

SELECCIÓN DE UN ADITIVO PARA H₂O/LiBr EN SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN Y BOMBAS DE CALOR POR ABSORCIÓN EN BASE A LA DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE LA HIDRATACIÓN DEL LiBr

Daniel Salavera*¹, David Latorre-Arca¹, Hussain T. Ahmed¹, María Soledad Larrechi^{1,2} y Alberto Coronas¹

¹CREVER-Group of Applied Thermal Engineering, Department d'Enginyeria Mecànica, Universitat Rovira i Virgili,

²Departament de Química Analítica i Orgànica,
Avda. Països Catalans, 26, 43007, Tarragona
e-mail: daniel.salavera@urv.cat

Resumen: *Se presenta la estrategia seguida para la selección de un líquido iónico, y su concentración, para actuar como aditivo del par de trabajo agua/bromuro de litio en sistemas de refrigeración y bombas de calor por absorción. Este ha de mejorar la solubilidad del LiBr en agua para ampliar el intervalo de trabajo de estos sistemas y las aplicaciones. Esta estrategia se basa en el análisis de la cantidad de agua libre. Como resultado principal, el cloruro de 1,3-dimetilimidazolio con una composición del 6 % en masa de absorbente mejora la solubilidad la solubilidad de la mezcla, sin afectar negativamente a la capacidad de absorción.*

Palabras clave: agua/bromuro de litio, refrigeración por absorción, líquidos iónicos, espectroscopía NIR, propiedades termodinámicas.

1. INTRODUCCIÓN

Las enfriadoras de agua/bromuro de litio son una tecnología utilizada ampliamente desde la década de 1950 para aire acondicionado de grandes edificios, gracias a las especiales características de este par de trabajo: el agua (refrigerante) tiene un elevado calor latente y baja viscosidad, mientras que el bromuro de litio (absorbente) es altamente higroscópico, con una presión de vapor despreciable y baja viscosidad. Sin embargo, esta mezcla también presenta una serie de inconvenientes, como el elevado volumen específico del agua a bajas presiones, trabajar en condiciones de alto vacío, la limitación de temperaturas en el evaporador a temperaturas superiores a 5 °C etc. Pero el principal inconveniente de este par de trabajo, es la cristalización del bromuro de litio a bajas temperaturas y altas concentraciones, condiciones que pueden darse a la entrada del absorbedor, y que supone una limitación en las aplicaciones especialmente de calefacción.

Para solventar esta limitación, en las últimas décadas se han propuesto diversas alternativas, ya sea cambiando el absorbente o bien añadiendo aditivos que amplíen el rango de solubilidad de la mezcla agua/bromuro de litio. En este último caso, el uso de líquidos iónicos (LIs) como aditivos tiene un gran interés, debido a que se trata de sustancias líquidas en las condiciones de trabajo de los sistemas de refrigeración y bombas de calor, con una casi despreciable presión de vapor, por lo que pueden considerarse no volátiles. Sin embargo, el elevado coste de los LIs y la amplia gama existente suponen una limitación a la hora de seleccionar el aditivo y la cantidad idónea del mismo, haciendo imposible que dicha selección se base únicamente en medidas experimentales de las propiedades físico-químicas de las posibles mezclas.

Por ello, se requiere una estrategia que incluya un mejor conocimiento de los LIs en disolución, que incluya estudios computacionales y que permitan incluso una primera estimación de algunas propiedades termofísicas, con el fin de reducir el trabajo experimental requerido.

En la selección de un aditivo adecuado para la mezcla H₂O/LiBr, deben tenerse en cuenta requerimientos habituales: alta afinidad absorbente/refrigerante, presión de vapor moderada, baja viscosidad, elevados coeficientes de difusión y conductividad térmica, que no cristalice, no tóxico, no corrosivo, químicamente estable y bajo coste económico. Muchas de estas propiedades dependen de la extensión en la que se producen las interacciones de los iones presentes en la mezcla, interacciones soluto-soluto, soluto-solvente y solvente-solvente, y que condicionan el proceso de solvatación.

En este trabajo, se presenta una estrategia para la selección de un LI como aditivo de las mezclas H₂O/LiBr, y de la cantidad adecuada, basada en el estudio de la solvatación de la mezcla en presencia de LIs. Una aproximación para ello consiste en la determinación cuantitativa del agua libre en disolución, cuyos resultados permite hacer un análisis comparativo de los distintos líquidos iónicos y cómo la presencia de estos puede afectar a la solubilidad y la presión de vapor.

2. METODOLOGÍA

En el caso concreto del uso de LIs como aditivos de la mezcla H₂O/LiBr en sistemas de refrigeración y bombas de calor por absorción, las prestaciones de esta mezcla vendrán condicionadas por el efecto del LI en la solvatación de los iones de LiBr en solución. Por ello, la estrategia de análisis presentada en este trabajo se basa en la determinación cuantitativa de agua libre para evaluar, de forma rápida y comparativa, la adecuación de una serie de líquidos y determinar la composición que permita mejorar la solubilidad del absorbente sin afectar negativamente el resto de las propiedades. Esta determinación del agua libre supone una aproximación en el estudio de la solvatación. La estrategia de análisis propuesta es la siguiente:

1. Preselección de 5 LIs como aditivos de H₂O/LiBr a partir de la información sobre solubilidad y presión de vapor disponible en la literatura.
2. Determinación de la cantidad de agua libre en disolución por medio de espectroscopía de infrarrojo cercano (SW-NIR) junto con la aplicación de un método de resolución de curvas basado en mínimos cuadrados alternados (MCR-ALS). Esta determinación se realiza en tres fases con el objetivo de analizar diferentes aspectos de la solvatación:
 - 2.1. Análisis del efecto de la cantidad de LI. Se consideran 3 relaciones diferentes para un mismo LI. Como resultado de este análisis se fija una relación LI/LiBr adecuada para el resto de análisis.
 - 2.2. Análisis del efecto de la temperatura. Se consideran 3 temperaturas diferentes para un mismo LI.
 - 2.3. Análisis del efecto de los distintos LI a una temperatura y relación LI/LiBr constantes.

El resultado de estos análisis da una primera aproximación de la hidratación del LiBr en presencia de LI, y su efecto en la solubilidad y la presión de vapor de las mezclas, que deberán ser validadas con datos experimentales.

3. RESULTADOS

3.1. Selección previa de LIs a partir de la revisión bibliográfica

La mayoría de los líquidos iónicos propuestos para su uso como aditivos del par de trabajo agua/bromuro de litio, están basados en el catión imidazolio [1-8], y algunos en los cationes amonio y morfolinio [1-3].

A partir de la información analizada, para este trabajo se seleccionaron 5 ILs, 3 basados en el catión amonio y los otros 2 basados en el catión imidazolio. Las razones de esta selección previa se describen a continuación:

- Nitrato de etilamonio [EA][NO₃], nitrato de propilamonio [PA][NO₃] y cloruro de etilamonio [EA][Cl], líquidos iónicos próticos, seleccionados asumiendo la existencia de interacciones entre el IL y el LiBr semejantes a las reportadas en la literatura entre el primero de ellos y el nitrato de litio [9].
- Bromuro de 1-butil-3-metilimidazolio bromide [bmim][Br] y cloruro de 1,3-dimetilimidazolio [dmim][Cl], líquidos iónicos apróticos seleccionados en base a sus propiedades termodinámicas [2,4-5] y de líquidos iónicos similares [7-8].

3.2. Determinación cuantitativa de agua libre

La determinación cuantitativa del agua libre en las mezclas estudiadas se llevó a cabo por medio de la espectroscopía de infrarrojo cercano (SW-NIR) junto con la aplicación de un método de resolución de curvas basado en mínimos cuadrados alternados (MCR-ALS). En la Tabla 1 se muestran las mezclas utilizadas para el análisis.

Tabla 1. Mezclas de H₂O/(LiBr+LI) utilizadas para la determinación de la cantidad de agua libre por NIR+MCR-ALS

Mixture	T (K)	w_{abs}	x_{abs}	x_{IL}/x_{LiBr}
H ₂ O/LiBr	293,15	0 – 0,55	0 – 0,20	–
H ₂ O/(LiBr+[Dmim][Cl])	293,15	0 – 0,58	0 – 0,22	0,02022 / 0,04184 / 0,06480
H ₂ O/(LiBr+[Bmim][Br])	293,15 / 313,15/ 333,15	0 – 0,58	0 – 0,22	0,02076
H ₂ O/(LiBr+[EA][NO ₃])	293,15	0 – 0,58	0 – 0,22	0,02049
H ₂ O/(LiBr+[PA][NO ₃])	293,15	0 – 0,58	0 – 0,22	0,02047
H ₂ O/(LiBr+[EA][Cl])	293,15	0 – 0,58	0 – 0,22	0,02049

Las medidas se realizaron en un intervalo de composición desde agua pura hasta 58 % en fracción másica de absorbente. Los primeros resultados experimentales se encuentran publicados [10-13] y el método espectroscópico y la resolución de curvas se detallan ampliamente en la referencia [10].

A modo de ejemplo, en la Figura 1 se muestra un esquema del método: (a) se registran los espectros de mezclas de H₂O/(LiBr+IL) con distintas composiciones de absorbente; el pico cuyo máximo aparece aproximadamente entre (970-980) nm se debe al grupo -OH del agua, y se ve como su valor disminuye y se desplaza hacia longitudes de onda mayores conforme disminuye la concentración de agua. Este desplazamiento se puede atribuir a la formación de diferentes estructuras químicas como consecuencia de las interacciones entre los iones presentes en la solución y las moléculas de agua. Su valor varía con la composición de la solución. (b) Las soluciones derivadas de la aplicación del método MCR-ALS al conjunto de datos espectrales registrados, devuelven una estima de cómo evoluciona la concentración del agua en solución en dos entornos químicos diferentes, uno de ellos representativo del agua que mantiene su estructura original (agua libre) y el otro representativo del agua que está interaccionando con los iones presentes en solución (agua en el solvato). Valores alto de agua solvatando serán representativos de elevada afinidad entre el agua y el soluto.

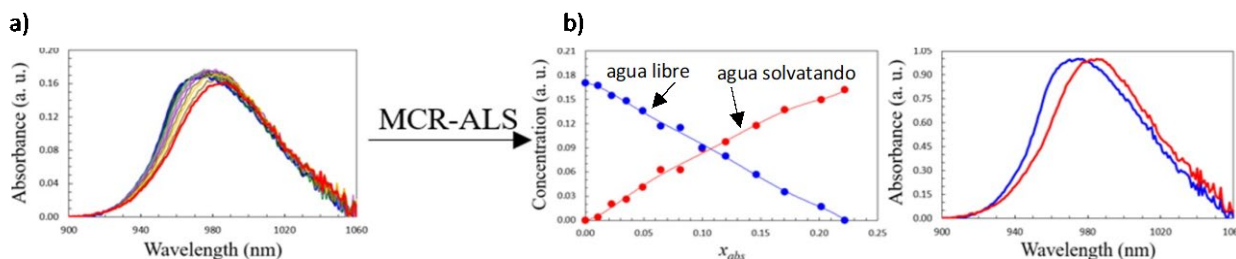


Figura 1. Método de determinación del agua: a) obtención de espectros NIR, b) aplicación del método MCR-ALS

En el caso del [Dmim][Cl] como aditivo, se determinó la cantidad de agua libre a 3 relaciones LI/LiBr diferentes de 2,0 %, 4,2 % y 6,5 % en mol, que corresponden a 3 %, 6 % y 7 % en masa, con el fin de analizar el efecto en el agua libre (Figura 2a). A partir de este primer análisis se puede concluir que no hay diferencias

significativas en cuanto al agua libre por la cantidad de LI presente. Por este motivo, se consideró la cantidad menor de LI ($x_{LI}/x_{LiBr} = 0,0202$) para el resto de análisis.

Para analizar el efecto de la temperatura, se determinó la cantidad de agua libre con [Bmim][Br] a 20 °C, 40 °C y 60 °C. Los resultados, como diferencia relativa entre la cantidad de agua libre en la mezcla con aditivo y la mezcla H₂O/LiBr, a la misma temperatura, fue de 7,9 % a 20 °C, 3,6 % a 40 °C y -2,6 % a 60 °C. Como se puede ver, la diferencia en la cantidad de agua libre disminuye con la temperatura, siendo incluso menor que la de la mezcla H₂O/LiBr, en el caso del [Bmim][Br] a 60 °C. Por tanto, existe una influencia de la temperatura en la solvatación del LiBr en presencia del LI, pero no puede interpretarse en base a los datos del NIR+MCR-ALS. Un análisis más profundo podría llevarse a cabo mediante la aplicación de métodos computacionales que permitan profundizar en el estudio de las interacciones entre los iones en estas disoluciones.

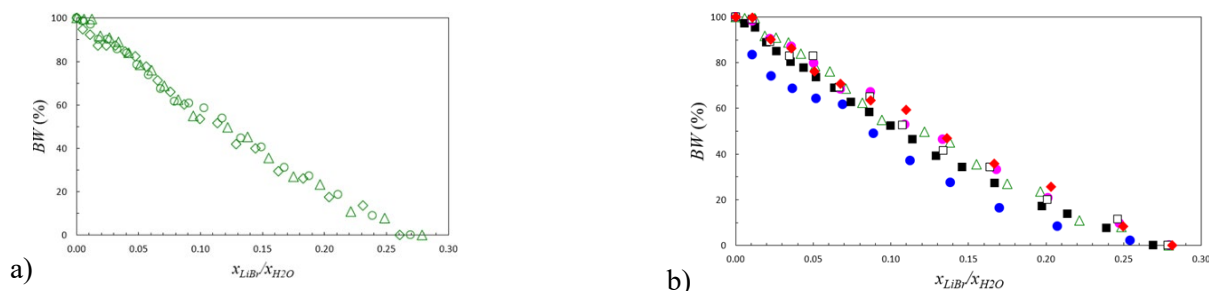


Figura 2. Análisis de agua libre: **a)** de la mezcla H₂O/(LiBr+[Dmim][Cl]) en función de la relación molar LiBr/H₂O a 20 °C con diferentes relaciones x_{LI}/x_{LiBr} : \triangle , 0,0202; \circ , 0,0418; \diamond , 0,0648; **b)** \bullet , H₂O/LiBr; y con aditivos $x_{LI}/x_{LiBr} = 0.02$ a 20 °C: $\color{magenta}\bullet$ [EA][NO₃]; \square , [PA][NO₃]; $\color{red}\blacklozenge$, [EA][Cl]; \blacksquare , [Bmim][Br]; \triangle , [Dmim][Cl]

Finalmente, para analizar el efecto de la naturaleza del LI usado como aditivo, se determinó el agua libre del resto de mezclas a 20 °C manteniendo la relación 0,02 molar para el LI respecto al LiBr (Figura 2b). Del análisis comparativo de los resultados, se concluye que todas aquellas que contienen líquido iónico presentan una mayor cantidad de agua libre que la mezcla sin líquido iónico, siguiendo el siguiente orden: [EA][Cl] (14,6 %) > [EA][NO₃] (13,0 %) > [PA][NO₃] (12,2 %) > [Dmim][Cl] (11,7 %) > [Bmim][Br] (7,9 %), donde el porcentaje indica la diferencia relativa entre la mezcla H₂O/LiBr y la que contiene IL. Debe tenerse en cuenta que los valores relativos mostrados son valores promedio de las diferencias entre la mezcla H₂O/LiBr y la mezcla con aditivo, y por tanto son orientativos.

Puede verse el efecto de los dos grupos de LI distintos: los próticos (catión amonio) presentan una mayor cantidad de agua libre que los apróticos (catión imidazolio). Esto indicaría que la afinidad entre el refrigerante y el absorbente es mayor en los apróticos, ya que retienen mejor el agua por solvatación, dejando menos agua libre. Por otro lado, los LI próticos permiten una mayor disolución de LiBr, ya que contiene más agua libre, pero es de esperar que la presión de vapor sea mayor. Teniendo en cuenta los requerimientos para el fluido de trabajo indicados anteriormente, los apróticos pueden ser mejores aditivos, ya que es de esperar que mejoren la solubilidad, pues presentan más agua libre que la mezcla H₂O/LiBr, presentan mayor afinidad que los próticos, y es de esperar que la presión de vapor no sea mucho mayor que la de la mezcla sin aditivos.

Para corroborar estas afirmaciones, se compararon los valores de solubilidad de todas las mezclas y los de presión de vapor de algunas mezclas disponibles.

3.3. Solubilidad

La solubilidad de mezclas de H₂O(LiBr+LI) en agua se midieron por medio de un método politérmico-visual [11], determinando la composición límite de solubilidad (aparición del primer cristal de sal) de mezclas de H₂O/LiBr con cada uno de los 5 LIs preseleccionados a 0,02 de relación molar IL/LiBr, y en el caso del [Bmim][Br] y [Dmim][Cl] también a otras relaciones molares, con el fin de tener más datos experimentales ya que fueron escogidos como posibles candidatos a partir del análisis de solvatación anterior. Algunos resultados se encuentran publicados [11,13].

Los resultados mostraron que la presencia de líquido iónico aumenta la solubilidad del bromuro de litio en todos los casos, pero hasta una cierta cantidad a partir de la cual este aumento ya no es significativo. Para una relación molar de 0,02, el orden de los aditivos en cuanto a mejora de solubilidad es el siguiente: [EA][NO₃] \approx [PA][NO₃] > [EA][Cl] > [Dmim][Cl] \approx [Bmim][Br], teniendo en cuenta una desviación relativa promedio respecto a la mezcla H₂O/LiBr (Tabla 3). Este orden difiere ligeramente del encontrado para el contenido de agua libre a 20 °C, pero ambos análisis llegan a la misma conclusión: los LI próticos, aquellos que presentan

mayor contenido de agua libre, son los que tienen una solubilidad mayor; mientras que los LI apróticos, con menor cantidad de agua libre, presentan menor solubilidad, aunque en cualquier caso mayor que la de la mezcla H₂O/LiBr. Por tanto, el análisis de la solvatación realizado por medio de NIR+MCR-ALS nos da una primera aproximación que se confirma con datos de solubilidad.

Por otro lado, en la Tabla 2 también se aprecia que, al analizar el efecto de la cantidad de IL en la solubilidad de las mezclas con [Bmim][Br] y con [Dmim][Cl], la mejora no es totalmente lineal. En el caso del [Bmim][Br], la mayor diferencia de solubilidad (3,5 %) se da con un 5 % en masa de LI respecto a la mezcla del absorbente (LiBr+[Bmim][Br]), mientras que para el [Dmim][Cl] (5,7 %) se da al 6 % de LI.

Tabla 2. Diferencias relativas promedio en la solubilidad de H₂O/LiBr con ILs respecto a la mezcla sin aditivo

Mezcla	x_{IL}/x_{LiBr}	$\Delta(x_{LiBr}/x_{H_2O})$ (%)
H ₂ O/(LiBr+[EA][NO ₃])	0.0207	4,8
H ₂ O/(LiBr+[PA][NO ₃])	0.0206	4,6
H ₂ O/(LiBr+[EA][Cl])	0.0205	3,9
H ₂ O/(LiBr+[Bmim][Br])	0.0121 / 0.0209 / 0.0301	2,3 / 3,5 / 3,1
H ₂ O/(LiBr+[Dmim][Cl])	0.0205 / 0.0426 / 0.0491	3,4 / 5,7 / 5,7

3.4. Presión de vapor

La presión de vapor de las mezclas con aditivos se midió por medio del método estático [12]. El estudio de esta propiedad se limitó a las mezclas con [dmim][Cl] y [bmim][Br], como principales candidatas a partir del análisis de solvatación, y del [EA][NO₃] como el LI prótico que presentó menor cantidad de agua libre y mayor solubilidad. A modo de ejemplo, en la Figura 3 se representa la presión de vapor de las tres mezclas con aditivo, además de la mezcla H₂O/LiBr.

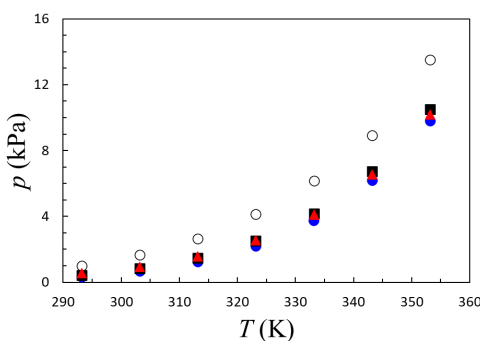


Figura 3. Presión de vapor de mezclas con 55 % de absorbente: ●: H₂O/LiBr [3]; ○: H₂O/(LiBr+[EA][NO₃]); ▲: H₂O/(LiBr+[Dmim][Cl]); ■: H₂O/(LiBr+[Bmim][Br]). La relación molar IL/LiBr es de 0,02 para todas las mezclas

La presión de vapor de las mezclas con aditivo confirma los resultados obtenidos en el análisis del contenido de agua libre: los LI apróticos, con catión imidazolium, muestran menor presión de vapor que el aprótico, con catión amonio, lo cual es coherente con la mayor presencia de agua libre en este último caso.

Además, también se midió la presión de vapor de la mezcla [Dmim][Cl] con una relación másica de 6 % de LI en el absorbente, ya que esta fue la mezcla que mejor solubilidad presentó de todas las medidas. La presión de vapor fue incluso más favorable que con el 3 %.

4. CONCLUSIONES

Una estrategia basada en el estudio de la solvatación del LiBr en disolución acuosa es útil como primer paso en la selección de aditivos para mezclas de H₂O/LiBr en sistema de refrigeración y bombas de calor por absorción. Esta estrategia es más rápida que las metodologías clásicas basadas en la medida sistemática de propiedades termofísicas. Aunque no puede suplir completamente a estas, permite una primera aproximación al comportamiento de las disoluciones en presencia de los aditivos, analizando la cantidad de agua libre presente. Esta agua libre está relacionada con la afinidad del refrigerante con el absorbente, y por tanto con las propiedades de la mezcla.

Los resultados de este análisis del agua libre han sido corroborados por datos experimentales de solubilidad y presión de vapor. Con la información disponible, la mezcla de H₂O/LiBr con un 6 % en masa de [Dmim][Cl] en el absorbente puede ser un fluido de trabajo adecuado para mejorar las prestaciones del ciclo termodinámico, ya que mejora la solubilidad de la mezcla sin perjudicar en exceso la capacidad de absorción de la misma.

Para un análisis más completo, otras propiedades deberían considerarse, especialmente las propiedades de transporte, como la viscosidad o el coeficiente de difusión.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio se enmarca en el proyecto "PID2020-119004RB-C21", financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033/ y el programa de investigación e innovación Horizon 2020 de la Unión Europea en el marco del acuerdo de subvención Marie Skłodowska-Curie nº 945413 y de la Universitat Rovira i Virgili. David Latorre agradece el apoyo económico de la Diputación de Tarragona y de la Universitat Rovira i Virgili. Los autores también quieren agradecer a YTC America por su apoyo financiero con respecto a las mediciones de las propiedades de la solución agua/(LiBr+[DMIM])[Cl].

REFERENCIAS

- [1] Królikowska, M., Zawadzki, M., & Skonieczny, M. (2018). The influence of bromide-based ionic liquids on solubility of {LiBr (1) + water (2)} system. Experimental (solid + liquid) phase equilibrium data. Part 2. *Journal of Molecular Liquids*, 265, 316–326.
- [2] Królikowska, M., & Hofman, T. (2019). The influence of bromide-based ionic liquids on solubility of {LiBr (1) + water (2)} system. Experimental (solid + liquid) phase equilibrium data. Part 1. *Journal of Molecular Liquids*, 273, 606–614.
- [3] Yang, D., Zhu, Y., Liu, S., Lv, H., & Luo, C. (2019). Thermodynamic properties of a ternary AHP working pair: Lithium bromide + 1-ethyl-3-methylimidazolium chloride + H₂O. *Journal of Chemical and Engineering Data*, 64(2), 574–583.
- [4] Kim, K.S., Demberelnyamba, D., Shin, B.K., Yeon, S.H., Choi, S., Cha, J.H., Lee, H., Lee, C.S., & Shim, J.J. (2006). Surface tension and viscosity of 1-butyl-3-methylimidazolium iodide and 1-butyl-3-methylimidazolium tetrafluoroborate, and solubility of lithium bromide+1-butyl-3-methylimidazolium bromide in water. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 23(1), 113–116.
- [5] Jing, L., Danxing, Z., Lihua, F., Xianghong, W., & Li, D. (2011). Vapor pressure measurement of the ternary systems H₂O + LiBr + [Dmim]Cl, H₂O + LiBr + [Dmim]BF₄, H₂O + LiCl + [Dmim]Cl, and H₂O + LiCl + [Dmim]BF₄. *Journal of Chemical and Engineering Data*, 56(1), 97–101.
- [6] Zhang, X., Gao, N., Wu, Y., & Chen, G. (2018). Vapor pressure measurement for the ternary system of sater, lithium bromide, and 1-ethyl-3-methylimidazolium acetate. *Journal of Chemical and Engineering Data*, 63(3), 781–786.
- [7] Xuan, Y., Ding, X., Gao, N., Ding, Y., Meng, X., & Chen, G. (2019). Vapor pressure measurement of ternary systems LiCl + [Emim]Cl + H₂O, LiBr + [Emim]Cl + H₂O, and LiCl + [Emim]Br + H₂O. *Journal of Chemical and Engineering Data*, 64(6), 2406–2413.
- [8] Rafiee, H. R., & Frouzesh, F. (2016). Vapor-liquid equilibria and volumetric properties for new working fluid ([C₆H₁₁N₂][HSO₄] + LiBr + H₂O) and corresponding binary systems at different temperatures and ambient pressure. *Fluid Phase Equilibria*, 429, 137–148.
- [9] Hayes, R., Bernard, S. A., Imberti, S., Warr, G. G., & Atkin, R. (2014). Solvation of inorganic nitrate salts in protic ionic liquids. *Journal of Physical Chemistry C*, 118(36), 21215–21225.
- [10] Latorre-Arca, D., Larrechi, M. S., Salavera, D., Coronas, A., Rodríguez-Forteza, A., Rivera-Pousa, A., Méndez-Morales, T., & Varela, L. M. (2022). Quantitative and structural analysis of water association in water-lithium bromide-1,3-dimethylimidazolium chloride mixtures. *Journal of Molecular Liquids*, 368.
- [11] Latorre-Arca, D., Larrechi, M.S., Salavera, D., Coronas, A. Influence of 1,3-dimethylimidazolium chloride on the solubility of lithium bromide in water for absorption refrigeration and heat pumps. CYTEF 2022 – XI Congreso Ibérico | IX Congreso Iberoamericano de Ciencias y Técnicas del Frío, Cartagena, España, 17-19 abril, 2022
- [12] Latorre-Arca, D., Salavera, D., Larrechi, M.S., Coronas, A. Influence of 1,3-dimethylimidazolium chloride on the vapor pressure of H₂O/(LiBr+1,3-dimethylimidazolium chloride). XII National and y III International Conference on Engineering Thermodynamics, Madrid, España, 29 junio - 1 julio, 2022.
- [13] Latorre-Arca, D., Tariq, H.A., Larrechi, M.S., Salavera, D., Coronas, A. Selection of Ionic Liquid as an Additive of Water + Lithium Bromide to Improve the Performance of Absorption Refrigeration and Heat Pumps, 13CNIT 13th National and 4th International Conference in Engineering Thermodynamics, Castellón de la Plana (Spain), 29 de noviembre al 1 de diciembre de 2023.