

MANUAL DE CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UNA SECADORA SOLAR

SECADORAS SOLARES

Los dos elementos básicos de una secadora solar son: el colector, donde la radiación calienta el aire y la cámara de secado, donde el producto es deshidratado por el aire que pasa. Estos elementos pueden diseñarse de diferentes formas para integrarse a diferentes equipos de secado solar.

Tipos de Circulación

El aire circula dentro del secador con el fin de eliminar la humedad evaporada del producto. Esta circulación se logra por dos métodos: circulación forzada y por convección natural.

Circulación forzada:

El aire es movido por un ventilador que consume energía mecánica o eléctrica. Este tipo de circulación facilita el diseño en el caso de los equipos de tamaño grande, además de facilitar el control del proceso de secado. Usando este tipo de circulación se pueden obtener velocidades de circulación de aire entre 0.5 y 1 m/s. La principal desventaja de la circulación forzada es el hecho de que se debe disponer de una fuente de energía eléctrica.

Circulación por convección natural:

El aire es movido por las diferencias de temperatura entre las distintas partes del equipo, que promueven la convección térmica del aire. Este tipo de circulación se hace más difícil de incorporar con equipos grandes. Para equipos pequeños o medianos se pueden lograr velocidades de aire de 0.4 a 1 m/s al interior de la cámara, pero en equipos grandes esta velocidad no sobrepasa los 0.1 a 0.3 m/s.

Tipos de Secadores Solares:

Indirecto:

El colector y la cámara de secado están separados. El aire es calentado en el colector y la radiación no incide sobre el producto colocado en la cámara de secado. La cámara de secado no permite la entrada de la radiación solar. Este secador es esencialmente un secador convectivo convencional sobre el cual el sol actúa como fuente energética. Los secadores directos difieren de los indirectos en la transmisión de calor y la separación de vapor. A continuación se dan varias características de operación que definen a este tipo de secadores.

- Los secadores indirectos que utilizan fluidos de condensación como medio de calentamiento son, en general, económicos desde el punto de vista del consumo de calor, ya que suministran calor sólo de acuerdo con la demanda hecha por el material que se está secando.
- El calor se transfiere al material húmedo por conducción a través de una pared de retención de sólidos, casi siempre de naturaleza metálica.
- Las temperaturas de superficie pueden variar desde niveles inferiores al de congelación, hasta mayores de 550°C , en el caso de secadores indirectos calentados por medio de productos de combustión.
- Su funcionamiento se caracteriza por algún método de agitación para aumentar el contacto entre el material húmedo y la superficie metálica caliente, así como para efectuar un cambio continuo de material húmedo en la superficie caliente. La naturaleza de dicho contacto determina la velocidad de secado total de los secadores indirectos. Los materiales granulares pesados dan mayor coeficiente de transferencia de calor de contacto que los materiales sólidos voluminosos.

A continuación en la figura 1 se muestra un secador solar indirecto.



Fig. 1. secador solar indirecto.

Directo:

En este tipo de secador, el colector y la cámara de secado, pueden juntarse, en cuyo caso la cámara que contiene el producto también cumple la función de colector recibiendo la radiación solar.

En los secadores solares directos la radiación solar es absorbida por el propio producto, resultando más efectivo el aprovechamiento de la energía para producir la evaporación del agua. Esto se debe a que la presión de vapor en la superficie del producto crece por la absorción de radiación solar. Por lo tanto el gradiente de presiones de vapor entre producto y aire se hace mayor y se acelera el secado. La combinación de colector y cámara en una sola unidad puede ser más económica en muchos casos, especialmente en los secadores de menor tamaño. Este tipo de secadores es casi siempre con circulación de

aire por convección natural. Esto hace que a veces el control del proceso sea poco confiable. Para algunos productos la acción de la radiación solar puede destruir algún compuesto orgánico que lo compone y que tiene interés comercial. Las características generales de operación de los secadores directos son:

- El agente de secado puede ser aire calentado por vapor, gases de combustión, gas inerte calentado (nitrógeno por ejemplo), o vapor de agua sobrecalentado.
- El secado se efectúa por transferencia de calor por convección entre los gases calientes y el sólido mojado, en donde el flujo de gases extrae el líquido vaporizado y separa el vapor.
- Un secador directo consume más combustible por kilogramo de agua evaporada, mientras más bajo sea el contenido de humedad.
- La eficiencia mejora al aumentarse la temperatura del gas de entrada a una temperatura de salida constante.

A continuación en la figura 2 se muestra un secador solar directo.



Fig. 2. Secador solar directo.

Mixto:

Son aquellos donde la colección de radiación se realiza tanto en el colector solar previo a la cámara de secado como en la misma cámara de secado. El Secador solar mixto presenta varias ventajas; en primer lugar el control del proceso es más simple (sobre todo en el caso de secadores con circulación forzada de aire). Es fácil de integrar una fuente auxiliar de energía para construir un sistema híbrido. El tener una cámara de secado separada de los colectores facilita la manipulación del producto y las labores de carga y descarga. Dado que la cámara no permite la entrada de la radiación solar, este sistema

permite secar en forma conveniente productos que se puedan dañar o perder su calidad de aspecto por una exposición directa al sol. Una desventaja de este tipo de secadores es el hecho de que al añadir el colector previo a la cámara para recolectar energía solar, el tamaño del equipo y sus costos aumentan. Una segunda desventaja es que para evaporar la misma cantidad de agua se necesita mover más kilogramos de aire a mayor temperatura que en el caso de los secadores directos.

A continuación en la figura 3 se muestra un secador solar mixto.



Fig. 3. Secador solar mixto.

Forma de Operación

La forma de operar un secador da lugar a dos alternativas:

Secado en tandas:

El producto es cargado en una sola tanda y la misma no se retira hasta que esté completamente seca. Todo el producto dentro del secador va pasando de un estado húmedo a un estado seco en forma paulatina. Permite un diseño más sencillo del proceso de carga y movimiento del producto dentro del equipo, por lo que resulta apropiado en secadores pequeños y medianos.

Secado continuo:

El producto se va cargando y descargando en tandas parciales. Dentro del mismo secador se encuentra una parte de producto húmedo y otra casi seca. El período entre cargas de las tandas varía de acuerdo al diseño. En algunos casos la carga y descarga parcial se realiza una vez por día. En otros casos se puede llevar a cabo varias veces en el mismo día. Estos secadores pueden ser de convección natural o forzada.

Capacidad de Producción.

La capacidad de producción se define con relación al peso del producto fresco total que se alimenta para ser secado. En general, cada tipo de secador solar tiene un funcionamiento más apropiado en cierto rango de capacidad de producción. Enseguida se describen las características de algunos tipos de secadores más comunes según la capacidad de su producción.

Capacidad de producción	Modo de calentamiento	Circulación de aire	Forma de operación
Pequeña o baja.	Directo	Convección natural	En tanda
Baja o media	Directo	Acción del viento	En tanda
		Convección natural	En tanda
	Indirecto	Convección Natural	En tanda
Media a alta	Indirecto	Forzada	En tanda
	Mixto o Indirecto	Convección forzada	Continua

Tiempos de Secado

En el tiempo total de secado deben de considerarse tres períodos distintos:

Primer Período:

Es este período de calentamiento inicial del producto en el cual la velocidad de secado en función del tiempo aumenta.

Segundo Período:

Es este lapso la velocidad de secado permanece constante y es independiente del sólido, de modo que para las mismas condiciones externas, el proceso es similar al que se daría en la superficie de una masa de agua.

Tercer Período:

Una vez que la humedad superficial ha sido eliminada, la humedad interna remanente comienza a ser eliminada pero, en consecuencia, la velocidad del secado decrece a medida que se va perdiendo humedad interna por evaporación en la superficie.

Las duraciones de los períodos de secado varían de un secador a otro y de un producto a otro, de tal forma que es en la práctica donde se fijan estos valores. Al disminuir la cantidad de humedad a evaporar también disminuye el tiempo de secado; otra opción de disminuir el tiempo de secado es la de aumentar la energía térmica, para que aumente la temperatura del aire y así aumente la tasa de transferencia del calor necesario para evaporar la humedad del producto. Si se quiere disminuir el tiempo de secado se debe tener cuidado de que la temperatura del aire no sea demasiado alta, ya que puede ocasionar daños al producto a secar.

Contenido de Humedad de un Producto

Contenido de Humedad:

Es la cantidad de agua evaporable existente en un producto y se expresa con relación a su masa total o a su masa seca (esto es sin contar la masa de agua evaporable que contiene).

Existen diferentes métodos para medir el contenido de humedad de un producto. La determinación directa del contenido de humedad implica medir la masa del producto y la masa seca correspondiente. Para medir la masa seca de un alimento generalmente se le somete a 104°C, hasta que llegue a un peso constante. En el caso de productos que se descomponen por efecto de altas temperaturas, éstos se secan poniéndolos en una estufa de vacío a 60°C y a una presión mayor de 700 Pa, hasta que lleguen a un peso constante.

Contenido de Humedad de Equilibrio:

Una variable importante en el secado de materiales es la humedad del aire en contacto con un sólido de determinada humedad. Supóngase que a un sólido húmedo se le aplica una corriente de aire con humedad y temperatura constantes. Supóngase, también, que se usa una gran cantidad de aire, por lo que las condiciones permanecen invariables. Después de haber expuesto el sólido por tiempo suficiente para alcanzar el equilibrio, llegará un momento en que éste tendrá un contenido de humedad definido. A este valor se le conoce como contenido de humedad de equilibrio del material, bajo las condiciones específicas de humedad y temperatura del aire. Si el material contiene más humedad que su valor de equilibrio en contacto con un gas a determinada humedad y temperatura, se secará hasta alcanzar su valor de equilibrio. Si el material contiene menos humedad que su valor de equilibrio, absorberá agua hasta alcanzar dicho valor de equilibrio.

Humedad Inicial Óptima:

Es de particular interés el efecto que ejerce el ambiente sobre el producto a secar durante el almacenamiento previo al secado; si el producto es almacenado en un ambiente húmedo, se recomienda acomodarlo de tal manera que se propicie un secado natural, para que favorezca un nivel óptimo de humedad inicial. Existen diferentes métodos de secado alternativos, los que pueden disminuir el contenido de humedad de un producto, antes de introducirlo a un secador de convección. Estos métodos pueden ser de separación mecánica, e incluso por otro tipo de secador térmico, ya que comparativamente con la energía gastada por un secador convectivo, esta medida redundará en un ahorro.

Humedad Final Óptima:

El secado puede considerarse como exitoso cuando el contenido de humedad del sólido que sale del secador se ha reducido lo suficiente para que pueda pasar a otros procesos o para que pueda salir a la venta inmediatamente. La importancia del contenido de humedad con el uso eficiente de la energía, no puede pasar desapercibido. Además, no tiene caso secar más allá de la humedad de equilibrio, ya que el material tendría a recuperar humedad hasta que se estabilice con la atmósfera que la rodea. Por lo anterior, se concluye que la humedad óptima de salida es la humedad de equilibrio del material con la atmósfera donde se va a almacenar. Es muy importante recordar que la humedad de equilibrio de un material varía de acuerdo a las condiciones atmosféricas que lo rodean, en especial de la humedad relativa y de la temperatura de bulbo seco.

Flujo de Aire

La optimización del flujo requerido de aire es importante, ya que es el aire en contacto con el producto el encargado de extraer su humedad. La temperatura inicial de la corriente de aire desciende conforme avanza en el secador. A lo largo de su recorrido en el secador el aire aumenta su humedad relativa. Para un proceso de secado ideal, esta humedad relativa debe llegar a ser lo más próxima posible a la humedad de saturación. En un proceso eficiente y dado que la circulación de aire lleva un costo, es necesario determinar el flujo másico de aire óptimo para secar el producto en el menor tiempo posible, el cual va a depender de la naturaleza del producto, tipo de secador, etc. Si se conocen las temperaturas existentes en diversos puntos del secador, se puede determinar aproximadamente qué tan correctamente está trabajando la corriente de aire de entrada. La corriente de aire óptima para el secado será alcanzada cuando, en el punto final del secador, la humedad del aire sea cercana a la humedad de saturación; esto sucederá cuando la temperatura en la salida del secador sea igual a la temperatura de bulbo húmedo correspondiente a las condiciones de la temperatura del flujo de aire y de humedad iniciales en la entrada del secador.

En la figura 4 se muestran los diferentes tipos de flujo de aire a través de un secador solar.

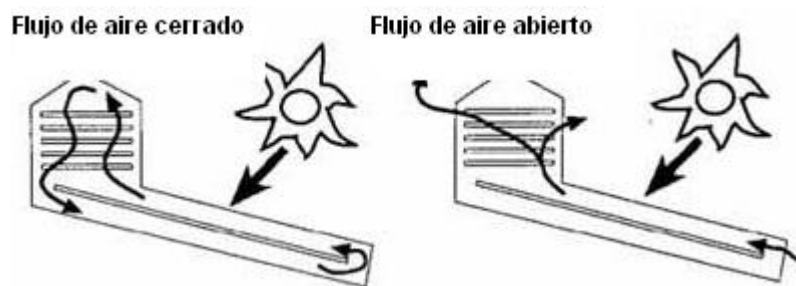


Fig. 4. Dos tipos de flujo de aire.

CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UNA SECADORA SOLAR

La Figura 5 muestra una vista general del gabinete de la secadora, en la cual se observa la cámara de secado y la chimenea, ambas hechas de lamina galvanizada y pintadas de negro.



Fig. 5. Vista general del gabinete de la secadora solar.

Las medidas de la cámara de secado son: 34cm de largo, 34cm de ancho y 72.5cm de alto y las medidas de la chimenea son: 52cm de altura y un diámetro de 10cm. La chimenea es un tubo de lámina galvanizada (empleado para la salida del humo de los calentadores de agua caseros, llamado “yarda”). En la figura 6 se muestra la chimenea del gabinete.



Fig. 6. Chimenea del gabinete de la secadora solar.

En el interior de la cámara de secado se encuentran 5 charolas de 3cm de espesor, con mallas plásticas, que es donde se coloca la fruta a secar. En la figura 7 se observan varias charolas de fuera.



Fig. 7. Charolas de la secadora solar.

La secadora se encierra en un bastidor, con el cual se produce un efecto invernadero que favorece al secado. El bastidor fue construido a partir de madera y vidrio, cuyas medidas son: 43cm de ancho, 42cm de largo y 1.24m de alto. Este tiene una puerta de madera forrada de unicel por dentro, para disminuir las perdidas de calor. La puerta permite el acceso a la cámara de secado sin dificultad, facilitando la carga-descarga de las charolas y la limpieza del interior. En la figura 8 se muestra el bastidor donde se puede observar el forro de unicel de la puerta.



Fig. 8. Bastidor donde se encierra la secadora solar.

La parte superior de la chimenea se deja fuera del bastidor, que es por donde saldrá el aire húmedo al operar la secadora. En la figura 9 se muestra la tapa del bastidor que es por donde sale la chimenea del gabinete de la secadora. También se puede observar el agujero que tiene esta tapa, que es por donde sale la chimenea.



Fig. 9. Tapa del bastidor.

El gabinete tiene un respiradero debajo de la parte delantera, de 17cm por 34cm, por el cual entra el aire ambiente. El mismo respiradero lo tiene el bastidor pero con medidas de 9cm por 40cm. En la Figura 10 se muestra el respiradero del gabinete.



Fig. 10. Respiradero del gabinete.

Cuando la secadora opera, la radiación entra a través de las cubiertas de vidrio, y es absorbida por las superficies interiores del gabinete y así convertida en calor. Las superficies interiores de este elevan la temperatura del aire en su interior, lo que produce que este ascienda por convección natural, pasando a través de las charolas. El aire húmedo sale finalmente del secador a través de la chimenea ubicada en el extremo superior del gabinete de la secadora. Esta acción reduce la presión dentro del gabinete y el aire ambiente que se mueve afuera del bastidor es conducido hacia el respiradero de este y así se establece un flujo continuo del aire. Variando el tamaño de los respiraderos se puede regular el flujo de aire.

La forma de operar de la secadora solar se muestra en figura 11, donde se observa la secadora encerrada en el bastidor, y en la figura 12 se muestran en conjunto todos los elementos que componen la secadora solar.



Fig. 11. Secadora lista para operar.



Fig. 12. Todos los elementos de la secadora solar.

La forma de preparar la fruta a secar es la siguiente: Se cortan rebanadas no muy gruesas de la fruta a secar (aproximadamente 1cm. de ancho), la fruta cortada se sumerge en agua de limón, esto con el objeto de evitar la oxidación (oscurecimiento de la fruta), y se colocan de manera uniforme en cada una de las charolas. En la figura 13 se observa la manera de distribuir la fruta sobre las charolas.



Fig. 13. Forma de distribución de la fruta en una charola.

Cabe mencionar que al momento de preparar la fruta las charolas deben estar perfectamente lavadas. Las charolas no deberán estar completamente llenas de fruta, porque de este modo se obstruiría el flujo de aire a través de las charolas.

De esta manera se muestra el funcionamiento, la forma de secar y todos los elementos que componen la secadora solar utilizada. Cabe mencionar que el costo de los materiales que componen esta secadora solar es bajo así como el armado de esta es sencillo y fácil de realizar. Una de las ventajas de esta secadora solar es que no requiere un gran espacio para colocar la secadora y el material del que esta hecha es fácil de conseguir.

REFERENCIAS

Almanza R. y Muñoz F. (1994) *Ingeniería de la Energía Solar*. El Colegio Nacional, México.

- Ayensu A., (1997) Dehydration of food crops using a solar dryer with convective heat flow. *Solar Energy*, **59**, 121-126.
- Cook E. (1991) *Process Drying Practice*. pp 12-80. McGraw-Hill, Washington.
- Duffie and Beckman, (1991) *Solar Engineering of Thermal Processes* Wiley/Interscience, New York.
- Lunde P.J. (1980) *Solar Thermal Engineering: Space Heating and Hot Water Systems*. pp 70- 109. Wiley, New York.
- Nonhebel G. (1971). *Drying of Solids in the Chemical Industry*. Essex, Great Britain.
- Pérez J. y Hernández G. (2002) Natural convection solar dryer with biomass back-up heater Payback, *Solar Energy*, **72**, 75-83.
- Weider S. (1982) *An Introduction to Solar Energy for Scientists and Engineers*. Wiley, New York.