

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SECADOR SOLAR TIPO GABINETE PARA EL SECADO DE HOLLEJO DE NARANJA

Ronald Andión Torres, José A. Suárez Rodríguez y Ciro C. Bergues Ricardo

Calle: A No.4 % Primera y Principal Rpto: Alta Vista Santiago de Cuba, Cuba
Tel.: 67 40 82 email:randion@cies.ciges.inf.cu

Recibido: 18-03-11; Aceptado:18-04-11.

RESUMEN.- Con el fin de la extracción de la pectina a nivel de laboratorio para usos médicos, a partir del hollejo de naranja seco, se realizó un diseño y la construcción de un prototipo de secador solar pequeño de tipo gabinete. El equipo consta de una estructura de madera contrachapada, con una cubierta de vidrio y una chapa metálica absorbente de la radiación solar. El producto se coloca en una capa fina en bandejas. Para la circulación del aire, la instalación presenta dos agujeros de entrada en los laterales y dos agujeros de salida en la parte superior de la pared trasera. El cálculo de diseño de la instalación, se realizó aplicando ecuaciones conocidas de la termodinámica con la ayuda de una carta psicrométrica, además se incorporó a la investigación de este equipo un balance energético y el cálculo de la eficiencia del mismo para un conocimiento energético más profundo de la instalación.

Palabras claves: pectina, prototipo, gabinete, psicrométrica

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A SOLAR DRYER TYPE CABINET FOR THE DRYING OF WASTE ORANGE

ABSTRACT.- With the purpose of the extraction of the pectin at laboratory level for medical uses, starting from the dry orange waste, it was carried out the design and construction of a prototype of small solar dryer of type cabinet. The installation consists of a structure woodenadso, with a covered with glass and a foil metallic absorbent of the solar radiation. The product is placed in a fine layer in trays. For the circulation of the air, the installation presents two entrance holes in the lateral and two exit holes in the superior part of the back wall. The calculation of design of the installation, was carried out applying known equations of the thermodynamic with the help of a letter psicrometric, also incorporated to the investigation of this installation an energy balance and the calculation of the efficiency of the same one for a deeper energy knowledge of the installation.

Keywords: pectin, prototype, cabinet, psicrometric

1. INTRODUCCION

En las grandes empresas de productos cítricos, se generan grandes cantidades de desechos, por lo que se necesitan grandes áreas de almacenamiento, además su rápida fermentación y su olor desagradable, se convierte en un problema medioambiental y por su alto contenido de humedad, el transporte de estos residuos resulta muy costoso. La mayoría de estos desechos son vendidos a fábricas para la fabricación de piensos para comida animal. Sin embargo, estas soluciones no están siendo rentables por el aumento del precio del combustible y de la energía eléctrica.

Para evitar todos estos problemas, en varios países se han dado a la tarea de darles un valor agregado a estos residuos, como es la producción de pectinas a partir del hollejo de naranja seco para usos médicos. Para esto, es imprescindible el uso del proceso de secado.

Utilizar secadores solares supone el empleo de equipos que permitan aprovechar la radiación solar, para preservar los productos alimenticios de los factores climáticos así como

de los animales y evitar el consumo excesivo de los combustibles convencionales.

El proceso de secado de alimentos se basa en la extracción moderada de agua que contienen estos productos. El contenido inicial de humedad de los productos agrícolas varía entre el 30 y el 90 % de la masa; mediante los proceso de deshidratado, el contenido de agua es reducido a un porcentaje entre el 8 y el 16%.

El secado solar de productos alimenticios, ofrece varias ventajas como son:

1. Transformar grandes cantidades de productos, para evitar pérdidas de cosechas en períodos de abundancia.
2. Conseguir que su consumo se realice durante todo el año.
3. Facilitar su almacenamiento y transporte.
4. Bromatológicamente los productos deshidratados tienen mayor poder alimenticio ya que al perder gran parte de su contenido de agua se concentran los

hidratos de carbono, sustancias pectinas, proteínas, grasas, sales minerales, que se encuentran en sus tejidos.

Se abren nuevas oportunidades para el productor y genera nuevas fuentes de trabajo e ingresos.

2. EL SECADO SOLAR

En una acepción más amplia del término, pueden considerarse como métodos de secado, aquellos, en que el agua sin cambiar de estado, se extrae por medios térmicos con calentamiento por fuentes energéticas convencionales (electricidad, petróleo, etc) o por fuentes energéticas renovables como la energía solar, o por medios mecánicos, que pueden ser por, sedimentación, filtración o centrifugación. Existen secadores que combinan todos los efectos anteriores.

La operación de secado es una operación de transferencia calor y masa de contacto gas - sólido, donde la humedad contenida en el sólido se transfiere por evaporación hacia la fase gaseosa, en base a la diferencia entre la presión de vapor ejercida por el sólido húmedo y la presión parcial de vapor de la corriente gaseosa. Cuando estas dos presiones se igualan, se dice que el sólido y el gas están en equilibrio y el proceso de secado cesa.

Para la selección de un método de secado es preciso tener en cuenta la naturaleza y estado de la sustancia: sólido, pastoso, en caldo (papilla) ó líquido. Así, los alimentos se ven afectados por la influencia de altas temperaturas. Los productos conformados como la madera experimentan, ante un secado demasiado rápido, modificaciones indeseadas como el encorvamiento ó fisuración. Desde el punto de vista de la economía y de la explotación, un producto debe tratarse en función de las características exigidas (Kneule, 1966).

El hollejo de naranja es un material fibroso, capilaro poroso de estructura polimérica compuesto por celulosa y lignina, y con alto contenido de humedad, cercano al 70 %.

La aplicación del secado solar es fundamental en los productores agrícolas ya que les permite una adecuada conservación de los productos cosechados. Aún en el caso de los productos que se comercializan en forma fresca, el secado solar ofrece una vía al agricultor cuando existen problemas en el transporte o se producen bajas de precios por sobreproducción. Además ofrece una alternativa más, de valorizar algunos desechos, para la producción de alimento animal y la utilización de estos, como materia prima para la industria farmacéutica.

3. MODELO DEL SECADOR PROPUESTO Y PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

De los distintos diseños de secadores solares propuestos por muchos autores, el modelo escogido en nuestro trabajo, como se muestra en la Figura 1, es del tipo gabinete, por su fácil construcción, maniobrabilidad y bajo costo, además de ser desarmable.

La energía se transmite al agente secante debido a la radiación solar infrarroja, que atraviesa la cubierta de cristal, la cual es absorbida por la chapa absolvedora y esta a su vez, transmite la energía por radiación y convección al producto a secar.

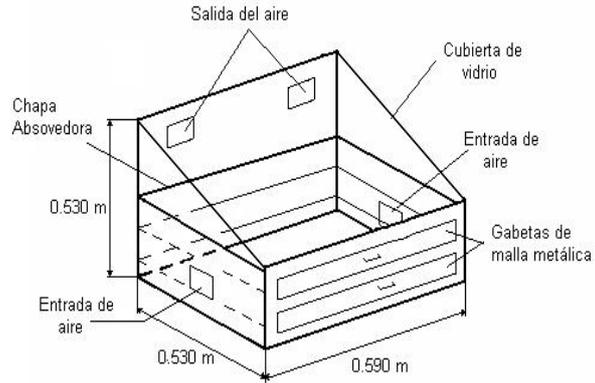


Fig. 1: Esquema del secador, tipo gabinete

El secador fue construido de madera contrachapada, con un espesor de 15 mm, cubierta con pintura anticorrosiva, garantizando así el aislamiento térmico y la vida útil de dicho equipo. El mismo presenta una cubierta transparente de cristal, con una inclinación de aproximadamente 23°, según la latitud del lugar, que garantiza la entrada perpendicular de la radiación solar, específicamente los rayos del espectro infrarrojo cercano, correspondientes a longitudes de onda entre 0,4 a 2,5 micrones, los cuales quedan atrapados en el interior de la cámara de secado, provocando un intenso efecto de invernadero, ya que el vidrio le es opaco al infrarrojo cercano. Debajo de la cubierta, el secador presenta una chapa metálica ennegrecida, encargada de absorber la radiación solar e impedir que el producto reciba la radiación directa del sol. El producto se coloca en dos bandejas equidistantes, una encima de la otra, hecha de malla metálica, la cual permite la circulación del aire, que penetra al interior de la cámara de secado por dos agujeros que se encuentran en las paredes laterales y que luego del aire aumentar su temperatura y su contenido de humedad es evacuado al exterior en forma natural por los agujeros de salida del fluido que se encuentran en la parte superior de la pared trasera.

3.1. Cálculo de parámetros de diseño del secado

Tabla 1. Valores de las variables obtenidas en laboratorios y tablas para el cálculo de diseño.

Datos del aire	Datos del material: (Hollejo de naranja)
Temperatura inicial (Ti): 30 °C	Peso específico (po): 74.4 kg/m ³
Temperatura final (Tf): 40 °C	Contenido de humedad inicial (wo): 75,9 %
Humedad relativa inicial (no): 70 %	Contenido de humedad final (wf): 10 %
Humedad relativa final (nf): 70 %	Volumen de material (Vh): 0,8 kg = 0,011 m ³
Entalpía inicial (lo): 78 kJ/kg aire seco	---
Entalpía final (lf): 125 kJ/kg aire seco	---
Contenido de humedad inicial (xf): 0,008 kg/kg aire seco	---
Contenido de humedad final (xf): 0,027 kg/kg aire seco	---
Peso específico del aire (po): 1,165 kg/m ³	---

Humedad total a extraer
 $Wt = po \cdot Vh \cdot (wo - wf) / (100 - wf)$ (1)
 $Wt = 0,61 \text{ kg de humedad a extraer}$

Consumo específico de calor
 $q = (lf - lo) / (xf - xo)$ (2)
 $q = 2473,68 \text{ kJ / kg de humedad a extraer del producto}$

1. Cantidad específica de aire
 $Le = 1 / (xf - xo)$ (3)
 $Le = 52,63 \text{ kg de aire / kg de humedad}$

Calor necesario total
 $Q = q \cdot Wt$ (4)
 $Q = 1508,94 \text{ kJ}$

Cantidad de humedad a evaporar diariamente por m³
 $W1 = Wt / T$ (5)
 T: Tiempo de secado, 3 días, equivalente a 8 horas diarias
 $W1 = 0,20 \text{ kg de humedad a extraer}$

Cantidad de aire necesario cada día por m³
 $L = Le \cdot W1$ (6)
 $L = 1,04 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{s}$

Área de entrada del aire.
 La velocidad del aire en la cámara de secado se determinó aplicando la ecuación de Bernouilly, donde $V_{aire} = 0,025 \text{ m/s}$.
 $A = L / V_{aire}$ (7)
 $A = 0,0042 \text{ m}^2 = 42 \text{ cm}^2$

Como son dos agujeros de entrada y salida, entonces el área de un agujero se tomó con un valor de 24 cm^2 .

3.2. Cálculo del área disponible del secador.

$A = Q / Qi$ (8)

Donde:
 Q: Energía necesaria total para evaporar 0,60 Kg. de humedad, para un nivel de carga de 0,8 kg: (1508,94 kJ)
 Qi: Energía solar incidente en el secador

$Qi = Hr \cdot \eta$ (9)

Donde:
 Hr: Energía solar media anual recibida: $5 \text{ kWh} / \text{m}^2$
 η : Rendimiento asumido del secador: 15%

Entonces:
 $Qi = 5 \cdot 0,15$
 $Qi = 0,75 \text{ kW h} / \text{m}^2 = 2700,61 \text{ kJ} / \text{m}^2$

Sustituyendo en la ecuación 2.12, el área disponible del secador es:
 $A = 1508,94 / 2700,61 = 0,56 \text{ m}^2$

De los cálculos anteriores, el área prevista para el secador es de $0,56 \text{ m}^2$, para una carga total de hollejo de naranja húmedo de 0,8 kg por carga, cantidad fijada por la empresa. Teniendo en cuenta los recursos disponibles para la construcción del secador se disminuyó esta área a $0,30 \text{ m}^2$

ubicando dos bandejas en forma escalonada, para la entrada de todo el producto y con ello se logró abaratar el costo del prototipo.

3.2. Balance energético de la instalación.

Cálculo de la energía útil de la instalación:

$Eu = Qs + Q_{LV}$ (10)

$Qs = m_{prod} \cdot Cp \cdot (Tf - Ti) \Rightarrow$ Calor sensible (11)

Donde:

m_{prod} : Masa del producto (0,8 kg)
 Cp : Calor específico del producto ($1,5 \text{ kJ} / \text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}$) (Tabla 9. Sukomiel, 1977)
 Tf : Temperatura máxima del producto ($45 \text{ } ^\circ\text{C}$)
 Ti : Temperatura inicial del producto ($30 \text{ } ^\circ\text{C}$)

Por lo que,

$Qs = 0,8 \cdot 1,5 \cdot (45 - 30) = 18 \text{ kJ}$

$Q_{LV} = Q_{Lagua} \cdot m_{agua} \Rightarrow$ Calor latente de vaporización (12)

Donde:

$Q_{Lagua} = 2256 \text{ kJ} / \text{kg} \Rightarrow$ Calor latente del agua

$m_{agua} = W1 = 0,20 \text{ kg} \Rightarrow$ Masa de agua extraída del hollejo de naranja en un día de secado

Sustituyendo en la ecuación (12):

$Q_{LV} = 451,2 \text{ kJ}$ Calor útil:

$Q_{útil} = Qs + Q_{LV} = 18 + 451,2 = 469,2 \text{ kJ}$

Cálculo de las pérdidas del equipo:

Para el análisis de las pérdidas de la instalación, primero se realizaron los cálculos de los coeficientes de pérdidas de transferencia de calor, para esto se tuvieron en cuenta los tres procesos de transferencia de calor, convección entre el fluido y las paredes, conducción en las paredes y la radiación entre la pared y el ambiente.

A continuación se encuentran los resultados de las pérdidas de potencia calorífica media diaria:

Tabla No. 2 Valores de las pérdidas en el equipo

Pérdidas	(W)	Kwh. / día
Pérdidas por el lateral	3,5	0,028
Pérdidas por el fondo	5,07	0,041
Pérdidas por la pared trasera	2,47	0,02
Pérdidas por la cubierta	6,68	0,053
Pérdidas por el frente	1,35	0,011
Suma de pérdidas	19,07	0,15

Cálculo de la eficiencia del equipo:

$$\eta = \frac{Eu}{Ei} = \frac{0,43}{5} = 0,086 = 8,6\%$$

La eficiencia del equipo para una carga de 0,8 kg es de 9 %, estos son niveles de eficiencia bajos, dentro del rango establecido para convección natural sin recirculación de aire en secadores solares desde algo menos de 10 a 35 % en secadores solares tipo gabinete en condiciones similares (Bergues, Ciro, 1992).

Estos niveles de eficiencia se deben a que la prioridad de este diseño fue mantener los niveles de temperatura máxima de 40 a 45 °C, previstos para el producto a secar, lo que se logró a costa del aumento de los orificios de entrada y evacuación de aire. La disminución de la eficiencia se compensó con el bajo costo del equipo y su bajo impacto ambiental.

Para otras aplicaciones de productos que no necesiten estos niveles bajos de temperatura, el área de la entrada y salida del aire se disminuye de acuerdo a la temperatura de trabajo del material.

A continuación, en la figura 2 se presenta un esquema del balance energético de la instalación:

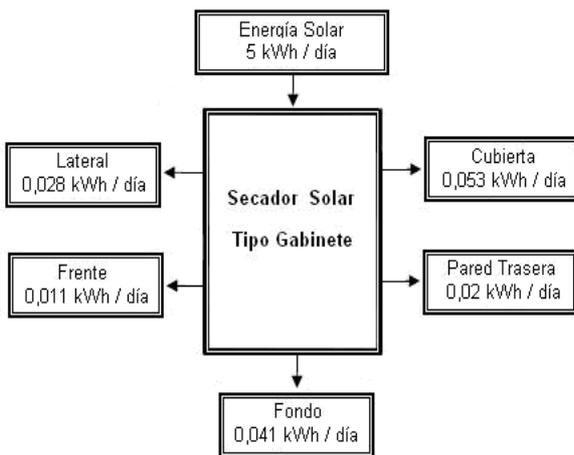


Fig. 2. Esquema del balance energético de la instalación.

4. CONCLUSIONES

Se realizó el análisis de diseño y construcción de un secador solar tipo gabinete para el secado del hollejo de naranja para usos médicos.

Por razones de escasez de materiales el área de la cubierta del secador se disminuyó desde 0,56 m² a 0,30 m² colocando dos bandejas para la entrada de toda la carga 0,8 kg.

La energía útil que necesita el secador para evaporar 0,20 kg de agua diario es de 469,2 kJ.

El valor de eficiencia energética del secador fue de 9 %, el cual se encuentra dentro del rango establecido para convección natural sin recirculación de aire según algunos autores.

REFERENCIAS

ASTM. (1983). Standard Method for the Bulk Density of Particulate Biomass. (E-873-82).

ASTM. (1987). Standard Method for Moisture Analysis of Particulate. (E-871-82).

Bala, B. K. Woods, J. L., (1994). Simulation of the indirect natural convection solar drying of rough rice. *Solar Energy* **53**, 3, 259-266.

Bergues R. C., Ibañez G. et al, (1992). Secador solar doméstico con materiales de la construcción. *Tecnología Química*, **13**, 3.

Bergues R. C., 1999. *Concepción y evaluación de un secador de bajo costo para el secado solar de semillas*. Tesis en opción al Título Académico de Master. Centro de Eficiencia Energética, Universidad de Oriente.

Boizán, J. M. A., Ivanovich, Z. V., (1986). *Secado fluidizado de productos alimenticios*. Editorial Mir.

Brace Research Institute. (1975). Research Report no. T-99., Quebec, Canadá.

Chen, H., Hernández, C.A., Huang, T., (2004). A study of the drying effect on lemon slices using a closed-type solar dryer. *Solar Energy*, **78**, 97 – 103.

Cruz Armenta, J. M., Velasco Díaz B. E., (2001). Obtención de la Pectina a partir de la cáscara de la naranja. Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán. (<http://hosting.udlap.mx/profesores/miguela.mendez/alephzero/archivo/historico/az32/art1.htm>). Anexado el 15 de marzo de 2009.

Duffie J., Beckman W., (1997). *Solar Engineering of thermal processes*.

Fadhel, A., Kooli S., Farhat A., Bellghith A. (2005). Study of the solar drying of grapes by three different processes. *Desalination*, **185**, Issues 1-3, p 535 – 541.