



inifap



SITS



Zacatecas
GOBIERNO DEL ESTADO
2021-2027

SECADO INFRARROJO CATALÍTICO: INNOVACIÓN EN LA DESHIDRATACIÓN DE ALIMENTOS

Néstor Manuel Ortiz-Rodríguez ^{1*}, José Roberto Espinosa Lumbreras², Manuel de Jesús Coronado Méndez², Emiliano Álvarez Trinidad² Jesús Águila-León³.

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

² Unidad Académica de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Zacatecas, Ramón López Velarde 801, Zacatecas Centro, 98068 Zacatecas, Zac.

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

En la industria alimentaria, el secado es una operación clave para prolongar la vida útil de los productos y preservar sus propiedades. Sin embargo, los métodos tradicionales de secado, como **los secadores convectivos de aire caliente (HACD)**, presentan desafíos importantes: baja eficiencia energética, largos tiempos de secado y altos costos operativos. De hecho, más del 85% de los secadores industriales utilizan aire caliente, pero con una **eficiencia menor al 50%**, lo que contribuye a pérdidas de energía significativas (Tsotsas & Mujumdar, 2011)

Ante estos retos, los **sistemas radiativos**, como los secadores por **infrarrojos (IR)**, han emergido como una tecnología más eficiente. Los secadores IR transfieren el calor directamente a los alimentos mediante radiación electromagnética, sin la necesidad de un medio intermedio como el aire, lo que reduce las pérdidas de energía y acelera el proceso de secado. Además, la combinación de infrarrojos con aire caliente (HA-IR) mejora aún más la eficiencia, reduciendo el consumo total de energía y el tiempo de secado, mientras mantiene la calidad del producto final (Onwude et al., 2016)

El secado por **infrarrojos catalíticos (CIR)**, en particular, es una tecnología emergente que destaca por su capacidad para reducir el consumo energético en un **60-70% de la energía** en comparación con los secadores infrarrojos eléctricos y entre un **20-50% en comparación con los secadores de aire caliente tradicionales** (Pan & McHugh, 2006). Gracias a su espectro de emisión en el rango infrarrojo medio (MIR) y lejano (FIR), los secadores CIR aprovechan al máximo la capacidad de absorción de agua en los alimentos, eliminando rápidamente la humedad (Pan & Atungulu, 2010).

Este enfoque no solo es más **eficiente y económico**, sino también más **sostenible**, ya que contribuye a reducir la huella energética de la industria alimentaria. Migrar hacia sistemas radiativos como los infrarrojos es una necesidad clave para mejorar los procesos industriales y lograr una producción más eficiente y responsable.



inifap



SITS



Zacatecas
GOBIERNO DEL ESTADO
2021-2027

Funcionamiento del Secado por Infrarrojos Catalíticos (CIR)

1. Generación de Energía mediante Emisores Catalíticos.

En el sistema CIR, la energía térmica se genera a través de una combustión catalítica. Una mezcla de gas LP o natural y aire pasa por un tejido catalítico de platino, donde ocurre una reacción de oxidación-reducción. Este proceso produce radiación infrarroja en el rango de **3 a 7 μm** , coincidiendo con los picos de absorción del agua, lo que optimiza la transferencia de calor al alimento (Pan & Atungulu, 2010).

Además de la radiación infrarroja, se generan pequeñas cantidades de CO_2 y vapor de agua, que pueden utilizarse como medio convectivo para eliminar la humedad evaporada, combinando las ventajas de la convección por aire caliente (HA) con la radiación infrarroja.

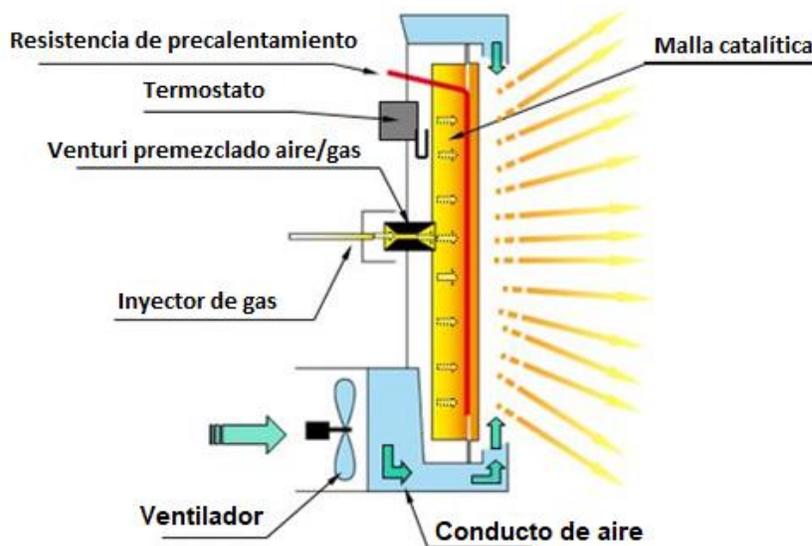


Figura 1 Descripción esquemática de un emisor CIR (SUNKISS MATHERM, 2020).

2. Calentamiento Directo y Eficiente

La radiación infrarroja es absorbida directamente por los alimentos, lo que acelera la evaporación del agua sin necesidad de aire como medio intermedio. Esto hace que el proceso sea más eficiente, ya que los componentes principales de los alimentos, como agua, proteínas y almidones, absorben mejor la radiación en longitudes de onda mayores a **2.5 μm** , promoviendo el calentamiento por vibración molecular (Sakai & Hanzawa, 1994).

El emisor CIR opera en un rango de temperaturas de **150 a 600 $^{\circ}\text{C}$** , con longitudes de onda de **3.3 a 6.8 μm** , ideales para la rápida eliminación de la humedad (Pan & McHugh, 2006).



inifap



SITS



Zacatecas
GOBIERNO DEL ESTADO
2021-2027

3. Sistemas Combinados HA-IR

En algunos casos, el sistema CIR se combina con aire caliente (HA), creando un sistema híbrido **HA-IR**. El aire caliente transporta la humedad evaporada mientras los infrarrojos continúan calentando el producto de manera eficiente. Este enfoque sinérgico permite un secado más rápido y con un menor consumo energético.

Además, el aire puede precalentarse mediante **sistemas termosolares** para mejorar aún más la eficiencia energética. Los emisores CIR de onda larga también generan una corriente de aire caliente adicional, útil en procesos que requieren una combinación de convección y calentamiento por infrarrojos (Das & Das, 2010).

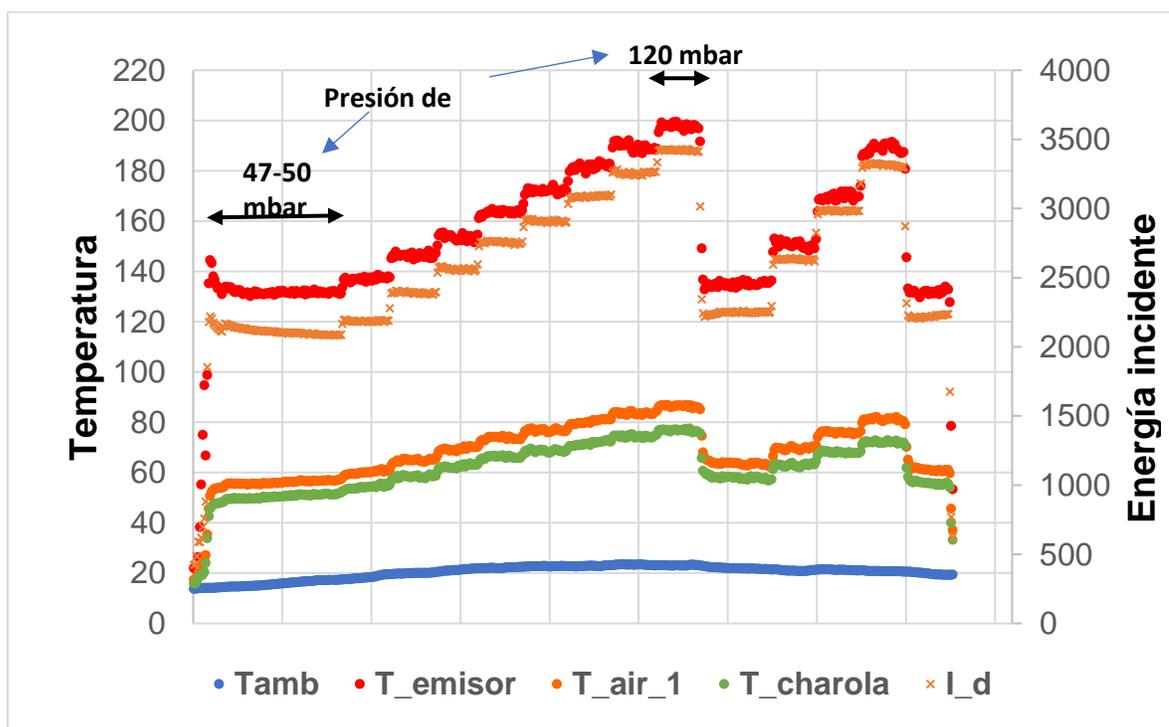


Figura 2 Parámetros operativos del secador CIR

Comparación de Métodos de Secado: CIR vs. Convección Forzada con Aire Caliente (HA)

| Características | Infrarrojos Catalíticos (CIR) | Convección Forzada con Aire Caliente (HA) |
|---------------------------------------|--|--|
| Modo de Transferencia de Calor | Radiación infrarroja directa (3-7 μm) | Transferencia de calor mediante flujo de aire caliente |
| Eficiencia Energética | Alta eficiencia (ahorra hasta un 70% de energía frente a IR eléctricos y un 50% frente a HA) | Menor eficiencia energética (pérdidas de energía por aire residual caliente) |

| Características | Infrarrojos Catalíticos (CIR) | Convección Forzada con Aire Caliente (HA) |
|-----------------------------------|--|--|
| Velocidad de Secado | Rápida, debido a la absorción directa de energía por los alimentos | Moderada, requiere mayor tiempo debido a la transferencia de calor a través del aire |
| Uso de Medios Intermedios | No requiere medios intermedios (como el aire) para transferir calor | El aire es el medio de transferencia de calor, lo que puede reducir la eficiencia |
| Pérdidas de Energía | Mínimas, al evitar el uso de aire como intermediario | Elevadas, hasta el 45% de la energía se pierde en el aire de escape |
| Calidad del Producto Final | Alta calidad nutricional y sensorial; menor degradación de nutrientes | Menor, debido a la exposición prolongada al calor y posibles oxidaciones |
| Costo Operativo | Moderado, con menor consumo de energía a largo plazo | Alto, debido a la menor eficiencia y mayores pérdidas energéticas |
| Aplicaciones | Ideal para productos rebanados en capas delgadas y menores a 5 mm (frutas, verduras, especias) | Adecuado para productos más más voluminosos |
| Impacto Ambiental | Menor, por el uso más eficiente de la energía | Mayor, debido al alto consumo de energía. |

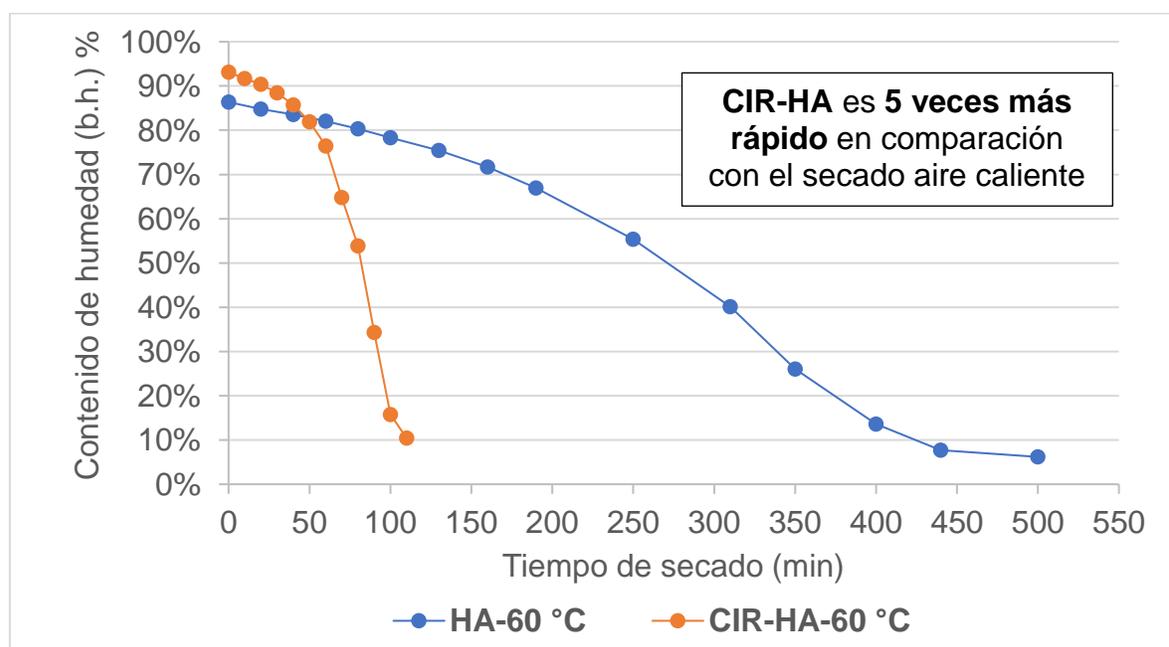


Figura 3 Comparación entre el secado de rodajas de 5 mm de cladodios de nopal por Convección Forzada con Aire Caliente (HA) a 60 °C y el sistema híbrido CIR-HA a la misma temperatura.

Agradecimientos

Esta investigación fue realizada con el apoyo del CONAHCYT a través de los proyectos PRONAH 315108, 315324 y 319195. Agradecemos también la valiosa colaboración y apoyo proporcionado por Juan José Urbano Castelán, socio director de Solar and Thermal Solutions, cuya participación fue fundamental para el desarrollo de este proyecto.

Referencias

- Das, I., & Das, S. K. (2010). *Emitters and Infrared Heating System Design*.
<https://doi.org/10.1201/9781420090994-c4>
- Onwude, D. I., Hashim, N., & Chen, G. (2016). Recent advances of novel thermal combined hot air drying of agricultural crops. *Trends in Food Science & Technology*, 57, 132-145.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.09.012>
- Pan, Z., & Atungulu, G. G. (2010). The potential of novel infrared food processing technologies: Case studies of those developed at the USDA-ARS Western Region Research Center and the University of California-Davis. En C. J. Doona, K. Kustin, & F. E. Feeherry (Eds.), *Case Studies in Novel Food Processing Technologies* (pp. 139-208). Woodhead Publishing.
<https://doi.org/10.1533/9780857090713.2.139>
- Pan, Z., & McHugh, T. (2006). *Z. Pan y Atungulu* (United States Patent US20060034981A1).
<https://patents.google.com/patent/US20060034981A1/en>
- Sakai, N., & Hanzawa, T. (1994). Applications and advances in far-infrared heating in Japan. *Trends in Food Science & Technology*, 5(11), 357-362. [https://doi.org/10.1016/0924-2244\(94\)90213-5](https://doi.org/10.1016/0924-2244(94)90213-5)
- SUNKISS MATHERM. (2020). *Industrial infrared drying: Ovens, tunnels – Sunkiss Matherm*. Sunkiss Matherm Company. <http://www.sunkissmatherm.com/en/>
- Tsotsas, E., & Mujumdar, A. S. (2011). *Modern Drying Technology, Volume 4: Energy Savings*. John Wiley & Sons.