



# Determinación de la adsorción y desorción de pares zeolita-metanol en un ciclo de enfriamiento

## Determination of the adsorption and desorption of zeolite-methanol pairs in a cooling cycle

Celso Bayardo Bohorquez-Escobar<sup>I</sup>, Reinaldo Javier Guillén-Gordín<sup>II</sup>, Josué Imbert-González<sup>II, \*</sup>, Julio Cesar Hernández-Rodríguez<sup>II</sup>

I. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo. Santiago de Guayaquil. Ecuador

II. Universidad de Oriente, Centro de Estudios de Energía y Refrigeración. Facultad de Ingeniería Mecánica. Santiago de Cuba, Cuba

\*Autor de correspondencia: [imbert@uo.edu.cu](mailto:imbert@uo.edu.cu)

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



Recibido: 28 de mayo de 2020

Aceptado: 24 de julio de 2020

### Resumen

En este trabajo se determinaron las concentraciones y cantidades de metanol que adsorbieron y desorbieron la zeolita natural y la zeolita modificada con baño ácido, ambas del yacimiento de Palmarito de Cauto en Santiago de Cuba, Cuba. Este proceso permitió determinar la de mejor comportamiento para un sistema de refrigeración por adsorción. La medición de los valores de presión, temperatura y peso, necesarios se realizaron en una instalación experimental. Para trazar el diagrama de Clapeyron representa el ciclo de refrigeración por adsorción se trabajó con temperatura de evaporación de -2 °C y

temperatura de la fuente caliente de 90 °C. Los resultados obtenidos con la zeolita modificada indicaron que permitía disponer de 8,3 g de metanol por cada kg de adsorbente. La comparación de la capacidad adsorptiva de metanol de las zeolitas investigadas con otros tipos de zeolitas internacionalmente comercializadas mostró que los valores de potencia de enfriamiento específica por unidad de masa de adsorbente, estará por debajo de lo esperado.

**Palabras claves:** refrigeración por adsorción; par zeolita/metanol; evaluación

### Abstract

In this work, the concentrations and quantities of methanol that adsorbed and desorbed natural zeolite and acid-bath modified zeolite, both from the Palmarito de Cauto deposit in Santiago de Cuba, were determined. This process allowed the determination of the best performance for an adsorption cooling system. The necessary pressure, temperature and weight values were measured in an experimental facility. To draw the Clapeyron diagram representing the adsorption refrigeration cycle, we worked with an evaporation temperature of -2 °C and a hot source temperature of 90 °C. The results obtained with the modified zeolite indicated that it

allowed to have 8,3 g of methanol for each kg of adsorbent. Comparison of the methanol adsorptive capacity of the investigated zeolites with other types of internationally marketed zeolites showed that the specific cooling power values per unit mass of adsorbent will be lower than expected.

**Key words:** adsorption cooling; zeolite-methanol pair; evaluation.

### Cómo citar este artículo:

Bohorquez Escobar CB, Guillén Gordín RJ, Imbert González J. Determinación de la adsorción y desorción de pares zeolita-metanol en un ciclo de enfriamiento. 2020;23(3):e610. ISSN 1815-5944.

## Introducción

Los equipos de refrigeración por adsorción fueron los primeros que se utilizaron para producir efecto de enfriamiento artificialmente. Sin embargo el desarrollo y generalización de las redes de distribución de energía eléctrica, la producción de los refrigerantes halogenados en las primeras décadas del siglo XX, conllevaron a que los sistemas de refrigeración por compresión mecánica se generalizaran rápidamente a nivel mundial hasta nuestros días [1].

Los sistemas de refrigeración por adsorción (*adsorption refrigeration systems*, ARS) en la actualidad adquieren una importancia singular por su posibilidad de utilizar la termoconversión de la energía solar y pares refrigerantes-adsorbentes amigables con el ambiente. En comparación con los sistemas de refrigeración mecánica, los sistemas de refrigeración por sorción tienen la posibilidad de contribuir con el ahorro de energía. Su principio

simple de operación, con pocas piezas móviles, exigen bajos costos de mantenimiento, sin afectación de la capacidad de intercambio térmico del evaporador y el condensador con bajo nivel de ruidos [3].

A pesar de las anteriores ventajas, los ARS presentan bajo coeficiente de desempeño (*coefficients of performance*, COP) y una baja potencia de enfriamiento específica por unidad de volumen o por unidad de masa de adsorbente (*specific cooling power*, SCP). El rango operativo y el rendimiento de los ARS se afectan considerablemente por los pares de trabajo refrigerante-adsorbente empleados. Por lo tanto, el estudio, desarrollo y selección óptima de pares adsorbente-refrigerante, particularmente los adsorbentes compuestos, pueden conducir a mejorar el rendimiento y la confiabilidad de los ARS [4].

En Cuba, varias instituciones trabajan en la obtención de materiales adsorbentes para aplicación en diferentes propósitos. En particular el Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica (CIPIM) ha obtenido diferentes tipos de carbones activados y zeolitas y es de interés investigar el comportamiento de estos materiales para aplicaciones en sistemas de enfriamiento por adsorción. La alianza estratégica con el Centro de estudio de Refrigeración de la Facultad de ingeniería Mecánica de la Universidad de Oriente permite enfocar los esfuerzos científicos en evaluar la adsorción y desorción de la zeolita natural del yacimiento de Palmarito de Cauto en Santiago de Cuba. La comparación de los resultados con los obtenidos para la zeolita del mismo yacimiento pero modificada con baño ácido permitirá definir cual tiene mejor comportamiento en un ARC utilizando metanol como refrigerante.

El diseño correcto de sistemas de enfriamiento por adsorción, con una buena selección del par refrigerante/adsorbente posibilita obtener mayores SCP, incrementando de este modo la cantidad de refrigerante disponible para lograr mayor capacidad frigorífica. En ocasiones el desconocimiento de la cantidad de refrigerante o adsorbato que adsorbe y desorbe el adsorbente plantea un problema que conlleva a diseños ineficientes de la instalación lográndose valores muy bajos del SCP [5].

Para resolver este problema es necesario disponer de los coeficientes de afinidad y ajuste de la ecuación de Dubinin-Astakhov. En la revisión bibliográfica realizada se destaca la publicación de Askalany et al [6], que resume una amplia revisión de artículos sobre las propiedades de adsorción de 12 pares adsorbente-refrigerante investigados, para temperaturas de evaporación entre 0 °C y 10 °C, y temperatura de la fuente caliente entre 250 °C y 350 °C. Sin embargo los materiales disponibles en Cuba del yacimiento de Palmarito de Cauto, en particular la zeolita natural y la zeolita modificada con baño ácido, no han sido caracterizados para estos propósitos.

Se hace necesario determinar por vía experimental la cantidad de refrigerante en los procesos de adsorción y desorción por parte el adsorbente para las condiciones de diseño. Lo anterior plantea la necesidad y actualidad de la presente investigación.

Para seleccionar el método experimental fue valorado el presentado por Sartarelli et al [7], el cual determina las propiedades de adsorción de pares para ARS en 4 tipos de carbones activados con metanol como adsorbente y considera el vapor de metanol como un gas ideal para determinar la masa retenida en la cámara experimental. Sin embargo, este método no evalúa ningún tipo de zeolita.

Por otro lado Mortza y Schiffres [8] plantean una expresión para determinar la adsorción en función de las condiciones de operación y aplican una metodología de cálculo de la eficiencia a un material hipotético, para evaluar el COP del par zeolita 13X-agua resultando de 0,52 para una temperatura de 10 °C en el evaporador y 30 °C de temperatura ambiente. Sah et al.[9], estudian las prestaciones de un ARS, donde fueron comparados tres pares de adsorción: Zeolita 4A-agua, Zeolita 13X-agua, Carbón activado AC35-metanol. Del estudio concluye que el par zeolita-agua es el par de adsorción más adecuado para el sistema y se puede utilizar para aplicaciones domésticas.

El método experimental desarrollado en este trabajo fue presentado por Bohorquez-Guillén [10], para lograr mantener la presión constante durante la desorción a través de la regulación de la incorporación de aire al sistema y el funcionamiento de la bomba de vacío. Con este método se determinó la capacidad adsorptiva y desorptiva del par Carbón activado XAC1-R410A [11] para emplearlo en un ARS.

Los resultados obtenidos permitirán ampliar las posibilidades de las tecnologías de enfriamiento por adsorción, las cuales aún no existen en el mercado de forma comercial. Mejorar los indicadores de desempeño de estos sistemas de enfriamiento permite disminuir los costos asociados [9], y mejorar las posibilidades tecnológicas hacia el futuro de la refrigeración mundial.

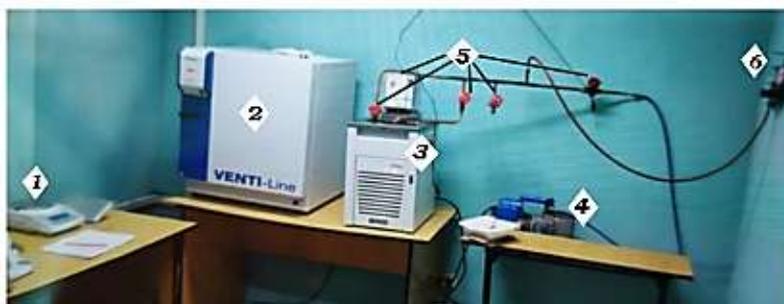
## Métodos y Materiales

Se realizará la evaluación de los pares de trabajo zeolita natural-metanol y zeolita modificada-metanol, ambas zeolitas son del mismo yacimiento de Palmarito de Cauto y presentan la misma estructura y granulometría de 1-3 mm, ambas fueron sometidas a lavado fluidizado con agua, y posteriormente la modificada fue sometida a lavado con baño ácido. Se realiza la selección de estos materiales atendiendo a la disponibilidad de ellos nacionalmente. El uso de metanol como refrigerante se justifica por presentar baja temperatura de ebullición lo que permite obtener temperaturas por debajo de 0 °C para propósitos de congelación, tabla 1

**Tabla 1.** Composición química promedio de la muestra seleccionada del yacimiento Palmarito de Cauto [12]

óxidos	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
% molar	61,93	2,33	13,42	2,53	1,22	1,92	4,93	1,14

El método experimental para determinar las propiedades adsorptivas de los pares investigados [10], se apoya de una instalación que consta con los componentes y equipos que se ilustran en la figura 1, la cual permite medir y controlar las presiones, temperaturas y concentraciones durante los experimentos, Primeramente se extrae la humedad de la muestra calentándola en el horno hasta 200 °C, se colocan el adsorbato y adsorbente en los portamuestras correspondientes. Se regula la temperatura del adsorbente mediante el baño termostático, se determinan las presiones y el peso de la muestra con adsorbato a la temperaturas de saturación, condensación y a la temperatura máxima de la fuente caliente. Finalmente por diferencia gravimétrica se determina el peso de la muestra en los diferentes estados de equilibrio que se desea simular el ARS, se traza el diagrama de Clapeyron, obteniéndose la cantidad de refrigerante que adsorbe y desorbe el adsorbente.



**Fig. 1.** Instalación experimental del Centro de Estudios de Energía y Refrigeración de la Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial de la Universidad de Oriente. Fuente: autores

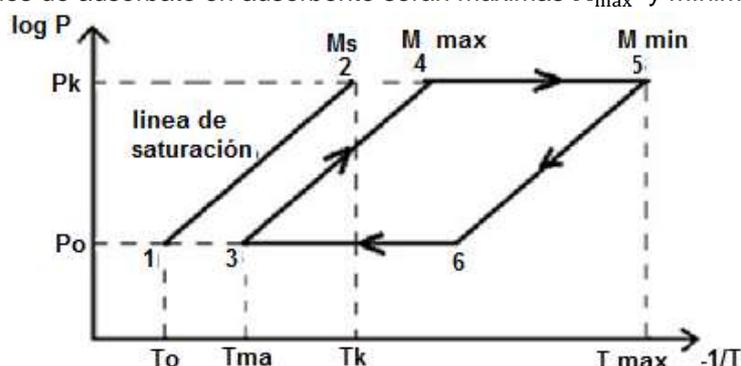
Componentes de la instalación:

1. Balanza con precisión de 0,01g, escala de 0 g a 1 200 g. Modelo F1200i. Fabricante A&D.
2. Horno para el secado del adsorbente. Temperatura máxima 350 °C. Precisión 1 °C. Fabricante VENTI-Line. Modelo VWR. País Italia.
3. Baño termostático para calentamiento y enfriamiento, con porta muestras de adsorbato y adsorbente en su interior. Escala de -20 °C a 230 °C. Fabricante Julabo. Modelo F32. País Alemania.
4. Bomba de vacío. Flujo 4 CFM. Marca ROBINAIR. Modelo SPX. País. Estados Unidos de América.
5. Válvulas de interconexión. Marca DANFOSS.
6. Vacuo manómetro. Escala de -100 kPa a 300 kPa. Clase 1,6. Fabricante mE. País Estados Unidos de América.

### Diagrama de Clapeyron

Los sistemas de refrigeración por adsorción operan en rangos de temperatura, presión y concentración variables, por lo que para la representación del ciclo termodinámico de los mismos es comúnmente utilizado el Diagrama de Clapeyron [5] representado en la figura 2.

Las isósteras presentan un comportamiento lineal y responden a procesos transitorios denominados calentamiento o enfriamiento isostérico, donde la temperatura del sistema aumenta o disminuye, pero la concentración permanece constante. En un ciclo de refrigeración por adsorción estas corresponden a las líneas donde las concentraciones de adsorbato en adsorbente serán máximas  $M_{max}$  y mínimas  $M_{min}$ .



**Fig.2.** Diagrama de Clapeyron con la identificación de los puntos de estados de equilibrio para las isosteras de saturación y las de máxima y mínima concentración, a las presiones de evaporación y condensación.

Fuente: autores

La línea de saturación mostrada en la figura 2 corresponde a una línea guía para la realización del diagrama y no a un proceso del ciclo. Para el diseño del sistema y la construcción del diagrama es necesario definir los siguientes parámetros:

$T_0$ : Es la temperatura de ebullición del adsorbato. Depende de la finalidad que se le dé al sistema de adsorción, ya sea para enfriar o congelar. Si el sistema se diseña para la producción de hielo la temperatura de ebullición del refrigerante deberá ser inferior a 0 °C.

$P_0$ : Corresponde a la presión de saturación a la temperatura de ebullición fijada, se determina durante el desarrollo del experimento.

$T_{ma}$ : Es la temperatura del medio con el que se enfría el generador durante el proceso de condensación. Si el medio es aire la temperatura promedio se considera entre 30 °C y 32 °C, si es agua la temperatura se establece entre 28 °C y 30 °C.

$T_K$ : Es la temperatura de condensación y se determina por:

$$T_K = T_{ma} + \Delta T \quad (1)$$

Dónde:

$\Delta T$ : Es la diferencia de temperatura de condensación entre el adsorbato y el ambiente, oscila entre 10 °C y 12 °C para enfriamiento con aire y entre 5 °C y 7 °C para enfriamiento con agua.

$P_k$ : Es la presión de condensación a la temperatura de condensación obtenida. La misma se busca por tablas.

$T_{max}$ : Es la temperatura máxima que se alcanza en el sistema, la cual corresponde a la temperatura del generador donde ocurre la desorción del adsorbato.

### Determinación de las concentraciones

Para determinar las concentraciones siguiendo el procedimiento descrito por [10], previamente se obtienen los parámetros siguientes:

$P_f$ : Es el peso del porta muestra del adsorbente vacío (g).

$P_t$ : Es el peso del porta muestras con el adsorbente seco (g).

$P_{as}$ : Es el peso del adsorbente seco (g).

$P_1$ : Peso del adsorbente con mínima concentración de adsorbato (g).

$P_2$ : Peso del adsorbente con máxima concentración de adsorbato (g).

$P_s$ : Peso del adsorbente saturado (g)

Dónde:

$$P_{as} = P_t - P_f \quad (2)$$

El valor de las concentraciones  $M_{max}$  y  $M_{min}$  permite conocer la cantidad de refrigerante adsorbido y desorbido durante el ciclo de refrigeración por adsorción, de este modo se puede realizar una evaluación cuantitativa y cualitativa de los distintos pares adsorbentes-refrigerantes que se investigan.

La concentración máxima  $M_{max}$  corresponde a la concentración luego de culminado el proceso de adsorción y se determina mediante la siguiente ecuación:

$$M_{max} = \frac{P_1 - P_t}{P_{as}} * 1000 \text{ (g adsorbato/kg adsorbente)} \quad (3)$$

La concentración mínima  $M_{min}$  corresponde a la concentración luego de culminado el proceso de desorción y se determina mediante la siguiente ecuación:

$$M_{min} = \frac{P_2 - P_t}{P_{as}} * 1000 \text{ (g adsorbato/kg adsorbente)} \quad (4)$$

La concentración de trabajo  $M_{trab}$  es la que define la calidad del par adsorbente-adsorbato, ya que corresponde a la concentración que determina la cantidad de refrigerante que aporta al sistema de enfriamiento cada unidad de masa de adsorbente.

$$M_{trab} = M_{max} - M_{min} \text{ (g adsorbato/kg adsorbente)} \quad (5)$$

Para los experimentos se establecen los parámetros de diseño en función de la aplicación que tendrá el sistema, de las condiciones ambientales, y de la temperatura de la fuente caliente, definiéndose:

$$T_0 = -2 \text{ °C}$$

Continuamente se procede a leer en el manómetro la presión, cuando la lectura no experimente variación ello indica que se alcanzó la presión de saturación  $P_0$ .

$$P_0 = -0,925 \text{ bar}$$

Seguidamente se fijan la temperatura del medio ambiente  $T_{ma}$ , la temperatura de condensación  $T_K$  y la temperatura de la fuente caliente  $T_{max}$ .

$$T_{ma} = 30 \text{ °C}, T_K = T_{ma} + \Delta T, T_K = 30 \text{ °C} + 10 \text{ °C}, T_K = 40 \text{ °C}, T_{max} = 90 \text{ °C}$$

Por último, se procede a determinar la presión de condensación ( $P_k$ ) la que resultó ser:  $P_k = -0,67 \text{ bar}$

Teniendo ya todos los valores necesarios de los pesos, se procede a calcular las concentraciones máximas, mínimas y la cantidad de refrigerante disponible para el enfriamiento. Sustituyendo los valores en las ecuaciones 3, 4 y 5 respectivamente.

## Resultados y Discusión

Siguiendo el orden de cálculo antes descrito se obtuvieron los resultados de la tabla 2

**Tabla 2.** Valores de pesos obtenidos. Fuente: autores

Par refrigerante	$P_f$ (g)	$P_t$ (g)
Zeolita natural/metanol	148,4	180,9
Zeolita con baño ácido/metanol	179,55	211,03

Los pesos de adsorbentes secos de los dos tipos de zeolitas investigadas son:

Zeolita Palmarito de Cauto natural.

$$P_{as} = 32,5 \text{ g de zeolita}$$

Zeolita Palmarito de Cauto modificada con baño ácido.

$$P_{as} = 31,48 \text{ g de zeolita}$$

Luego de realizados los cálculos, se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla 3.

**Tabla 3.** Valores de los pesos para los 2 tipos de zeolitas. Fuente: autores

Par refrigerante	$P_s$ (g)	$P_1$ (g)	$P_2$ (g)
Zeolita natural/metanol	183,84	183,78	183,63
Zeolita con baño ácido/metanol	212,39	211,72	211,45

En la tabla 4 se muestran los resultados de las concentraciones calculadas para los pares zeolita natural-metanol y zeolita modificada-metanol.

**Tabla 4.** Resultado de las concentraciones calculadas. Fuente: autores

Par	$M_{max}$ (g/kg)	$M_{min}$ (g/kg)	$M_{trab}$ (g/kg)
Zeolita natural-metanol	81,7	78,01	3,60
Zeolita modificada- metanol	21,92	13,34	8,58

Como se puede apreciar la zeolita Palmarito de Cauto natural presenta mejor adsorptividad que la zeolita Palmarito de Cauto con baño ácido. Esto se observa en el valor muy superior de concentración máxima durante el proceso de adsorción, que llega a ser casi 4 veces mayor que el de la zeolita con baño ácido. No obstante, esta no se ve favorecida durante el proceso de desorción, ya que solo es capaz de liberar un 4,5 % del refrigerante adsorbido, mientras que la zeolita con baño ácido libera hasta un 39,1 %. Este resultado la convierte en un adsorbente más viable para un sistema de refrigeración por adsorción, ya que el refrigerante que se dispone para el sistema, corresponde a una concentración 2,3 veces mayor que la de la zeolita natural. El refrigerante retenido en el adsorbente luego del proceso de desorción no circulará por el sistema, por lo que el par adsorbente-adsorbato escogido, no deberá tener solo gran adsorptividad, sino debe presentar una gran capacidad desorptiva [13].

Los reportes de uso de zeolita consultados en la literatura, utilizan agua, dióxido de carbono e hidrógeno como refrigerante [8, 14, 15]. En ningún caso reportan el par zeolita-metanol, que es el utilizado en esta investigación.

Para la zeolita 13X-agua, [15] reporta una capacidad de adsorción de agua de hasta  $0,23 \text{ kg kg}^{-1}$ , y  $0,1 \text{ kg kg}^{-1}$  para la zeolita AQSOA-Z01, esta adsorción de agua es muy superior a la adsorción de metanol de las zeolitas de Palmarito de Cauto que fueron de  $0,0817 \text{ kg kg}^{-1}$  y  $0,02192 \text{ kg kg}^{-1}$  para la modificada y la natural respectivamente, por lo tanto se obtendrán valores bajos de SCP con estas zeolitas.

Por lo anterior se considera necesario que para utilizar este par en ARS, se debe hacer un análisis costo beneficio, teniendo en cuenta los bajos valores de circulación de metanol que las zeolitas investigadas permiten utilizar, lo cual afectaría la capacidad frigorífica total. No obstante la instalación permitió realizar la comparación de la capacidad adsorptiva y desorptiva de ambas zeolitas, y puede ser utilizada para investigar nuevos materiales y pares de trabajo para ser utilizados en ARS. La instalación no puede utilizarse para evaluar ningún material con el adsorbato amoníaco, ya que las conexiones y válvulas son de cobre y bronce.

## Conclusiones

La zeolita Palmarito de Cauto natural presentó un valor de concentración máxima durante el proceso de adsorción muy superior a la zeolita Palmarito de Cauto con baño ácido. Superándola casi 4 veces mayor en su capacidad adsorptiva.

La capacidad desortiva de la zeolita con baño ácido libera es muy superior a la zeolita natural. Ella es capaz de liberar hasta un 39,1% del refrigerante adsorbido. Valor muy superior a la zeolita natural, que solo es capaz de liberar un 4,5 %.

La zeolita Palmarito de Cauto con baño ácido es un adsorbente más viable para un sistema de refrigeración por adsorción, ya que su empleo permite disponer para el sistema a una concentración 2,3 veces mayor que la de la zeolita natural.

## Agradecimientos

Se agradece el apoyo brindado por el Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica (CIPIM), en especial al Ingeniero Aramis Fernandez Rodríguez y a la Técnica Tania Lubian Martínez por facilitar los materiales y sustancias utilizados en esta investigación

## Referencias

- Attallaa M, Sadeka S, Salem M, et al. Experimental study of solar powered ice maker using adsorption pair of activated carbon and methanol. *Applied Thermal Engineering*. 2018;(141):877–86. DOI 10.1016/j.applthermaleng.2018.06.038.
- Hassan HZ. A Solar Powered Adsorption Freezer: A Case Study for Egypt's Climate. *International Journal of Energy Engineering*. 2013;3(1):21-29. DOI 10.5923/j.ijee.20130301.04.
- Zeng T, Huang H, Kobayashi N, et al. Performance of an Activated Carbon-Ammonia Adsorption Refrigeration System. *Natural Resources* 2017;(8):611-631. DOI 10.4236/nr.2017.810039.
- Elsheniti MB, Elsamni OA, Al-dadah E, et al. Book Section. *Adsorption Refrigeration Technologies*. 2018. DOI 10.5772/intechopen.73167.
- Sdanghi G, Schaefer S, Maranzana G, et al. Application of the modified Dubinin-Astakhov equation for a better understanding of high-pressure hydrogen adsorption on activated carbons. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2019;1-40. DOI 10.1016/j.ijhydene.2019.09.240.
- Askalany A, Saha B, Kariya K, et al. Hybrid adsorptioncoolingsystems—Anoverview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.2012; (16):5787–5801. ISSN 0360-3199. DOI 10.1016/j.rser.2012.06.001.
- Sartarelli A, Cyrulies E, Echarri R, et al. Método para la determinación de parámetros de adsorción del par metanol-carbón activado utilizado en sistemas de refrigeración solar. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. 2012; 16:0801-8.
- Morteza H, Schiffres S. Ideal Adsorption Isotherm Behavior for Cooling Applications. *Langmuir*. American Chemical Society. 2018. DOI 10.1021/acs.langmuir.7b03989.
- Sah R, Choudhury B, Das R, et al. An overview of modelling techniques employed for performance simulation of low-grade heat operated adsorption cooling systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017; 74: 364–376. DOI 10.1016/j.rser.2017.02.062.
- Bohorquez CB, Guillén RJ. Experimental Method to Determine the Isosteres of Adsorbent/Adsorption Pairs of Adsorption Cooling Systems. *International Research Journal of Engineering*. 2018;4(6):1-9. DOI 10.21744/irjeis.v4n6.330.
- Bohorquez CB, Guillén RJ. Procedimiento experimental para determinar la adsorción y desorción de pares adsorbente/refrigerante para sistemas de enfriamiento. *Estudio de caso. Tecnología Química*. 2020;40(2):322-336.
- Cordova Rodriguez V, Tito Ferro D, Rodriguez Iznaga I, et al. Caracterización de la zeolita natural de Palmarito de Cauto y su valoración como intercambiador iónico. *Minería y Geología*. 2014;(30)4:1-20.
- Brites GJ, Costa JJ, C. V.A.F. Influence of the design parameters on the overall performance of a solar adsorption refrigerator. *Renewable Energy*. 2016; 86: 2138-2250. ISSN 0960-1481. DOI 10.1016/j.renene.2015.07.099.
- Santori G, Di Santis C. Optimal fluids for adsorptive cooling and heating. *Sustainable Materials and Technologies*. 2017; DOI 10.1016/j.susmat.2017.04.005.
- Younes M, El-Sharkawy I, Kabeel A, et al. A review on adsorbent-adsorbate pairs for cooling applications. *Applied Thermal Engineering*. 2016. DOI 10.1016/j.applthermaleng.2016.11.138.
- .

### Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

### Contribución de los autores

**Celso Bayardo Bohorquez Escobar.** <https://orcid.org/0000-0001-9712-6299>

Participó en el diseño de la investigación y en la revisión del estado del arte Trabajó en la recolección y el procesamiento de los datos recogidos para el estudio. Realizó contribuciones en el análisis e interpretación de los datos y en el análisis de los resultados. Participó en la revisión y redacción del informe final.

**Reinaldo Javier Guillén Gordín.** <https://orcid.org/0000-0002-4267-5618>

Trabajó en: el diseño de la investigación, el análisis de los resultados, la revisión crítica del artículo y en la redacción en su versión final. Realizó la aprobación de la versión final del artículo.

**Josué Imbert González.** <https://orcid.org/0000-0001-8384-3684>

Apoyó en la revisión del estado del arte. Trabajó en la recolección de los datos y en la revisión y redacción final del trabajo

**Julio Cesar Hernández Rodriguez.** <https://orcid.org/0000-00002-6535-0170>

Apoyó en la revisión del estado del arte. Trabajó en la recolección de los datos y en la revisión y redacción final del trabajo