

## **Estado del arte del proyecto: “Evaluación del potencial de la refrigeración por absorción en el sector industrial de Barranquilla”**

**Autores: JORGE SILVA ORTEGA - ALEXIS SAGASTUME GUTIERREZ - ANDRES RODRIGUEZ TOSCANO  
- CARLOS AMARIS CASTILLA - DIEGO ARIAS TORRES.**

### **Resumen:**

La investigación doctoral pretende identificar el potencial de la refrigeración por absorción en el sector industrial de Barranquilla, considerando diferentes fuentes como energía solar y gas. Esto implica desarrollar una metodología que permita evaluar técnicoeconómicamente la refrigeración por absorción e identificar el escenario más adecuado para minimizar los costos y reducir los gases de efecto invernadero generados por las industrias. Con ello, se busca facilitar la implementación de la refrigeración por absorción y establecer el mejor escenario para su explotación en el sector industrial de Barranquilla.

### **Marco teórico:**

Energía solar y Recuperación de calor El potencial de recuperación de energía solar a nivel global es alto (Ehsanul et al., 2018). La cantidad promedio de energía solar recibida en la atmósfera de la Tierra es aproximadamente  $342 \text{ W/m}^2$ . De este, se estima que aproximadamente el 30% se dispersa y/o se refleja hacia el espacio, dejando así una gran cantidad de energía solar en la Tierra (Ehsanul et al., 2018). Por ello, se han empleado tecnologías en conjunto para la recuperación de la energía solar con el fin, de suplir parcial o completamente la demanda de frío en diferentes lugares del mundo (Assilzadeh et al., 2005; Ketfi et al., 2017; Salgado, 2008). Una de estas configuraciones radica en el uso de colectores solares con sistemas de refrigeración por absorción (Assilzadeh et al., 2005; Ketfi et al., 2017; Salgado, 2008). Los colectores solares de mayor uso se pueden clasificar en: colector de placa plana, colector de tubo de vacío y parabólico (Colector de cilindro parabólico, Colector lineal de Fresnel, Plato parabólico y Receptor central) (Tyagi, et al., 2012). Por lo general, el colector de placa plana opera a temperaturas bajas menores que  $100^\circ\text{C}$ . Los colectores solares de tubo de vacío combina los beneficios de un revestimiento absorbente de alta calidad y elemento de vacío para obtener una mayor eficiencia. El colector solar cilindro parabólico, puede suministrar temperaturas de hasta  $250^\circ\text{C}$  (Tyagi, et al., 2012). Los demás colectores pueden alcanzar temperaturas superiores; sin embargo, su limitación radica en la alta inversión para su adquisición. La tabla 2, muestra los tipos de colectores que logran activar los diferentes sistemas de refrigeración por absorción. En ella, el colector con mayor aplicación a los diferentes sistemas de refrigeración por absorción son los colectores parabólicos. Tabla 2. Sistema de refrigeración por absorción y colectores solares térmicos que operan con ellos. Tipo de colector térmico solar / Sistemas de absorción Placa plana y tubo de vacío, cilindro parabólico / Simple efecto (LiBr/  $\text{H}_2\text{O}$ ) Placa plana, tubo de vacío, cilindro parabólico / Simple efecto ( $\text{H}_2\text{O}$  /  $\text{NH}_3$ ) Cilindro parabólico / Doble efecto (LiBr/  $\text{H}_2\text{O}$ ) Torre o receptor central y disco parabólico / Triple efecto (Agua caliente o vapor de agua y llama indirecta) cilindro parabólico, Fresnel / Triple efecto (llama directa) Placa plana y tubo de vacío / Medio efecto cilindro parabólico, Fresnel / GAX, (llama directa) Las investigaciones en refrigeración y/o climatización solar térmica con sistemas de

refrigeración por absorción, han tenido un crecimiento importante a nivel global desde el siglo XX (Ketfi et al., 2017; SCOPUS, 2018; Sustaining Australia, 2010; International Institute of Refrigeration, 2015). En Colombia, el potencial de energía solar no se encuentra distribuido en todo el país (Ehsanul et al., 2018; UPME, 2015). En particular, La Costa Atlántica tiene el segundo nivel de irradiación solar promedio más alto del país (con  $5 \text{ kWh/m}^2$ ) (UPME, 2015) con una alta demanda de refrigeración, especialmente en el sector industrial de Barranquilla (UPME, 2006; Campos et al., 2006). En la literatura especializada no se reporta el potencial de recuperación de calor en el sector industrial de Barranquilla, pero se muestra el alto potencial de energía solar y el alto consumo de electricidad por refrigeración y acondicionamiento de aire de algunos gremios industriales en la ciudad de Barranquilla (Rodríguez et al., 2017; UPME, 2015; Campos et al., 2006). Mostrando un escenario que a priori impulsaría el uso de sistemas solares térmicos para la refrigeración por absorción en el sector industrial, sin embargo, se hace necesario su evaluación debido a las restricciones técnicas propias del sector industrial y de las tecnologías mencionadas (Rodríguez et al., 2017; UPME, 2015; Campos et al., 2006). Para activar los sistemas de refrigeración por absorción se necesitan fuentes de calor residual, energía solar y/o gas. Las fuentes de calor residual en el sector industrial se clasifican en función de la temperatura como (US Department Energy, 2018; Vargas, 2009): Alta Temperatura: Fuentes de calor entre  $649^\circ\text{C}$  y  $1300^\circ\text{C}$ . Generalmente, se encuentran en la combustión de hidrocarburos. Media Temperatura: Fuentes de calor entre  $232^\circ\text{C}$  y  $649^\circ\text{C}$ . Baja Temperatura: Fuentes de calor entre  $60^\circ\text{C}$  y  $232^\circ\text{C}$ .

**Ciclo de refrigeración por absorción** Los sistemas de refrigeración por absorción operacionalmente son similares a los sistemas de refrigeración por compresión. Su diferencia radica en que el compresor del sistema de refrigeración por compresión es reemplazado por un sistema de absorción. En un sistema de refrigeración por absorción, en el absorbedor, el vapor de refrigerante que sale del evaporador es absorbido por una mezcla compuesta de un refrigerante y un absorbente (solución pobre en refrigerante) produciendo una reacción exotérmica. Para mantener la absorción, el calor liberado del fluido de trabajo debe salir del sistema. La solución rica en refrigerante que sale del absorbedor es impulsada hacia el desorbedor gracias a una bomba; en el desorbedor o generador, el refrigerante es separado de la mezcla mediante la aplicación de calor (calor residual o solar) que aumenta su temperatura para seguir al condensador y continuar con el ciclo de refrigeración habitual. Para evaluar el desempeño termodinámico de un sistema de refrigeración por absorción usualmente, se usa el coeficiente de operación (COP). Este se define como la relación entre la relación del rendimiento de refrigeración o la transferencia de calor en el evaporador sobre la cantidad de entrada de calor, más el consumo de la bomba. Los sistemas de refrigeración por absorción se clasifican como: Según el método de activación: de llama directa (la fuente de calor puede ser un gas o un combustible que se quema directamente en el generador) y llama indirecta (usan un intercambiador de calor para transferir el calor de una fuente de calor residual, colectores solares, etc.) (Vargas, 2009; Pongsid et al., 2001; Castilla, 2013). Según el método de disipación de calor: Enfriado o refrigerado por aire (usan corrientes inducidas de aire, utilizando agua en un condensador para enfriar el aire indirectamente) y refrigerado por agua (el calor generalmente se disipa mediante una torre de enfriamiento húmedo, esta tecnología puede crear un ambiente propicio para el crecimiento de la legionella) (Vargas, 2009; Pongsid, et al., 2001; Castilla, 2013). Según el número de efectos: Medio efecto, simple efecto, doble efecto, triple efecto y GAX (Vargas, 2009; Pongsid, et al., 2001; Castilla, 2013). El termino de efecto se refiere a el número de generadores en el sistema de absorción. La figura 1, muestra el sistema de

refrigeración por absorción de simple efecto. Este, se encuentra compuesto por un evaporador, un condensador, un absorbedor, dos válvulas de expansión, un intercambiador de calor y un generador. El COP de estas máquinas varía según el fluido de trabajo; sin embargo, su valor en condiciones nominales se encuentra entre el 0,5 y el 0,7 (Keith, et. al., 2016). Los sistemas de refrigeración por absorción de simple efecto son más sencillos y económicos que los de doble efecto y por lo general, pueden ser activados con temperaturas inferiores a 90 °C (Román, 2006; Vargas, 2009; Abduljalil, et. al., 2012). Los Sistemas de doble efecto tienen los mismos componentes que el sistema de simple efecto; sin embargo, este posee dos generadores de alta temperatura, trabajando a una temperatura menor y a una presión intermedia respectivamente, para aumentar su eficiencia térmica (Vargas, 2009; Román, 2006). El valor del COP en condiciones nominales oscila entre el 0,8 y el 1,2 (Pongsid, et al., 2001) y en algunos casos hasta 1,3. El Sistema de triple efecto posee tres generadores y están diseñados para trabajar a temperaturas mayores que las presentadas en los sistemas de doble efecto. Estos son más costosos y eficientes (COP se encuentra entre 1,4 y 1,7) (Keith et al., 2016; Castilla, 2013); sin embargo, en el mercado su demanda es baja, debido a los costos de mantenimientos y adquisición. El sistema GAX O DAHX significa intercambiador de calor generador/absorbedor (Amaris Castilla, 2013), con este sistema es posible lograr un mayor rendimiento que el sistema de absorción de simple efecto; sin embargo, su comercialización es casi nula (Cerezo Román, 2006; Sriksirin, 2001). El absorbedor y el generador se encuentra dividido en dos secciones, en una sección del absorbedor el calor liberado por la absorción el proceso tiene una temperatura baja, y en la otra sección el calor liberado tiene una temperatura más alta (Abduljalilet al., 2012). Por otro lado, el sistema de efecto medio tiene como componentes principales un absorbedor de baja presión, un generador de baja presión, un absorbedor de alta presión y un generador de alta presión, todo el sistema funciona entre tres niveles de presión. La energía térmica para conducir el ciclo se suministra en paralelo a los dos generadores a la misma temperatura. Esta configuración se propuso para hacer uso de fuentes de calor de temperatura menores a las usadas para activar el sistema de efecto único o simple efecto con H<sub>2</sub>O/LiBr. Este, obtiene un COP entre el 0,2 - 0,3 (Castilla, 2013; Abduljalil , et. al., 2012; Pongsid, et. al., 2001). Según el fluido de trabajo: Los sistemas de refrigeración por absorción se pueden clasificar según el fluido de trabajo usado. Comercialmente, los más usados son LiBr/H<sub>2</sub>O y H<sub>2</sub>O/NH<sub>3</sub> (Keith et al., 2016; Zúñiga, 2017; Pongsid et.al., 2001). Los sistemas con fluido de trabajo LiBr/H<sub>2</sub>O poseen riesgo de congelamiento a bajas temperaturas de enfriamiento, lo cual limita la operación de algunos sistemas de refrigeración por absorción; sin embargo, para estos casos se puede usar como fluido de trabajo H<sub>2</sub>O/NH<sub>3</sub> (Keith et al., 2016). La tabla 3, muestra los distintos sistemas de absorción, considerando la temperatura de la fuente, la potencia de refrigeración, fluido de trabajo, el COP y su desarrollo comercial. Tabla 3. Sistema de refrigeración por absorción, marcas y características técnicas.

Sistema de absorción	Temperatura de la fuente (°C)	Potencia de refrigeración (kW)	Fluido de trabajo	COP	Comercial
Simple efecto	75-135	11,9-351,7	LiBr H <sub>2</sub> O	0,5-0,7	Si
Simple efecto	80-135	10,5-87,9	H <sub>2</sub> O-NH <sub>3</sub>	0,5	Si
Doble efecto, llama indirecta	120-170	400-5500	LiBr-H <sub>2</sub> O	0,8-1,3	Si
GAX, llama directa	180-200	17,6	Aire	0,9	No
Triple efecto, llama directa	200-300	527,5-1399,7	LiBr-H <sub>2</sub> O	1,4-1,7	Si
Triple efecto, vapor de agua y llama indirecta	400-500	527,5- 1399,7	LiBr-H <sub>2</sub> O	1,4-1,5	Si
Medio efecto	Baja	N/A	H <sub>2</sub> O-NH <sub>3</sub>	0,2-0,3	No

Existen más configuraciones de sistemas de refrigeración por absorción como los sistemas combinados de refrigeración por absorción-compresión con COP superiores a 4,5, con eyectores, GAX, dual, membranas osmóticas,

termosifones y otros que aplican el concepto de difusión eliminando, la bomba para el flujo del fluido de trabajo (Zúñiga, 2017; Pongsid et.al., 2001; Rekiyat, 2011); sin embargo, no se profundiza en el estudio porque son muy costosos, complejos y muchos de ellos no son comerciales debido a la relación de desempeño térmico y costo. En general, los sistemas de refrigeración continúan en desarrollo fundamentalmente por los bajos valores de COP de dicha tecnología y su alto potencial para reducir el consumo de electricidad (De la Peña, Y., et al, 2018)(Keith et al, 2016; Ehsanul et al., 2018; Bellos y Tzivanidis, 2017; Fong et al., 2012).

#### **Estado del arte:**

En la literatura especializada, se discuten diferentes investigaciones enfocadas en evaluar los sistemas de refrigeración por absorción en varias condiciones de explotación con diferentes configuraciones y fuentes de calor (Assilzadeh et al., 2005; Ketfi et al., 2017; Salgado, 2008; Ketfi, et al., 2017). Varias de ellas, evalúan el desempeño de los sistemas de refrigeración, con simulaciones termodinámicas usando softwares especializados (Trnsys, Matlab y Engineering Equation Solver), modelos termodinámicos, transferencia de calor y herramientas financieras (Bujedo et al., 2011; Argiriou et al., 2005; Venegas et. al, 2011; Zhai y Wang, 2010). Una de estas investigaciones, estima el desempeño de los sistemas de refrigeración de simple y doble efecto para suministrar agua a 7 °C en cinco zonas climáticas de Argelia (Ketfi, et al., 2017). En ella, solamente fue factible cubrir la carga completa de refrigeración de solo dos de las cinco zonas climáticas del país, debido a las condiciones ambientales. También, se ha evaluado el potencial de los sistemas de absorción en diferentes edificios (hoteles, oficinas y residencias) de varias ciudades en Portugal, Italia, España, Grecia, Egipto, Irán, Turquía, Estados Unidos y Alemania alcanzando, buenos resultados económicos y técnicos (Tiago y Oliveira, 2009; Bellos y Tzivanidis, 2017). Otra investigación en Hong Kong, desarrolló una comparación del desempeño de diferentes tecnologías de refrigeración-solar en una zona tropical. A través de este estudio comparativo, se encontró que la refrigeración por compresión eléctrica-solar y la refrigeración por absorción-solar alcanzaron el mayor potencial para su implementación que las demás tecnologías de refrigeración (Fong et al., 2012). Por otro lado, una investigación en el sector industrial de Singapur, evaluó el potencial de refrigeración por absorción para el año 2050; considerando diferentes escenarios energéticos (Dominković et al., 2015). En ella, se muestra una disminución de la demanda de energía primaria de un 19,5%, una disminución del 38,4% de los costos socioeconómicos y una disminución del 41,5% de las emisiones de CO<sub>2</sub> en comparación con el escenario habitual pronosticado para en el año 2050 en el país. Sin embargo, dicha investigación, resalta la necesidad de una alta inversión en los sistemas de refrigeración por absorción para alcanzar dichos resultados (Dominković et al., 2015). En Colombia, la implementación y evaluación de tecnologías renovables no convencionales como la refrigeración por absorción ha sido lenta (Rosso y Kafarov, 2015; Congreso de Colombia, 2018). Se han identificado varias instalaciones de sistemas de refrigeración por absorción, sin embargo, la evaluación del potencial de la misma ha sido poca (UPME, 2015). En particular, una empresa ubicada en Barranquilla manifestó un trámite para el cambio de un chiller por compresión por un chiller de absorción (TECNOGLASS S.A, 2016). En ella, se muestra que dicha tecnología disminuye el consumo de electricidad de 4.130 MWh/año a

51.000 kWh/año y de la emisión de CO<sub>2</sub> de 2.144 toneladas por año, pero el costo de adquisición fue de \$1.035.000.000 COP. En general, las metodologías evaluadas en diferentes zonas climáticas del mundo son empleadas para identificar los potenciales de la refrigeración por absorción impulsando su introducción (Tiago y Oliveira, 2009; Dominković et al., 2015; Vaibhav et al., 2015); Sin embargo, se destaca que, para cada zona, su factibilidad técnica y económica puede variar significativamente incluso, impidiendo su implementación y/o correcto funcionamiento (Ketfi, et al., 2017). A pesar, de las investigaciones desarrolladas, no existen evaluaciones en la literatura especializada, que muestren el potencial de los sistemas de refrigeración por absorción, ni metodologías que permitan evaluar el potencial de dicha tecnología en las condiciones específicas de Barranquilla minimizando los costos y los impactos ambientales asociados a su implementación. Esto impide conocer los beneficios económicos y ambientales producto de la implementación de la tecnología en la región, el desarrollo de la tecnología en el mercado nacional (Lira et al., 2013) y establecer qué tipo de sistema de refrigeración por absorción es el más adecuado para el sector industrial. Evaluación del potencial de la refrigeración por absorción en el sector industrial y sectores relacionados Existen diferentes formas para evaluar el desempeño de los sistemas de refrigeración por absorción y entre ellos existen métodos que permiten con diferente precisión establecer de manera simple y útil su factibilidad técnico-económica (Keith et al., 2016; Omer et al., 2007; Hagos, 2010); sin embargo, muchas de esas metodologías no consideran las fuentes de disponibles de energía, ni establecen que tipo de sistema de refrigeración por absorción es el mas adecuado para el sector evaluado. La tabla 4 muestra que TRNSYS, Engineering Equation Solver y Matlab son las herramientas más usadas para modelar los sistemas de refrigeración por absorción en el sector industrial. Para el cálculo del desempeño de los sistemas de refrigeración por absorción se empleó el COP como parámetro principal (Akhtar et al., 2015; Lu et al., 2017; Ammar y Seddiek, 2018). Otras investigaciones emplean un modelo poco complejo que permiten predecir el COP en función de las temperaturas del condensador y el evaporador del sistema de absorción (Keith, et.al., 2016; Salgado et al., 2016). Este presenta una precisión entre 0,004 y 0,14 de error para predecir el COP de los sistemas de refrigeración por absorción. Tabla 4. Estudios de sistemas de refrigeración por absorción en el sector industrial y relacionados. Investigación / Metodología / Herramienta/ Comentarios/ Referencia

Investigación	Metodología	Herramienta	Comentarios	Referencia
Feasibility and Basic Design of Solar Integrated Absorption	Para el cálculo de la irradiación difusa se usó unas correlaciones experimentales de Ahmed y para el ciclo de absorción se usaron datos de la ficha técnica. La evaluación económica se usó el periodo de recuperación de la inversión (PBP)	-	• El período de recuperación de la inversión de 4,1 años; • El sistema de refrigeración es de simple efecto y su fluido de trabajo es H <sub>2</sub> O /NH <sub>3</sub> ; • El sector de aplicación es el industrial.	(Akhtar et al., 2015)
A techno-economic case study using heat drive absorption refrigeration technology UK industry	La fuente de calor fue agua caliente a 200°C. Se usó un modelo termodinámico y para la evaluación económica el periodo de recuperación (PBP)	Engineering Equation Solver	• El período de recuperación de 2,5 años; El ahorro en costos alcanza £ 21000. Este depende en gran medida de la temperatura del generador ; El sistema de refrigeración es de simple efecto y el fluido de trabajo es LiBr/H <sub>2</sub> O; El sector de aplicación es el industrial.	(Lu et al., 2017)
Thermodynamic, environmental and economic analysis of absorption air conditioning unit for emissions reduction onboard passenger ships	Usan modelos termodinámicos, económicos y ambientales utilizando ecuaciones de métodos de control ambiental considerando el costo-beneficio del sistema	-	-	-

Engineering Equation Solver /•Reduce el 23% del consumo anual de combustible en los generadores diesel y reduce las emisiones de GEI en un 6,3%; • El sistema de refrigeración es de simple efecto y el fluido de trabajo es LiBr/H<sub>2</sub>O.; • Se usan dos fuentes de calor residual.; • El sector de aplicación es el Transporte.; • No evalúa todo el sector./ (Ammar y Seddiek, 2018) Energetic and financial analysis of solar cooling systems with single effect absorption chiller in various climates /Se evaluó la eficiencia del colector. Para la evaluación económica se usó el indicador de nivelación del costo de refrigeración (LCOC)./TRNSYS /•Phoenix y Abu Dhabi son las ciudades con más bajo LCOC con 0,0590 Euros/kWh and 0,0575 Euros/kWh respectivamente.; • La fuente de calor es la irradiación solar.;• El sistema de refrigeración es de simple efecto y el fluido de trabajo es LiBr/H<sub>2</sub>O.; • Su aplicación se realizó en edificios de distintos países./ (Bellos y Tzivanidis, 2017) Synthesis of integrated absorption refrigeration systems involving economic and environmental objectives and quantifying social benefits /Se establece una metodología que permite evaluar aspectos ambientales económicos y sociales que conlleva la refrigeración por absorción Sistema de modelamiento algebraico general (GAMS) / • Se estiman beneficios económicos, ambientales y sociales (números de empleos generados); • Se desarrollo un modelo de optimización para la reducción de costos; No evalúa todo el sector. / (Lira et al.,2013) Optimized solar cooling facility configurations for the mediterranean warm climate / Se uso modelos termodinámicos y de transferencia de calor para evaluar colectores solares y el sistema de absorción / TRNSYS /• Se satisface la demanda instantánea de enfriamiento al 100% durante el tiempo de operación minimizando la energía producida en exceso sin esquemas de control complejos; • se realizó en una zona residencial.;• Tesis de doctorado /(Salgado et al., 2008) Optimization of environmentally friendly solar assisted absorption cooling systems/ Se establecen diferentes modelos multi-objetivos que permiten evaluar el sistema de absorción. Para la evaluación económica se uso el costo total anualizado/ Engineering Equation Solver/ • Los modelos desarrollados evalúan los aspectos ambientales y técnicos y económicos de manera individual no es integrado.; • No evalúa el potencial de todo un sector.; • Tesis de doctorado /(Hagos, 2010) Simulation and optimization of a LiBr solar absorption cooling system with evacuated tube collectors/ Se emplea una metodología enfocada a la eficiencia del colector térmico-solar./TRNSYS/• No se evalúa el desempeño del sistema de absorción;• El COP del sistema de refrigeración es constante/ (Assilzadeh et al., 2005) Energy and economic analysis of an integrated solar absorption cooling and heating system in different building types and climates /Simula los colectores solares para sistemas de refrigeración por absorción de simple y doble efecto en TRNSYS /TRNSYS /Se evalúa en diferentes tipos de edificaciones (hoteles, oficinas y residencias); El coeficiente de desempeño del sistema de refrigeración es insertado en el software.; La casa unifamiliar y el hotel son los casos donde sistema integrado es más viable.(Nuñez, M. et al, 2018)/(Tiago y Oliveira,2009) Comparative study of different solar cooling systems for buildings in subtropical city / Se comparan diferentes tecnologías de refrigeración integrados sistemas solares/ TRNSYS y TEES /•Refrigeración por compresión eléctrica solar y la refrigeración por absorción solar tiene el mayor potencial de ahorro de energía; •No se evalúa el factor económico y ambiental / (Fong et al, 2010) Comparación entre los ciclos de refrigeración por compresión de vapor y absorción mediante la primera y segunda ley de la termodinámica en aplicaciones de climatización y refrigeración / Se uso un modelo termodinámico para comparar el desempeño (energético y energético) de un sistema de refrigeración por compresión y un sistema de refrigeración por absorción Engineering Equation Solver/ • Se destaca que el análisis económico determina el criterio mas optimo para seleccionar la

tecnología.; • El estudio no estima el potencial energético que brinda la refrigeración por absorción y no establece un parámetro de selección; • Solo muestra como se comporta el COP de ambas tecnologías sin ninguna restricción de la fuente de activación. / (Mardones et al., 2016) Feasibility study and performance evaluation of low capacity water–LiBr absorption cooling systems functioning in different Algerian climate zones/ Se uso un modelo termodinámico para evaluar cada componente del sistema de refrigeración por absorción en varias zonas climáticas./ Matlab/ • Se evaluaron en diferentes zonas climáticas de Algeria. • Solo tres de las cinco zonas climáticas fue factible cumplir con la demanda de frio total./ (Kefti et al.,2017) Potential of district cooling in hot and humid climates / Se desarrollo un modelo que permite evaluar algunas fuentes de energía para un sistema de absorción en diferentes escenarios./ Matlab/ • El modelo no identifica que sistema de refrigeración por absorción es el más adecuado.; • El COP del sistema es constante.; • Con el mejor escenario se reduce un 19,5% del consumo de energía primaria. /(Dominković et al., 2017) Integration of absorption refrigeration systems into Rankine power cycles to reduce water consumption: A thermodynamic analysis / Se Desarrollaron modelos termodinámicos y de transferencia de calor para el ciclo Ranking. Para el sistema de absorción se usó Zero-order model. / Matlab / • Los sistemas usados son de simple efecto y de doble efecto.; • El sistema de doble efecto disminuyo más el trabajo y la eficiencia de la turbina en comparación con el de simple efecto./ (Salgado et al., 2016) Por otro lado, los resultados de estas investigaciones indican que los sistemas de refrigeración por absorción otorgan grandes beneficios económicos y ambientales en las ciudades con alto potencial de energía solar (Bellos y Tzivanidis, 2017; Lu et al., 2017; Akhtar et al., 2015; Lira et al.,2013). Para las evaluaciones de los costos se destaca el manejo del periodo de recuperación de la inversión (PBP) y el indicador de nivelación del costo de refrigeración (LCOC) (Lu et al., 2017; Akhtar et al., 2015; Bellos y Tzivanidis, 2017). En ellas, se muestra que el máximo periodo de recuperación de inversión fue de 4,1 años (Akhtar et al., 2015) y LCOC más bajo fue de 0,0590 Euros/kWh (Bellos y Tzivanidis, 2017). Finalmente, la literatura especializada no muestra ningún reporte del potencial de la refrigeración por absorción en el sector industrial de Barranquilla. Si bien, se han realizado algunas implementaciones en este (TECNOGLASS S.A, 2016), no se han identificado los beneficios de esta tecnología en todo el sector, ni la disponibilidad de las fuentes de energía para activar dichos sistemas en la ciudad, región y en el país. Por otro lado, las metodologías usadas para la evaluación del potencial de refrigeración por absorción no identifican el escenario energético con el tipo de sistema de refrigeración por absorción más adecuado para el sector en estudio. Esto impide el desarrollo de esta tecnología en el sector y en el mercado Nacional.

## **Bibliografía:**

Argiriou, Balaras, Kontoyiannidis y Michel. (2005). Numerical simulation and performance assessment of a low capacity solar assisted absorption heat pump. *Solar Energy*, 79, 290–301.

Abduljalil, Sohif, Sopian, Sulaiman, Lim y Abdulrahman. (2012). Review of thermal energy storage for air conditioning systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 5802–5819.

Assilzadeh F., Kalogirou S., Ali y Sopian K. . (2005). Simulation and optimization of a LiBr solar absorption cooling system with evacuated tube collectors. *Renewable energy*, 30, 1143–1159.

Castilla C.(2013). Intensification of NH<sub>3</sub> Bubble Absorption Process using Advanced Surfaces and Carbon Nanotubes for NH<sub>3</sub>/LiNO<sub>3</sub> Absorption Chillers. España.

Campos J., Correa Z., Riaño F., Charris L., Prias O. y Lora E. (2006). Caracterización energética en un agrupamiento industrial de la ciudad de Barranquilla.

Cerezo R. (2006). Estudio del proceso de absorción con amoníaco-agua en intercambiadores de placas para equipos de refrigeración por absorción. Tesis de doctorado. Universitat Rovira I Virgili. España.

Bellos E., Tzivanidis C.(2017). Energetic and financial analysis of solar cooling systems with single effect absorption chiller in various climates. *Applied Thermal Engineering*.

De la Peña, Y., Bordeth, G., Campo, H., & Murillo, U. (2018). Energías limpias una oportunidad para salvar el Planeta. *IJMSOR: International Journal of Management Science & Operation Research*, 3(1), 21-25. Recuperado a partir de <http://ijmsoridi.com/index.php/ijmsor/article/view/91>

Dominkovica D., Bin K., Romagnoli A., Pedersen A., Leong K., Krajacic G., Duic N..(2017). Potential of district cooling in hot and humid climates. *Applied Energy*, Vol. 208, 49-61.

Ehsanul K., Pawan , K., Sandeep , K., Adedeji, A. y Ki-Hyun , K. (2018). Solar energy: Potential and future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*,



894-900.

Global Industry Analysts Inc. (2018). Absorption Refrigeration. Disponible en [\(www.strategyr.com\)](http://www.strategyr.com). (01-07-2018).

Gobierno de Colombia. (7 de 9 de 2015). Cancillería Gobierno de Colombia. disponible en: [www.cancilleria.gov.co/en/newsroom/news/colombia-presenta-su-contribucion-nacional-enfrentar-cambio-climatico](http://www.cancilleria.gov.co/en/newsroom/news/colombia-presenta-su-contribucion-nacional-enfrentar-cambio-climatico). (01-07-2018).

Hagos Gebreslassie, B. (2010). Optimization of environmentally friendly solar assisted absorption cooling systems. Tesis de doctorado. Universitat Rovira I Virgili. España.

IDEAM y PNUD. (2015). Inventario Nacional y Departamental de Gases Efecto Invernadero - Colombia. International Energy Agency. (2010). IEA. Disponible en: [www.iea.org/publications/freepublications/publication/etp2010.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/etp2010.pdf). (01-06-2018).

International Energy Agency. (2012). The Solar Heating and Cooling Programme. disponible en: [www.iea-shc.org](http://www.iea-shc.org) 2012. (3 de 07 de 2018).

International Institute of Refrigeration. (2015). iifiir.org. disponible en: [www.iifiir.org/userfiles/file/publications/notes/NoteTech\\_29\\_EN.pdf](http://www.iifiir.org/userfiles/file/publications/notes/NoteTech_29_EN.pdf). (3 de 07 de 2018).  
J.Deng, R.Z. Wang y G.Y. Han. (2011). A review of thermally activated cooling technologies for combined cooling,. Progress in Energy and Combustion Science, 37, 172-203.

Keith E. Herold, Lawrence A. Howe, y Reinhard Radermacher. (1990). Analysis of a hybrid compression-absorption cycle using lithium. Energy Concepts Co.

Keith, Reinhard y Sanford A. (2016). Absorption chiller and heat pumps. Taylor and Francis group.

Luis Lira B., José Ponce O., Medardo Serna G., Mahmoud M., El Halwagi. (2013). Synthesis of integrated absorption refrigeration systems involving economic and environmental objectives and quantifying social benefits. Applied Thermal Engineering, 52 ,402-419.

Mardones Barrientos, C. (2016). Comparación entre los ciclos de refrigeración por compresión de vapor y absorción mediante la primera y segunda ley de la termodinámica en aplicaciones de climatización y refrigeración. Chile.

Venegas M., Rodríguez M.C., R. Salgado, A. Lecuona, a, P. Rodríguez y G. Gutiérrez. (2011). Experimental diagnosis of the influence of operational variables on the. Applied Energy, 1447–1454.

Nader Ammar, Ibrahim Seddiek.(2018). Thermodynamic, environmental and economic analysis of absorption air conditioning unit for emissions reduction onboard passenger ships. Transportation Research Part D, 726-738.

Núñez, M., Correa, J., Herrera, G., Gómez, P., Morón, S., & Fonseca, N. (2018). Estudio de percepción sobre energía limpia y auto sostenible. IJMSOR: International Journal of Management Science & Operation Research, 3(1), 11-15. Recuperado a partir de <http://ijmsoridi.com/index.php/ijmsor/article/view/89>

Omar Ketfi, Mustapha Merzouk, Nachida Kasbadji Merzouk y

Mahmoud Bourouis. (2017). Feasibility study and performance evaluation of low capacity water–LiBr absorption cooling. International journal of refrigeration, 82, 36–50.

Omer Kaynakli y Muhsin Kilic. (2007). Theoretical study on the effect of operating conditions on performance of absorption refrigeration system. *Energy Conversion and Management*, 48, 599–607.

Pongsid Srihirin, Satha Aphornratana y Supachart Chungpaibulpatana. (2001). A review of absorption refrigeration. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 343–372.

R. Novella , V. Dolz, J. Martin, y L. Royo. (2016). Thermodynamic analysis of an absorption refrigeration system used to cool down the intake air in an internal combustion engine. *Applied Thermal Engineering*.

Rekiyat Bgril, S. (2011). Modeling and simulation of a solar powered adsoption refrigeration system. Nigeria. Tesis de doctorado. Ahmadu Bello University.Nigeria.

Rodríguez, J., Villegas, D., Vanegas, M., y Valencia, G. (2017).

“Experimental Study of a Parabolic Trough Collector for Low Enthalpy Processes in the City of Barranquilla”. ASME 2017 International Mechanical Engineering Congress and of Exposition. American Society of Mechanical Engineers.

Rosso Cerón, y Viatcheslav Kafarov. (2015). Barriers to social acceptance of renewable energy. *Chemical Engineering*, Vol.10, 103–110.

Sarbu, I. y Serbarchievici, C. (2015). General Review of Solar-Powered Closed Sorption Refrigeration Systems. Energy

Convers, 403-422.

Sustaining Australia. (2010). economic and technical potential for cogeneration in industry. Australia: Meat y Livestock Australia Limited.

TECNOGLASS S.A. (29 de 11 de 2016). Por la cual se certifica que es acreditable la inversión objeto de la solicitud de certificación de deducción en impuesto de renta por inversiones en control y mejoramiento del medio ambiente, presentada por la empresa TECNOGLASS SA. Obtenido de ANLA:

[http://anla.gov.co/sites/default/files/res\\_cert\\_1438\\_m\\_29112016\\_ct\\_6147\\_d.pdf](http://anla.gov.co/sites/default/files/res_cert_1438_m_29112016_ct_6147_d.pdf)

Tracey Colley. (2010). ampc. disponible en:

[www.ampc.com.au/uploads/cgblog/id151/ENV\\_2010 Economic & technical potential E NV.0102-final-report1.pdf](http://www.ampc.com.au/uploads/cgblog/id151/ENV_2010_Economic_&_technical_potential_NV.0102-final-report1.pdf). (01/06/2018).

U.S Energy Information Administration. (2016). [www.eia.gov](http://www.eia.gov). Obtenido de

<https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/industrial.pdf>

UPME. (2006). [www.upme.gov.co](http://www.upme.gov.co). disponible en:

[www.upme.gov.co/upme12/2007/upme13/caracterizacion\\_energetica\\_sectores.pdf](http://www.upme.gov.co/upme12/2007/upme13/caracterizacion_energetica_sectores.pdf). (01/06/2018).

UPME. (2015). Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia. Bogotá.

UPME. (2017). Plan de acción indicativo de eficiencia

energética 2017 - 2022. Disponible en:  
[www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/MarcoNormatividad/PAI\\_PROURE\\_2017-2022.pdf](http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/MarcoNormatividad/PAI_PROURE_2017-2022.pdf). (08-5-2018). US Department Energy. (03 de 07 de 2018).

Waste Heat Recovery: Technology and Opportunities in U.S. Industry. Disponible en:  
[www1.eere.energy.gov/manufacturing/intensiveprocesses/pdfs/waste\\_heat\\_recovery.pdf](http://www1.eere.energy.gov/manufacturing/intensiveprocesses/pdfs/waste_heat_recovery.pdf). (08-5-2018).

Salgado Mangual, R. (2008). Optimized solar cooling facility configurations for the mediterranean warm climate. Tesis de doctorado. Universidad

Carlos III de Madrid. España.

Tiago y Oliveira. (2009). Energy and economic analysis of an integrated solar absorption cooling and heating system in different building types and climates. *Applied Energy*, 949–957

Tyagi V. y Kaushika S. (2012). Advancement in solar photovoltaic/thermal (PV/T) hybrid collector technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1383-1398.

Vaibhav Jain, Gulshan Sachdeva, Surendra Singh Kachhwaha. (2015). Energy, exergy, economic and environmental (4E) analyses based comparative performance study and optimization of vapor compression-absorption integrated refrigeration system. *Energy*, 816-832

Vargas B. (2009). Integración Energética Mediante la Recuperación de Calor de Media y Baja Temperatura para Generar Refrigeración por Absorción. Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico y de Estudios

Superiores de Monterrey.Mexico.

Ventas Garzón, D. (2010). Estudio de máquinas de absorción con la disolución nitrato de litio-amoniaco. Ciclos híbridos potenciados con compresión mecánica. Tesis de doctorado. Universidad Carlos III de Madrid.

España. XM S.A., “Informe Operación Del SIN y Administración Del Mercado” [Online]. Disponible en: <http://informesanuales.xm.com.co/SitePages/Default.aspx>. (01-06-2018).

X.Q. Zhai y R.Z. Wang. (2010). Experimental investigation and performance analysis on a solar adsorption. Applied Energy, 824–835.

Zúñiga Puebla, H. (2017). Modelación termodinámica y optimización energética de un ciclo de refrigeración por absorción difusión. Tesis de maestría. México.