

Estudio termodinámico de un ciclo de refrigeración por absorción de simple efecto con cinco disoluciones diferentes

Cristofer Uriel Torres-Rodríguez ¹, Iván Hernández-Pérez ^{2,*}, Manuel Adolfo Custodio-Barragán ³ y Luis Enrique Angeles-Montero ⁴

¹ Estudiante de Ingeniería Mecánica Eléctrica, División Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Cunduacán, Tabasco, México.

² Profesor-Investigador de la División Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Cunduacán, Tabasco, México.

³ Egresado de Ingeniería Mecánica Eléctrica, División Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Cunduacán, Tabasco, México.

⁴ Técnico Académico del Laboratorio de Mecatrónica, División Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Cunduacán, Tabasco, México.

* Autor de correspondencia: ivan.hernandezp@ujat.mx; Tel.: (+52) 9931184015.

Desarrollo Sustentable (Ahorro de Recursos en Procesos Industriales)

Recibido: 22 de agosto de 2025

Aceptado: 3 de octubre de 2025

Publicado: 27 de enero de 2026

DOI: <https://doi.org/10.56845/terys.v5i1.616>

Resumen: Se presenta un estudio del comportamiento de diferentes disoluciones basadas en la mezcla agua + bromuro de litio (H₂O+LiBr) en un ciclo de refrigeración por absorción de simple efecto. A estas disoluciones se les han agregado otras sales inorgánicas con intención de mejorar sus propiedades. Aunque existe información acerca de las propiedades de las mezclas: 1) H₂O + LiBr + LiNO₃ + LiI + LiCl, 2) H₂O + LiBr + LiI + LiCl, 3) H₂O + LiBr + LiNO₃, 4) H₂O + LiBr + LiI, la información sobre su capacidad de absorción es limitada, lo cual es un indicador favorable para el uso de una solución en el ciclo de refrigeración por absorción. Se hizo una recopilación de las propiedades termodinámicas de estas mezclas y se determinaron los valores de entalpía de cada una de ellas. Además, se realizó un análisis termodinámico de su comportamiento en un ciclo de simple efecto de refrigeración por absorción. Se encontró que la disolución H₂O + LiBr + LiI presenta una eficiencia ligeramente mayor que el sistema H₂O + LiBr debido a que tiene una mejor capacidad de absorción, además esta es menos propensa a cristalizar que el sistema convencional. La mezcla H₂O + LiBr + LiNO₃ + LiI + LiCl se comporta de manera similar que el sistema anterior y la mezcla H₂O + LiBr + LiI + LiCl resultó ser la más eficiente.

Palabras clave: absorción, bromuro de litio, ciclo de refrigeración

Thermodynamic study of a single-effect absorption refrigeration cycle with five different solutions

Abstract: A study of the behavior of different solutions based on the mixture water + lithium bromide (H₂O+LiBr) in a single-effect absorption refrigeration cycle is presented. Other inorganic salts have been added to these solutions with the intention of improving their properties. Although there is information about the properties of the mixtures: 1) H₂O + LiBr + LiNO₃ + LiI + LiCl, 2) H₂O + LiBr + LiI + LiCl, 3) H₂O + LiBr + LiNO₃, 4) H₂O + LiBr + LiI, the information on their absorption capacity is limited, which is a favorable indicator for the use of a solution in the absorption refrigeration cycle. A compilation of the thermodynamic properties of these mixtures was made and the enthalpy values of each of them were determined. In addition, a thermodynamic analysis of their behavior in a single-effect absorption refrigeration cycle was performed. It was found that the H₂O + LiBr + LiI solution presents a slightly higher efficiency than the H₂O + LiBr system because it has a better absorption capacity, and it is less prone to crystallize than the conventional system. The H₂O + LiBr + LiNO₃ + LiI + LiCl mixture behaves in a similar way to the previous system and the H₂O + LiBr + LiI + LiCl mixture turned out to be the most efficient.

Keywords: Absorption; lithium bromide; Refrigeration cycle.

Introducción

La refrigeración por absorción de simple efecto es un ciclo termodinámico que utiliza una fuente de calor para producir refrigeración, lo que permite aprovechar energía residual y reducir el consumo eléctrico. Uno de los fluidos de trabajo más comunes es la mezcla agua–bromuro de litio (H₂O–LiBr), reconocida por su alta capacidad absorbente, la no volatilidad del bromuro de litio y el elevado calor latente del agua. No obstante, este sistema presenta limitaciones como la cristalización y la corrosión, lo que ha impulsado la búsqueda de mezclas alternativas que mejoren su desempeño sin perder sus ventajas.

Diversos estudios respaldan esta línea de investigación. Wang *et al.* (2017) analizaron el desempeño transitorio de un enfriador por absorción activado con diferentes fuentes de calor, observando que la eficiencia depende fuertemente de la temperatura del generador. Rodríguez-Muñoz *et al.* (2024) compararon un sistema de refrigeración por absorción (SRA) convencional con otro con recuperación de calor (SRA-RC), encontrando mejoras del 5.8%–6.3% en el coeficiente de desempeño (COP) y del 3.7%–9.5% en la eficiencia exergética. Posteriormente, Rodríguez-Muñoz *et al.* (2025) evaluaron mezclas alternativas como $\text{CaCl}_2\text{-LiNO}_3\text{-KNO}_3\text{-H}_2\text{O}$ y $\text{CaCl}_2\text{-LiBr-LiNO}_3\text{-H}_2\text{O}$, reportando incrementos energéticos del 25%–35% y exergéticos del 10%–36% respecto al sistema convencional. Por su parte, Ren *et al.* (2019) desarrollaron un modelo termodinámico en Matlab para ciclos de absorción con $\text{LiCl-H}_2\text{O}$ y $\text{LiBr-H}_2\text{O}$, concluyendo que la mezcla $\text{LiCl-H}_2\text{O}$ resulta más adecuada en condiciones de baja temperatura de generador. Finalmente, Kadam *et al.* (2020) analizaron nueve mezclas mediante simulaciones en Aspen Plus, mostrando que configuraciones ternarias y cuaternarias presentan un mayor coeficiente global de transferencia de calor y menor riesgo de cristalización.

En este contexto, el presente estudio se enfoca en el análisis de cuatro disoluciones derivadas del sistema $\text{H}_2\text{O-LiBr}$: (1) $\text{H}_2\text{O} + \text{LiBr} + \text{LiNO}_3 + \text{LiI} + \text{LiCl}$, (2) $\text{H}_2\text{O} + \text{LiBr} + \text{LiI} + \text{LiCl}$, (3) $\text{H}_2\text{O} + \text{LiBr} + \text{LiNO}_3$ y (4) $\text{H}_2\text{O} + \text{LiBr} + \text{LiI}$. Se recopilieron sus propiedades termodinámicas, se construyeron diagramas entalpía–concentración y se evaluó su desempeño en un ciclo de simple efecto de refrigeración por absorción. Con ello se busca identificar las mezclas con mayor eficiencia y menor susceptibilidad a cristalizar, aportando información útil para el diseño de sistemas de refrigeración por absorción más estables y sustentables.

Materiales y Métodos

Análisis del ciclo de simple efecto para refrigeración por absorción

El ciclo de simple efecto es la configuración más sencilla de los sistemas de refrigeración por absorción. En términos generales, un sistema de absorción consta de cuatro componentes que intercambian energía con el ambiente, además de un intercambiador

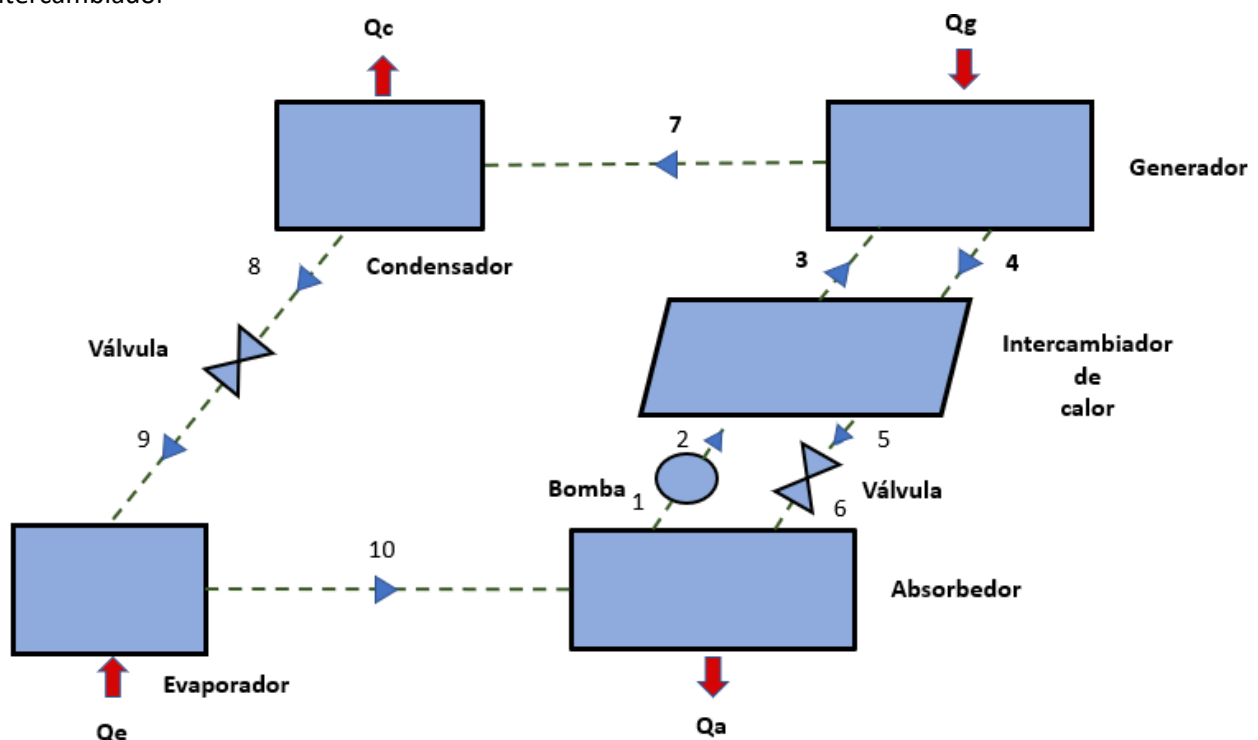


Figura1 Ciclo de simple efecto de refrigeración por absorción

Circuito de solución

El proceso del circuito de disolución consta de una etapa de circulación entre el absorbedor y el generador, esta es bombeada desde el nivel de baja presión del absorbedor hasta el generador cuya presión es alta. En la siguiente etapa,

la disolución dentro del generador recibe calor por medios externos, como una fuente de combustión u otra fuente con una temperatura suficientemente alta. Como resultado, el refrigerante (agua) se separa de la solución y es enviado al condensador. El vapor que sale del generador es libre de sal y se dirige al condensador, mientras que la disolución líquida se concentra en sal y pasa por el intercambiador intermedio transfiriendo calor con la disolución que sale del absorbedor; el propósito de este intercambiador es reducir la carga externa de calor necesaria utilizando la energía disponible en la máquina con un aprovechamiento óptimo.

Circuito de refrigerante

El vapor de refrigerante que sale del generador es dirigido al condensador, donde se licúa expulsando calor a un medio externo. Posteriormente, el líquido subenfriado que sale del condensador es estrangulado por una restricción hasta alcanzar la baja presión. A continuación, el refrigerante en dos fases entra al evaporador, donde se gasifica. Este proceso está acompañado por una transferencia de calor desde el ambiente del evaporador, debido a la baja presión creada en el absorbedor. El incluir el intercambiador intermedio también reduce la cantidad de calor expulsado. Cuando la disolución sale del intercambiador intermedio llega subenfriada a una restricción de flujo, región donde puede ocurrir la cristalización. Cuando el líquido subenfriado es estrangulado por la restricción, algo de vapor se genera a partir del líquido. Luego esta corriente ingresa al absorbedor y la solución concentrada en sales entra en contacto con el vapor suministrado por el evaporador. Dicho proceso de absorción ocurre si el absorbedor es enfriado por una fuente externa. Mientras el vapor es absorbido, la fracción másica de las sales es reducida hasta el mismo nivel que la solución en la entrada del generador.

Análisis del ciclo de simple efecto

Hipótesis de funcionamiento para el ciclo de absorción de simple efecto

El conocimiento de los estados termodinámicos dentro del ciclo es necesario para el análisis del ciclo de simple efecto. Para ello, se consideran las siguientes hipótesis:

- La presión en el evaporador y el absorbedor es la misma ($P_e = P_a$) y también la presión del condensador es igual a la presión que el generador ($P_c = P_g$).
- El vapor de agua a la salida del condensador es un vapor saturado.
- El agua líquida a la salida del condensador es un líquido saturado.
- La disolución concentrada que sale del generador está a la temperatura de ebullición.
- El vapor de agua que sale del generador está a la temperatura de equilibrio de la disolución diluida a P_g , que entra al generador.
- La disolución que sale del absorbedor está saturada
- Los procesos en las válvulas de expansión son isoentálpicos.
- No se consideran pérdidas térmicas en equipos y conductos.
- El trabajo de la bomba de circulación es isentrópico.
- El ciclo opera en régimen estacionario.

Modelo matemático

Condiciones de operación del ciclo de absorción de simple efecto

El ciclo es considerado como un sistema refrigerado por aire, ya que las temperaturas en el absorbedor y en el condensador son de aproximadamente 10 °C, una temperatura considerablemente mayor a un sistema enfriado por agua donde se requiere una torre de enfriamiento. Esto se debe a los bajos coeficientes de transferencia de calor del aire. Tal como se muestra en la Tabla 1, se conoce la temperatura de evaporación (T_{10}), la temperatura de la solución a la salida del absorbedor (T_1), la temperatura de condensación (T_8), la efectividad del intercambiador solución-solución (ε), la temperatura de la solución a la salida del generador (T_4) y el flujo másico de refrigerante (m_1).

Análisis del ciclo

Las temperaturas de evaporación y condensación permiten calcular los dos niveles de presión del ciclo de simple efecto, de esta manera se encuentran los valores de presión baja $P_{low} = 1.42$ kPa y presión alta $P_{high} = 12.34$ kPa

Para el cálculo de la concentración de la solución pobre y de la solución rica en absorbente, se han utilizado las correlaciones de presión de vapor en función de la temperatura y composición.

En la Tabla 1 se muestran todos los datos obtenidos para cada una de las disoluciones. Cabe mencionar que las concentraciones de la solución pobre del absorbente (x_1) obtenidas para las soluciones $H_2O+LiBr+LiI+LiCl$ y $H_2O+LiBr+LiI+LiCl+LiNO_3$ son aproximadas

Tabla 1 Concentración de la disolución pobre y disolución rica en el ciclo de simple efecto

T_{10} (°C)	T_8 (°C)	T_4 (°C)	T_1 (°C)	ϵ	m_1 (kg/s)
9	50	107	50	0.65	1

Nota: T_{10} = temperatura del evaporador; T_8 = temperatura del condensador; T_4 = temperatura del generador; T_1 = temperatura del absorbedor; ϵ = eficiencia del intercambiador de calor solución-solución; m_1 = flujo másico de la solución absorbente.

Balances de energía

Para obtener el COP es necesario realizar los balances de energía. La Tabla 2 muestra los balances de materia y energía impuestos para determinar la solución, los balances de energía se han determinado tanto para el refrigerante como para el absorbente.

Adicionalmente se requiere de la relación de caudales para conocer el flujo masico de la disolución rica y de la disolución pobre en sales a partir del flujo masico de refrigerante (1).

$$f = \frac{m_3}{m_7} = \frac{x_4}{x_4 - x_1} \quad (1)$$

El COP es la medida de la eficiencia del ciclo, definido como la relación de la carga evaporada y la carga aportada al generador (2).

$$COP = \frac{Q_e}{Q_g} = \frac{m_{10}h_{10} - m_9h_9}{m_4h_4 + m_7h_7 - m_3h_3} \quad (2)$$

La entalpia de las disoluciones ($H_2O + LiBr +$ componentes), fue calculada en una mezcla generalmente representada por una función de temperatura, presión y concentración; sin embargo, la dependencia de la presión en la entalpia de la disolución se desprecia debido a que un sistema de absorción opera con presiones muy bajas.

Cálculo de entalpía de las disoluciones propuestas

Las entalpías de las mezclas: 1) $H_2O + LiBr + LiNO_3 + LiI + LiCl$, 2) $H_2O + LiBr + LiI + LiCl$, 3) $H_2O + LiBr + LiNO_3$, 4) $H_2O + LiBr + LiI$, se determinaron utilizando el método de McNeely. El método de McNeely se basa en una regla empírica conocida como la regla de Duhring que dice: Si el punto de ebullición de una disolución se grafica contra el punto de ebullición de su disolvente a la misma presión, la gráfica resultante será una línea recta. Esta suposición puede ser una limitante del método y en algunos los casos donde se requiera hacer una extrapolación esto podría generar incertidumbre. Se ha validado comparando las entalpías publicadas por McNeely (1979) para la disolución $H_2O+LiBr$ con las entalpías calculadas a partir del método descrito. Se utilizaron las correlaciones de las propiedades del $H_2O+LiBr$ publicadas por Pátek y Klomfar (2006) para construir el diagrama entalpía-concentración y se comparó su similitud con el grafico publicado por McNeely (Figura2). En esta figura se puede apreciar claramente su similitud, entonces las entalpías de las mezclas mencionadas anteriormente se obtuvieron usando el mismo método.

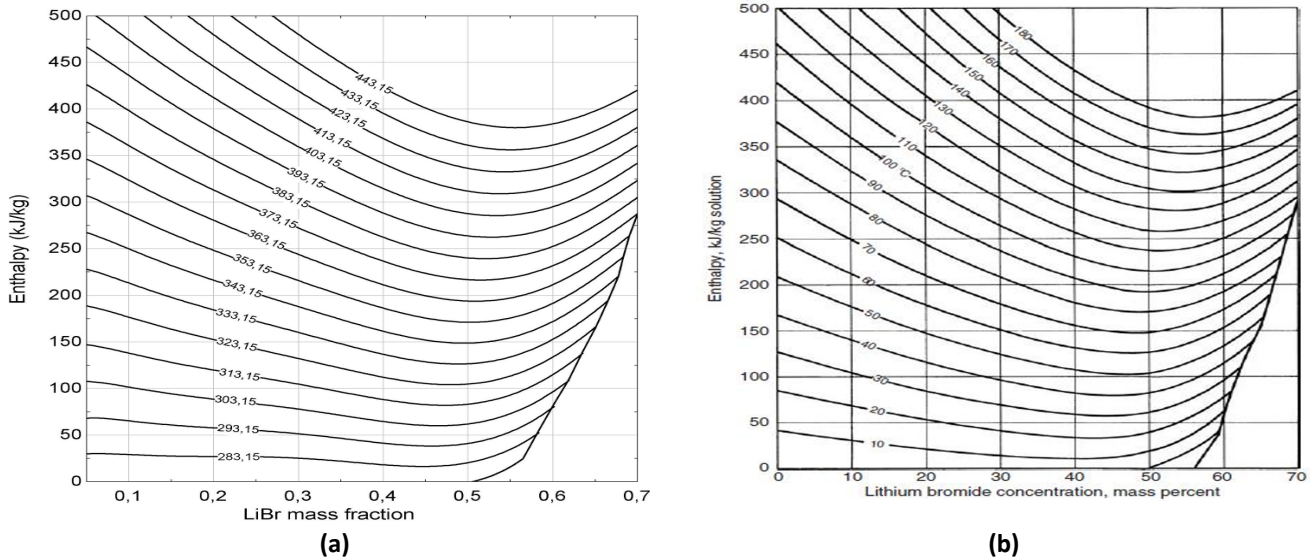


Figura 2. Diagramas de entalpía-concentración: (a) Diagrama constituido para la validación del método (b) Diagrama publicado por McNeeley

Tabla 2 Balances de materia y energía de los componentes del ciclo de simple efecto

Equipo	Balances de materia	Balances de energía
Bomba	$m^1 - m^2 = 0$ $x_1 - x_2 = 0$	$m_1 h_1 + W_p - m_2 h_2 = 0$
Intercambiador solución-solución	$m^2 - m^3 = 0; m^4 - m^5 = 0$ $x_2 - x_3 = 0; x_4 - x_5 = 0$	$m_2 h_2 + m_4 h_4 - m_3 h_3 - m_5 h_5 = 0$
Válvula expansión de la solución	$m^5 - m^6 = 0$ $x_5 - x_6 = 0$	$h_5 - h_6 = 0$
Absorbedor	$m^{10} + m^6 - m^1 = 0$ $m_{10} x_{10} + m_6 x_6 - m_1 x_1 = 0$	$m_{10} h_{10} + m_6 h_6 - m_1 h_1 - Q_a = 0$
Generador	$m^3 - m^4 - m^7 = 0$ $m_3 x_3 - m_4 x_4 - m_7 x_7 = 0$	$m_3 h_3 - m_4 h_4 - m_7 h_7 + Q_g = 0$
Condensador	$m_7 - m_8 = 0$	$m_7 h_7 - m_8 h_8 - Q_c = 0$
Válvula de expansión del refrigerante	$m^8 - m^9 = 0$ $x_8 - x_9 = 0$	$h_8 - h_9 = 0$
Evaporador	$m^9 - m^{10} = 0$ $x_9 - x_{10} = 0$	$m_9 h_9 + Q_e - m_{10} h_{10} = 0$

Resultados y Discusión

En los ciclos de refrigeración por absorción de simple efecto, la relación de circulación de caudales f es un parámetro que indica la cantidad de solución pobre en sales necesaria para absorber 1 kg/s de refrigerante. Es importante destacar que un valor alto de f indica que las concentraciones de las soluciones rica y pobre son muy cercanas, por lo que es necesario recircular caudales elevados para absorber el refrigerante. En consecuencia, cuanto mayor es esta relación, mayores son los trabajos de las bombas, los diámetros de las tuberías y las pérdidas de calor sensible que se producen en los intercambiadores de calor solución-solución.

Tabla 3 concentración de la disolución pobre y rica en el ciclo de simple efecto

Disolución	X_1 (%)	X_4 (%)	X_{sat} (%)	Δx
$H_2O + LiBr$	60.42	64.40	67.37	2.97
$H_2O + LiBr + LiI$	60.50	64.71	69.55	4.84
$H_2O + LiBr + LiNO_3$	62.40	66.33	69.84	3.51
$H_2O + LiBr + LiI + LiCl$	59.44	63.77	67.91	4.14
$H_2O + LiBr + LiNO_3 + LiI + LiCl$	60.67	64.90	69.10	4.20

La Tabla 4 muestra los resultados obtenidos durante la simulación del ciclo de simple efecto de refrigeración por absorción, en la cual se muestra a la relación de circulación del COP de cada una de las disoluciones. La mezclas $H_2O + LiBr + LiI$ y $H_2O + LiBr + LiNO_3 + LiI + LiCl$ contienen una mayor limitación de cristalización a diferencia de la mezcla convencional ($H_2O + LiBr$). En el caso de la mezcla $H_2O + LiBr + LiNO_3$ se reduce la eficiencia a diferencia de la convencional, pero aumenta su solubilidad. Esto quiere decir que la mezcla $H_2O + LiBr + LiI + LiCl$ resulta ser la disolución más eficiente teniendo un límite de cristalización ligeramente mayor en comparación a la disolución $H_2O + LiBr$.

En estudios recientes se ha observado que los rendimientos (COP) y el rango operativo de los ciclos de absorción con la pareja H_2O – $LiBr$ pueden mantenerse o incluso ampliarse mediante la adición de pequeñas fracciones de otras sales de litio ($LiNO_3$, $LiCl$, LiI) o mediante formulaciones ternarias/cuaternarias, debido a la mayor solubilidad y al desplazamiento del límite de cristalización que permiten operar a concentraciones más elevadas en el absorbedor. Las revisiones y estudios experimentales publicados entre 2020 y 2024 muestran que, en sistemas solares y de aprovechamiento de calor residual, las configuraciones de $LiBr$ – H_2O mantienen COP típicos en el rango ~ 0.6 – 0.8 para unidades de un solo efecto bajo condiciones de diseño habituales, aunque el valor exacto depende fuertemente de las temperaturas de generador/condensador/evaporador y del diseño del intercambiador. En cuanto a las mezclas aditivadas (por ejemplo $LiBr + LiNO_3$ o mezclas $LiBr+LiI+LiNO_3+LiCl$) se reporta una mejor solubilidad y una menor tendencia a cristalizar, lo que permite trabajar con mayores concentraciones de sales en el absorbedor y, en muchos casos, traducirse en una leve mejora del COP o en una mayor flexibilidad operativa; sin embargo, estas ventajas vienen acompañadas de consideraciones prácticas importantes: cambios en la corrosividad, posibles efectos en la transferencia de masa y calor en los filmes de absorción, y la necesidad de validar compatibilidad con materiales y sellos. Estudios de modelado y campo recientes recomiendan evaluar caso por caso (simulación + pruebas) porque los beneficios termodinámicos de la adición de sales pueden verse compensados por pérdidas adicionales (p. ej. mayor recirculación, mayor bombeo o degradación de intercambiadores) si no se optimiza la relación de recirculación de caudales ni el diseño del absorbedor. En resumen, los trabajos de 2020–2024 confirman la tendencia observada en este trabajo: las formulaciones $H_2O + LiBr + (LiNO_3 / LiI / LiCl)$ permiten mejorar la solubilidad y ampliar la ventana de operación frente a la solución convencional $H_2O + LiBr$, pero requieren un balance entre ganancia termodinámica y consideraciones de corrosión, manipulación y diseño (bombeo/intercambiadores) antes de recomendar su implementación industrial.

Tabla 4 Resultados de la simulación del ciclo de simple efecto

Disolución	f	COP	$\pm \Delta COP$
$H_2O + LiBr$	16.18	0.66	± 0.02
$H_2O + LiBr + LiI$	15.35	0.67	± 0.02
$H_2O + LiBr + LiNO_3$	16.88	0.58	± 0.03
$H_2O + LiBr + LiI + LiCl$	14.72	0.75	± 0.02
$H_2O + LiBr + LiNO_3 + LiI + LiCl$	15.32	0.67	± 0.02

Es importante considerar la incertidumbre asociada a los valores de COP obtenidos en la simulación. Dado que los resultados se calcularon mediante un modelo termodinámico idealizado, la principal fuente de incertidumbre proviene de la precisión de las propiedades termofísicas utilizadas (presión de vapor del refrigerante, entalpías de las soluciones y coeficientes de transferencia de calor). Con base en estudios similares de simulación numérica del ciclo H_2O – $LiBr$ de

simple efecto (Li *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2024), la variación típica del COP puede situarse en el rango de $\pm 3\text{--}5\%$ para condiciones de operación cercanas a las nominales.

En este trabajo se asume una incertidumbre estimada de ± 0.02 en el valor de COP para las disoluciones analizadas. Esta variación puede atribuirse a los posibles errores de interpolación en las propiedades termodinámicas y a la sensibilidad del modelo frente a las temperaturas del generador, condensador y absorbedor. En consecuencia, los valores de COP reportados deben interpretarse como resultados promedio del modelo, con una tolerancia inherente propia de los métodos de simulación empleados.

Conclusiones

Se ha hecho una recopilación de correlaciones con el objetivo de analizar las propiedades termodinámicas publicadas en la literatura para las siguientes disoluciones salinas: $\text{H}_2\text{O} + \text{LiBr} + \text{LiI}$, $\text{H}_2\text{O} + \text{LiBr} + \text{LiNO}_3$, $\text{H}_2\text{O} + \text{LiBr} + \text{LiI} + \text{LiCl}$, $\text{H}_2\text{O} + \text{LiBr} + \text{LiNO}_3 + \text{LiI} + \text{LiCl}$, presión de vapor, densidad, capacidad calorífica y solubilidad de dichas disoluciones.

Simulando un ciclo simple efecto de refrigeración por absorción utilizando cada una de las disoluciones, se concluye que la disolución $\text{H}_2\text{O} + \text{LiBr} + \text{LiI}$ presenta una eficiencia ligeramente mayor que el sistema $\text{H}_2\text{O} + \text{LiBr}$ para las condiciones de operación analizadas, esto se debe a que tiene una mejor capacidad de absorción es menos susceptible a cristalizar que el sistema convencional ya que su límite de solubilidad es mayor. La mezcla $\text{H}_2\text{O} + \text{LiBr} + \text{LiNO}_3 + \text{LiI} + \text{LiCl}$ se comporta de manera similar que el sistema anterior y la mezcla $\text{H}_2\text{O} + \text{LiBr} + \text{LiI} + \text{LiCl}$ es la más eficiente, sin embargo, se debe mencionar que la concentración de la solución pobre en sales para ambas disoluciones, ha sido obtenida extrapolando las correlaciones de la presión de vapor por lo que estos resultados solo deben considerarse como aproximados entonces se sugiere como trabajo futuro realizar un estudio experimental para validar los resultados obtenidos en ese trabajo. Por último, la mezcla $\text{H}_2\text{O} + \text{LiBr} + \text{LiNO}_3$ resulta ser menos eficiente que la disolución $\text{H}_2\text{O} + \text{LiBr}$ debido a que tiene una capacidad de absorción menor, sin embargo, presenta una mejor solubilidad.

Agradecimientos y financiamiento: El primer autor agradece el apoyo de su Padre El Sr. Luis Torres Jimenez, Madre la Sra. Ana Rodriguez Rodriguez, Hermanos Figo Tristan y Jesus Antonio, a sus amigos Emilio Gallegos Castro, Leonardo Cano Mendez Y demás amistades y personajes que cambiaron la forma de pensar del primer autor así como al Dr. Ivan Alejandro Hernández Pérez.

Bibliografía

- Kadam, S. T., Gkouletsos, D., Hassan, I., Rahman, M. A., Kyriakides, A. S., Papadopoulos, A. I., & Seferlis, P. (2020). Investigation of binary, ternary and quaternary mixtures across solution heat exchanger used in absorption refrigeration and process modifications to improve cycle performance. *Energy*, 198, 117254. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117254>
- Li, Q., Zhao, S., Wang, D., Song, Q., Zhou, S., Wang, X., & Li, Y. (2023). Simulation study on solar single/double-effect switching LiBr–H₂O absorption refrigeration system. *Energies*, 16(7), 3220. <https://doi.org/10.3390/en16073220>
- McNeely, L. A. (1979). *Thermodynamic properties of aqueous solutions of lithium bromide*. <https://nvlpubs.nist.gov/>
- Pátek, J., & Klomfar, J. (2006). A computationally effective formulation of the thermodynamic properties of LiBr–H₂O solutions from 273 to 500 K over full composition range. *International Journal of Refrigeration*, 29(4), 566–578. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2005.10.007>
- Ren, J., Qian, Z., Yao, Z., Gan, N., & Zhang, Y. (2019). Thermodynamic evaluation of LiCl–H₂O and LiBr–H₂O absorption refrigeration systems based on a novel model and algorithm. *Energies*, 12(15), 3037. <https://doi.org/10.3390/en12153037>
- Rodríguez, J. L., de Jesús Ramírez-Minguela, J., Ituna-Yudonago, J. F., Pacheco-Cedeño, J. S., Zuno-Silva, J., & Borja-Soto, C. E. (2025). Evaluación energética y exérgica de un ciclo alternativo de refrigeración por absorción usando mezclas sustitutas al LiBr–H₂O. *Acta Universitaria*, 35. <https://doi.org/10.15174/au.2025.4344>
- Rodríguez-Muñoz, J. L., Pacheco-Cedeño, J. S., Ituna-Yudonago, J. F., Ramírez-Minguela, J. J., & González-Hernández, I. J. (2024). First and second law analysis of a LiBr–water absorption cycle with recovering condensation heat for generation. *Frontiers in Heat and Mass Transfer*, 22(6), 1719–1741. <https://doi.org/10.5098/hmt.22.6.1719>
- Wang, J., Shang, S., Li, X., Wang, B., Wu, W., & Shi, W. (2017). Dynamic performance analysis for an absorption chiller under different working conditions. *Applied Sciences*, 7(8), 797. <https://doi.org/10.3390/app7080797>
- Wang, L., He, L., & He, Y. (2024). Review on absorption refrigeration technology and its potential in energy-saving and carbon emission reduction in natural gas and hydrogen liquefaction. *Energies*, 17(14), 3427. <https://doi.org/10.3390/en17143427>