



inifap



SITS



Zacatecas
GOBIERNO DEL ESTADO
2021-2027

SECADORES TIPO BOMBA DE CALOR: TECNOLOGÍA EFICIENTE PARA LA DESHIDRATACIÓN DE ALIMENTOS

Néstor Manuel Ortiz-Rodríguez ^{1*}, Efraín Alonso Puerto-Castellanos ², Jesús Águila-León ³, Víctor Hugo Gómez Espinoza¹

¹ Instituto de Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México. Privada Xochicalco s/n, Temixco CP. 62580, Morelos, México.

² Dirección Técnica. DIPAC HEAT RECOVERY E.U., Bogotá, Colombia

³ Departamento de Estudios del Agua y de la Energía, Centro Universitario de Tonalá Universidad de Guadalajara, México.

*Autor de correspondencia: nmorr@ier.unam.mx

Introducción

Los secadores tipo bomba de calor (HPD, por sus siglas en inglés) se han consolidado como una alternativa eficiente y sostenible frente a los secadores convencionales de aire caliente para la deshidratación de alimentos. Una de sus principales ventajas es su alta eficiencia energética, alcanzando hasta un 95%, en comparación con otras tecnologías como el secado al vacío que alcanza menos del 70% ; y los secadores de aire caliente que alcanzan entre un 35% y 40% (Perera & Rahman, 1997). Esto se debe a la capacidad de los sistemas HPD para utilizar calor del ambiente o residual y usarlo durante el proceso de secado (Sabarez, 2021).

La eficiencia de las bombas de calor radica en su habilidad para transportar calor y utilizarlo dentro de la cámara de secado sin necesidad de producirlo de una fuente energética lo que reduce mucho su consumo para su operación. Además, estos secadores pueden operar a bajas temperaturas y humedades relativas, lo que resulta ideal para alimentos delicados como frutas, hierbas y carnes, permitiendo preservar sus características organolépticas, reducir la pérdida de nutrientes y minimizar la contaminación microbiana (Perera & Rahman, 1997).

Aunque las bombas de calor pueden funcionar con energía térmica o eléctrica, las impulsadas por electricidad son las más comunes y accesibles en aplicaciones comerciales. La descarbonización del proceso de secado es esencial, en el ámbito industrial se proyecta una creciente adopción de tecnologías emergentes impulsadas por fuentes de energía renovable distribuida, como la fotovoltaica, eólica y geotérmica (Ortiz-Rodríguez et al., 2022). Por tanto, los secadores HPD representan una tecnología innovadora y respetuosa con el medio ambiente para la industria alimentaria, contribuyendo a la reducción del consumo energético y la huella de carbono en los procesos de secado (Defraeye, 2014).

Clasificación de Secadores Tipo Bomba de Calor

1. **Secadores de Ciclo Cerrado:** El aire recircula dentro de la cámara de secado, reutilizando la energía latente del vapor de agua y la energía sensible del aire.
2. **Secadores de Ciclo Abierto:** Utilizan aire ambiente como fuente de calor, el cual se descarga tras el proceso. Son más simples en diseño, pero su eficiencia depende de las condiciones climáticas (Bouguelia et al., 1991).



inifap



SITS



Zacatecas
GOBIERNO DEL ESTADO
2021-2027

3. **Secadores de Ciclo Parcialmente Abierto:** Combinan recirculación de aire con ingreso de aire fresco. Mejoran la eficiencia energética, aumentando el COP hasta en un 39.56% (Yuan et al., 2019).
4. **Secadores de Fuente de Aire:** Usan el calor del aire ambiente, integrando etapas de evaporación/condensación y pueden incorporar energía solar para mayor sostenibilidad (Chua et al., 2002).

En la planta Termosolar se cuenta con una cámara de secado tipo bomba de calor que opera el modo por lotes y con un ciclo parcialmente abierto.

Secadores de ciclo parcialmente abiertos

En estos se combinan la recirculación de aire con la entrada de aire fresco, permitiendo la recuperación de energía del aire húmedo expulsado, lo que optimiza la eficiencia energética durante la deshidratación.

Características clave:

1. **Recuperación de energía:** Utilizan intercambiadores de calor aire-aire para extraer la energía sensible y latente del aire húmedo antes de expulsarlo. Esta energía se transfiere al aire fresco entrante, incrementando la eficiencia térmica del sistema.
2. **Mezcla de aire:** Parte del aire húmedo se expulsa y es reemplazado por aire fresco del ambiente, lo que mantiene una baja humedad relativa en el secador y optimiza el proceso de deshidratación. Además, el aire expulsado puede aprovecharse para recuperar más calor en el evaporador externo.
3. **Control de humedad:** Al permitir la entrada de aire fresco, se evitan condiciones de saturación en la cámara de secado, lo que acelera el proceso sin comprometer la calidad del producto.
4. **Reducción de costos energéticos:** La recuperación del calor del aire expulsado reduce la necesidad de energía adicional para calentar el aire entrante, haciendo el sistema más eficiente energéticamente.

Componentes de un Secador tipo bomba de calor de ciclo parcialmente abiertos

- i. **Compresor:** Eleva la temperatura y presión del refrigerante al comprimirlo, facilitando la transferencia de calor al aire en el interior del secador.
- ii. **Condensador:** Transfiere el calor del refrigerante comprimido al aire del secador, calentándolo para llevar a cabo el proceso de deshidratación.
- iii. **Evaporador:** Extrae el calor tanto del aire húmedo expulsado como del aire ambiente, contribuyendo a la eficiencia energética del sistema.
- iv. **Intercambiador de calor aire-aire:** Recupera la energía del aire húmedo expulsado y la transfiere al aire fresco entrante, mejorando la eficiencia térmica del proceso.
- v. **Ventiladores:** Mantienen la circulación de aire dentro de la cámara de secado y regulan el flujo tanto del aire fresco que entra como del aire húmedo que sale.
- vi. **Cámara de secado:** Área donde se colocan los productos para la deshidratación, diseñada para asegurar un flujo de aire caliente controlado y uniforme.
- vii. **Controladores de humedad y temperatura:** Supervisan y ajustan las condiciones internas del secador, garantizando que el proceso de secado se mantenga dentro de los parámetros óptimos.

Principio de funcionamiento

El **principio de funcionamiento** de un secador tipo bomba de calor de ciclo parcialmente abierto se basa en la transferencia de calor del refrigerante a alta presión y temperatura al aire del proceso a través de un intercambiador de calor tipo serpentín aleteado que funciona como condensadora (6), luego se recircula ese aire caliente dentro de la cámara mediante un banco de ventiladores axiales (4) para que entre en contacto con el producto a secar absorbiendo la humedad de este y así humedecerse al final del paso por la cámara (2). Parte del aire húmedo se expulsa y pasa por un intercambiador de calor aire-aire que transfiere parte del calor sensible del aire desechado al aire fresco que entra (1), aumentando la temperatura del aire que entra al sistema (5) y optimizando así la eficiencia térmica. Con esto, se compensa el aire de la recirculación de aire y la inyección de aire fresco, controlando las condiciones de secado y minimizando el consumo energético.

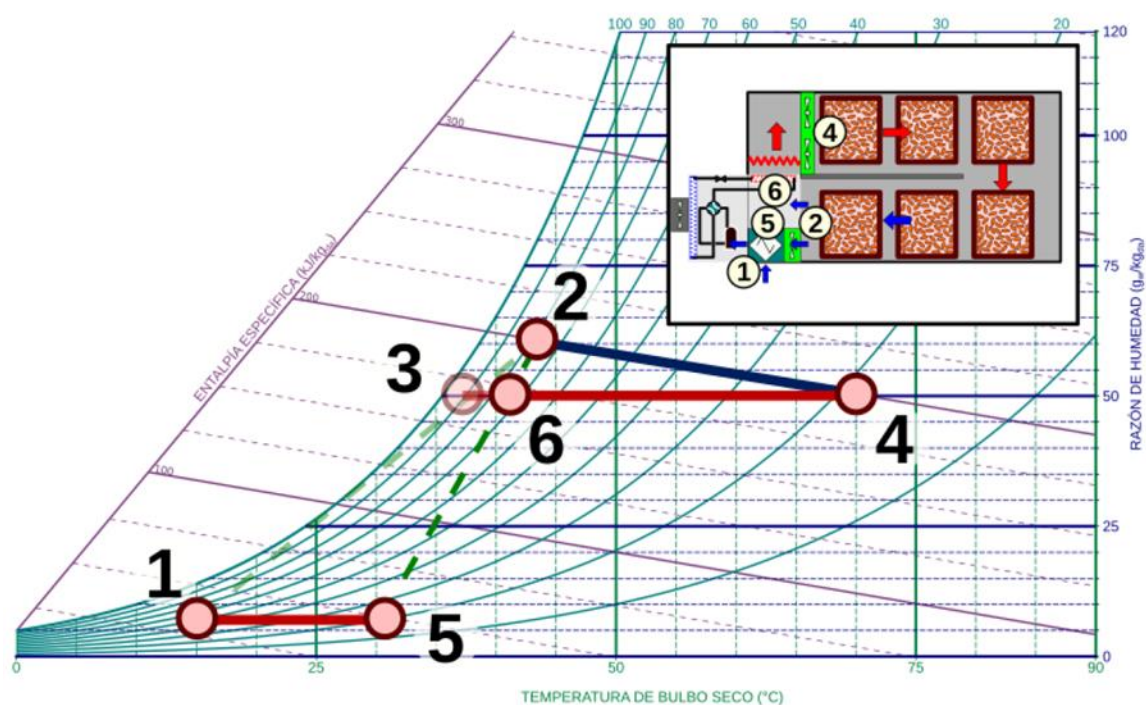


Figura 1. Representación del ciclo parcialmente abierto en un diagrama psicrométrico



inifap



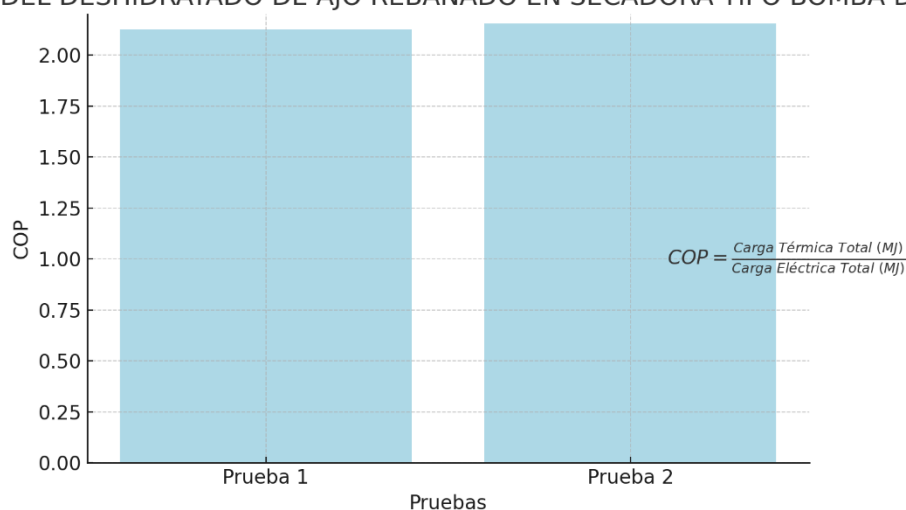
SITS



Zacatecas
GOBIERNO DEL ESTADO
2021-2027

Resultados del desempeño de la bomba de calor

COEFICIENTE DE DESEMPEÑO (COP)
PRUEBAS DEL DESHIDRATADO DE AJO REBANADO EN SECADORA TIPO BOMBA DE CALOR



Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado por el CONAHCYT a través de los proyectos PRONAI 315108, 315324 y 319195.

Referencias

- Bouguelia, A., Desmorieux, H., Labidi, J., & Le Goff, P. (1991). An Open Cycle Absorption Heat Pump: A System for Drying Agricultural Products. En I. E. Smith (Ed.), *Applications and Efficiency of Heat Pump Systems* (pp. 149-159). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-30179-1_14
- Chua, K. J., Chou, S. K., Ho, J., & Hawlader, M. (2002). Heat pump drying: Recent developments and future trends. *Drying Technology - DRY TECHNOLOGY*, 20, 1579-1610. <https://doi.org/10.1081/DRT-120014053>
- Defraeye, T. (2014). Advanced computational modelling for drying processes – A review. *Applied Energy*, 131, 323-344. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.06.027>
- Ortiz-Rodríguez, N. M., Condorí, M., Durán, G., & García-Valladares, O. (2022). Solar drying Technologies: A review and future research directions with a focus on agroindustrial applications in medium and large scale. *Applied Thermal Engineering*, 215, 118993. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.118993>



Perera, C. O., & Rahman, M. S. (1997). Heat pump dehumidifier drying of food. *Trends in Food Science & Technology*, 8(3), 75-79. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(97\)01013-3](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(97)01013-3)

Sabarez, H. (2021). Advanced Drying Technologies of Relevance in the Food Industry. En K. Knoerzer & K. Muthukumarappan (Eds.), *Innovative Food Processing Technologies* (pp. 64-81). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.23042-4>

Yuan, Y., Lin, W., Mao, X., Li, W., Yang, L., Wei, J., & Xiao, B. (2019). Performance Analysis of Heat Pump Dryer with Unit-Room in Cold Climate Regions. *Energies*, 12(16), Article 16. <https://doi.org/10.3390/en12163125>