0,014	0,013
50,1	200,45	0,61	0,84	3,41 x 10 ⁻¹¹	0,028	0,027
50,0	300,02	1,03	1,26	2,90 x 10 ⁻¹¹	0,042	0,040
50,0	400,21	1,39	1,65	5,08 x 10 ⁻¹¹	0,055	0,054
50,0	500,46	1,81	2,08	4,10 x 10 ⁻¹¹	0,069	0,067
50,0	600,39	2,29	2,50	3,75 x 10 ⁻¹¹	0,082	0,079
50,0	700,29	2,63	2,90	5,57 x 10 ⁻¹¹	0,094	0,092
50,0	1000,30	3,56	4,16	5,51 x 10 ⁻¹¹	0,131	0,127

Tabla 8d

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
75,0	9,95	0,00	0,01	3,86 x 10 ⁻¹²	0,000	0,001
74,9	100,05	0,18	0,26	7,38 x 10 ⁻¹¹	0,009	0,009
74,8	199,60	0,38	0,54	1,04 x 10 ⁻¹⁰	0,018	0,018
74,9	300,01	0,67	0,81	1,07 x 10 ⁻¹⁰	0,028	0,027
74,9	400,15	0,91	1,08	1,32 x 10 ⁻¹⁰	0,037	0,036
74,9	500,27	1,18	1,36	1,20 x 10 ⁻¹⁰	0,045	0,044
75,0	599,79	1,44	1,63	1,40 x 10 ⁻¹⁰	0,054	0,053
75,0	700,26	1,92	1,94	3,79 x 10 ⁻⁹	0,064	0,061
74,9	1000,35	2,65	2,76	1,90 x 10 ⁻⁹	0,089	0,083

Ejemplo 6

Solubilidad del 1,1-difluoroetano (HFC-152a) en hexafluorofosfato de 1-butil-3-metilimidazolio ([bmim][PF₆])

- 5 Se hizo un estudio de la solubilidad y de la capacidad de difusión a temperaturas de 10, 25, 50, y 75°C, en un intervalo de presión de 0 a 450 kPa, donde las solubilidades (X_{med}) se midieron usando una microbalanza gravimétrica y las capacidades de difusión (D) se calcularon usando un análisis de un modelo de difusión unidimensional. En la Tabla se proporciona también la concentración inicial (C₀), la concentración de saturación final (C_s), y la solubilidad calculada (X_{calc}).
- 10 Las Tablas 9a, 9b, 9c, y 9d proporcionan datos de C₀, C_s, D, X_{calc} y X_{med}, a temperaturas de 10, 25, 50 y 75°C, respectivamente.

Tabla 9a

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
10,0	9,73	0,10	0,73	2,13 x 10 ⁻¹²	0,031	0,021
10,0	49,94	1,23	2,90	1,14 x 10 ⁻¹¹	0,114	0,103

ES 2 377 439 T3

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
10,0	99,33	3,58	6,11	1,56 x 10 ⁻¹¹	0,219	0,210
10,0	149,85	6,91	9,60	3,09 x 10 ⁻¹¹	0,314	0,301
9,9	200,11	10,40	14,00	3,60 x 10 ⁻¹¹	0,412	0,407
9,9	249,52	15,52	20,42	6,44 x 10 ⁻¹¹	0,525	0,521
9,9	319,63	--	--	--	--	0,797

Tabla 9b

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
25,0	10,02	0,16	0,66	2,00 x 10 ⁻¹¹	0,028	0,030
25,0	50,06	1,02	1,92	2,01 x 10 ⁻¹¹	0,078	0,077
24,9	99,82	2,34	3,55	2,64 x 10 ⁻¹¹	0,137	0,136
25,0	149,24	4,20	5,35	2,89 x 10 ⁻¹¹	0,196	0,194
25,0	249,69	6,74	9,52	4,96 x 10 ⁻¹¹	0,312	0,311
25,0	348,18	11,59	15,05	7,73 x 10 ⁻¹¹	0,433	0,432
25,0	450,51	18,83	23,81	1,04 x 10 ⁻¹⁰	0,573	0,574

Tabla 9c

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
50,1	99,21	0,03	0,15	5,73 x 10 ⁻¹¹	0,007	0,007
50,0	100,17	0,88	1,46	5,52 x 10 ⁻¹¹	0,060	0,060
50,0	150,20	1,63	2,22	5,94 x 10 ⁻¹¹	0,089	0,089
50,0	249,69	2,72	3,81	6,43 x 10 ⁻¹¹	0,145	0,145
50,0	450,51	6,31	7,33	7,88 x 10 ⁻¹¹	0,254	0,254

Tabla 9d

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
74,9	10,32	0,04	0,11	1,38 x 10 ⁻¹⁰	0,005	0,005
74,9	50,19	0,19	0,42	1,25 x 10 ⁻¹⁰	0,018	0,018
74,9	100,23	0,57	0,84	1,21 x 10 ⁻¹⁰	0,035	0,035
74,9	150,14	0,99	1,27	1,25 x 10 ⁻¹⁰	0,052	0,052
75,0	249,64	1,63	2,12	1,42 x 10 ⁻¹⁰	0,085	0,085
75,0	349,70	2,57	2,98	1,48 x 10 ⁻¹⁰	0,117	0,117
74,8	450,03	3,51	3,89	1,21 x 10 ⁻¹⁰	0,148	0,149

Ejemplo 7

Solubilidad del difluorometano (HFC-32) en tetrafluoroborato de 1-butil-3-metilimidazolio ([bmim][BF₄])

5 Se hizo un estudio de la solubilidad y de la capacidad de difusión a temperaturas de 10, 25, 50, y 75°C, en un intervalo de presión de 0 a 1000 kPa, donde las solubilidades (X_{med}) se midieron usando una microbalanza gravimétrica y las capacidades de difusión (D) se calcularon usando un análisis de un modelo de difusión unidimensional. En la Tabla se proporciona también la concentración inicial (C_0), la concentración de saturación final (C_s), y la solubilidad calculada (X_{calc}).

Las Tablas 10a, 10b, 10c, y 10d proporcionan datos de C_0 , C_s , D, X_{calc} y X_{med} , a temperaturas de 10, 25, 50 y 75°C, respectivamente.

10 Tabla 10a

T (°C)	P (kPa)	C_0 (% en masa)	C_s (% en masa)	D (m ² /s)	X_{calc} (fracción molar)	X_{med} (fracción molar)
9,9	10,02	8,35	9,20	$1,76 \times 10^{-11}$	0,008	0,009
9,9	99,85	10,08	13,74	$1,72 \times 10^{-11}$	0,100	0,108
10,0	249,95	15,10	18,94	$3,29 \times 10^{-11}$	0,239	0,254
10,0	399,54	21,28	25,08	$4,53 \times 10^{-11}$	0,376	0,396
9,8	549,92	28,16	33,17	$8,48 \times 10^{-11}$	0,499	0,519
9,9	699,88	37,79	46,86	$1,08 \times 10^{-10}$	0,625	0,636
9,9	849,66	52,61	52,61	$1,01 \times 10^{-10}$	0,766	0,765

Tabla 10b

T (°C)	P (kPa)	C_0 (% en masa)	C_s (% en masa)	D (m ² /s)	X_{calc} (fracción molar)	X_{med} (fracción molar)
25,0	9,69	0,01	0,15	$3,37 \times 10^{-11}$	0,007	0,006
25,0	99,68	0,59	1,81	$3,36 \times 10^{-11}$	0,074	0,070
25,0	249,55	2,75	4,79	$3,70 \times 10^{-11}$	0,180	0,174
25,0	399,89	5,87	7,95	$4,62 \times 10^{-11}$	0,273	0,270
25,0	549,77	9,23	11,36	$5,98 \times 10^{-11}$	0,358	0,356
25,0	699,55	12,90	15,12	$7,44 \times 10^{-11}$	0,436	0,434
25,0	849,45	17,08	19,33	$9,10 \times 10^{-10}$	0,510	0,510
25,0	999,85	21,83	24,46	$9,94 \times 10^{-11}$	0,585	0,583

Tabla 10c

T (°C)	P (kPa)	C_0 (% en masa)	C_s (% en masa)	D (m ² /s)	X_{calc} (fracción molar)	X_{med} (fracción molar)
50,0	9,77	0,01	0,07	$8,71 \times 10^{-11}$	0,003	0,003
49,9	99,61	0,37	0,95	$7,56 \times 10^{-11}$	0,040	0,039
50,0	249,67	1,67	2,47	$7,40 \times 10^{-11}$	0,099	0,099
50,0	399,64	3,16	4,01	$8,23 \times 10^{-11}$	0,154	0,153

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
49,9	549,56	4,75	5,59	8,95 x 10 ⁻¹¹	0,205	0,204
49,9	699,53	6,38	7,22	9,88 x 10 ⁻¹¹	0,253	0,253
49,8	849,86	8,05	8,91	1,06 x 10 ⁻¹⁰	0,298	0,298
50,0	999,63	9,75	10,64	1,11 x 10 ⁻¹⁰	0,341	0,341

Tabla 10d

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
75,0	9,71	0,0	0,03	1,26 x 10 ⁻¹⁰	0,001	0,001
74,9	99,56	0,26	0,54	1,28 x 10 ⁻¹⁰	0,023	0,023
74,9	249,48	1,03	1,40	1,25 x 10 ⁻¹⁰	0,058	0,058
75,0	399,50	1,92	2,27	1,22 x 10 ⁻¹⁰	0,092	0,091
74,9	549,51	2,75	3,14	1,45 x 10 ⁻¹⁰	0,124	0,123
75,0	699,55	3,64	4,03	1,59 x 10 ⁻¹⁰	0,154	0,154
74,9	849,64	4,54	4,94	1,42 x 10 ⁻¹⁰	0,184	0,183
74,9	999,94	5,44	5,82	1,89 x 10 ⁻¹⁰	0,212	0,212

Ejemplo 8

Solubilidad del difluorometano (HFC-32) en yoduro de 1-octil-3-metilimidazolio ([omim][I])

- 5 Se hizo un estudio de la solubilidad y de la capacidad de difusión a una temperatura de 25°C, en un intervalo de presión de 0 a 1000 kPa, donde las solubilidades (X_{med}) se midieron usando una microbalanza gravimétrica y las capacidades de difusión (D) se calcularon usando un análisis de un modelo de difusión unidimensional. En la Tabla se proporciona también la concentración inicial (C₀), la concentración de saturación final (C_s), y la solubilidad calculada (X_{calc}).

La Tabla 11 proporciona datos de C₀, C_s, D, X_{calc} y X_{med}, a una temperatura 25°C.

10 Tabla 11

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
25,0	10,07	0,01	0,06	1,75 x 10 ⁻¹¹	0,004	0,004
25,2	100,21	0,23	0,80	1,77 x 10 ⁻¹¹	0,048	0,048
25,0	249,71	1,20	2,13	1,86 x 10 ⁻¹¹	0,119	0,118
25,0	399,99	2,58	3,55	2,27 x 10 ⁻¹¹	0,186	0,185
25,0	550,08	4,07	5,04	3,13 x 10 ⁻¹¹	0,247	0,246
25,0	699,64	5,64	6,64	3,81 x 10 ⁻¹¹	0,306	0,306
25,0	850,27	7,52	8,33	2,86 x 10 ⁻¹¹	0,360	0,362
25,0	1000,22	9,27	10,35	6,37 x 10 ⁻¹¹	0,417	0,416

Ejemplo 9

Solubilidad del difluorometano (HFC-32) en yoduro de 1,3-dioctil-imidazolio ([doim][I])

5 Se hizo un estudio de la solubilidad y de la capacidad de difusión a una temperatura de 25°C, en un intervalo de presión de 0 a 1000 kPa, donde las solubilidades (X_{med}) se midieron usando una microbalanza gravimétrica y las capacidades de difusión (D) se calcularon usando un análisis de un modelo de difusión unidimensional. En la Tabla se proporciona también la concentración inicial (C_0), la concentración de saturación final (C_s), y la solubilidad calculada (X_{calc}).

La Tabla 12 proporciona datos de C_0 , C_s , D, X_{calc} y X_{med} , a una temperatura 25°C.

Tabla 12

T (°C)	P (kPa)	C_0 (% en masa)	C_s (% en masa)	D (m^2/s)	X_{calc} (fracción molar)	X_{med} (fracción molar)
25,0	10,02	0,03	0,11	$1,78 \times 10^{-11}$	0,009	0,007
25,0	100,10	0,29	0,87	$2,11 \times 10^{-11}$	0,066	0,064
25,0	250,03	1,29	2,17	$2,35 \times 10^{-11}$	0,152	0,150
25,0	400,24	2,62	3,51	$2,91 \times 10^{-11}$	0,227	0,225
25,0	550,24	4,03	4,93	$3,54 \times 10^{-11}$	0,295	0,293
25,0	700,10	5,51	6,43	$4,25 \times 10^{-11}$	0,357	0,355
24,9	849,88	7,12	8,07	$5,00 \times 10^{-11}$	0,415	0,413
25,0	1000,24	8,83	9,85	$5,77 \times 10^{-11}$	0,469	0,468

10 Ejemplo 10

Solubilidad del difluorometano (HFC-32) en tris(trifluorometilsulfonil)metanuro de 1,2-dimetil-3-propilimidazolio ([dmpim][tTFMSmetanuro] o [dmpim][TMeM])

15 Se hizo un estudio de la solubilidad y de la capacidad de difusión a una temperatura de 25°C, en un intervalo de presión de 0 a 1000 kPa, donde las solubilidades (X_{med}) se midieron usando una microbalanza gravimétrica y las capacidades de difusión (D) se calcularon usando un análisis de un modelo de difusión unidimensional. En la Tabla se proporciona también la concentración inicial (C_0), la concentración de saturación final (C_s), y la solubilidad calculada (X_{calc}).

La Tabla 13 proporciona datos de C_0 , C_s , D, X_{calc} y X_{med} , a una temperatura 25°C.

Tabla 13

T (°C)	P (kPa)	C_0 (% en masa)	C_s (% en masa)	D (m^2/s)	X_{calc} (fracción molar)	X_{med} (fracción molar)
25,0	9,67	0,01	0,08	$1,83 \times 10^{-11}$	0,008	0,009
25,0	98,92	0,29	0,99	$1,61 \times 10^{-11}$	0,096	0,095
25,0	249,52	1,55	2,65	$2,24 \times 10^{-11}$	0,224	0,222
25,0	401,43	3,41	4,55	$3,01 \times 10^{-11}$	0,335	0,333
25,0	550,86	4,97	6,60	$4,06 \times 10^{-11}$	0,428	0,428
25,0	699,64	7,98	9,07	$1,04 \times 10^{-10}$	0,513	0,513
25,0	847,69	11,13	11,93	$1,51 \times 10^{-10}$	0,589	0,589
25,0	1000,08	14,53	15,53	$1,92 \times 10^{-10}$	0,660	0,660

20

Ejemplo 11

Solubilidad del difluorometano (HFC-32) en bis(trifluorometilsulfonil)imida de 1,2-dimetil-3-propilimidazolio ([dmpim][bTFMSimida] o [dmpim][BMel])

- 5 Se hizo un estudio de la solubilidad y de la capacidad de difusión a una temperatura de 25°C, en un intervalo de presión de 0 a 1000 kPa, donde las solubilidades (X_{med}) se midieron usando una microbalanza gravimétrica y las capacidades de difusión (D) se calcularon usando un análisis de un modelo de difusión unidimensional. En la Tabla se proporciona también la concentración inicial (C_0), la concentración de saturación final (C_s), y la solubilidad calculada (X_{calc}).

La Tabla 14 proporciona datos de C_0 , C_s , D, X_{calc} y X_{med} , a una temperatura 25°C.

10 Tabla 14

T (°C)	P (kPa)	C_0 (% en masa)	C_s (% en masa)	D (m^2/s)	X_{calc} (fracción molar)	X_{med} (fracción molar)
24,9	9,89	0,02	0,11	$6,31 \times 10^{-11}$	0,008	0,008
25,0	99,51	0,65	1,22	$6,60 \times 10^{-11}$	0,091	0,090
25,0	249,49	2,44	3,25	$8,94 \times 10^{-11}$	0,213	0,212
25,0	397,62	4,62	5,46	$1,21 \times 10^{-10}$	0,317	0,317
25,0	550,13	7,08	8,00	$1,46 \times 10^{-10}$	0,412	0,412
25,0	701,74	10,02	10,92	$1,75 \times 10^{-10}$	0,497	0,496
25,0	851,31	13,56	14,29	$2,23 \times 10^{-10}$	0,573	0,573
25,0	1001,08	17,55	18,41	$2,33 \times 10^{-10}$	0,645	0,645

Ejemplo 12

Preparación del yoduro de 1,3-dioctilimidazolio [oim][I]

Se preparó yoduro de 1,3-dioctilimidazolio [oim][I] como describió L. Xu, y colaboradores, (Journal of Organometallic Chemistry, 2000, 598, 409-416):

- 15 Se disolvió imidazol (2,72 g; 0,04 mmol) y bromuro de octilo (3,1 g; 0,016 mmol) en 55 ml de acetato de etilo. La mezcla se puso a reflujo bajo una protección gaseosa de nitrógeno. Inicialmente, la solución era clara e incolora, sin embargo, tras estar a reflujo aproximadamente 1 hora, la mezcla se hizo turbia con un color marrón claro. La mezcla se dejó a reflujo durante una noche. Luego, se enfrió la mezcla a temperatura ambiente (RT) después de lo cual se formó un precipitado blanco. Se extrajo la mezcla con agua (2x: 30 ml). Después de secar el disolvente con sulfato de magnesio, se retiró el disolvente haciendo uso de vacío, produciendo un aceite de color marrón claro.
- 20

Al residuo oleoso se le añadieron 60 ml de tolueno, seguido de 1-yodo-octano (4,8 g; 0,02). La mezcla se puso a reflujo durante una noche bajo protección gaseosa de nitrógeno, dando como resultado una mezcla de color amarillo oscuro. El aceite amarillo se recogió mediante un embudo de separación enjuagado con tolueno (2x: 20 ml) y se secó a vacío.

25 Ejemplo 13

Preparación del yoduro de 1-metil-3-octilimidazolio [omim][I]

Se preparó yoduro de 1-metil-3-octilimidazolio [omim][I] como describió L. Xu, y colaboradores, (Journal of Organometallic Chemistry, 2000, 598, 409-416):

- 30 Se disolvió 1-metilimidazol (1,65 g; 0,02 mmol) y 1-yodo-octano (5,31 g; 0,022 mmol) en 30 ml de tolueno. La mezcla se puso a reflujo, después de lo cual la mezcla se volvió inmediatamente amarilla y turbia. La mezcla se puso a reflujo una noche, durante la cual se formó un precipitado oleoso amarillento. El aceite amarillento se recogió y se secó a vacío.

Ejemplo 14

En la Tabla 15 se proporciona la descripción de los componentes de la microbalanza mostrados en la Figura 15.

Tabla 15. Componentes de la microbalanza que contribuyen al cálculo del empuje hidrostático

Subíndice	Artículo	Peso (g)	Material	Densidad (g·cm ⁻³)	Temperatura (°C)
s	Muestra seca	m _s	[bmim][PF ₆] [bmim][BF ₄]	ρ _s	Temperatura de muestra (T _s)
a	Gas interactuado	m _a	CO ₂	ρ _a	(T _s)
i ₁	Recipiente de muestra	0,5986	Pyrex	2,23	(T _s)
i ₂	Hilo	0,051	Volframio	21,0	(T _s)
i ₃	Cadena	0,3205	Oro	19,3	30
j ₁	Contrapeso	0,8054	Acero inoxidable	7,9	25
j ₂	Gancho	0,00582	Volframio	21,0	25
j ₃	Cadena	0,2407	Oro	19,3	30

Ejemplo 15

Solubilidad del difluorometano (HFC-32) en bis(pentafluoroetilsulfonyl)imida de 1-etil-3-metilimidazolio ([emim][BEI])

5 Se hizo un estudio de la solubilidad y de la capacidad de difusión a temperaturas de 10, 25, 50, y 75°C, en un intervalo de presión de 0 a 1000 kPa, donde las solubilidades (X_{med}) se midieron usando una microbalanza gravimétrica y las capacidades de difusión (D) se calcularon usando un análisis de un modelo de difusión unidimensional. También se proporciona la concentración inicial (C₀), la concentración de saturación final (C_s), y la solubilidad calculada (X_{calc}).

10 Las Tablas 16a, 16b, 16c, y 16d proporcionan datos de C₀, C_s, D, X_{calc} y X_{med}, a temperaturas de 10, 25, 50 y 75°C, respectivamente.

Tabla 16a

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
10,0	10,1	0,06	0,15	3,79 x 10 ⁻¹¹	0,014	0,014
10,0	100,0	1,06	1,78	4,78 x 10 ⁻¹¹	0,146	0,144
10,0	249,5	3,58	4,83	7,37 x 10 ⁻¹¹	0,324	0,323
10,0	399,5	7,14	8,52	1,17 x 10 ⁻¹⁰	0,468	0,467
10,0	549,6	11,75	13,23	1,51 x 10 ⁻¹⁰	0,590	0,590
10,0	699,4	17,76	19,75	1,72 x 10 ⁻¹⁰	0,699	0,699
10,0	850,5	26,95	30,37	1,67 x 10 ⁻¹⁰	0,805	0,799

Tabla 16b

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
25,0	9,6	0,03	0,11	7,5 x 10 ⁻¹¹	0,010	0,010
25,0	99,7	0,71	1,12	7,9 x 10 ⁻¹¹	0,104	0,104
25,0	249,6	2,49	3,19	1,1 x 10 ⁻¹⁰	0,237	0,237
25,0	399,6	4,61	5,33	1,3 x 10 ⁻¹⁰	0,347	0,347

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
25,0	549,3	7,03	7,75	1,6 x 10 ⁻¹⁰	0,443	0,442
25,0	699,3	9,70	10,49	1,8 x 10 ⁻¹⁰	0,525	0,525
25,0	850,3	12,87	13,71	2,1 x 10 ⁻¹⁰	0,600	0,598
25,0	1000,5	16,49	17,56	1,7 x 10 ⁻¹⁰	0,668	0,666

Tabla 16c

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
50,0	10,0	0,00	0,04	1,66 x 10 ⁻¹⁰	0,004	0,004
50,0	99,7	0,49	0,65	1,34 x 10 ⁻¹⁰	0,058	0,059
50,0	249,7	1,46	1,73	1,79 x 10 ⁻¹⁰	0,142	0,145
50,0	399,6	2,61	2,83	1,92 x 10 ⁻¹⁰	0,216	0,219
50,0	549,5	3,82	3,98	2,19 x 10 ⁻¹⁰	0,281	0,285
50,0	699,5	4,92	5,19	2,28 x 10 ⁻¹⁰	0,341	0,345
50,0	850,4	6,20	6,46	2,73 x 10 ⁻¹⁰	0,395	0,399
50,0	999,3	7,54	7,81	1,62 x 10 ⁻¹⁰	0,444	0,449

Tabla 16d

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
74,9	10,1	0,00	0,01	3,92 x 10 ⁻¹⁰	0,001	0,001
74,9	100,0	0,32	0,41	2,62 x 10 ⁻¹⁰	0,038	0,038
74,9	250,1	0,99	1,10	3,32 x 10 ⁻¹⁰	0,095	0,095
74,9	399,2	1,72	1,79	3,96 x 10 ⁻¹⁰	0,147	0,146
74,9	549,6	2,39	2,49	3,53 x 10 ⁻¹⁰	0,194	0,194
74,9	699,6	3,08	3,22	3,41 x 10 ⁻¹⁰	0,239	0,239
74,9	850,4	3,87	3,96	3,48 x 10 ⁻¹⁰	0,280	0,280
74,9	999,4	4,55	4,70	1,92 x 10 ⁻¹⁰	0,318	0,317

Ejemplo 16

5 Solubilidad del difluorometano (HFC-32) en bis(trifluorometilsulfonyl)imida de 3-metil-1-propilimidazolio ([pmpy][BMeI])

10 Se hizo un estudio de la solubilidad y de la capacidad de difusión a temperaturas de 10, 25, 50, y 75°C, en un intervalo de presión de 0 a 1000 kPa, donde las solubilidades (X_{med}) se midieron usando una microbalanza gravimétrica y las capacidades de difusión (D) se calcularon usando un análisis de un modelo de difusión unidimensional. También se proporciona la concentración inicial (C₀), la concentración de saturación final (C_s), y la solubilidad calculada (X_{calc}).

Las Tablas 17a, 17b, 17c, y 17d proporcionan datos de C₀, C_s, D, X_{calc} y X_{med}, a temperaturas de 10, 25, 50 y 75°C, respectivamente.

ES 2 377 439 T3

Tabla 17a

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
10,0	10,21	0,08	0,02	5,76 x 10 ⁻¹¹	0,002	0,015
10,0	100,01	1,03	2,01	5,72 x 10 ⁻¹¹	0,141	0,140
10,0	249,42	3,95	5,31	1,05 x 10 ⁻¹⁰	0,310	0,311
10,0	399,63	7,78	9,35	1,28 x 10 ⁻¹⁰	0,452	0,452
10,0	549,35	12,68	14,05	2,89 x 10 ⁻¹⁰	0,567	0,570
10,0	699,60	18,73	20,79	2,01 x 10 ⁻¹⁰	0,678	0,679
10,0	849,51	27,80	30,88	2,71 x 10 ⁻¹⁰	0,781	0,778

Tabla 17b

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
24,9	9,51	0,02	0,12	9,96 x 10 ⁻¹¹	0,010	0,010
24,9	100,20	0,74	1,32	1,00 x 10 ⁻¹⁰	0,097	0,096
24,9	250,34	2,67	3,44	1,20 x 10 ⁻¹⁰	0,222	0,221
24,9	399,59	4,93	5,73	1,52 x 10 ⁻¹⁰	0,327	0,328
24,9	549,73	7,52	8,30	1,92 x 10 ⁻¹⁰	0,420	0,419
24,9	699,23	10,35	11,16	2,20 x 10 ⁻¹⁰	0,501	0,502
24,9	849,65	13,61	14,48	2,41 x 10 ⁻¹⁰	0,575	0,575
24,9	1000,44	17,35	18,06	6,21 x 10 ⁻¹⁰	0,638	0,639

Tabla 17c

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
50,0	10,25	0,04	0,08	2,10 x 10 ⁻¹⁰	0,007	0,007
50,0	100,31	0,59	0,76	1,86 x 10 ⁻¹⁰	0,058	0,058
50,0	249,79	1,46	1,93	2,01 x 10 ⁻¹⁰	0,136	0,137
50,0	400,04	2,82	3,11	2,80 x 10 ⁻¹⁰	0,205	0,206
50,0	549,45	4,05	4,36	2,37 x 10 ⁻¹⁰	0,268	0,270
50,0	699,35	5,39	5,64	3,50 x 10 ⁻¹⁰	0,323	0,326
50,0	850,31	6,71	6,97	3,95 x 10 ⁻¹⁰	0,375	0,378
50,0	999,39	8,06	8,44	2,30 x 10 ⁻¹⁰	0,425	0,427

Tabla 17d

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
74,9	10,26	0,03	0,04	3,94 x 10 ⁻¹⁰	0,003	0,003
74,9	100,23	0,04	0,46	3,89 x 10 ⁻¹⁰	0,036	0,037
74,9	250,20	1,06	1,19	3,96 x 10 ⁻¹⁰	0,088	0,089
74,9	400,21	1,77	1,91	4,00 x 10 ⁻¹⁰	0,135	0,138
74,9	549,31	2,53	2,65	3,62 x 10 ⁻¹⁰	0,179	0,183
74,9	700,26	3,27	3,39	4,62 x 10 ⁻¹⁰	0,219	0,223
74,9	849,35	4,04	4,15	4,76 x 10 ⁻¹⁰	0,257	0,262
74,9	1000,19	4,76	4,91	5,48 x 10 ⁻¹⁰	0,293	0,300

Ejemplo 17

Solubilidad del trifluorometano (HFC-23) en hexafluorofosfato de 1-butil-3-metilimidazolio ([bmim][PF₆])

5 Se hizo un estudio de la solubilidad y de la capacidad de difusión a temperaturas de 10, 25, 50, y 75°C, en un intervalo de presión de 0 a 2000 kPa, donde las solubilidades (X_{med}) se midieron usando una microbalanza gravimétrica y las capacidades de difusión (D) se calcularon usando un análisis de un modelo de difusión unidimensional. También se proporciona la concentración inicial (C₀), la concentración de saturación final (C_s), y la solubilidad calculada (X_{calc}).

10 Las Tablas 18a, 18b, 18c, y 18d proporcionan datos de C₀, C_s, D, X_{calc} y X_{med}, a temperaturas de 10, 25, 50 y 75°C, respectivamente.

Tabla 18a

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
9,4	9,62	--	--	--	--	0,000
9,4	50,00	0,00	0,25	1,54 x 10 ⁻¹¹	0,010	0,010
9,6	109,79	--	--	--	--	0,028
9,5	400,03	1,56	3,05	1,54 x 10 ⁻¹¹	0,113	0,113
9,4	700,00	4,14	5,76	2,17 x 10 ⁻¹¹	0,199	0,198
9,5	999,34	7,15	8,81	2,89 x 10 ⁻¹¹	0,282	0,281
9,5	1299,72	10,59	12,22	4,62 x 10 ⁻¹¹	0,361	0,361
9,5	1499,64	13,48	14,81	5,68 x 10 ⁻¹¹	0,414	0,414
9,5	2000,17	--	--	--	--	0,528

Tabla 18b

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
24,9	9,91	--	--	--	--	0,000
24,9	49,72	0,03	0,19	2,56 x 10 ⁻¹¹	0,008	0,008

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
24,9	99,94	0,24	0,44	3,22 x 10 ⁻¹¹	0,018	0,018
24,9	399,34	1,17	2,08	2,37 x 10 ⁻¹¹	0,080	0,079
24,9	699,53	2,86	3,79	3,01 x 10 ⁻¹¹	0,138	0,137
24,9	1000,41	4,68	5,59	3,95 x 10 ⁻¹¹	0,194	0,193
24,9	1300,56	6,66	7,52	3,89 x 10 ⁻¹¹	0,248	0,247
25,0	1500,00	8,09	8,80	5,73 x 10 ⁻¹¹	0,281	0,281
24,9	1999,90	11,36	12,49	7,12 x 10 ⁻¹¹	0,367	0,367

Tabla 18c

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
50,0	9,81	0,00	0,01	6,34 x 10 ⁻¹¹	0,000	0,000
50,0	49,84	0,03	0,11	6,26 x 10 ⁻¹¹	0,005	0,005
50,0	99,61	0,17	0,27	7,35 x 10 ⁻¹¹	0,011	0,011
50,0	399,65	0,89	1,27	5,88 x 10 ⁻¹¹	0,049	0,049
50,0	700,36	1,90	2,25	6,74 x 10 ⁻¹¹	0,085	0,085
50,0	1000,41	2,92	3,27	8,02 x 10 ⁻¹¹	0,121	0,120
50,0	1299,31	3,65	4,29	7,47 x 10 ⁻¹¹	0,154	0,154
50,0	1500,15	4,69	5,01	1,16 x 10 ⁻¹⁰	0,176	0,176
50,0	1999,32	6,41	6,78	1,08 x 10 ⁻¹⁰	0,228	0,227

Tabla 18d

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
75,0	9,65	--	--	--	--	0,001
74,9	49,73	0,03	0,08	8,13 x 10 ⁻¹¹	0,003	0,003
74,9	99,75	0,12	0,21	1,22 x 10 ⁻¹⁰	0,008	0,008
74,9	399,71	0,63	0,84	1,04 x 10 ⁻¹⁰	0,033	0,033
74,9	700,16	1,45	1,42	2,86 x 10 ⁻¹²	0,055	0,057
75,0	999,34	1,92	2,08	1,08 x 10 ⁻¹⁰	0,079	0,080
74,9	1300,31	2,55	2,72	2,23 x 10 ⁻¹⁰	0,102	0,103
74,9	1499,31	2,98	3,17	1,09 x 10 ⁻¹⁰	0,117	0,118
74,9	1999,98	4,00	4,22	2,31 x 10 ⁻¹⁰	0,152	0,146

Ejemplo 18

Solubilidad del trifluorometano (HFC-23) en hexafluorofosfato de 1-etil-3-metilimidazolio ([emim][PF₆])

Se hizo un estudio de la solubilidad y de la capacidad de difusión a una temperatura de 60, y 75°C, en un intervalo de presión de 0 a 2000 kPa, donde las solubilidades (X_{med}) se midieron usando una microbalanza gravimétrica y las capacidades de difusión (D) se calcularon usando un análisis de un modelo de difusión unidimensional. También se proporciona la concentración inicial (C_0), la concentración de saturación final (C_s), y la solubilidad calculada (X_{calc}).

- 5 Las Tablas 19a y 19b proporcionan datos de C_0 , C_s , D, X_{calc} y X_{med} , a una temperatura de 60, y 75°C, respectivamente.

Tabla 19a

T (°C)	P (kPa)	C_0 (% en masa)	C_s (% en masa)	D (m^2/s)	X_{calc} (fracción molar)	X_{med} (fracción molar)
59,9	9,92	--	--	--	--	0,000
59,9	49,97	0,03	0,09	$1,23 \times 10^{-10}$	0,003	0,003
59,9	99,73	0,13	0,20	$1,28 \times 10^{-10}$	0,007	0,007
59,9	400,26	0,76	0,86	$1,21 \times 10^{-10}$	0,031	0,030
59,9	699,74	1,30	1,50	$1,58 \times 10^{-10}$	0,053	0,053
59,9	1000,01	2,02	2,18	$1,12 \times 10^{-10}$	0,075	0,076
60,0	1299,20	2,71	2,86	$2,55 \times 10^{-10}$	0,097	0,098
59,9	1500,02	3,20	3,35	$1,68 \times 10^{-10}$	0,113	0,113
59,9	1999,90	4,39	4,54	$3,12 \times 10^{-10}$	0,148	0,151

Tabla 19b

T (°C)	P (kPa)	C_0 (% en masa)	C_s (% en masa)	D (m^2/s)	X_{calc} (fracción molar)	X_{med} (fracción molar)
75,0	9,65	0,02	0,02	$1,12 \times 10^{-10}$	0,001	0,001
74,9	49,82	--	--	--	--	0,002
74,9	99,98	0,12	0,16	$1,94 \times 10^{-10}$	0,006	0,006
74,9	400,35	0,56	0,65	$2,18 \times 10^{-10}$	0,023	0,024
74,9	699,33	1,06	1,14	$1,17 \times 10^{-10}$	0,040	0,040
74,9	1000,41	1,56	1,65	$2,73 \times 10^{-10}$	0,058	0,057
75,0	1299,69	2,00	2,16	$1,02 \times 10^{-10}$	0,075	0,074
74,9	1500,41	2,47	2,49	$7,22 \times 10^{-10}$	0,075	0,083
75,0	1999,39	--	--	--	--	0,116

Ejemplo 19

- 10 Solubilidad del difluorometano (HFC-32) en bis(trifluorometilsulfonil)imida de 3-etil-1-metilimidazolio ([emim][BMeI])

Se hizo un estudio de la solubilidad y de la capacidad de difusión a temperaturas de 10, 25, 50, y 75°C, en un intervalo de presión de 0 a 1000 kPa, donde las solubilidades (X_{med}) se midieron usando una microbalanza gravimétrica y las capacidades de difusión (D) se calcularon usando un análisis de un modelo de difusión unidimensional. También se proporciona la concentración inicial (C_0), la concentración de saturación final (C_s), y la solubilidad calculada (X_{calc}).

- 15 Las Tablas 20a, 20b, 20c, y 20d proporcionan datos de C_0 , C_s , D, X_{calc} y X_{med} , a temperaturas de 10, 25, 50 y 75°C, respectivamente.

ES 2 377 439 T3

Tabla 20a

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
10,0	10,15	0,11	0,19	6,94 x 10 ⁻¹¹	0,014	0,014
10,0	100,12	1,12	2,06	8,72 x 10 ⁻¹¹	0,137	0,136
10,0	250,30	4,25	5,55	1,18 x 10 ⁻¹⁰	0,306	0,305
10,0	399,29	8,20	9,58	1,50 x 10 ⁻¹⁰	0,444	0,446
10,0	549,25	13,38	14,83	1,78 x 10 ⁻¹⁰	0,567	0,567
10,0	700,43	19,75	21,63	2,36 x 10 ⁻¹⁰	0,675	0,668
10,0	849,35	27,92	31,92	1,24 x 10 ⁻¹⁰	0,779	0,785

Tabla 20b

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
25,0	9,59	0,09	0,13	8,36 x 10 ⁻¹¹	0,010	0,010
25,0	99,81	0,86	1,38	1,22 x 10 ⁻¹⁰	0,095	0,095
25,0	250,24	2,88	3,56	1,61 x 10 ⁻¹⁰	0,217	0,217
25,0	399,37	5,27	5,97	1,56 x 10 ⁻¹⁰	0,323	0,323
25,0	549,40	7,90	8,60	2,00 x 10 ⁻¹⁰	0,414	0,414
25,0	699,46	10,77	11,53	2,33 x 10 ⁻¹⁰	0,495	0,495
25,0	849,52	14,06	14,80	3,24 x 10 ⁻¹⁰	0,566	0,565
25,0	999,67	17,74	18,58	3,20 x 10 ⁻¹⁰	0,623	0,637

Tabla 20c

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
50,0	10,22	0,04	0,07	3,03 x 10 ⁻¹⁰	0,005	0,005
25,0	100,29	0,55	0,77	2,18 x 10 ⁻¹⁰	0,055	0,055
50,0	249,72	1,71	1,98	2,19 x 10 ⁻¹⁰	0,132	0,132
50,0	400,11	2,95	3,21	2,86 x 10 ⁻¹⁰	0,199	0,199
50,0	549,49	4,22	4,50	2,47 x 10 ⁻¹⁰	0,261	0,262
50,0	700,33	5,52	5,80	3,97 x 10 ⁻¹⁰	0,316	0,316
50,0	850,44	6,93	7,20	2,90 x 10 ⁻¹⁰	0,368	0,364
50,0	1000,38	8,22	8,51	3,43 x 10 ⁻¹⁰	0,411	0,412

Tabla 20d

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
74,9	10,28	0,01	0,03	6,36 x 10 ⁻¹⁰	0,002	0,002
74,9	99,81	0,36	0,46	3,41 x 10 ⁻¹⁰	0,034	0,034
74,9	249,71	1,09	1,21	4,12 x 10 ⁻¹⁰	0,084	0,084
74,9	399,48	1,82	1,96	5,11 x 10 ⁻¹⁰	0,130	0,130
74,9	550,26	2,60	2,71	5,24 x 10 ⁻¹⁰	0,173	0,173
74,9	699,19	3,37	3,49	3,22 x 10 ⁻¹⁰	0,213	0,213
74,9	850,39	4,16	4,28	4,63 x 10 ⁻¹⁰	0,252	0,251
74,9	1000,45	5,10	5,10	4,75 x 10 ⁻¹⁰	0,288	0,284

Ejemplo 20

Solubilidad del difluorometano (HFC-32) en bis(trifluorometilsulfonyl)imida de 1-butil-3-metilimidazolio ([bmpy][BMeI])

- 5 Se hizo un estudio de la solubilidad y de la capacidad de difusión a una temperatura de 25°C, en un intervalo de presión de 0 a 1000 kPa, donde las solubilidades (X_{med}) se midieron usando una microbalanza gravimétrica y las capacidades de difusión (D) se calcularon usando un análisis de un modelo de difusión unidimensional. En la Tabla 21 también se proporciona la concentración inicial (C₀), la concentración de saturación final (C_s), y la solubilidad calculada (X_{calc}).

Tabla 21

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
25,0	9,61	0,04	0,12	6,81 x 10 ⁻¹¹	0,010	0,010
25,0	99,50	0,66	1,32	7,82 x 10 ⁻¹¹	0,097	0,100
25,0	249,49	2,58	3,38	1,21 x 10 ⁻¹⁰	0,219	0,223
25,0	399,48	4,76	5,59	1,49 x 10 ⁻¹⁰	0,321	0,329
25,0	549,62	7,25	8,10	1,53 x 10 ⁻¹⁰	0,414	0,424
25,0	700,55	--	--	--	--	0,505
25,0	850,57	13,03	14,47	1,15 x 10 ⁻¹¹	0,575	0,580
25,0	1000,02	17,06	18,28	2,31 x 10 ⁻¹⁰	0,642	0,648

10 Ejemplo 21

Solubilidad del difluorometano (HFC-32) en 1,1,2,2-tetrafluoroetanosulfonato de 1-etil-3-metilimidazolio ([emim][TFES])

- 15 Se hizo un estudio de la solubilidad y de la capacidad de difusión a una temperatura de 25°C, en un intervalo de presión de 0 a 1000 kPa, donde las solubilidades (X_{med}) se midieron usando una microbalanza gravimétrica y las capacidades de difusión (D) se calcularon usando un análisis de un modelo de difusión unidimensional. En la Tabla 22 también se proporciona la concentración inicial (C₀), la concentración de saturación final (C_s), y la solubilidad calculada (X_{calc}).

Tabla 22

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
25,0	9,87	0,01	0,10	4,12 x 10 ⁻¹¹	0,006	0,006
24,9	99,10	0,40	1,03	3,25 x 10 ⁻¹¹	0,055	0,054
24,9	248,41	2,48	2,65	2,94 x 10 ⁻¹¹	0,133	0,132
24,9	399,45	3,66	4,45	4,93 x 10 ⁻¹¹	0,207	0,207
24,9	549,57	5,78	6,37	5,92 x 10 ⁻¹¹	0,276	0,277
24,9	702,21	--	--	--	--	0,344
24,9	848,32	9,79	10,90	1,04 x 10 ⁻¹⁰	0,407	0,407
24,9	1001,60	12,55	13,66	1,21 x 10 ⁻¹⁰	0,470	0,471

Ejemplo 22

Solubilidad del difluorometano (HFC-32) en 1,1,2,2,-tetrafluoroetanosulfonato de 1-butil-3-metilimidazolio ([bmim][TFES])

- 5 Se hizo un estudio de la solubilidad y de la capacidad de difusión a una temperatura de 25°C, en un intervalo de presión de 0 a 1000 kPa, donde las solubilidades (X_{med}) se midieron usando una microbalanza gravimétrica y las capacidades de difusión (D) se calcularon usando un análisis de un modelo de difusión unidimensional. En la Tabla 23 también se proporciona la concentración inicial (C₀), la concentración de saturación final (C_s), y la solubilidad calculada (X_{calc}).

10 Tabla 23

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
25,0	9,67	0,02	0,12	2,37 x 10 ⁻¹¹	0,007	0,007
25,0	99,86	0,99	1,29	1,47 x 10 ⁻¹¹	0,075	0,072
25,0	249,97	2,19	3,31	2,67 x 10 ⁻¹¹	0,174	0,171
25,0	397,16	4,33	5,40	3,95 x 10 ⁻¹¹	0,260	0,261
25,0	548,38	6,84	7,78	4,76 x 10 ⁻¹¹	0,342	0,342
25,0	699,46	8,98	10,39	7,75 x 10 ⁻¹¹	0,416	0,416
25,0	848,11	11,98	13,27	8,73 x 10 ⁻¹¹	0,485	0,485
25,0	998,86	15,07	16,62	1,35 x 10 ⁻¹⁰	0,551	0,550

Ejemplo 23

Solubilidad del difluorometano (HFC-32) en 1,1,2,2,-tetrafluoroetanosulfonato de 1-dodecil-3-metilimidazolio ([dmim][TFES])

- 15 Se hizo un estudio de la solubilidad y de la capacidad de difusión a una temperatura de 25°C, en un intervalo de presión de 0 a 1000 kPa, donde las solubilidades (X_{med}) se midieron usando una microbalanza gravimétrica y las capacidades de difusión (D) se calcularon usando un análisis de un modelo de difusión unidimensional. En la Tabla 24 también se proporciona la concentración inicial (C₀), la concentración de saturación final (C_s), y la solubilidad calculada (X_{calc}).

Tabla 24

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
25,0	9,63	0,00	0,06	5,01 x 10 ⁻¹¹	0,005	0,006
25,0	99,50	0,35	0,95	4,72 x 10 ⁻¹¹	0,072	0,072
25,0	251,00	1,63	2,56	5,06 x 10 ⁻¹¹	0,175	0,178
25,0	399,71	4,15	4,30	3,01 x 10 ⁻¹¹	0,266	0,271
25,0	548,07	6,06	6,16	4,74 x 10 ⁻¹¹	0,346	0,353
25,0	700,07	7,98	8,29	6,81 x 10 ⁻¹¹	0,421	0,429
25,0	850,03	10,50	10,66	8,17 x 10 ⁻¹¹	0,490	0,497
25,0	1001,01	12,09	13,39	1,25 x 10 ⁻¹⁰	0,555	0,562

Ejemplo 24

Solubilidad del difluorometano (HFC-32) en 1,1,2,2,-tetrafluoroetanosulfonato de 1-heptil-3-metilimidazolio ([hmim][TFES])

- 5 Se hizo un estudio de la solubilidad y de la capacidad de difusión a una temperatura de 25°C, en un intervalo de presión de 0 a 1000 kPa, donde las solubilidades (X_{med}) se midieron usando una microbalanza gravimétrica y las capacidades de difusión (D) se calcularon usando un análisis de un modelo de difusión unidimensional. En la Tabla 25 también se proporciona la concentración inicial (C₀), la concentración de saturación final (C_s), y la solubilidad calculada (X_{calc}).

10 Tabla 25

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
25,0	9,88	0,01	0,11	3,86 x 10 ⁻¹¹	0,008	0,008
25,0	100,23	0,47	1,25	3,87 x 10 ⁻¹¹	0,081	0,081
25,0	251,00	2,18	3,30	4,53 x 10 ⁻¹¹	0,192	0,190
25,0	398,84	4,39	5,44	5,84 x 10 ⁻¹¹	0,286	0,286
25,0	549,73	7,25	7,82	6,41 x 10 ⁻¹¹	0,371	0,371
25,0	698,71	9,99	10,43	9,01 x 10 ⁻¹¹	0,448	0,448
25,0	847,85	12,28	13,40	1,30 x 10 ⁻¹⁰	0,518	0,518
25,0	997,95	15,45	16,83	1,56 x 10 ⁻¹⁰	0,585	0,586

Ejemplo 25

Solubilidad del difluorometano (HFC-32) en acetato de 1-butil-3-metilimidazolio

- 15 Se hizo un estudio de la solubilidad y de la capacidad de difusión a una temperatura de 25°C, en un intervalo de presión de 0 a 1000 kPa, donde las solubilidades (X_{med}) se midieron usando una microbalanza gravimétrica y las capacidades de difusión (D) se calcularon usando un análisis de un modelo de difusión unidimensional. En la Tabla 26 también se proporciona la concentración inicial (C₀), la concentración de saturación final (C_s), y la solubilidad calculada (X_{calc}).

Tabla 26

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
25,1	9,85	0,09	0,25	2,19 x 10 ⁻¹¹	0,010	0,010
25,0	99,68	0,72	2,17	2,64 x 10 ⁻¹¹	0,078	0,077
25,0	249,79	3,25	5,30	4,05 x 10 ⁻¹¹	0,176	0,174
25,0	400,40	6,59	8,59	5,64 x 10 ⁻¹¹	0,264	0,258
25,0	549,84	9,83	11,70	1,02 x 10 ⁻¹⁰	0,335	0,333
25,0	699,74	13,24	15,00	1,46 x 10 ⁻¹⁰	0,402	0,397
24,9	850,16	16,74	18,36	1,83 x 10 ⁻¹⁰	0,462	0,456
25,0	1000,44	20,30	21,89	2,10 x 10 ⁻¹⁰	0,516	0,511

Ejemplo 26

Solubilidad del difluorometano (HFC-32) en 2-(1,2,2,2-tetrafluoroetoxi)-1,1,2,2-tetrafluoroetanosulfonato de 1-butil-3-metilimidazolio ([bmim][FS])

- 5 Se hizo un estudio de la solubilidad y de la capacidad de difusión a una temperatura de 25°C, en un intervalo de presión de 0 a 1000 kPa, donde las solubilidades (X_{med}) se midieron usando una microbalanza gravimétrica y las capacidades de difusión (D) se calcularon usando un análisis de un modelo de difusión unidimensional. En la Tabla 27 también se proporciona la concentración inicial (C₀), la concentración de saturación final (C_s), y la solubilidad calculada (X_{calc}).

10 Tabla 27

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
25,0	9,99	0,02	0,11	4,30 x 10 ⁻¹¹	0,009	0,00
25,0	99,66	0,82	1,20	2,29 x 10 ⁻¹¹	0,092	0,092
25,0	250,09	2,29	3,17	5,44 x 10 ⁻¹¹	0,215	0,213
25,0	400,40	4,16	5,26	9,11 x 10 ⁻¹¹	0,318	0,317
25,0	549,99	6,53	7,68	1,04 x 10 ⁻¹⁰	0,411	0,411
25,0	699,63	9,19	10,36	1,49 x 10 ⁻¹⁰	0,492	0,493
25,0	849,44	12,24	13,24	1,26 x 10 ⁻¹⁰	0,561	0,565
25,0	1000,48	15,74	17,00	2,78 x 10 ⁻¹⁰	0,632	0,632

Ejemplo 27

Solubilidad del difluorometano (HFC-32) en 1,1,2,3,3,3-hexafluoropropanosulfonato de 1-butil-3-metilimidazolio ([bmim][HFPS])

- 15 Se hizo un estudio de la solubilidad y de la capacidad de difusión a una temperatura de 25°C, en un intervalo de presión de 0 a 1000 kPa, donde las solubilidades (X_{med}) se midieron usando una microbalanza gravimétrica y las capacidades de difusión (D) se calcularon usando un análisis de un modelo de difusión unidimensional. En la Tabla 28 también se proporciona la concentración inicial (C₀), la concentración de saturación final (C_s), y la solubilidad calculada (X_{calc}).

Tabla 28

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
25,0	9,45	0,02	0,11	3,33 x 10 ⁻¹¹	0,010	0,010
25,0	99,99	0,56	1,25	3,17 x 10 ⁻¹¹	0,106	0,104
25,0	249,76	2,29	3,29	3,90 x 10 ⁻¹¹	0,242	0,241
25,0	399,45	4,34	5,40	6,98 x 10 ⁻¹¹	0,349	0,347
25,0	549,49	6,56	7,79	6,98 x 10 ⁻¹¹	0,443	0,443
25,0	699,75	9,29	10,45	1,11 x 10 ⁻¹⁰	0,523	0,523
25,0	849,43	12,16	13,60	1,04 x 10 ⁻¹⁰	0,597	0,599
25,0	1000,42	15,98	17,43	1,67 x 10 ⁻¹⁰	0,665	0,664

Ejemplo 28

Solubilidad del difluorometano (HFC-32) en sulfonato de 1-butil-3-metilimidazolio

- 5 Se hizo un estudio de la solubilidad y de la capacidad de difusión a una temperatura de 25°C, en un intervalo de presión de 0 a 1000 kPa, donde las solubilidades (X_{med}) se midieron usando una microbalanza gravimétrica y las capacidades de difusión (D) se calcularon usando un análisis de un modelo de difusión unidimensional. En la Tabla 29 también se proporciona la concentración inicial (C₀), la concentración de saturación final (C_s), y la solubilidad calculada (X_{calc}).

Tabla 29

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
25,0	9,93	0,12	0,24	2,08 x 10 ⁻¹¹	0,012	0,012
25,0	100,10	0,53	1,48	2,67 x 10 ⁻¹¹	0,068	0,068
25,0	249,82	2,15	3,65	3,04 x 10 ⁻¹¹	0,154	0,155
25,0	399,54	4,41	5,87	4,15 x 10 ⁻¹¹	0,231	0,232
25,1	550,09	6,87	8,16	5,23 x 10 ⁻¹¹	0,299	0,302
25,0	699,53	9,24	10,77	6,24 x 10 ⁻¹¹	0,367	0,369
25,0	850,05	11,97	13,33	9,89 x 10 ⁻¹¹	0,425	0,427
25,0	1000,59	14,75	16,32	1,20 x 10 ⁻¹⁰	0,484	0,482

10 Ejemplo 29

Solubilidad del difluorometano (HFC-32) en tiocianato de 1-butil-3-metilimidazolio

- 15 Se hizo un estudio de la solubilidad y de la capacidad de difusión a una temperatura de 25°C, en un intervalo de presión de 0 a 1000 kPa, donde las solubilidades (X_{med}) se midieron usando una microbalanza gravimétrica y las capacidades de difusión (D) se calcularon usando un análisis de un modelo de difusión unidimensional. En la Tabla 30 también se proporciona la concentración inicial (C₀), la concentración de saturación final (C_s), y la solubilidad calculada (X_{calc}).

Tabla 30

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
25,0	9,47	0,02	0,10	8,08 x 10 ⁻¹¹	0,004	0,004
25,0	100,31	0,45	1,11	8,57 x 10 ⁻¹¹	0,041	0,041
25,0	250,33	1,90	2,84	1,03 x 10 ⁻¹⁰	0,100	0,099
25,0	399,58	3,66	4,68	1,11 x 10 ⁻¹⁰	0,157	0,156
25,0	549,99	--	--	--	--	0,212
25,0	699,66	7,62	8,73	1,42 x 10 ⁻¹⁰	0,266	0,267
25,0	849,47	9,93	11,01	1,83 x 10 ⁻¹⁰	0,319	0,320
25,0	999,19	12,30	13,55	2,05 x 10 ⁻¹⁰	0,373	0,373

Ejemplo 30

Solubilidad del difluorometano (HFC-32) en 1,1,2-trifluoro-2-(perfluoroetoxi)etanosulfonato de 1-butil-3-metilimidazolio ([bmim][TPES])

- 5 Se hizo un estudio de la solubilidad y de la capacidad de difusión a una temperatura de 25°C, en un intervalo de presión de 0 a 1000 kPa, donde las solubilidades (X_{med}) se midieron usando una microbalanza gravimétrica y las capacidades de difusión (D) se calcularon usando un análisis de un modelo de difusión unidimensional. En la Tabla 31 también se proporciona la concentración inicial (C₀), la concentración de saturación final (C_s), y la solubilidad calculada (X_{calc}).

10 Tabla 31

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
25,0	9,51	0,02	0,12	4,46 x 10 ⁻¹¹	0,010	0,010
25,0	100,07	0,58	1,35	5,27 x 10 ⁻¹¹	0,103	0,102
25,0	249,64	2,43	3,56	6,70 x 10 ⁻¹¹	0,236	0,236
25,0	399,47	4,81	5,94	9,64 x 10 ⁻¹¹	0,346	0,346
25,0	549,38	7,52	8,62	1,20 x 10 ⁻¹⁰	0,442	0,442
25,0	699,41	10,49	11,65	1,49 x 10 ⁻¹⁰	0,525	0,525
25,0	849,46	13,93	15,15	1,78 x 10 ⁻¹⁰	0,600	0,599
25,0	999,37	18,00	19,36	2,06 x 10 ⁻¹⁰	0,668	0,668

Ejemplo 31

Solubilidad del difluorometano (HFC-32) en 1,1,2-trifluoro-2-(trifluorometoxi)etanosulfonato de 1-butil-3-metilimidazolio ([bmim][TTES])

- 15 Se hizo un estudio de la solubilidad y de la capacidad de difusión a una temperatura de 25°C, en un intervalo de presión de 0 a 1000 kPa, donde las solubilidades (X_{med}) se midieron usando una microbalanza gravimétrica y las capacidades de difusión (D) se calcularon usando un análisis de un modelo de difusión unidimensional. En la Tabla 32 también se proporciona la concentración inicial (C₀), la concentración de saturación final (C_s), y la solubilidad calculada (X_{calc}).

Tabla 32

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
25,0	9,47	0,02	0,13	4,26 x 10 ⁻¹¹	0,010	0,010
25,0	100,31	0,57	1,42	4,51 x 10 ⁻¹¹	0,097	0,096
25,0	250,33	2,40	3,71	5,83 x 10 ⁻¹¹	0,222	0,222
25,0	399,58	4,92	6,28	7,11 x 10 ⁻¹¹	0,332	0,332
25,0	549,99	7,79	9,04	9,96 x 10 ⁻¹¹	0,425	0,424
25,0	699,66	10,71	12,12	1,23 x 10 ⁻¹⁰	0,506	0,506
25,0	849,47	14,21	15,63	1,59 x 10 ⁻¹⁰	0,579	0,578
25,0	999,19	18,20	19,62	2,51 x 10 ⁻¹⁰	0,644	0,664

Ejemplo 32

Solubilidad del 1,1,1,2-tetrafluoroetano (HFC-134a) en 1,1,2-trifluoro-2-(trifluorometoxi)etanosulfonato de 1-butil-3-metilimidazolio ([bmim][TTES])

- 5 Se hizo un estudio de la solubilidad y de la capacidad de difusión a temperaturas de 10, 25, 50, y 75°C, en un intervalo de presión de 0 a 350 kPa, donde las solubilidades (X_{med}) se midieron usando una microbalanza gravimétrica y las capacidades de difusión (D) se calcularon usando un análisis de un modelo de difusión unidimensional. También se proporciona la concentración inicial (C₀), la concentración de saturación final (C_s), y la solubilidad calculada (X_{calc}).
- 10 Las Tablas 33a, 33b, 33c, y 33d proporcionan datos de C₀, C_s, D, X_{calc} y X_{med}, a temperaturas de 10, 25, 50 y 75°C, respectivamente.

Tabla 33a

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
10,0	10,25	0,08	0,66	1,04 x 10 ⁻¹¹	0,025	0,026
10,0	50,02	0,97	3,29	1,25 x 10 ⁻¹¹	0,114	0,117
10,0	100,27	4,03	7,05	1,62 x 10 ⁻¹¹	0,223	0,225
10,0	150,18	7,93	11,31	2,16 x 10 ⁻¹¹	0,326	0,326
9,9	200,22	12,23	16,25	3,26 x 10 ⁻¹¹	0,424	0,424
10,0	250,48	17,58	22,11	5,31 x 10 ⁻¹¹	0,518	0,514
10,0	299,46	23,87	30,15	5,28 x 10 ⁻¹¹	0,620	0,628
10,0	350,47	36,32	44,43	7,71 x 10 ⁻¹¹	0,752	0,745

Tabla 33b

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
24,9	10,18	1,51	0,35	1,19 x 10 ⁻¹¹	0,013	0,017
24,9	50,03	0,77	2,07	2,17 x 10 ⁻¹¹	0,074	0,075
25,1	100,24	2,52	4,22	2,60 x 10 ⁻¹¹	0,143	0,143

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
24,8	150,15	4,77	6,52	3,00 x 10 ⁻¹¹	0,209	0,208
25,0	200,32	7,17	9,00	3,27 x 10 ⁻¹¹	0,272	0,271
25,0	250,35	9,59	11,56	4,43 x 10 ⁻¹¹	0,331	0,331
24,9	300,13	12,31	14,44	5,05 x 10 ⁻¹¹	0,390	0,389
24,8	350,10	15,87	17,69	4,50 x 10 ⁻¹¹	0,449	0,450

Tabla 33c

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
50,0	10,48	0,17	0,25	5,76 x 10 ⁻¹¹	0,009	0,009
50,0	50,31	0,47	1,06	5,35 x 10 ⁻¹¹	0,039	0,039
50,0	100,23	1,37	2,11	5,79 x 10 ⁻¹¹	0,076	0,076
50,0	150,21	2,43	3,19	6,35 x 10 ⁻¹¹	0,111	0,111
50,0	200,26	3,50	4,28	6,64 x 10 ⁻¹¹	0,145	0,145
50,0	250,33	4,67	5,41	6,97 x 10 ⁻¹¹	0,178	0,179
50,0	300,35	5,81	6,58	7,24 x 10 ⁻¹¹	0,211	0,211
50,0	350,16	7,22	7,78	6,89 x 10 ⁻¹¹	0,242	0,243

Tabla 33d

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
75,0	10,31	0,06	0,13	1,04 x 10 ⁻¹⁰	0,005	0,005
74,9	50,54	0,31	0,62	1,18 x 10 ⁻¹⁰	0,023	0,023
74,9	100,49	0,85	1,23	1,22 x 10 ⁻¹⁰	0,045	0,045
74,9	150,29	1,49	1,85	1,21 x 10 ⁻¹⁰	0,067	0,067
74,9	200,41	2,10	2,46	1,25 x 10 ⁻¹⁰	0,087	0,087
74,9	250,42	2,71	3,08	1,26 x 10 ⁻¹⁰	0,107	0,108
74,9	300,24	3,33	3,72	1,38 x 10 ⁻¹⁰	0,128	0,128
74,9	350,39	4,19	4,36	1,09 x 10 ⁻¹⁰	0,147	0,147

Ejemplo 33

5 Solubilidad del 1,1,1,2-tetrafluoroetano (HFC-134a) en 1,1,2-trifluoro-2-(perfluoroetoxi)etanosulfonato de 1-butil-3-metilimidazolio ([bmim][TPES])

10 Se hizo un estudio de la solubilidad y de la capacidad de difusión a temperaturas de 10, 25, 50, y 75°C, en un intervalo de presión de 0 a 350 kPa, donde las solubilidades (X_{med}) se midieron usando una microbalanza gravimétrica y las capacidades de difusión (D) se calcularon usando un análisis de un modelo de difusión unidimensional. También se proporciona la concentración inicial (C₀), la concentración de saturación final (C_s), y la solubilidad calculada (X_{calc}).

ES 2 377 439 T3

Las Tablas 34a, 34b, 34c, y 34d proporcionan datos de C_0 , C_s , D , X_{calc} y X_{med} , a temperaturas de 10, 25, 50 y 75°C, respectivamente.

Tabla 34a

T (°C)	P (kPa)	C_0 (% en masa)	C_s (% en masa)	D (m^2/s)	X_{calc} (fracción molar)	X_{med} (fracción molar)
10,0	10,24	0,06	0,66	$9,33 \times 10^{-12}$	0,028	0,028
10,0	50,38	1,01	3,39	$1,15 \times 10^{-11}$	0,131	0,132
10,0	100,43	4,05	7,26	$1,71 \times 10^{-11}$	0,251	0,253
9,9	150,33	8,17	11,65	$2,53 \times 10^{-11}$	0,361	0,362
10,0	200,22	12,78	16,90	$3,67 \times 10^{-11}$	0,465	0,464
10,0	250,24	18,33	23,30	$5,37 \times 10^{-11}$	0,565	0,566
10,0	300,41	25,90	32,36	$7,06 \times 10^{-11}$	0,672	0,670
9,9	350,39	38,42	47,48	$6,49 \times 10^{-11}$	0,794	0,796

Tabla 34b

T (°C)	P (kPa)	C_0 (% en masa)	C_s (% en masa)	D (m^2/s)	X_{calc} (fracción molar)	X_{med} (fracción molar)
24,9	10,26	0,11	0,45	$1,80 \times 10^{-11}$	0,019	0,018
24,9	50,31	0,72	2,09	$2,32 \times 10^{-11}$	0,084	0,084
24,9	100,18	2,62	4,33	$2,59 \times 10^{-11}$	0,162	0,162
24,9	150,15	4,92	6,70	$3,23 \times 10^{-11}$	0,235	0,235
24,9	200,29	7,33	9,23	$4,14 \times 10^{-11}$	0,303	0,303
24,9	250,38	9,92	11,93	$4,99 \times 10^{-11}$	0,367	0,366
24,9	300,34	12,73	14,93	$5,74 \times 10^{-11}$	0,429	0,428
24,9	350,12	16,44	18,40	$4,94 \times 10^{-11}$	0,491	0,490

5 Tabla 34c

T (°C)	P (kPa)	C_0 (% en masa)	C_s (% en masa)	D (m^2/s)	X_{calc} (fracción molar)	X_{med} (fracción molar)
50,0	10,36	0,20	0,26	$8,37 \times 10^{-11}$	0,011	0,011
50,0	50,32	0,47	1,10	$5,99 \times 10^{-11}$	0,045	0,045
50,0	100,23	1,52	2,20	$5,66 \times 10^{-11}$	0,088	0,087
50,0	150,21	2,55	3,32	$6,59 \times 10^{-11}$	0,128	0,128
50,0	200,25	3,69	4,47	$6,87 \times 10^{-11}$	0,167	0,167
50,0	250,35	4,90	5,66	$7,37 \times 10^{-11}$	0,204	0,204
50,0	300,42	6,08	6,87	$8,56 \times 10^{-11}$	0,240	0,240
50,0	350,35	7,49	8,10	$8,02 \times 10^{-11}$	0,274	0,274

Tabla 34d

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
74,9	10,51	0,11	0,15	1,09 x 10 ⁻¹⁰	0,006	0,006
74,9	50,52	0,34	0,65	1,19 x 10 ⁻¹⁰	0,027	0,027
74,9	100,54	0,92	1,29	1,22 x 10 ⁻¹¹	0,053	0,053
75,0	150,46	1,90	1,93	1,93 x 10 ⁻⁰⁹	0,078	0,078
74,7	200,56	2,25	2,59	1,05 x 10 ⁻¹⁰	0,102	0,102
74,9	250,53	2,88	3,22	1,50 x 10 ⁻¹⁰	0,124	0,125
74,9	300,41	3,56	3,90	1,30 x 10 ⁻¹⁰	0,148	0,148
74,9	350,51	4,34	4,56	1,42 x 10 ⁻¹⁰	0,170	0,170

Ejemplo 34

Solubilidad del 1,1,1,2-tetrafluoroetano (HFC-134a) en bis(pentafluoroetilsulfonil)imida de 1-etil-3-metilimidazolio ([emim][BEI])

- 5 Se hizo un estudio de la solubilidad y de la capacidad de difusión a temperaturas de 10, 25, 50, y 75°C, en un intervalo de presión de 0 a 350 kPa, donde las solubilidades (X_{med}) se midieron usando una microbalanza gravimétrica y las capacidades de difusión (D) se calcularon usando un análisis de un modelo de difusión unidimensional. También se proporciona la concentración inicial (C₀), la concentración de saturación final (C_s), y la solubilidad calculada (X_{calc}).
- 10 Las Tablas 35a, 35b, 35c, y 35d proporcionan datos de C₀, C_s, D, X_{calc} y X_{med}, a temperaturas de 10, 25, 50 y 75°C, respectivamente.

Tabla 35a

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
10,0	10,31	0,09	0,61	1,92 x 10 ⁻¹¹	0,029	0,024
10,0	50,39	1,21	2,51	4,25 x 10 ⁻⁰⁷	0,110	0,120
10,0	100,27	4,05	6,65	2,95 x 10 ⁻¹¹	0,255	0,239
10,0	150,24	7,74	10,72	3,68 x 10 ⁻¹¹	0,366	0,354
10,0	200,11	12,01	15,61	4,88 x 10 ⁻¹¹	0,471	0,464
10,0	250,09	17,79	21,74	6,58 x 10 ⁻¹¹	0,572	0,569
10,0	300,43	24,57	30,25	8,67 x 10 ⁻¹¹	0,676	0,668
10,0	350,49	38,42	44,30	6,14 x 10 ⁻¹¹	0,793	0,793

Tabla 35b

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
24,9	10,54	0,21	0,42	2,60 x 10 ⁻¹¹	0,020	0,019
24,9	50,52	0,82	1,92	3,76 x 10 ⁻¹¹	0,086	0,086
24,9	100,46	2,55	3,90	4,22 x 10 ⁻¹¹	0,163	0,163

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
24,9	150,40	4,69	6,02	4,77 x 10 ⁻¹¹	0,236	0,235
24,9	200,37	6,73	8,29	5,70 x 10 ⁻¹¹	0,303	0,304
24,9	250,31	9,15	10,79	6,65 x 10 ⁻¹¹	0,368	0,368
24,9	300,43	11,73	13,53	7,90 x 10 ⁻¹¹	0,430	0,429
24,9	350,54	15,15	16,56	7,29 x 10 ⁻¹¹	0,489	0,488

Tabla 35c

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
50,0	10,46	0,14	0,23	5,84 x 10 ⁻¹¹	0,011	0,011
50,0	50,50	0,58	1,00	6,72 x 10 ⁻¹¹	0,046	0,046
50,0	100,43	1,42	1,99	8,15 x 10 ⁻¹¹	0,089	0,089
50,0	150,46	2,48	3,00	7,67 x 10 ⁻¹¹	0,130	0,130
50,0	200,37	3,46	4,04	8,44 x 10 ⁻¹¹	0,168	0,168
50,0	250,33	4,51	5,10	8,82 x 10 ⁻¹¹	0,205	0,205
50,0	300,34	5,57	6,19	9,36 x 10 ⁻¹¹	0,241	0,241
50,0	350,40	6,98	7,32	8,24 x 10 ⁻¹¹	0,275	0,276

Tabla 35d

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
74,9	10,44	0,10	0,13	1,30 x 10 ⁻¹⁰	0,006	0,006
74,9	50,57	0,37	0,58	1,36 x 10 ⁻¹⁰	0,027	0,027
74,9	100,42	0,87	1,16	1,35 x 10 ⁻¹⁰	0,053	0,053
74,9	150,43	1,48	1,73	1,32 x 10 ⁻¹⁰	0,078	0,078
74,9	200,41	2,01	2,30	1,49 x 10 ⁻¹⁰	0,102	0,102
74,9	249,57	2,60	2,88	1,42 x 10 ⁻¹⁰	0,125	0,125
74,9	300,49	3,22	3,47	1,69 x 10 ⁻¹⁰	0,148	0,147
74,9	350,27	3,89	4,06	1,17 x 10 ⁻¹⁰	0,169	0,169

Ejemplo 35

5 Solubilidad del 1,1,1,2-tetrafluoroetano (HFC-134a) en 1,1,2,3,3,3-hexafluoropropanosulfonato de 1-butil-3-metilimidazolio ([bmim][HFPS])

10 Se hizo un estudio de la solubilidad y de la capacidad de difusión a temperaturas de 10, 25, 50, y 75°C, en un intervalo de presión de 0 a 350 kPa, donde las solubilidades (X_{med}) se midieron usando una microbalanza gravimétrica y las capacidades de difusión (D) se calcularon usando un análisis de un modelo de difusión unidimensional. También se proporciona la concentración inicial (C₀), la concentración de saturación final (C_s), y la solubilidad calculada (X_{calc}).

ES 2 377 439 T3

Las Tablas 36a, 36b, 36c, y 36d proporcionan datos de C_0 , C_s , D , X_{calc} y X_{med} , a temperaturas de 10, 25, 50 y 75°C, respectivamente.

Tabla 36a

T (°C)	P (kPa)	C_0 (% en masa)	C_s (% en masa)	D (m^2/s)	X_{calc} (fracción molar)	X_{med} (fracción molar)
10,0	9,93	0,00	0,41	$1,09 \times 10^{-11}$	0,015	0,015
9,9	50,12	0,62	2,43	$8,91 \times 10^{-12}$	0,083	0,082
10,0	100,01	2,78	5,36	$1,13 \times 10^{-11}$	0,170	0,172
10,0	149,89	5,94	8,89	$1,38 \times 10^{-11}$	0,261	0,264
9,9	199,97	9,63	12,82	$2,42 \times 10^{-11}$	0,348	0,350
10,0	249,50	13,70	18,23	$2,42 \times 10^{-11}$	0,447	0,447
10,0	300,10	19,60	24,78	$4,81 \times 10^{-11}$	0,545	0,550
10,1	349,37	27,72	36,37	$7,13 \times 10^{-11}$	0,675	0,677

Tabla 36b

T (°C)	P (kPa)	C_0 (% en masa)	C_s (% en masa)	D (m^2/s)	X_{calc} (fracción molar)	X_{med} (fracción molar)
24,9	10,07	-0,02	0,26	$1,61 \times 10^{-11}$	0,009	0,011
24,9	50,00	0,50	1,75	$2,46 \times 10^{-11}$	0,061	0,055
24,9	100,02	1,80	3,22	$1,51 \times 10^{-10}$	0,108	0,109
24,9	149,95	3,60	5,07	$1,50 \times 10^{-11}$	0,162	0,163
24,9	199,31	5,36	7,12	$1,78 \times 10^{-11}$	0,218	0,220
24,9	250,41	7,52	9,10	$2,66 \times 10^{-11}$	0,267	0,269
24,9	300,42	9,65	11,44	$2,46 \times 10^{-11}$	0,319	0,322
24,9	350,20	12,23	13,92	$3,10 \times 10^{-11}$	0,370	0,374

5 Tabla 36c

T (°C)	P (kPa)	C_0 (% en masa)	C_s (% en masa)	D (m^2/s)	X_{calc} (fracción molar)	X_{med} (fracción molar)
50,0	10,07	0,01	0,16	$3,94 \times 10^{-11}$	0,006	0,006
50,0	50,06	0,28	0,81	$3,51 \times 10^{-11}$	0,029	0,029
50,0	99,97	1,11	1,69	$2,84 \times 10^{-11}$	0,059	0,059
50,0	149,87	1,93	2,58	$3,30 \times 10^{-11}$	0,088	0,088
50,0	199,41	2,87	3,53	$2,73 \times 10^{-11}$	0,117	0,118
50,0	250,40	3,73	4,42	$4,20 \times 10^{-11}$	0,144	0,145
50,0	299,97	4,65	5,37	$4,79 \times 10^{-11}$	0,171	0,172
50,0	350,40	5,64	6,32	$4,79 \times 10^{-11}$	0,197	0,198

Tabla 36d

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
74,9	9,89	0,04	0,10	5,08 x 10 ⁻¹¹	0,003	0,004
74,9	50,15	0,21	0,46	2,62 x 10 ⁻¹⁰	0,016	0,018
74,9	100,09	0,69	1,01	6,65 x 10 ⁻¹¹	0,036	0,036
74,9	150,02	1,17	1,51	7,55 x 10 ⁻¹¹	0,053	0,053
74,9	200,06	1,67	2,03	6,73 x 10 ⁻¹¹	0,070	0,070
74,9	249,96	2,18	2,53	8,11 x 10 ⁻¹¹	0,086	0,087
74,9	300,20	2,70	3,06	8,14 x 10 ⁻¹¹	0,103	0,104

Ejemplo 36

Solubilidad del 1,1,1,2-tetrafluoroetano (HFC-134a) en 1,1,2-trifluoro-2-(perfluoroetoxi)etanosulfonato de tetradecil(trihexil)fosfonio ([6,6,6,14-P][TPES])

- 5 Se hizo un estudio de la solubilidad y de la capacidad de difusión a temperaturas de 10, 25, 50, y 75°C, en un intervalo de presión de 0 a 350 kPa, donde las solubilidades (X_{med}) se midieron usando una microbalanza gravimétrica y las capacidades de difusión (D) se calcularon usando un análisis de un modelo de difusión unidimensional. También se proporciona la concentración inicial (C₀), la concentración de saturación final (C_s), y la solubilidad calculada (X_{calc}).
- 10 Las Tablas 37a, 37b, 37c, y 37d proporcionan datos de C₀, C_s, D, X_{calc} y X_{med}, a temperaturas de 10, 25, 50 y 75°C, respectivamente.

Tabla 37a

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
10,0	9,93	0,10	0,52	1,65 x 10 ⁻¹¹	0,038	0,038
9,7	50,01	0,87	2,99	2,04 x 10 ⁻¹¹	0,190	0,190
9,9	100,05	3,55	6,26	2,72 x 10 ⁻¹¹	0,338	0,338
9,8	149,88	7,01	9,95	3,28 x 10 ⁻¹¹	0,458	0,452
10,1	199,40	10,46	13,72	5,63 x 10 ⁻¹¹	0,549	0,551
9,8	249,56	14,69	18,30	1,01 x 10 ⁻¹⁰	0,631	0,634
9,7	299,98	19,78	24,52	1,23 x 10 ⁻¹⁰	0,713	0,718
9,6	349,47	26,93	34,29	2,24 x 10 ⁻¹¹	0,800	0,799

Tabla 37b

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
24,9	10,00	-0,01	0,26	2,82 x 10 ⁻¹¹	0,019	0,018
24,9	50,02	0,50	1,75	4,18 x 10 ⁻¹¹	0,120	0,121
25,0	99,98	2,14	3,73	4,58 x 10 ⁻¹¹	0,229	0,228
24,9	149,91	4,13	5,79	5,46 x 10 ⁻¹¹	0,320	0,320

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
24,9	200,01	6,22	7,90	6,55 x 10 ⁻¹¹	0,396	0,397
24,9	250,34	8,35	10,05	8,92 x 10 ⁻¹¹	0,461	0,462
24,9	300,41	10,54	12,31	9,57 x 10 ⁻¹¹	0,518	0,520
24,9	350,40	12,92	14,84	1,11 x 10 ⁻¹⁰	0,571	0,574

Tabla 37c

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
50,0	10,13	0,21	0,09	1,08 x 10 ⁻¹¹	0,007	0,011
50,0	50,11	0,34	0,94	9,52 x 10 ⁻¹¹	0,068	0,068
50,0	100,12	1,24	1,97	9,91 x 10 ⁻¹¹	0,133	0,134
50,0	149,96	2,29	3,01	1,07 x 10 ⁻¹⁰	0,192	0,193
50,0	200,06	3,37	4,07	9,79 x 10 ⁻¹¹	0,245	0,246
50,0	250,05	4,37	5,10	1,22 x 10 ⁻¹⁰	0,291	0,294
50,0	299,97	5,44	6,19	1,19 x 10 ⁻¹⁰	0,335	0,339
50,0	349,70	6,68	7,33	1,14 x 10 ⁻¹⁰	0,377	0,381

Tabla 37d

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
74,9	10,11	0,00	0,03	1,84 x 10 ⁻¹⁰	0,002	0,003
74,9	50,19	0,22	0,52	1,81 x 10 ⁻¹⁰	0,039	0,039
74,9	100,09	0,77	1,16	1,97 x 10 ⁻¹⁰	0,082	0,083
74,9	149,59	1,41	1,77	2,08 x 10 ⁻¹⁰	0,121	0,122
74,9	200,12	2,03	2,40	2,27 x 10 ⁻¹⁰	0,158	0,160
74,9	250,33	2,65	3,03	2,28 x 10 ⁻¹⁰	0,193	0,194
74,9	300,34	3,30	3,65	2,05 x 10 ⁻¹⁰	0,225	0,227
74,9	350,51	3,96	4,27	2,13 x 10 ⁻¹⁰	0,254	0,256

Ejemplo 37

5 Solubilidad del 1,1,1,2-tetrafluoroetano (HFC-134a) en 1,1,2,3,3,3-hexafluoropropanosulfonato de tributil(tetradecil)fosfonio ([4,4,4,14-P][HFPS])

10 Se hizo un estudio de la solubilidad y de la capacidad de difusión a temperaturas de 10, 25, 50, y 75°C, en un intervalo de presión de 0 a 350 kPa, donde las solubilidades (X_{med}) se midieron usando una microbalanza gravimétrica y las capacidades de difusión (D) se calcularon usando un análisis de un modelo de difusión unidimensional. También se proporciona la concentración inicial (C₀), la concentración de saturación final (C_s), y la solubilidad calculada (X_{calc}).

Las Tablas 38a, 38b, 38c, y 38d proporcionan datos de C₀, C_s, D, X_{calc} y X_{med}, a temperaturas de 10, 25, 50 y 75°C, respectivamente.

Tabla 38a

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
10,2	9,91	0,08	0,49	2,23 x 10 ⁻¹¹	0,029	0,032
9,9	50,01	0,72	2,95	1,30 x 10 ⁻¹¹	0,158	0,152
10,2	99,98	3,17	6,30	1,74 x 10 ⁻¹¹	0,293	0,289
10,0	149,99	6,59	9,78	2,67 x 10 ⁻¹¹	0,401	0,403
10,0	199,96	10,48	13,80	4,77 x 10 ⁻¹¹	0,497	0,494
10,0	250,34	14,41	18,75	5,41 x 10 ⁻¹¹	0,587	0,587
10,0	300,20	19,66	24,79	1,49 x 10 ⁻¹⁰	0,670	0,672
10,1	349,28	27,70	34,01	2,02 x 10 ⁻¹⁰	0,761	0,763

Tabla 38b

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
25,0	9,98	0,05	0,34	1,70 x 10 ⁻¹¹	0,021	0,019
24,9	50,01	0,50	1,83	2,56 x 10 ⁻¹¹	0,103	0,104
24,9	99,94	2,11	3,76	3,19 x 10 ⁻¹¹	0,194	0,194
25,0	149,88	4,06	5,79	3,71 x 10 ⁻¹¹	0,275	0,273
24,9	200,17	6,03	8,06	3,60 x 10 ⁻¹¹	0,351	0,350
25,0	250,03	8,43	10,48	4,88 x 10 ⁻¹¹	0,419	0,418
25,0	299,90	10,82	12,84	7,38 x 10 ⁻¹¹	0,476	0,478
25,0	350,21	13,55	15,47	1,01 x 10 ⁻¹⁰	0,530	0,530

Tabla 38c

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
50,0	10,09	0,00	0,17	6,85 x 10 ⁻¹¹	0,010	0,010
50,0	50,01	0,32	0,96	6,65 x 10 ⁻¹¹	0,056	0,056
50,0	99,94	1,20	1,99	6,73 x 10 ⁻¹¹	0,111	0,110
50,0	149,92	2,24	3,04	6,51 x 10 ⁻¹¹	0,162	0,161
50,0	200,03	3,31	4,09	7,46 x 10 ⁻¹¹	0,208	0,209
50,0	249,45	4,29	5,16	8,18 x 10 ⁻¹¹	0,251	0,254
50,0	299,94	5,46	6,22	1,11 x 10 ⁻¹⁰	0,290	0,293
50,0	349,64	7,54	8,32	7,36 x 10 ⁻¹⁰	0,359	0,333

Tabla 38d

T (°C)	P (kPa)	C ₀ (% en masa)	C _s (% en masa)	D (m ² /s)	X _{calc} (fracción molar)	X _{med} (fracción molar)
75,0	10,06	0,08	0,14	1,36 x 10 ⁻¹⁰	0,009	0,009
74,9	50,41	0,30	0,63	1,39 x 10 ⁻¹⁰	0,037	0,037
74,9	100,14	0,83	1,25	1,37 x 10 ⁻¹⁰	0,072	0,072
74,9	150,02	1,47	1,87	1,43 x 10 ⁻¹⁰	0,105	0,105
74,9	200,14	2,07	2,47	1,63 x 10 ⁻¹⁰	0,135	0,136
74,9	250,44	2,66	3,08	1,70 x 10 ⁻¹⁰	0,164	0,165
74,9	300,37	2,75	3,15	1,51 x 10 ⁻¹⁰	0,167	0,194
74,9	350,39	3,44	3,79	1,70 x 10 ⁻¹⁰	0,196	0,221

Ejemplo 38

Solubilidad del 1,1,1,2-tetrafluoroetano (HFC-134a) en hexafluorofosfato de 1-butil-3-metilimidazolio ([bmim][PF₆])

- 5 Se hizo un estudio de la solubilidad y de la capacidad de difusión a temperaturas de 10, 25, 50, y 75°C, en un intervalo de presión de 0 a 350 kPa, donde las solubilidades (X_{med}) se midieron usando una microbalanza gravimétrica. Las Tablas 39a, 39b, 39c, y 39d proporcionan datos de X_{med}, a temperaturas de 10, 25, 50 y 75°C, respectivamente.

Tabla 39a

T (°C)	P (kPa)	X _{med} (fracción molar)
10,0	10	0,029
10,0	50	0,176
10,0	100	0,357
10,0	150	0,528
10,0	200	0,686
10,0	250	0,814
10,0	300	0,974

Tabla 39b

T (°C)	P (kPa)	X _{med} (fracción molar)
25,0	10	0,024
25,0	50	0,116
25,0	100	0,225
25,0	150	0,330
25,0	200	0,428
25,0	250	0,522
25,0	300	0,611
25,0	350	0,689

Tabla 39c

T (°C)	P (kPa)	X_{med} (fracción molar)
50,0	10	0,006
50,0	50	0,049
50,0	100	0,103
50,0	150	0,155
50,0	200	0,205
50,0	250	0,255
50,0	300	0,302
50,0	350	0,346

Tabla 39d

T (°C)	P (kPa)	X_{med} (fracción molar)
75,0	10	0,006
75,0	50	0,029
75,0	100	0,058
75,0	150	0,087
75,0	200	0,114
75,0	250	0,141
75,0	300	0,167
75,0	350	0,196

Ejemplo 39

Solubilidad del fluoroetano (HFC-161) en hexafluorofosfato de 1-butil-3-metilimidazolio ([bmim][PF₆])

- 5 Se hizo un estudio de la solubilidad y de la capacidad de difusión a temperaturas de 10, 25, 50, y 75°C, en un intervalo de presión de 0 a 700 kPa, donde las solubilidades (X_{med}) se midieron usando una microbalanza gravimétrica. Las Tablas 40a, 40b, 40c, y 40d proporcionan datos de X_{med} , a temperaturas de 10, 25, 50 y 75°C, respectivamente.

Tabla 40a

T (°C)	P (kPa)	X_{med} (fracción molar)
10,0	10	0,009
10,0	100	0,107
10,0	200	0,221
10,0	300	0,329
10,0	400	0,443
10,0	500	0,575

Tabla 40b

T (°C)	P (kPa)	X_{med} (fracción molar)
25,0	10	0,007
25,0	100	0,073
25,0	200	0,144
25,0	300	0,215
25,0	400	0,283
25,0	500	0,351
25,0	600	0,420
25,0	700	0,496

Tabla 40c

T (°C)	P (kPa)	X_{med} (fracción molar)
50,0	10	0,005
50,0	100	0,041
50,0	200	0,082
50,0	300	0,122
50,0	400	0,160
50,0	500	0,198
50,0	600	0,235
50,0	700	0,270

Tabla 40d

T (°C)	P (kPa)	X_{med} (fracción molar)
75,0	10	0,003
75,0	100	0,025
75,0	200	0,051
75,0	300	0,076
75,0	400	0,100
75,0	500	0,124
75,0	600	0,147
75,0	700	0,170

Ejemplo 40

5 Solubilidad del fluorometano (HFC-41) en hexafluorofosfato de 1-butil-3-metilimidazolio ([bmim][PF₆])

Se hizo un estudio de la solubilidad y de la capacidad de difusión a temperaturas de 10, 25, 50, y 75°C, en un intervalo de presión de 0 a 2000 kPa, donde las solubilidades (X_{med}) se midieron usando una microbalanza gravimétrica. Las Tablas 41a, 41b, 41c, y 41d proporcionan datos de X_{med} , a temperaturas de 10, 25, 50 y 75°C, respectivamente.

Tabla 41a

T (°C)	P (kPa)	X_{med} (fracción molar)
10,0	10	0,002
10,0	50	0,021
10,0	100	0,044
10,0	400	0,172
10,0	700	0,282
10,0	1000	0,378
10,0	1300	0,463
10,0	1500	0,513
10,0	2000	0,637

Tabla 41b

T (°C)	P (kPa)	X_{med} (fracción molar)
25,0	10	0,000
25,0	50	0,014
25,0	100	0,031
25,0	400	0,126
25,0	700	0,211
25,0	1000	0,286
25,0	1300	0,353
25,0	1500	0,392
25,0	2000	0,484

Tabla 41c

T (°C)	P (kPa)	X_{med} (fracción molar)
50,0	10	0,000
50,0	50	0,006
50,0	100	0,017
50,0	400	0,079
50,0	700	0,135
50,0	1000	0,187
50,0	1300	0,235
50,0	1500	0,264
50,0	2000	0,332

Tabla 41d

T (°C)	P (kPa)	X_{med} (fracción molar)
75,0	10	0,002
75,0	50	0,006
75,0	100	0,014
75,0	400	0,056
75,0	700	0,095
75,0	1000	0,131
75,0	1300	0,166
75,0	1500	0,187
75,0	2000	0,238

Ejemplo 41

Solubilidad del clorodifluorometano (HCFC-22) en hexafluorofosfato de 1-butil-3-metilimidazolio ([bmim][PF₆])

- 5 Se hizo un estudio de la solubilidad y de la capacidad de difusión a temperaturas de 10, 25, 50, y 75°C, en un intervalo de presión de 0 a 400 kPa, donde las solubilidades (X_{med}) se midieron usando una microbalanza gravimétrica. Las Tablas 42a, 42b, 42c, y 42d proporcionan datos de X_{med} , a temperaturas de 10, 25, 50 y 75°C, respectivamente.

Tabla 42a

T (°C)	P (kPa)	X_{med} (fracción molar)
10,0	10	0,014
10,0	50	0,076
10,0	100	0,158
10,0	200	0,321
10,0	300	0,465
10,0	400	0,600

Tabla 42b

T (°C)	P (kPa)	X_{med} (fracción molar)
25,0	10	0,012
25,0	50	0,053
25,0	100	0,104
25,0	200	0,204
25,0	300	0,299
25,0	400	0,390

Tabla 42c

T (°C)	P (kPa)	X _{med} (fracción molar)
50,0	10	0,005
50,0	50	0,026
50,0	100	0,053
50,0	200	0,106
50,0	300	0,157
50,0	400	0,207

Tabla 42d

T (°C)	P (kPa)	X _{med} (fracción molar)
75,0	10	0,000
75,0	50	0,012
75,0	100	0,028
75,0	200	0,059
75,0	300	0,090

5 Donde se establezca o se describa que una composición, aparato o procedimiento de esta invención comprende, incluye, contiene, tiene, está compuesto, o está constituido por ciertas características, componentes o etapas, se entenderá, a menos que la exposición o la descripción mantengan explícitamente lo contrario, que una o más características, componentes o etapas, además de las establecidas o descritas explícitamente, pueden estar presentes en la composición, aparato o procedimiento. Sin embargo, en una realización alternativa, la composición, aparato o procedimiento de esta invención se puede establecer o describir como que consta esencialmente de ciertas características, componentes o etapas, en la que las características, los componentes o las etapas de la realización que alterarían materialmente el principio de la operación o las características distintivas de la composición, el aparato o el procedimiento, no están allí presentes. En otra realización alternativa, la composición de esta invención se puede establecer o describir como que consta de ciertas características o componentes, en la que las características de la realización distintas de las mencionadas y componentes distintos de las impurezas, no están allí presentes. En otra alternativa más, el aparato o el procedimiento de esta invención se puede establecer o describir como que consta esencialmente de ciertas características, componentes o etapas, en la que las características, los componentes o las etapas de la realización distintas de las mencionadas no están allí presentes.

20 Donde el artículo indefinido “un” o “una” se usa con respecto a una exposición o descripción de la presencia de una característica, componente o etapa en una composición, aparato o procedimiento de esta invención, se entenderá, a menos que la exposición o la descripción mantengan explícitamente lo contrario, que el uso de este artículo indefinido no limita la presencia de la característica, componente o etapa en la composición, aparato o procedimiento a uno, en número.

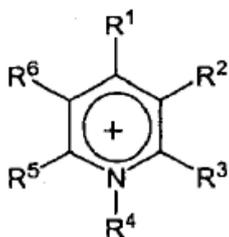
25 Un refrigerante para usar en este caso puede ser uno cualquiera, o más de uno, de los miembros del grupo total de los refrigerantes aquí descritos. El refrigerante puede ser también, sin embargo, uno cualquiera, o más de uno, de los miembros de un subgrupo del grupo total de refrigerante aquí descritos, donde el subgrupo se forma excluyendo uno cualquiera, o más de uno, de los otros miembros procedentes del grupo total. Como resultado, el refrigerante puede, en tal caso, no ser solamente uno cualquiera, o más de uno, de los refrigerantes de cualquier subgrupo de cualquier tamaño que se pueda seleccionar a partir del grupo total de refrigerantes en todas las diversas combinaciones de los miembros individuales del grupo total, sino que los miembros de cualquier subgrupo se pueden usar, por eso, en ausencia de uno o más de los miembros del grupo total que han sido excluidos para formar el subgrupo. El subgrupo formado excluyendo diversos miembros del grupo total de refrigerantes puede, además, ser un miembro individual del grupo total, de forma que el refrigerante se usa en ausencia de todos los otros miembros del grupo total, excepto el miembro individual seleccionado.

35 Un líquido iónico para usar en este caso, puede ser uno cualquiera, o más de uno, de todos los miembros del grupo total de líquidos iónicos aquí descritos. El líquido iónico puede también, sin embargo, ser uno cualquiera, o más de uno, de los miembros de un subgrupo del grupo total de líquidos iónicos aquí descritos, donde el subgrupo se forma excluyendo uno cualquiera, o más, de los otros miembros del grupo total. Como resultado, el líquido iónico en tal

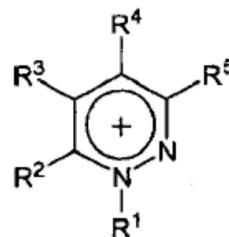
- 5 caso puede no ser únicamente uno cualquiera, o más de uno, de los líquidos iónicos de cualquier subgrupo de cualquier tamaño que se pueda seleccionar a partir del grupo total de líquidos iónicos en todas las diversas combinaciones de los miembros individuales del grupo total, sino que los miembros de cualquier subgrupo se pueden usar, por eso, en ausencia de uno o más de los miembros del grupo total que han sido excluidos para formar el subgrupo. El subgrupo formado excluyendo diversos miembros del grupo total de líquidos iónicos puede, además, ser un miembro individual del grupo total, de forma que el líquido iónico se usa en ausencia de todos los otros miembros del grupo total, excepto el miembro individual seleccionado.

REIVINDICACIONES

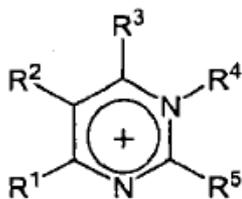
1. Una composición de un material que comprende uno o más refrigerantes absorbidos en un líquido iónico, en la que un refrigerante es un compuesto hidrofluorocarbonado que tiene alguna combinación de átomos de hidrógeno, de flúor y de carbono.
- 5 2. Una composición según la reivindicación 1, en la que un líquido iónico comprende un catión o un anión fluorado.
3. Una composición según la reivindicación 1, que comprende una mezcla de refrigerantes que forma un azeótropo o mezcla de temperatura de ebullición constante.
- 10 4. Una composición según la reivindicación 1, en la que se selecciona un refrigerante del grupo consistente en: difluorometano (HFC-32), pentafluoroetano (HFC-125), 1,1,2,2-tetrafluoroetano (HFC-134), 1,1,1,2-tetrafluoroetano (FC-134a), 1,1,1-trifluoroetano (HFC-143a), 1,1-difluoroetano (HFC-152a), y fluoroetano (HFC-161).
5. Una composición según la reivindicación 1, en la que un líquido iónico comprende un catión que comprende al menos un flúor y/o un anión que comprende al menos un flúor.
- 15 6. Una composición según la reivindicación 1, en la que se selecciona un refrigerante del grupo consistente en: fluorometano (HFC-41), 1,1,1,3,3,3-hexafluoropropano (HFC-236fa) y 1,1,1,2,3,3,3-heptafluoropropano (HFC-227ea).
7. Una composición según la reivindicación 1, en la que un líquido iónico comprende un catión seleccionado del grupo consistente en:



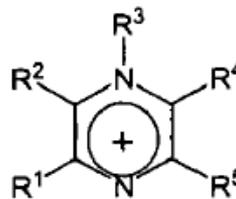
Piridinio



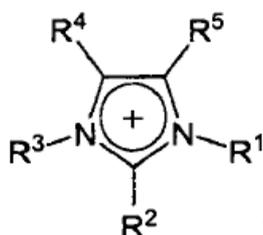
Piridazinio



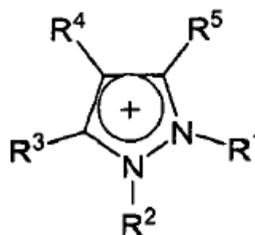
Pirimidinio



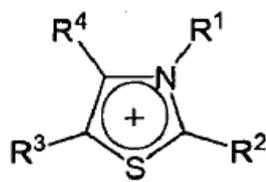
Pirazinio



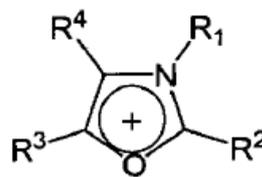
Imidazolio



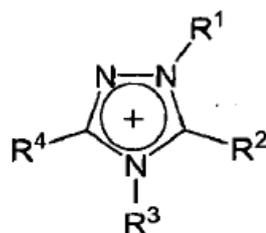
Pirazolio



Tiazolio



Oxazolio



Triazolio

en los que R₁, R₂, R₃, R₄, R₅ y R₆ se seleccionan, independientemente del grupo consisten en:

- (i) H
- (ii) F
- 5 (iii) CH₃, C₂H₅ o alcano o alqueno C₃ a C₁₂, de cadena lineal, ramificada o cíclica, sustituidos opcionalmente con Cl⁻, Br⁻, F⁻, I⁻, OH⁻, NH₂⁻ o SH⁻;
- (iv) CH₃, C₂H₅ o alcano o alqueno C₃ a C₁₂, de cadena lineal, ramificada o cíclica, que comprende uno a tres heteroátomos seleccionados del grupo consistente en O, N, Si y S, y opcionalmente sustituido con Cl⁻, Br⁻, F⁻, I⁻, OH⁻, NH₂⁻ o SH⁻;
- 10 (v) arilo o heteroarilo C₆ a C₂₀, no sustituido, en el que uno a tres heteroátomos se seleccionan independientemente del grupo consistente en O, N, Si y S;
- (vi) arilo o heteroarilo C₆ a C₂₀, no sustituido, en el que uno a tres heteroátomos se seleccionan independientemente del grupo consistente en O, N, Si y S; y uno a tres sustituyentes se seleccionan independientemente del grupo consistente en 1) CH₃, C₂H₅ o alcano o alqueno C₃ a C₁₂, de cadena lineal, ramificada o cíclica, sustituidos opcionalmente con Cl⁻, Br⁻, F⁻, I⁻, OH⁻, NH₂⁻ o SH⁻; 2) OH⁻; 3) NH₂⁻, y 4) SH⁻; y en las que opcionalmente, al menos dos de R₁, R₂, R₃, R₄, R₅ y R₆ pueden juntos formar un grupo alcanilo o alquencilo cíclico o bicíclico.
- 15
- 8. Una composición según la reivindicación 7, en la que al menos uno de R₁, R₂, R₃, R₄, R₅ y R₆ comprende F.
- 9. Una composición según la reivindicación 1 o la reivindicación 7, en la que un líquido aniónico comprende un anión seleccionado del grupo consistente en [CH₃CO₂]⁻, [HSO₄]⁻, [CH₃OSO₃]⁻, [C₂H₅OSO₃]⁻, [AlCl₄]⁻, [CO₃]²⁻, [HCO₃]⁻, [NO₂]⁻, [NO₃]⁻, [SO₄]²⁻, [PO₄]³⁻, [HPO₄]²⁻, [H₂PO₄]⁻, [HSO₃]⁻, [CuCl₂]⁻, Cl⁻, Br⁻, I⁻, y algún anión fluorado.
- 20 10. Una composición según la reivindicación 1 o la reivindicación 7, en la que un líquido aniónico comprende un anión seleccionado del grupo consistente en [BF₄]⁻, [PF₆]⁻, [SbF₆]⁻, [CF₃SO₃]⁻, [HCF₂CF₂SO₃]⁻, [CF₃HFCCF₂SO₃]⁻, [HCCIFCF₂SO₃]⁻, [(CF₃SO₂)₂N]⁻, [(CF₃SO₂)₃C]⁻, [CF₃CO₂]⁻, y F⁻.
- 25 11. Un dispositivo de ajuste de la temperatura que ejecuta un ciclo de refrigeración por absorción y que comprende una composición según la reivindicación 1.
- 12. Un dispositivo de ajuste de la temperatura según la reivindicación 1, operado como un equipo refrigerante, un acondicionador de aire, una máquina para hacer hielo, un sistema de enfriamiento industrial, un calentador o una bomba de calor.
- 30 13. Un procedimiento para enfriar un objeto o un espacio, que comprende:
 - (a) absorber, con un líquido iónico, el vapor de un refrigerante que es un compuesto hidrofluorocarbonado que tiene alguna combinación átomos de hidrógeno, de flúor y de carbono para formar una mezcla de ambos constituyentes;
 - (b) calentar la mezcla para separar el refrigerante, en forma de vapor, del líquido iónico;

- (c) condensar el vapor refrigerante, bajo presión, para dar un líquido;
 - (d) reducir la presión del refrigerante líquido, y evaporar el refrigerante para formar vapor refrigerante, en las proximidades del objeto o del espacio que se va a enfriar; y
 - (e) reabsorber el vapor refrigerante con un líquido iónico.
- 5 14. Un procedimiento para calentar un objeto o un espacio, que comprende:
- (a) absorber, con un líquido iónico, el vapor de un refrigerante que es un compuesto hidrofluorocarbonado que tiene alguna combinación átomos de de hidrógeno, de flúor y de carbono para formar una mezcla de ambos constituyentes;
 - (b) calentar la mezcla para separar el refrigerante, en forma de vapor, del líquido iónico;
- 10 (c) condensar el vapor refrigerante, bajo presión, para dar un líquido en las proximidades del objeto o del espacio que se va a calentar;
- (d) reducir la presión del refrigerante líquido, y evaporar el refrigerante para formar vapor refrigerante; y
 - (e) reabsorber el vapor refrigerante con un líquido iónico.
- 15 15. El procedimiento de la reivindicación 14 ó 15, en el que se hace recircular un líquido iónico a medida que se separa del refrigerante en la etapa (b), para usarlo en la etapa (e).

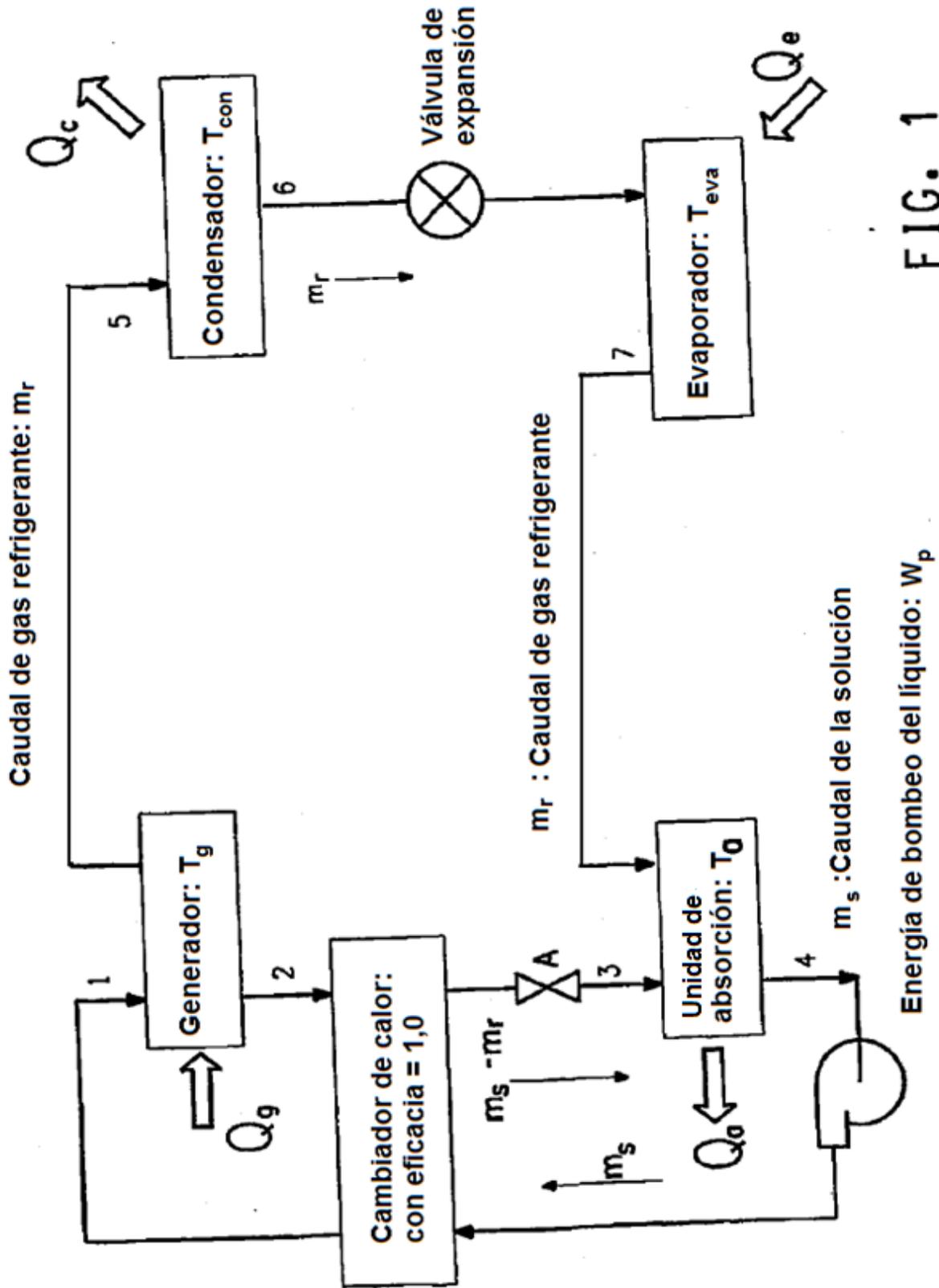


FIG. 1

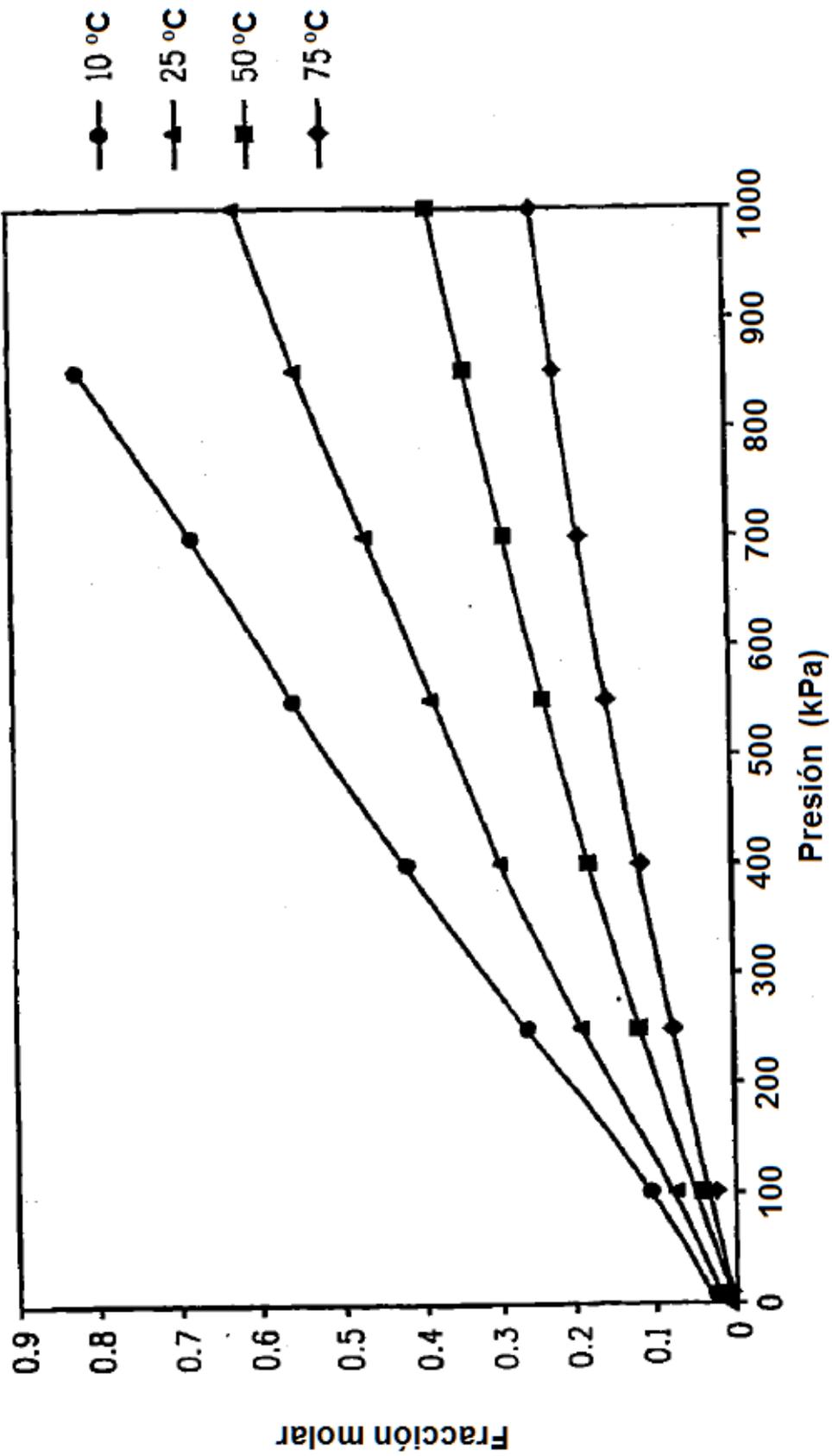


FIG. 2

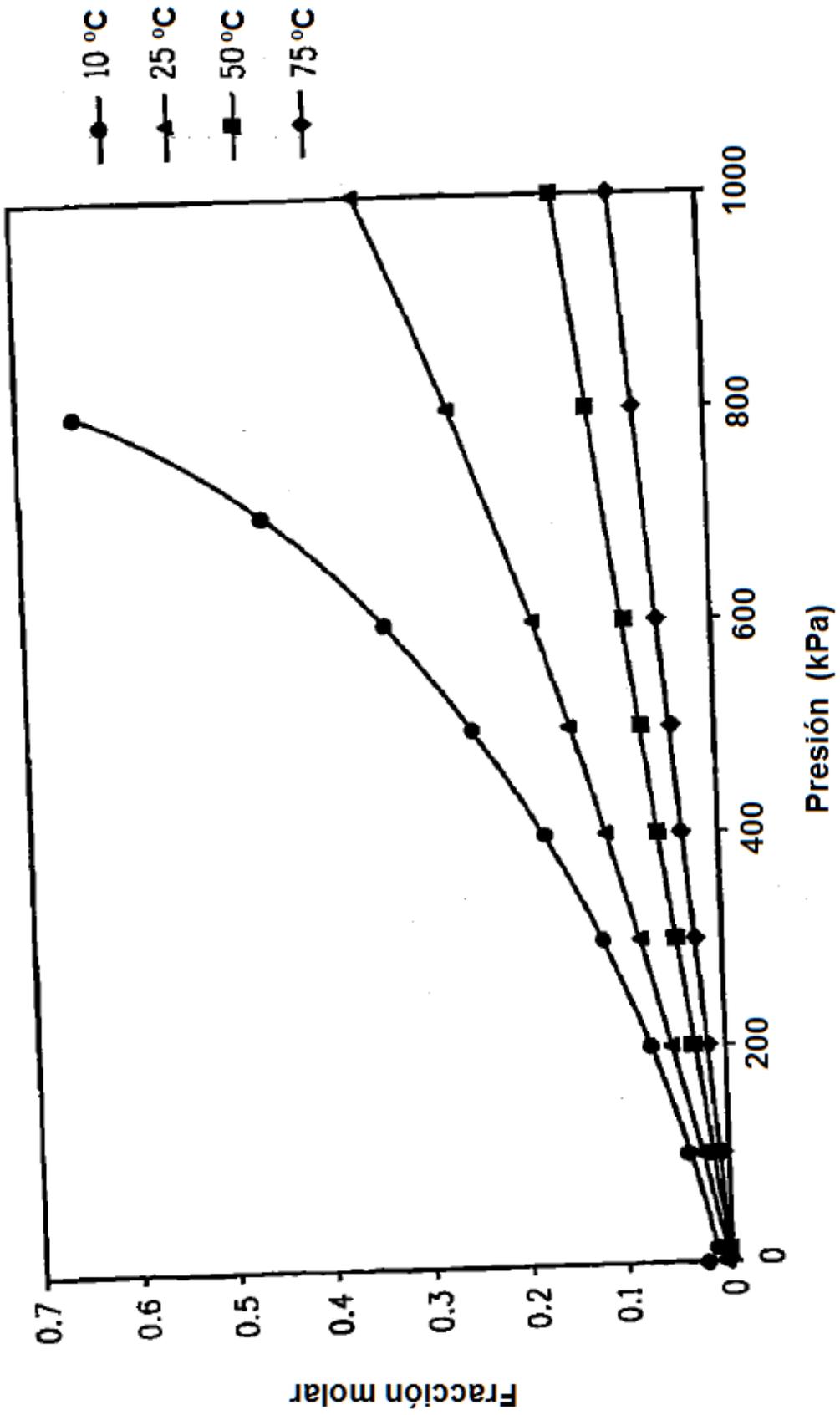


FIG. 3

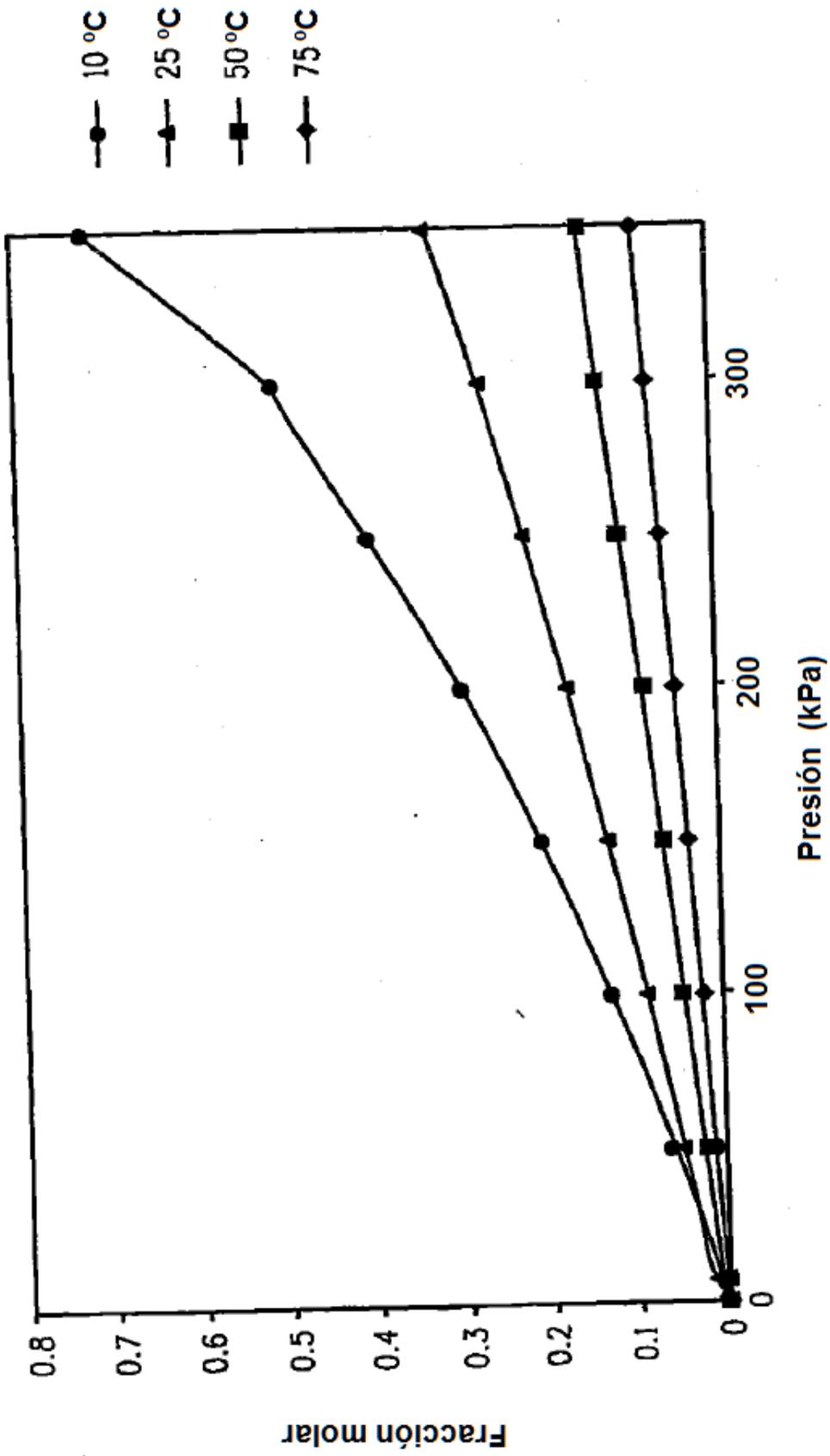


FIG. 4

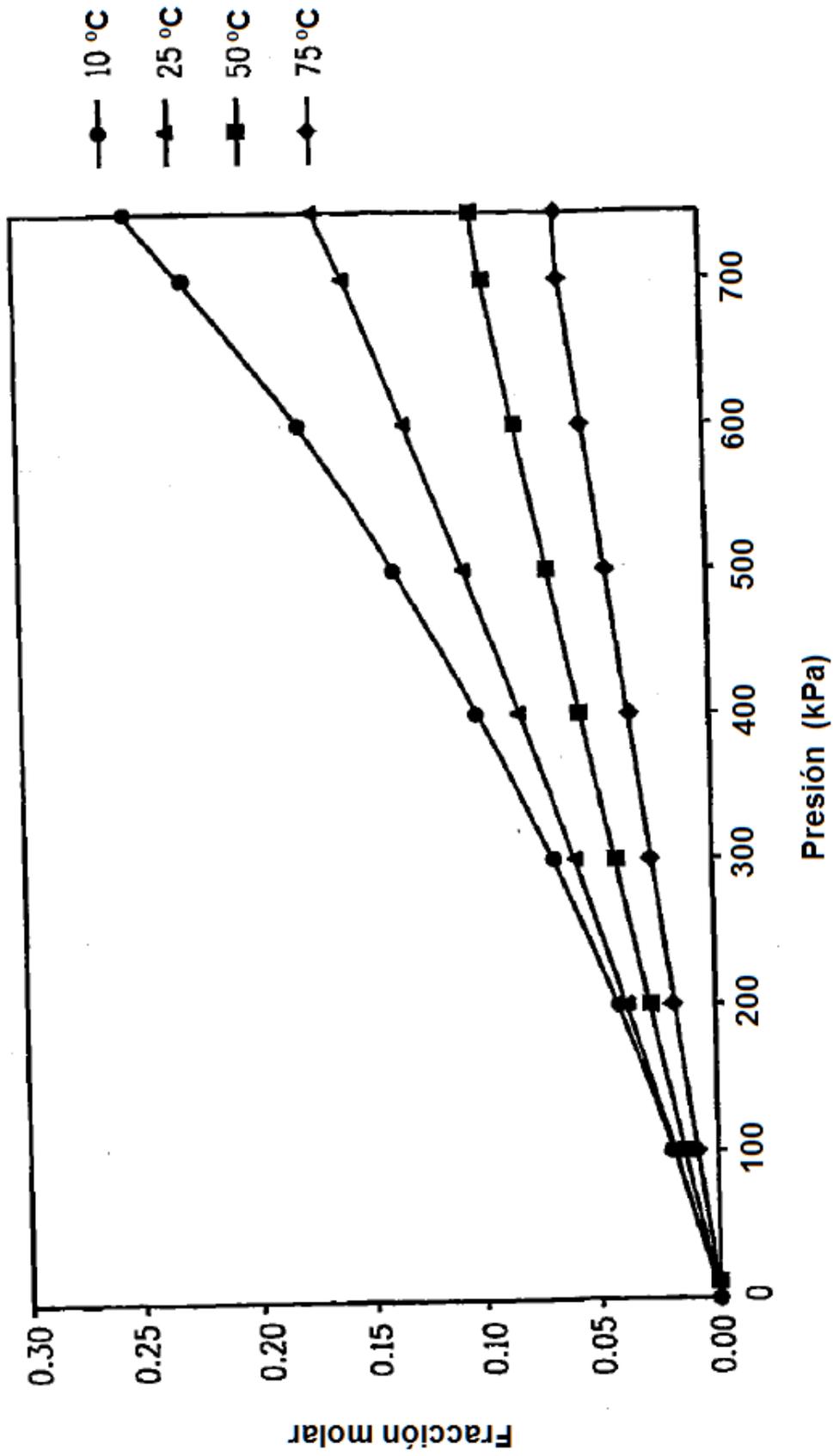


FIG. 5

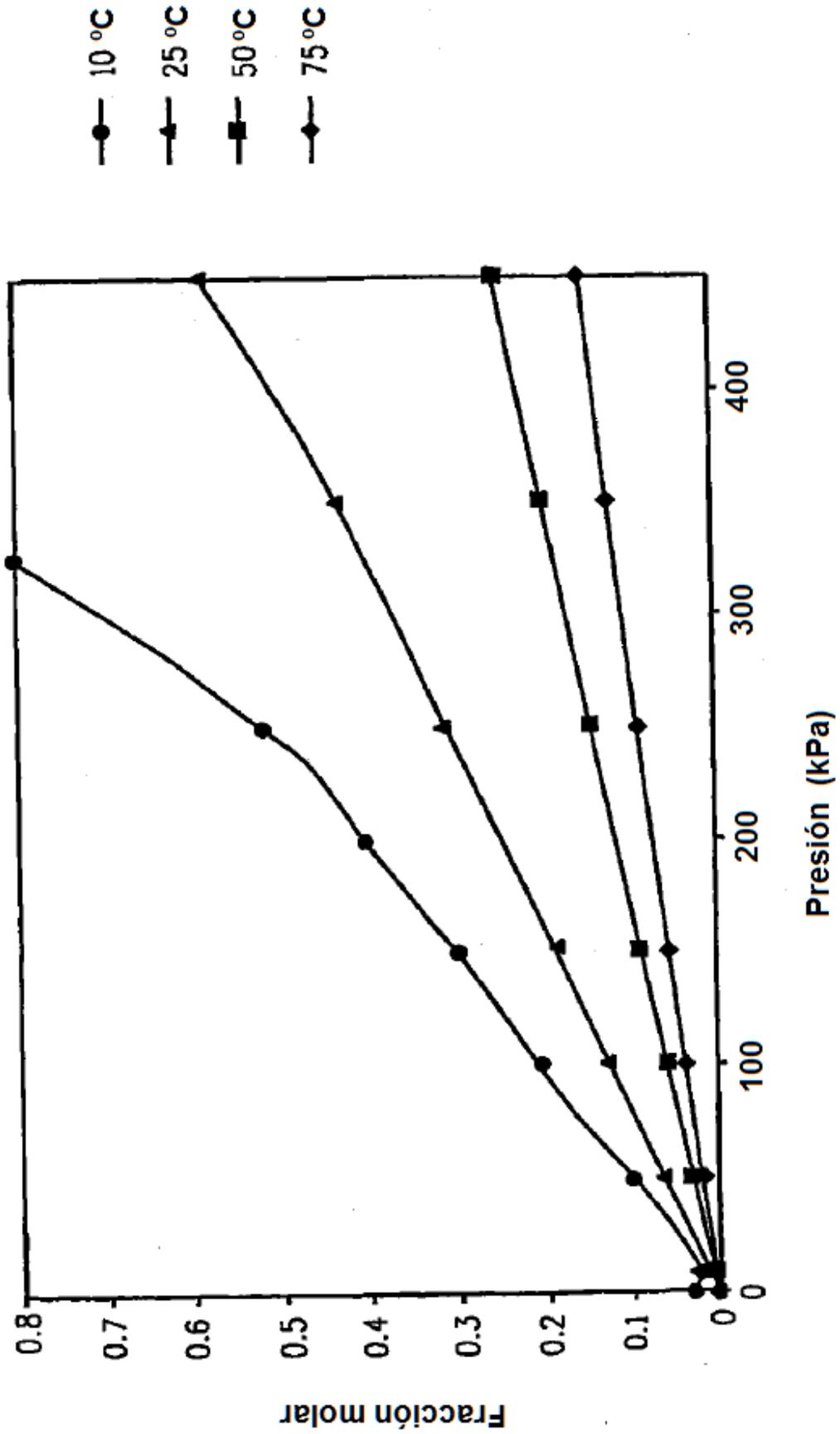


FIG. 6

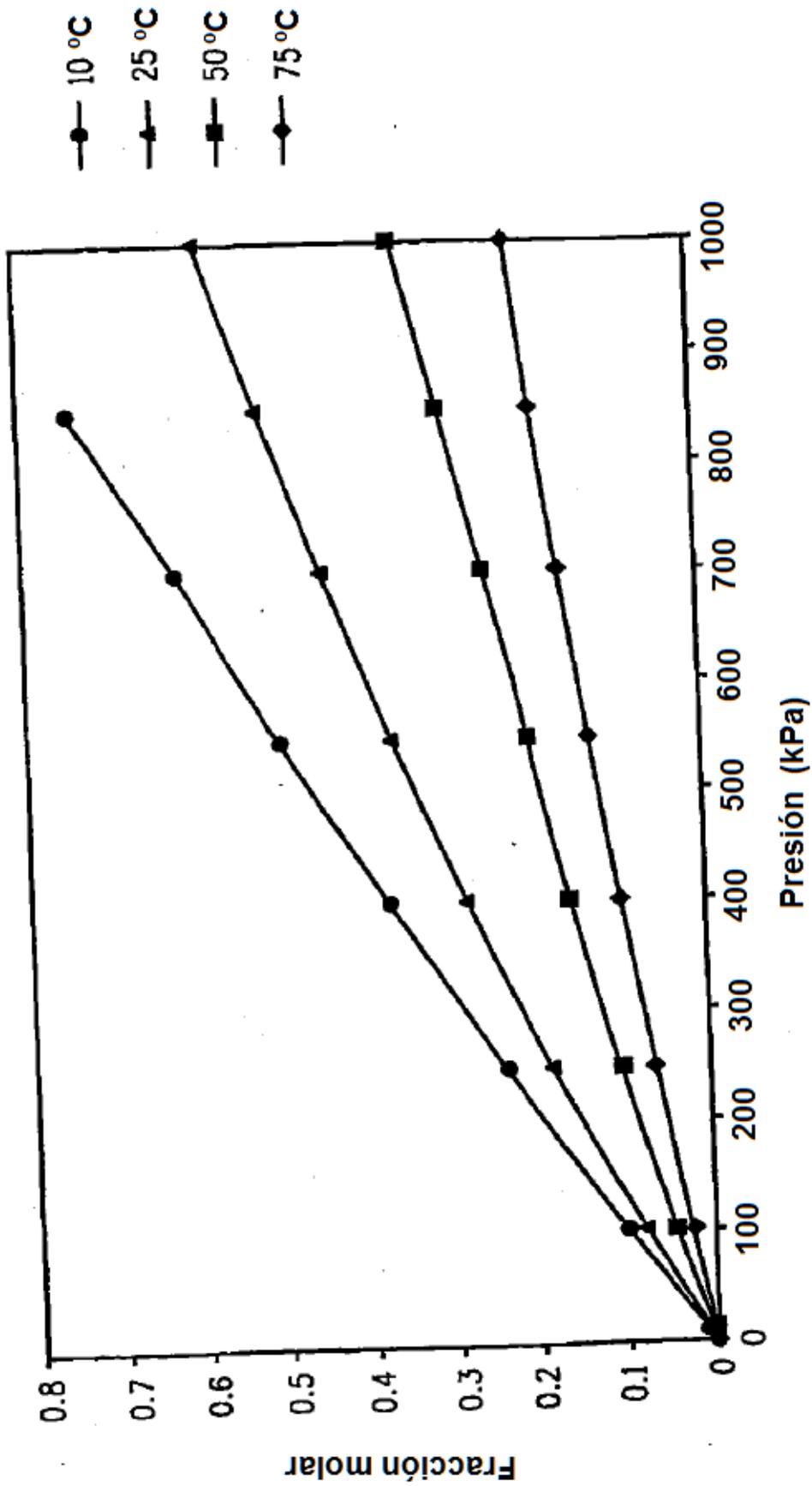


FIG. 7

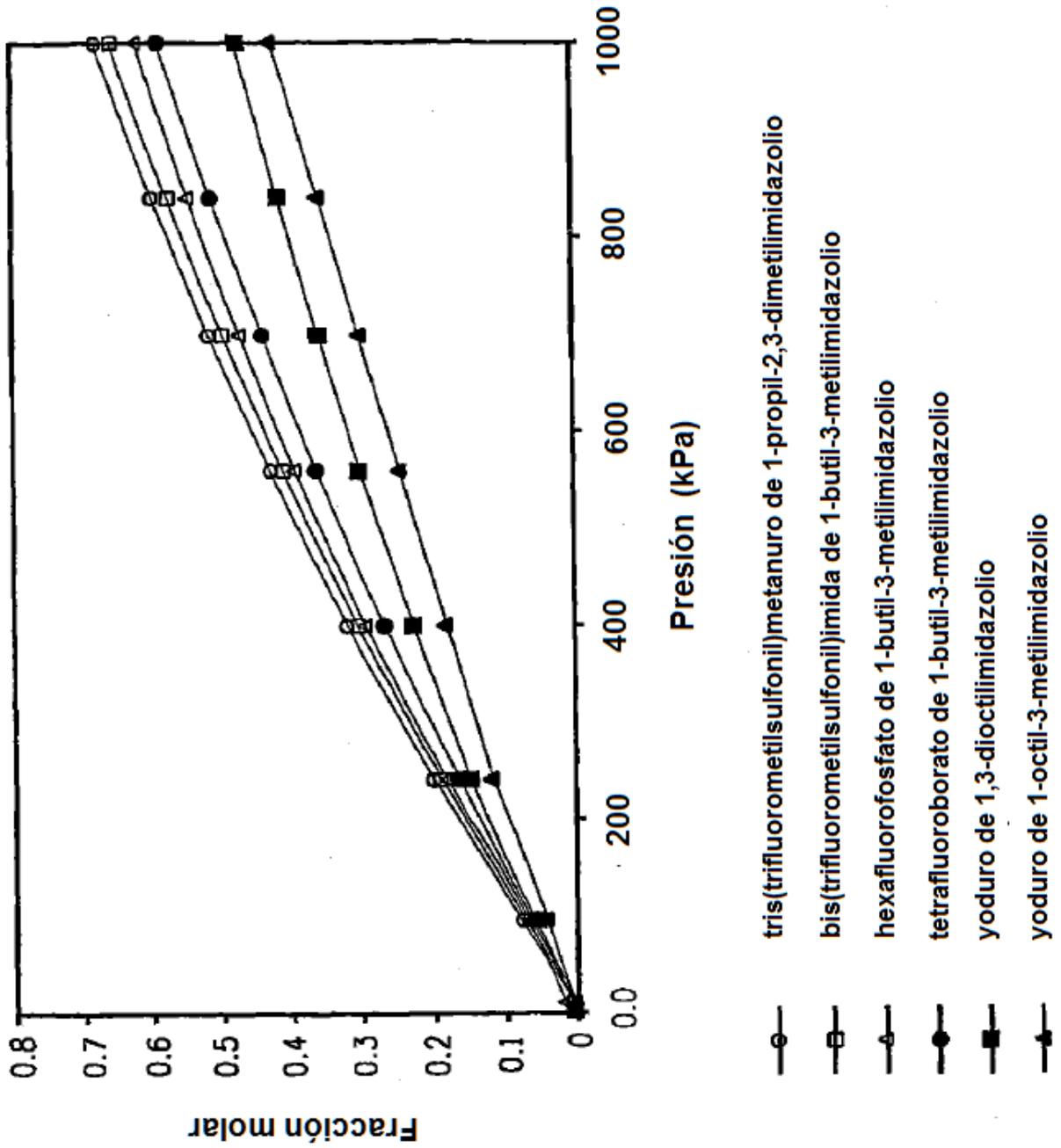


FIG. 8

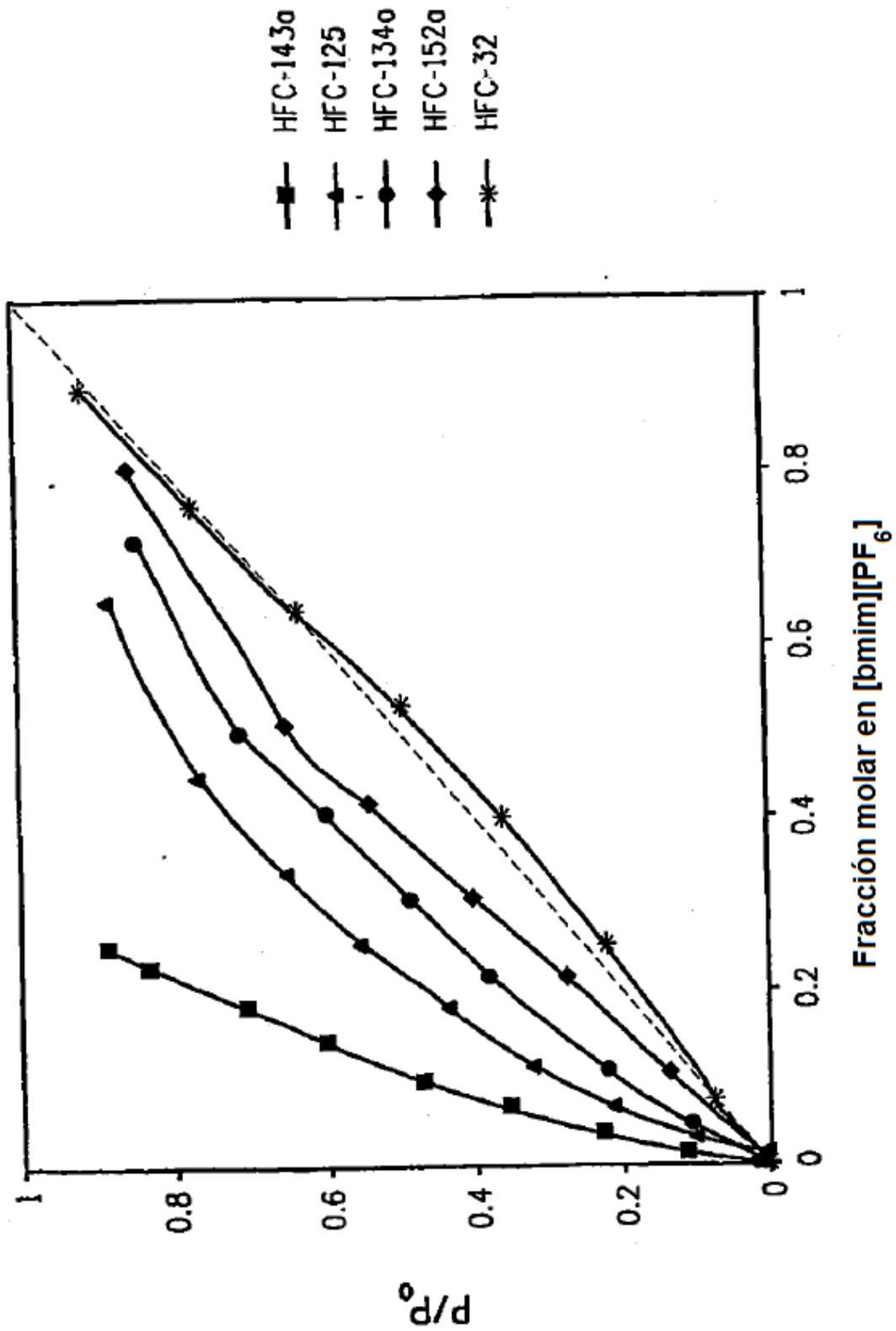


FIG. 9

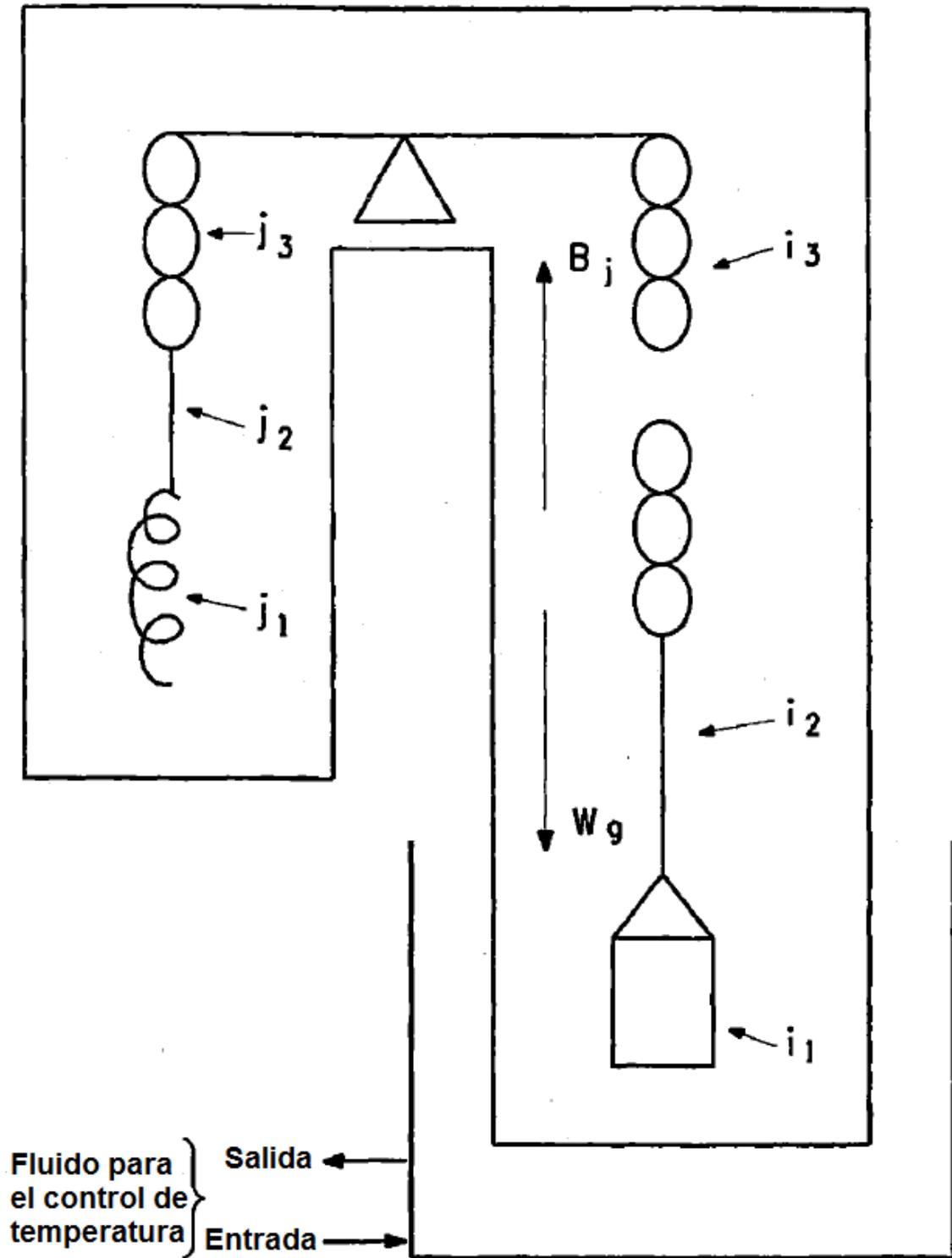


FIG. 10