

CONCEPCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SECADOR SOLAR DE GRANOS CON CUBIERTA DE POLIETILENO

Ciro César Bergues Ricardo, Jorge Luis Abdala Rodríguez, Pedro Griñán Villafañe, Susana Fonseca Fonseca, Joel Pantoja E., Zulema Acosta Vargas, Geovannis Hernández Gálvez

Centro de Investigaciones de Energía Solar

Después de una descripción general de un secador solar de bajo costo en tres variantes, una evaluación térmica práctica es realizada para determinar la variante más adecuada para el secado de semillas. Por su comportamiento adecuado, con temperaturas que no exceden 40 °C, fue seleccionado el secador con cubierta de polietileno negro. Pruebas con carga usando semillas de maíz fueron realizadas probándose su capacidad para secar 3 kg/m²d de maíz, con un costo de 12 USD/m² de secador.

Palabras clave:

After a general description of a low cost solar dryer in three designs, a practical thermal evaluation is performed to determine the most suitable for seed drying. Because of its appropriate behaviour, with temperatures not exceeding 40 °C, the black polyethylene cover dryer was selected. Tests with charge, using corn seeds, were done proving its capacity to dry 3 kg/m² day of corn, with a cost of 12 USD/m² of dryer.

Key words:

Introducción

Concepción y diseño del secador solar de granos

La tendencia mundial actual bien definida de los equipos que tienen que ver con el tratamiento tecnológico de sustancias orgánicas agropecuarias es a bajar el costo de los mismos. En numerosos trabajos latinoamericanos, se observa la construcción de secadores con cubierta de polietileno, en sustitución de los ya tradicionales de vidrio. La estructura del secador se hace cada vez más sencilla y ligera, de materiales como madera y materiales de la construcción. Estos secadores son incluso instalados en lugares de climas menos favorables que el cubano, como el sur de Argentina y Chile, y zonas montañosas, donde además de la baja temperatura ambiental se suman las altas velocidades del viento siendo mayor el régimen de pérdidas de calor al medio. Estos equipos de tipo multipropósito son capaces de secar toda una gama de productos como madera, granos, vegetales (ají), y plantas medicinales (orégano).

Siguiendo esta tendencia, en el CIES se han

diseñado una serie de secadores de bajo costo con las siguientes características:

1. Geometría achatada: Su altura no sobrepasa los 30 cm.
2. Materiales baratos y tecnología sencilla.
 - a) Cubierta de polietileno, que puede ser transparente o no.
 - b) Estructura con un mínimo de metales, pero de suficiente resistencia mecánica para sostener la cubierta.
 - c) No posee aislamiento por el fondo, ya que se coloca directamente sobre cualquier plataforma de hormigón (que tradicionalmente se utiliza para el secado solar natural).
 - d) La carga o producto por secar se coloca en cama fina sobre el piso de hormigón, con un espesor de 1-5 cm.
3. Evacuación del aire mediante convección natural a través de una chimenea solar de alrededor de 1- 0.5 m de altura. Esto conlleva un consumo nulo de energía eléctrica facilitando el uso del equipo en regiones aisladas.
4. Los secadores pueden llevar un mecanismo de remoción rotatorio del grano, lo que facilita (en pocos minutos) para un solo hombre la remoción del grano durante el secado.

Aunque por los sencillos materiales y tecnología utilizados de estos secadores no se han de esperar altos rendimientos, esto es compensado por el bajo costo de inversión y operación.

Uno de los factores clave es la adaptación de una tecnología general a los requerimientos de ciertas aplicaciones particulares. Estos secadores de nueva generación tienen potencialidades para ser utilizados en varias aplicaciones, entre ellas elegimos por su importancia:

Secado de semillas

Requiere de temperaturas máximas por norma de unos 40 °C, ya que más allá se degradan las proteínas del embrión y decae el poder germinativo. La luz puede tener influencia en la germinación precoz y/o retardo posterior, sobre todo cuando hay humedad, por tanto, es mejor no tenerla durante el proceso de secado. La humedad es baja. La humedad inicial oscila de un 18 a un 20 % y la humedad final 13 %, y por lo tanto, está fuertemente ligada a la estructura del grano. Existen numerosos centros de procesamiento de semillas en todo el país, en los cuales se secan éstas en equipos convencionales (consumidores de petróleo), pudiendo ser sustituidos por la tecnología de secado solar.

Secado de granos

Los granos que no van a ser utilizados como semillas no presentan termolabilidad a los niveles de temperaturas referidos.

Para establecer la factibilidad de las mismas fue necesario evaluar diferentes diseños o alternativas tecnológicas de secadores solares:

Variante 1

Secador con cubierta metálica ennegrecida. Posee una altura de 30 cm, y el aire se evacua por convección natural por una chimenea. El calor se transfiere por conducción y radiación al producto el cual está sombreado. Es apropiado para el secado de productos fotosensibles.

Variante 2

Secador con cubierta de polietileno común o Larga Duración Térmico (LDT, vida útil de 3 años y costo de 0,5 USD /m²) con características ópticas similares al vidrio común. Se utilizaron separadores de madera, con 20 mm de espesor de aire.

Variante 3

Secador con cubierta de polietileno negro con el resto de las características idénticas a la variante 2.

Para todas las variantes, el secador es situado directamente sobre el piso o plataforma de hormigón.

En este trabajo se realiza la evaluación funcional de las tres variantes en vacío, determinándose la más adecuada para el secado de semillas de acuerdo con los parámetros obtenidos.

Objetivo del trabajo

Realizar la caracterización térmica funcional del secador solar de granos, para elegir la variante más adecuada al secado de semillas.

Desarrollo

Caracterización del secador solar de granos

El secador solar de granos está constituido por una estructura o armazón de alambro de acero de 10 mm de diámetro, tiene forma hexagonal, con un forro o cubierta de polietileno negro de 0,25 mm de espesor.

La cubierta posee en su centro una chimenea de 0,8 m de altura y 0,1 m de diámetro para la evacuación del aire húmedo del interior del secador. El área del prototipo es de 0,6 m². El aire fresco entra por dos aberturas laterales de 40 mm de altura y 500 mm de largo, situadas en la periferia.

El secador está provisto de ruedas, y se coloca directamente sobre el piso de hormigón donde se han situado en una capa fina las semillas por secar.

La remoción del grano (de ser necesaria) puede realizarse manualmente. El aire del medio entra al interior del secador por cuatro de las caras del hexágono, estando las otras dos cerradas por el mismo material de la cubierta.

El costo de estos secadores está en el orden de 12 USD /m². Aunque su eficiencia es relativamente baja debido a su sencillez constructiva, cumple a bajo costo las exigencias de la aplicación evaluada.

Principio de funcionamiento

La radiación solar incide sobre la superficie negra de la cubierta, que absorbe la mayor parte

y desprende calor hacia arriba (radiación térmica y convección libre), y hacia abajo o interior del secador (radiación térmica). La mayor parte del calor que llega a las semillas es por radiación, ya que el gradiente de temperatura creado en la estructura impide la convección en esa dirección. La circulación t del fluido dentro del secador es libre (no hay ventilador ni consumo de electricidad por este concepto). La chimenea contribuye al tiro natural del aire a una temperatura de 40-50 °C, todo lo cual favorece la evacuación del aire de la cámara. El aire caliente y con menor humedad relativa tiende a subir y es reemplazado por aire fresco del ambiente que entra por los laterales abiertos.

El aire del ambiente después de penetrar por los laterales se calienta, disminuyendo su humedad relativa y aumentando su contenido de humedad a medida que extrae la humedad del producto, lo que lo hace más ligero. Esta transformación facilita el mejoramiento de sus propiedades como agente secador.

La estructura según balances térmicos y ensayos experimentales puede alcanzar temperaturas del orden de 40 °C, apropiadas para el secado de semillas. El equipo muestra excelentes características de autorregulación térmica, debido a que su inercia térmica es relativamente alta en comparación con secadores de cubierta metálica.

Parte experimental

El experimento debe permitir la obtención de la información necesaria del Sistema, de forma rápida, económica, simple y suficientemente precisa.

La finalidad de la evaluación del secador solar de granos estuvo dirigida a conocer el rendimiento térmico dinámico durante días claros (radiación global de 18 a 26 MJ/m²) bajo dos regímenes de trabajo:

- a) Evaluación en vacío.
- b) Evaluación con carga.

Evaluación en vacío

Se evaluó como variable dependiente principal la temperatura del fluido dentro de la cámara del secador. Esta variable depende de los factores climatológicos (radiación solar, velocidad del viento, temperatura ambiental, humedad relativa) que fueron medidas durante los ensayos.

Con el propósito de medir los intervalos operacionales de temperatura de trabajo y proponer el diseño adecuado de acuerdo con la aplicación, las pruebas se realizaron en las tres variantes referidas anteriormente, es decir:

1. Secador solar con cubierta metálica.
2. Secador solar con cubierta de polietileno transparente.
3. Secador solar con cubierta de polietileno negro.

La temperatura del fluido dentro del secador caracteriza su estado térmico dinámico y se midió cada 1 h, utilizando para ello un termómetro digital FLUKE, con precisión 0,1 °C. Las variables climatológicas se midieron en la Estación Actinométrica del CIES. Cada experimento fue replicado seis veces.

Evaluación con carga

El experimento para la validación de los secadores de granos está en función de los intereses del usuario fábrica de semillas La Veguita, del MINAGRI, y por tanto, se evaluaría la variante 3, con cubierta negra de PVC en el secado de semillas. Esta variante se evalúa por el motivo de ser ella la que no excede las temperaturas de diseño máximas para esta aplicación (unos 43 °C) según pruebas en vacío preliminares.

Se controlaron dos niveles (alto y bajo) de carga húmeda unitaria por secar (kg/m²). El experimento no sólo conllevó conocer el funcionamiento térmico dinámico del secador a lo largo del día, sino el estudio de la cinética del secado de la semilla y la determinación de la carga real admisible para el prototipo de secador propuesto.

Los niveles de carga fueron de 3 y 6,15 kg/m², seleccionados por su cercanía a los valores límites teóricos, así como ritmo de carga utilizado en el secador convencional (nivel bajo). La carga fue removida cada 1 h manualmente.

Los rangos de humedades de interés van desde 20 % (inicial) hasta 13 % (final), aunque es importante para obtener datos mínimos funcionales trabajar en algunos casos específicos en torno a una humedad de un 14 % B_h, a la que se llevan las semillas por norma en la fábrica. Como el calor latente equivalente es mayor a esta humedad baja, los datos mínimos de extracción de agua se obtendrían en estos valores.

Se trabajó en días de verano e invierno principalmente en días claros y de insolación media. Se midieron las variables climatológicas en la Estación Actinométrica del CIES. Cada experimento fue replicado seis veces. Además, se midió la humedad del aire dentro de la cámara del prototipo a evaluado (0,6 m²). La determinación de la pérdida de humedad del grano se realizó en un determinador de humedad.

La caracterización se realizó en esta etapa para días claros debido a que sólo para estas condiciones el secador alcanza los parámetros de operación de diseño.

Análisis de los resultados

Evaluación en vacío

Las figuras 1, 2 y 3 muestran el comportamiento típico observado de la temperatura del

fluido dentro del secador, temperatura ambiental e irradiancia solar medida para los secadores solares de granos con cubierta metálica, cubierta de polietileno transparente y cubierta de polietileno negro respectivamente.

Como se ilustra, en todos los casos la respuesta de incremento de temperatura del fluido es directamente proporcional a la irradiancia solar. La radiación solar diaria se mantuvo en el intervalo de 18 a 26 MJ/ m² durante los días del experimento para los tres prototipos evaluados. El diseño que desde el punto de vista técnico-económico responde mejor a las exigencias del secado de semillas es el secador con cubierta de polietileno negro (Fig. 3), ya que además de tener un costo de fabricación menor (12 USD /m²), la temperatura alcanzada no excede los niveles permisibles normados para el producto (43 oC) .

El secador de cubierta de chapa metálica tiene la ventaja de poseer una vida útil mayor y alcanza

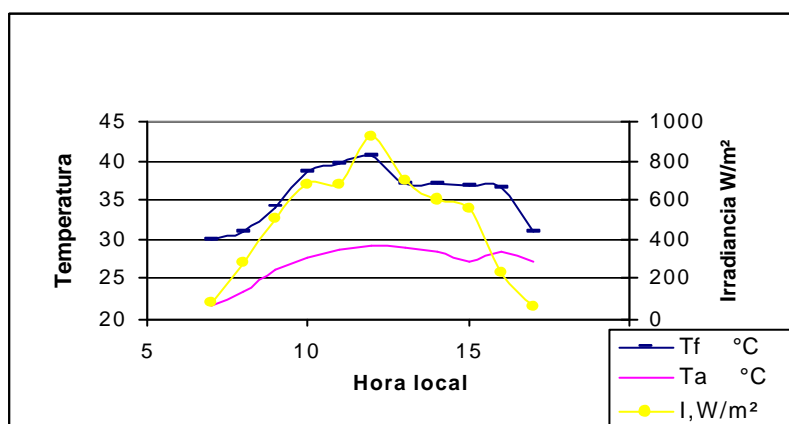


Fig. 1 Secador con cubierta metálica.

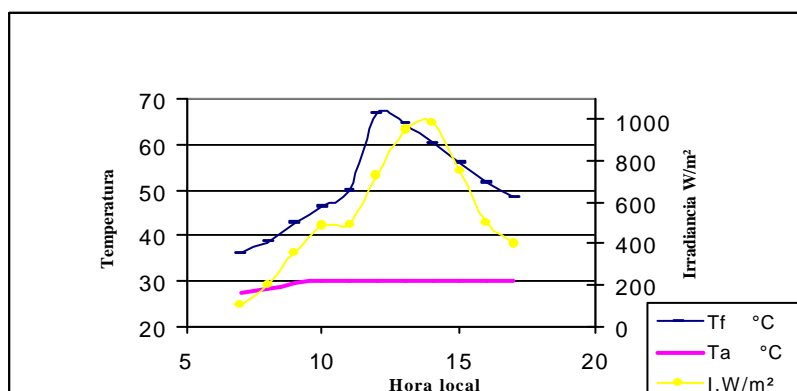


Fig. 2 Secador con cubierta transparente. 20/5/97

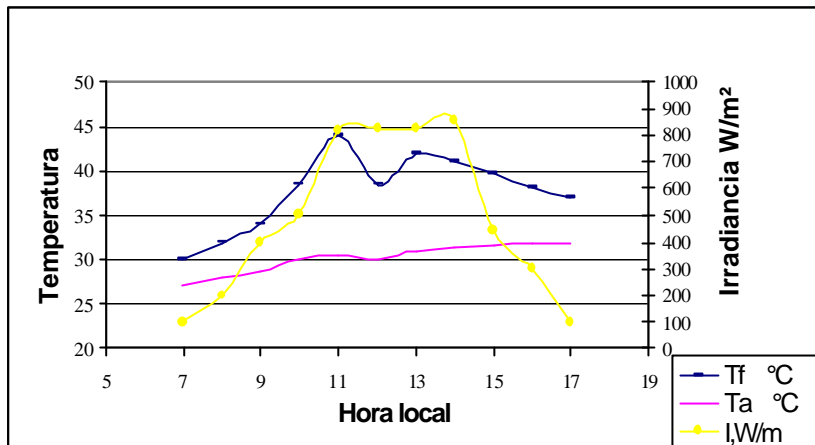


Fig. 3 Secador con cubierta polietileno negro. 1/10/97

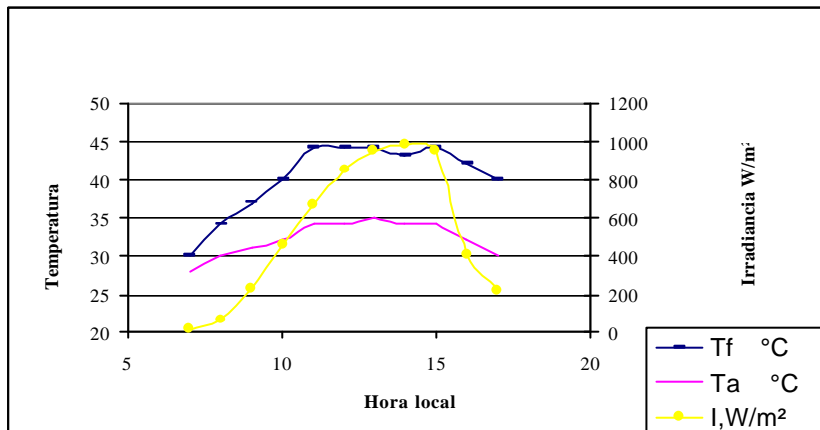


Fig. 4 Prueba con carga. $M=3 \text{ kg/m}^2$, $H_t=26,6 \text{ MJ/m}^2$.

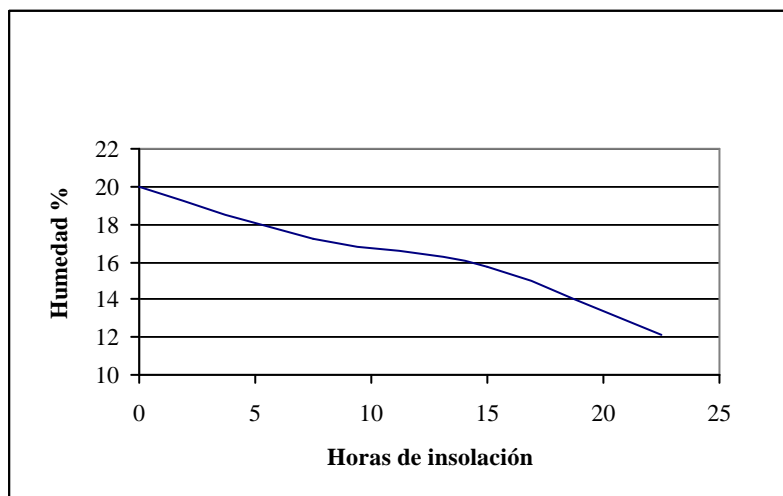


Fig. 5 Curva de secado $M=6,5 \text{ kg/m}^2$, $H_t=17,4 \text{ MJ/m}^2$.

temperaturas inferiores a los 43 oC, pero tiene un costo de fabricación sustancialmente mayor (35 USD/m²).

El secador de granos con cubierta transparente (Fig. 2) reporta (debido al marcado efecto invernadero) niveles de temperaturas superiores a los permisibles para el secado de semillas, lo que invalida su uso en esta aplicación.

Evaluación con carga

La figura 4 ilustra la respuesta típica observada de la temperatura en el interior del prototipo de secador con cubierta de polietileno negro propuesto para la aplicación evaluada. En este caso, para días claros con radiación global diaria de 18 a 26 MJ/m², el efecto de la carga no afecta significativamente el perfil de temperatura del aire dentro del secador en relación con las pruebas en vacío.

La curva de secado para el nivel alto de carga unitaria (6 kg/m²) se refleja en la figura 5. El maíz fue secado desde una humedad inicial de un 20 % hasta una humedad final de un 12,1 % (base húmeda) en 22,5 h netas de insolación, lo que equivale a 3 d efectivos de trabajo. Para el nivel bajo (3 Kg/m²) las semillas fueron secadas desde una humedad inicial de un 24,6 % hasta una humedad final de un 13,8 % en 8,5 h netas de insolación, lo que equivale a 1 d efectivo de trabajo. En ambos casos, la humedad final garantiza la calidad de las semillas.

Al comparar los resultados obtenidos, se recomienda la explotación del secador propuesto con el nivel bajo de carga, es decir, 3 kg/m², ya que de esta forma se logra una mayor productividad en el secado de semillas.

Conclusiones

1. Las pruebas experimentales permitieron conocer el universo de aplicación de las diferentes alternativas de secadores solares de granos, lo que permitió proponer un secador utilizando cubierta de polietileno negro, con

excelentes cualidades térmicas y funcionales (temperaturas estables de 40 oC) de acuerdo con las exigencias del secado de semillas.

2. La caracterización del secador solar de granos propuesto y el estudio de la cinética del proceso de secado demostró la factibilidad del secado de maíz con una carga de 3 Kg/m² en 1 d efectivo de trabajo, obteniéndose un producto seco con la humedad final requerida.

Bibliografía

- Boizán Jústiz, M., Secado fluidizado de productos alimenticios, Santiago de Cuba, Editorial Oriente, 1986.
- Bergues, C. et al., "Secador solar doméstico con materiales de la construcción", en Revista Tecnología Química, vol. XIII, núm. 3, 1992, págs. 84-93.
- Carnero, R. et al., El secado solar de productos agropecuarios: una vía económica y factible, Memorias del Evento Solar'94 Habana, Cuba, 1994.
- Bergues, C. et al., "Secador solar de verduras", en Revista internacional Solar Méjico, 1994.
- Chutnovski, A., Características termofísicas de materiales dispersos, Moscú, Editorial Fizmatgiz, 1962.
- Egorov, G. A., Relación entre la humedad y las propiedades térmicas de granos de trigo. (Tesis de candidatura), Moscú, MTUUPP, 1956.
- Lyuboshic, V.; Slobodkin A., Secado de productos termolábiles dispersos, Traducción del ruso y prólogo de M. Boizán., Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, 1974.
- Guezhov, A.; Samochetov, P., Secado y secadores de granos, Moscú, Editorial Kolos, 1967.
- Guinzoburg, A. S., Secado de productos alimenticios, Moscú, Editorial Pishchevopromizdat, 1960.
- Kossek, V. K., Determinación de la cinética del secado de productos microgranulares de la industria alimenticia (Tesis de candidatura) Odesa, 1967.
- Finck, Pastrana, "Experiencias de la Universidad Iberoamericana en el secado de productos agropecuarios", en Revista SOLAR Número 22, México, 1992.
- Duffie, J.; Beckman, W., Solar Engineering of Thermal Processes, 1993.