

## FUNCIONAMIENTO Y APLICACIONES DE DESHIDRATACIÓN DE ALIMENTOS MEDIANTE BOMBA DE CALOR.

### NIGRI, MARÍA PAOLA

Magister en Tecnología en Alimentos . Profesor Titular Catedra Procesos Industriales I , II. Bromatología. Facultad de Ingeniería en Alimentos. Facultad de Ingeniería y Tecnología. Sede Central. Universidad de la Cuenca del Plata.

E-mail: nigrimaria\_cen@ucp.edu.ar

### PALABRAS CALVES

- Heat pump
- Deshidratación application foods

### INTRODUCCIÓN

El trabajo pretende transmitir otros métodos de deshidratación menos difundido, eficiente, y bajo costo de operación. La bomba de calor (HEAT PUMP) permite deshidratar una amplia gama de alimentos como ser frutas, verduras, carnes y especias entre otros.

Los materiales agroalimentarios pueden comercializarse industrializados, frescos o secos. La preservación de alimentos mediante

secado es una de las aplicaciones más antiguas, pero es una operación altamente costosa en energía. La tecnología aplicada para ello más conocidas son el secado convectivo, secado con vacío o liofilización pero estos demandan alto consumo de energía. El proceso de secado es óptimo cuando el tiempo en el que se lleva a cabo es el mínimo, utilizando un mínimo de energía, lo cual está estrechamente relacionado con la eficiencia energética del secador empleado.

Se estima que del 10 al 15% del uso de la energía industrial se consume en operaciones de secado (1). En el secado de frutas y verduras puede lograr una reducción en el volumen de entre 75 y 85%, dependiendo de la porosidad del alimento (Crapiste, 1991).

Las primeras aplicaciones particulares del secador asistido por bomba de calor se iniciaron en 1973 y los primeros estudios en la literatura sobre secado asistido por bomba de calor se realizaron en 1976 . Los secadores de bomba de calor se han empleado en la industria de alimentos para procesar frutas y vegetales en diferentes países.

Cuando un sólido húmedo es sometido a un proceso de secado, se presentan dos subprocesos:

Transferencia de la humedad interna del sólido hacia la superficie de éste y su subsecuente evaporación. El movimiento de la humedad dentro del sólido es una función de la naturaleza física del sólido, su temperatura y su contenido de humedad.

Transferencia de energía en forma de calor del ambiente que rodea al sólido para evaporar la humedad de su superficie. Este segundo subproceso depende de las condiciones externas de temperatura, humedad y flujo del aire, presión, área de exposición y el tipo de secador empleado.

Debido a que la humedad es uno de los factores que contribuyen seriamente a la descomposición de los alimentos, se han diseñado secadores orientados al secado de ciertos tipos de alimentos (carnes, granos, frutas, vegetales, entre otros), que constan de características particulares necesarias para lograr un secado óptimo.

La clasificación de los secadores puede ser muy amplia, siendo el método con el que se lleva a cabo la transferencia de calor la más general. Tabla 1.



Tipo de secador	Características generales
Por convección	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transferencia de calor por convección</li> <li>• Utilizado para partículas y alimentos laminares</li> <li>• Calor suministrado a través de aire caliente</li> <li>• Ejemplos: secadores de bandeja, secadores de túnel</li> </ul>
Por conducción o radiación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calor suministrado a través de superficies calientes</li> <li>• Apropriados para productos de poco espesor o de alto grado de humedad</li> <li>• Ejemplo: secadores solares</li> </ul>
Por radiación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utiliza radiación electromagnética cuya longitud de onda se encuentra dentro del rango del espectro solar y microondas</li> <li>• Ejemplo: secador solar</li> </ul>
Con bomba de calor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coexisten dos sistemas: la bomba de calor y el secador</li> <li>• Permiten un proceso energéticamente eficiente, proporcionando calor al sistema y recuperándolo a través de la bomba de calor</li> </ul>

Tabla 1. Clasificación de secadores de acuerdo a la naturaleza del calor.

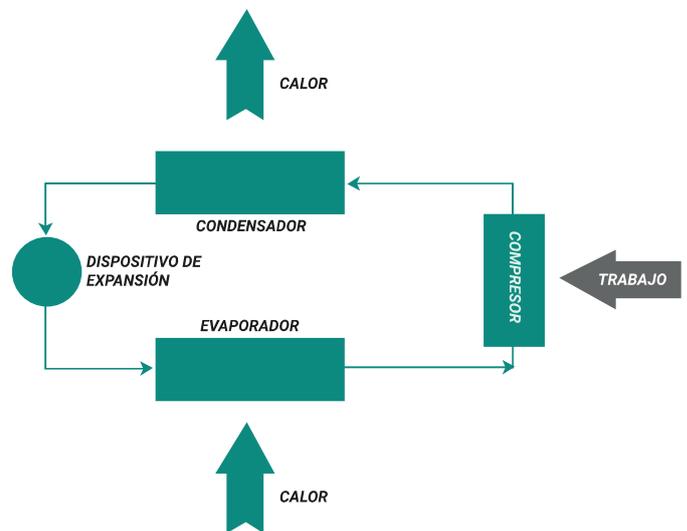
LA BOMBA DE CALOR PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

En el sector industrial no es común encontrar bombas de calor, y las pocas que se pueden encontrar trabajan en procesos con temperaturas cercanas a los 60°C, dejando relegados otros procesos en los cuales se necesiten temperaturas más elevadas (80 – 100°C).

Una bomba de calor es un sistema que permite la obtención de calor a partir de un foco frío por medio de la utilización de un ciclo

de refrigeración. El principio de funcionamiento de una bomba de calor es el mismo de un ciclo de refrigeración. En la Figura 2 se presenta un diagrama del ciclo básico de refrigeración.

Figura 2. Esquema general de un ciclo de refrigeración



El principio de funcionamiento de una bomba de calor es el siguiente:

Primero, el fluido de trabajo de la bomba de calor (refrigerante), absorbe calor de un medio a bajas temperaturas por medio de un intercambiador de calor. Éste recibe el nombre de evaporador, ya que en este lugar el refrigerante se evapora al absorber el calor.

Luego de realizar esta absorción de calor, el refrigerante en forma de vapor ingresa al compresor. Éste se encarga de aumentar su temperatura y presión, además de provocar el movimiento del fluido a través del ciclo. Al compresor debe aportársele un trabajo



externo para su funcionamiento, el cual implica el único gasto energético de una bomba de calor.

Al aumentar la presión, la temperatura de saturación del refrigerante también aumenta. Por lo tanto éste será capaz de condensarse a una temperatura más alta. Aprovechando esta nueva temperatura de saturación, el fluido se lleva a otro intercambiador, donde se condensa cediendo el calor. Éste recibe el nombre de condensador, por el fenómeno que le ocurre al refrigerante en este componente. El calor cedido es, teóricamente, el calor absorbido más el trabajo externo aportado.

Finalmente, se disminuye nuevamente la presión del refrigerante por medio de un dispositivo de expansión, para retornar nuevamente al evaporador.

Las características que poseen elementos como el compresor, el evaporador, el condensador y los dispositivos de expansión se describen a continuación.

El compresor en una bomba de calor se encarga de aumentar la presión del refrigerante con el fin de otorgar a éste la capacidad de ceder calor a temperaturas más elevadas. Estos equipos se clasifican en compresores alternativos, centrífugos y de tornillo. De acuerdo con la forma como se acopla el compresor con el motor eléctrico, se caracterizan los equipos en abiertos, semiabiertos y herméticos.

**En el tipo abierto**, el motor y el compresor se encuentran separados. En este tipo de conjuntos es importante e indispensable un cierre de estanqueidad en el paso del eje con el fin de evitar fugas de refrigerante. La desventaja de este tipo de conjunto radica en la imposibilidad de recuperar el calor perdido en el motor, lo cual disminuye el rendimiento.

**En el tipo semiabierto**, el motor se encuentra acoplado al compresor y es refrigerado por el mismo fluido refrigerante, lo cual aumenta el rendimiento del equipo. Por último, en el tipo hermético, el conjunto se encuentra totalmente cerrado y no es desmontable. Esto permite recuperar el calor perdido en el motor casi en su totalidad. Su principal desventaja es la dificultad de su mantenimiento.

Con respecto al condensador, es un equipo de intercambio de calor entre el refrigerante y otro fluido al cual se desea aumentar su temperatura para utilizarlo en un proceso industrial. Los condensadores se pueden clasificar en:

**Condensadores de aire:** El aire es impulsado por ventiladores a través de un conjunto de tubos aleteados por el cual circula el fluido refrigerante.

**Condensadores de agua:** Los condensadores de agua pueden ser de doble tubo a contracorriente. En estos el agua circula por el tubo interior y el refrigerante se condensa en el espacio intermedio. El otro tipo de condensador es el multitubular horizontal. Este es un intercambiador de coraza y tubos en el cual el refrigerante circula por los tubos y el agua circula por el exterior de éstos.

El evaporador también es otro intercambiador de calor donde se produce la absorción de calor del foco frío o fuente de recuperación de calor. Los evaporadores más utilizados en bombas de calor pueden ser de dos tipos: *los evaporadores de expansión seca*, en los cuales todo el líquido admitido es vaporizado y sale del evaporador un poco sobrecalentado. El otro tipo de evaporadores es de *tipo inundado*, el cual se encuentra casi totalmente lleno de líquido y los vapores que salen son saturados o inclusive pueden ser mezcla de líquido - vapor. Este tipo de evaporadores sólo se utiliza en bombas de calor con potencias muy elevadas.

Los evaporadores también se pueden clasificar en evaporadores de aire y agua. Su funcionamiento es igual al de los condensadores. Los dispositivos de expansión son elementos que se encargan de reducir la presión del refrigerante, desde la presión de condensación hasta la presión de evaporación.

La válvula de expansión no produce intercambio de calor ni produce trabajo, por lo tanto la entalpía del fluido refrigerante permanece constante durante el proceso de expansión. Además de su función de expansión, este elemento se encarga también de regular la alimentación del líquido al evaporador.

Existen bombas de calor eléctricas, en donde el compresor es



accionado por un motor eléctrico, otros lo hacen con motor térmico accionado mediante un motor de combustión, alimentado con combustible líquido o gas.

El combustible utilizado por la bomba de calor, conocido como refrigerante es el R12 (Triclorofluorometano) y R22 (Monoclorodifluorometano) que permite alcanzar temperaturas de hasta 70°C, otro combustible empleado es el R14 (Tetrafluorometano) quien puede alcanzar temperaturas de 110°C.

La eficiencia energética del equipo está definida por el coeficiente de funcionamiento, calor absorbido en relación al trabajo neto requerido. Donde el calor extraído del medio, corresponde al calor absorbido a baja temperatura, más el trabajo suministrado por el compresor.

### LA BOMBA DE CALOR EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

La bomba de calor es usada en el secado y/o deshidratación de alimentos empleando aire caliente en sistemas batch o continuos lo que provoca la eliminación del agua del alimento por humidificación del aire y posterior deshumidificación en el evaporador del equipo; generando de esta forma un circuito cerrado del aire circulante.

Podemos tener equipos de simple efecto o de múltiples efectos, dependiendo su elección de la capacidad productiva necesaria o si el producto a deshidratar es sólido, líquido o pastoso. Debemos tener en cuenta, en estos dos últimos casos que la viscosidad del producto disminuye con la temperatura pero aumenta con el incremento de concentración de sólidos.

### CARACTERÍSTICAS DE CONSTRUCCIÓN

Este tipo de secador se compone principalmente de bomba de calor y de la cámara de secado, que aprovecha el principio de Carnot invertido, absorbiendo el calor de alrededor y enviar el calor a los materiales que se requiere secar.

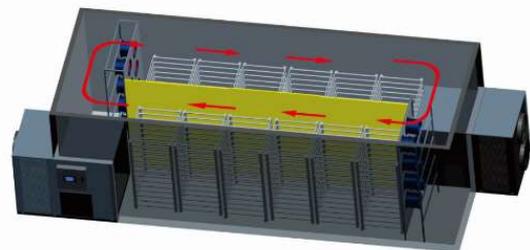


Figura 3. Fruit Dryer Machine.

- El equipo puede funcionar con una o dos bombas de calor, la temperatura se ajusta mediante una PLC quien lo controla, permitiendo un secado uniforme
- Posee paneles acoplables para el armado del horno quien permite dimensionar el tamaño la capacidad de carga.
- Existen placas de distribución de aire dentro del horno que mediante la función de ventilación forzada, materiales se pueden secar uniformemente
- Los equipos permiten deshidratar frutas, flores, hojas, setas, mandiocas, pastas y carnes.



Los procesos de remoción de agua del producto, modifica las características físicas de los mismos, depende del método utilizado, el mayor o menor deterioro de sus atributos. Se clasifican de acuerdo al origen en químicos, físicos y nutricionales:

- **Químicos:** Browning enzimático, Browning no-enzimático (Maillard), formación de compuestos aromatizantes, oxidación de lípidos, pérdida de compuestos volátiles y compuestos sensibles a la temperatura.
- **Físicos:** encogimiento y colapso de las estructuras, reducción de la porosidad, menor capacidad de rehidratación, cambio en la textura.
- **Nutricionales:** desarrollo de microorganismos patógenos, formación de compuestos carcinogénicos y pérdida de vitaminas y proteínas.

#### AVANCES EN EL USO DE BOMBA DE VACÍO (HEAT PUMP)

Se encontraron trabajos ,donde se detectó que el secado con bomba de vacío, de papas , guayabas y manzanas, combinadas con baja temperatura (45°C) y condiciones inertes ambientales (CO2 y Nitrógeno ) mas Hr alrededor del 10% se logró una mejora en las propiedades físicas como ser la rapidez de rehidratación, disminución de la firmeza y contracción. Los resultados fueron comparables con el secado a vacío o secado por congelación.

#### CONCLUSIONES

El costo de operación de instalación de una bomba de calor corresponde al costo de energía eléctrica para que trabaje el compresor. Cualquier ventaja económica del dispositivo de calentamiento depende del costo de la electricidad, en comparación con el costo de combustibles tales como petróleo y gas natural.

La bomba de calor ha podido proveer algunas modificaciones que permiten mejorar y controlar los factores de degradación del producto a secar mencionados anteriormente. Tales como;

- Capacidad para operar en humedad absoluta que puede ser menor aún que la del medio ambiente (humedad relativa que va desde 15 a 80%)

Trabajar en condiciones independientes de las ambientales

- Capacidad para poder seleccionar la temperatura por arriba o debajo de la temperatura ambiente (rango que va desde -20 a 100°C), con calentamiento adicional.
- Mejor calidad del producto mediante control de temperatura controlada por PLC
- Versatilidad de tamaños, aportando tiempo de residencia
- Capacidad de secado en una cámara en movimiento o en una atmósfera modificada.
- Incremento de la eficiencia de los equipos, mediante la utilización de economizadores de calor de la misma forma que se utilizan en calderas, recuperando el calor sensible del aire.

Se puede decir que si bien la tecnología está trabajando en realizar modificaciones para mejorar la eficiencia, el consumo de combustibles y lograr el menor deterioro del alimento, posee aun ciertas desventajas que deben trabajarse, como ser:

- Requiere mantenimiento regular de los componentes y cambio de refrigerante.
- Control de proceso y diseño
- Temperatura de secado limitante

#### BIBLIOGRAFÍA

- Moran, Michael. J.; Shapiro, Howard. N. (2005) *Fundamentos de termodinámica técnica*. Barcelona España Editorial Reverte.
- Ochoa-Martínez, Claudia I.; Gómez-Daza, Juan C.; (2012). *Secador Asistido Por Bomba De Calor Y Secador Convectivo Con Agroalimentarios*. Vitae, Enero-Abril, S36-S38
- Odilio Alves-Filho.(2016) *Heat Pump Dryers: Theory, Design and Industrial Applications*. CRC Press. Taylor & Francis Group. Boca raton . FL
- Hawlader, M. N. A., Perera, C. O., & Tian, M. (2006). Pro perties

## INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

of modified atmosphere heat pump dried foods. *Journal of Food Engineering*, 74(3), 392-401.

- Chua, K. J., Chou, S., & Yang, W. M. (2010). Advances in heat pump systems: A review. *Applied energy*, 87(12), 3611-3624.

