

Correlaciones de parámetros medios de proceso para el secado de productos agropecuarios en cama fina en secadores solares directos

Correlations of Mean Process Parameters for Agricultural Products Drying in Thin Bed in Solar Direct Dryers

MSc. Ciro César Bergues-Ricardo¹, cirob@fim.uo.edu.cu, Dr. José Raúl Díaz-López¹,

MSc. Alonso Torres-Ten², atorres@cies.ciges.inf.cu

¹Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba, ²Centro de Investigaciones de Energía Solar, Santiago de Cuba, Cuba

Se da un grupo de correlaciones entre la velocidad media de secado, las pérdidas de energía, la energía útil y la eficiencia térmica media del proceso, válidas para condiciones de secado en cama fina en secadores solares directos, y contribuyen a un enfoque integral del secado solar en estas condiciones. Ellas son válidas para procesos de secado de diversos productos agropecuarios tales como viandas, vegetales, frutas, granos y madera con convección natural o forzada. Las correlaciones fueron validadas en Cuba para el rango de productos y eficiencias térmicas característicos del secado solar en secadores solares directos de tipo gabinete, cubierta y nave en condiciones tropicales y resultan de utilidad para el diseño y explotación de secadores y para la comprensión teórica e implementación práctica de los procesos de secado solar como sistema.

Palabras clave: *secado, productos agropecuarios, secadores solares directos.*

A group of correlations is given between mean parameters of drying process drying velocity, energy losses, useful energy, and thermal efficiency. Those are suitable for conditions of thin bed drying, in direct solar dryers, and may help for developing of an integral approach of solar drying in those conditions. Correlations are reliable for drying processes of diverse crop products specified, such as roots, seeds, vegetables, fruits, wood, etc, with natural or forced convection. Correlations were validated in Cuba for usual ranges of efficiency and products in solar dryers of cover, cabinet and house types, in tropical conditions. These correlations are useful for design and exploitation of dryers and for theoretical and practical comprehension of solar drying like a system.

Key words: *drying process, agricultural products, solar direct dryers.*

Introducción

El secado solar de productos agropecuarios como tecnología y como proceso físico químico es una de las formas más antiguas de usar las fuentes renovables de energía. Este posee actualmente excelentes perspectivas para contribuir al desarrollo social en nuestro planeta, tanto en sus variantes tradicionales, al utilizar secadores solares directos o indirectos. También constituye una alternativa de gran interés prospectivo para la conservación de alimentos y para el ahorro de energía en los procesos de secado, que representan entre 20 y 40 % del consumo energético total de la industria de alimentos actual.

En los últimos años se ha producido un estancamiento relativo de la generalización del secado solar a escala nacional y, aunque se han multiplicado considerablemente el número y la calidad de sus aplicaciones en los últimos 10 años, su impacto es casi imperceptible en el balance energético. Este retraso relativo puede disminuirse más rápidamente con un abordaje integral y multifactorial de esta actividad en dos dimensiones: la tecnológica y la cultural.

Abordaje integral significa ante todo considerar al secado solar como sistema dinámico, integral, y con un enfoque industrial. Este enfoque, sugerido por diversos autores /3-12/ es opuesto al enfoque tradicional que considera al secado solar como un grupo de eventos o aplicaciones locales dedicadas

a propósitos específicos. A juicio de varios autores recientes, un enfoque industrial integral de la actividad es posible y necesario /2,3,20/.

La principal regularidad de la información sobre el secado solar hasta ahora es su carácter fragmentado. Esto se aprecia en la bibliografía, donde se verifica el carácter de abordaje local y no sistémico de la misma /5, 7-16/, dado por tratarse de un conjunto de casos particulares de diseño y explotación que los especialistas abordan como aislados. Pero además, no existe una teoría general que permita la comprensión del proceso de generalización sostenible de secadores solares en su totalidad. Y en particular desde el aspecto termo energético del mismo.

Por otra parte, el planteamiento explícito de la necesidad de un enfoque integral de la actividad de secado es muy escaso, se observa solo en determinados trabajos /2,19/. Son pocos los análisis en que el secado se ve como sistema, tanto en su aspecto tecnológico y termo energético como en sus relaciones con el ámbito social /2-5/. Esto está condicionado también por la existencia objetiva de procesos diversos y de modelos específicos de velocidad de secado, válidos para secadores, productos y procesos diferentes. Por otra parte, los artículos de secado solar, dado su carácter especializado, no se adaptan fácilmente a versiones sintéticas o populares.

Por ello, el diseño de secadores solares se dificulta y sus métodos responden más que a regularidades físico químicas generales, a aspectos particulares de los procesos químicos, físicos y térmicos que ocurren en el secado.

Para facilitar el proceso de diseño y generalización, es imprescindible estudiar regularidades y correlaciones más esenciales y abarcadoras que puedan ser utilizadas con facilidad por los colectivos multidisciplinarios que diseñan secadores solares.

Modelos de velocidad de secado

En el planteamiento de correlaciones y diagramas de tendencia para el secado solar directo de productos agropecuarios, es necesario

mencionar, como antecedentes directos, los modelos que describen los procesos concretos, en términos cinéticos y energéticos.

En el estudio del secado en cama fina, en secadores directos utilizando el efecto invernadero, en numerosas aplicaciones cubanas y extranjeras /5-19/, se reportan valores de velocidad de secado y productividades cercanos a los descritos por los modelos teóricos. Estos son: para granos y semillas, por el modelo teórico integral de Luikov (1966), y sus simplificaciones realizadas por Husain, *et al.* (1972), Haghigi y Segerlins (1988) /6/.

Para otros productos hay modelos que describen el secado para espesores pequeños de producto /6, 8/ en los que el tiempo de secado es proporcional al espesor y al gradiente de la humedad libre en base seca para el primer período de secado.

Para productos capilaro-porosos y predominio del segundo período de secado, se destacan los resultados de Bates (1960), quien demostró que en una placa fina secada por ambos lados el tiempo de secado es proporcional al cuadrado del espesor del producto manteniendo constantes las demás condiciones /3,18/. En cama fina, como expresan los modelos basados en ecuaciones diferenciales y los modelos empíricos como el de Mc Adams y otros, el factor controlante de la transferencia de masa, es la difusión de materia a través de los poros finos. Esta determina la velocidad de secado en el segundo período de secado, que predomina en materiales tales como granos y semillas, plantas medicinales y ciertos vegetales /2-7/.

La resistencia a la difusión puede disminuirse debido a una gran superficie específica del material (granos y semillas), por la división del material, (rodajas, aporreado, trozado), la disminución del espesor de la capa de material, la elevación de la frecuencia de la remoción del mismo y por la temperatura. Los coeficientes de difusión crecen con estos últimos factores en el rango habitual de trabajo de los secadores solares directos a temperaturas medias entre 37 y 60 °C en las condiciones descritas /3, 8/.

El carácter singular de estos modelos, válidos para procesos concretos, plantea la interrogante

de si es posible la existencia de otros modelos generalizadores que no se basen en correlaciones entre los parámetros instantáneos de un proceso concreto, como en los modelos analizados, sino entre los parámetros medios de diversos procesos para diferentes productos agropecuarios y secadores. La existencia de tales correlaciones permitiría lograr mayor rapidez y efectividad en el diseño y explotación de secadores solares directos y de las estrategias de difusión tecnológica en el país o en una región.

El objetivo de este trabajo es llegar a establecer algunas correlaciones de los parámetros medios del proceso de secado en secadores directos de productos agropecuarios. Estas son válidas para más de una decena de productos agrícolas en cama fina y permiten caracterizar el secado solar directo como sistema.

Fundamentación teórica

Sin dudas, lograr correlaciones generalizadoras es fundamental para alcanzar un enfoque integral de cualquier rama de la técnica. En particular su importancia es grande en el secado solar de productos agropecuarios, por constituir un ámbito con múltiples variables y productos de diversa naturaleza.

Para realizar un diseño correcto de los secadores de productos agropecuarios, es conveniente obtener las relaciones entre las variables principales medias de proceso. Estas variables (valores medios del proceso completo de secado)son:

La eficiencia térmica del secador:

$$\eta_{\text{ter}} = E_u / E_s \quad (1)$$

donde:

E_u : Energía útil en el proceso completo (kW-h)

E_s : Energía solar incidente en el proceso completo (kW-h).

Energía útil para evaporar el agua por metro cuadrado y unidad de tiempo en el secador:

$$E_u = Q_e V_s = Q_l (dM/dt ds) \quad (2)$$

donde:

Q_e : Calor equivalente medio necesario para extraer un kg de agua contenido en el producto kJ/kg.

V_s : Velocidad media de secado $\text{kg/m}^2\text{s}$, $\text{kg/m}^2\text{h}$, $\text{kg/m}^2\text{día}$.

En este caso

$$Q_e = Q_{\text{sen}} + Q_l + Q_w = Q_{\text{sen}} + Q_l + Q_d + Q_s \quad (3)$$

donde:

Q_{sen} : Calor sensible del producto a secar.

Q_l : Calor latente de vaporización del agua a la temperatura considerada ($\text{kJ/kg}_{\text{agua}}$)

Q_d : Calor de desorción del agua en el producto dado ($\text{kJ/kg}_{\text{agua}}$)

Q_s : Calor de solución o hidratación ($\text{kJ/kg}_{\text{agua}}$)

El calor sensible Q_{sen} del producto se puede desprejciar, por ser relativamente bajas las temperaturas de secado y los calores específicos de los productos en estos secadores.

La velocidad de secado es:

$$V_s = dM/dt ds \quad \text{kg/m}^2\text{s}, \text{kg/m}^2\text{h}, \text{kg/m}^2\text{día} \quad (4)$$

donde:

dM : masa de agua extraída, kg_{agua}

dt : Unidad de tiempo (s, h, día)

ds : Unidad de área del secador solar (m^2)

La eficiencia térmica puede expresarse también como:

$$\eta_{\text{ter}} = E_u / E_s = Q_e V_s / E_s \quad (5)$$

Se puede considerar que Q_e tiene variaciones mínimas. Las evidencias que permiten afirmar esto son:

- El calor $Q_w = Q_d + Q_s$, también llamado calor de humedecimiento es aproximadamente el mismo para los distintos materiales a la misma humedad relativa del aire (Keey, 1978).
- El calor Q_l latente del agua varía menos del 1% entre los límites de temperatura de 30 a 70 grados Celsius, propios de los secadores directos.
- Los gastos de energía complementarios adicionales al calor latente del agua, que pueden identificarse con Q_w , en los materiales capiloporosos como semillas, viandas, hojas y granos, no exceden del 5 al 15 % del calor latente Q_l del agua a la misma temperatura, para los contenidos de humedad usuales de 16 a 30 % en granos (Zhidko, Nikitina), y para materiales de mayor

porosidad y contenido de humedad son estables en torno a un valor del 5 al 10 % del calor latente. (Keey, 1978, Mujumdar A. S.

- En los secadores solares directos, en las horas de mayor insolación, desde las 10:00 a las 15:00 h, donde incide más del 80 % de la radiación total, la humedad relativa y la temperatura del aire varían menos de 5 % y 5 °C. Esto minimiza la variación de Q_e en estas horas que presentan menor variación de la eficiencia y de la velocidad de secado, y mayor influencia en los valores medios. Esto se ha demostrado en las evaluaciones de secadores solares con cubierta de polietileno, realizadas en Cuba durante más de dos décadas. /2-5, 7-18/.
- La radiación solar media diaria (E_s) en Cuba y la zona tropical húmeda es de unos 5kW-h/m². Los datos anuales se desvían de este promedio solo alrededor de un 5 a 10 % /5, 7-20/. A medida que el tiempo de secado aumenta, las desviaciones medias esperadas para la radiación media del proceso con respecto a este valor son menores. Este mismo patrón de variabilidad se observa en muchas zonas bajas y húmedas del trópico.

Si Q_e se aproxima a una constante, y E_s también, la gráfica experimental velocidad media de secado vs eficiencia térmica media durante el período completo de secado debe ajustarse a la ecuación de una línea recta de la forma:

$$\eta_{\text{ter}} = E_u/E_s = Q_e V_s/E_s = K V_s \quad (6)$$

Es evidente que para secadores solares directos en cama fina, y los productos descritos, las variables E_u y $P_e = E_s - E_u$, o sea la energía útil y las pérdidas globales de energía en el proceso tendrán también una relación lineal con la velocidad de secado y con la eficiencia térmica.

Estas expresiones no solo son válidas para un solo producto, sino para el conjunto de productos agropecuarios mencionados aquí, en condiciones de cama fina y convección natural, que son condiciones relativamente homogéneas, siendo la mayoría de los productos capilaro-porosos. (Keey, 1978).

Las correlaciones E_u vs. velocidad de secado y P_e vs velocidad de secado fueron validadas con datos experimentales y estadísticamente en forma

similar a la expresión (6). Son correlaciones verdaderas y tienen altos coeficientes de correlación.

Uno de los aspectos que singularizan estas correlaciones es que la expresión (6) se refiere no a un solo secador, sino a un conjunto de secadores que operan en rangos específicos para varios productos, nivel de radiación y nivel de carga. Cada uno de ellos está caracterizado por un par coordinado formado por las variables velocidad de secado eficiencia media de proceso, que define un punto de datos.

Métodos utilizados y condiciones experimentales

La correlación dada más arriba entre la eficiencia media de proceso η_{ter} , y la velocidad media de secado en el proceso, V_s y la existente entre la eficiencia media del proceso y la energía útil media en el proceso, E_u , fueron validadas con datos experimentales y el procesamiento estadístico.

Como fuentes de los datos fueron evaluados 9 secadores directos, que están descritos en la bibliografía /4, 5-7-19/. La evaluación de estos secadores, que funcionan la mayor parte del tiempo en la zona de extensión potencial (Z.E.P.), definida como la zona de mayores eficiencias para un tipo de convección dado y menor costo unitario del secador /3,4/. Esta evaluación fue realizada en condiciones de verano e invierno, convección natural, carga en cama fina de 1 a 4 kg de producto por metro cuadrado de secador. Los productos evaluados fueron los mismos descritos en los diagramas.

El funcionamiento correcto de los secadores de bajo costo utilizados, sus bajos tiempos de amortización, altas tasas de interés de retorno y relaciones de beneficio costo demuestra la viabilidad económica y funcional de los mismos. Los secadores son tipo gabinete, cubierta y nave, con cubierta de vidrio o polietileno y materiales locales baratos.

Los productos utilizados para obtener las correlaciones fueron granos y semillas (maíz, calabaza, soja, tomate, pepino), viandas (yuca,

malanga, papa, plátano, fongo), y plantas medicinales (manzanilla, caléndula, orégano, sábila, jengibre, té de riñón, corteza de mangle). En las correlaciones, al igual que en los diagramas del inicio del trabajo, cada punto está dado por los valores medios de los parámetros de un proceso de secado con un secador y producto concreto. Las regularidades del secado en cama fina, obtenidas en el Centro de Estudios de Eficiencia Energética, Universidad de Oriente, Cuba, se observan en la correlación de las eficiencias térmicas y las velocidades de secado medidos en el Centro de Investigaciones de Energía Solar de Cuba (CIES) durante 20 años en mas de 100 procesos de secado evaluados en secadores solares directos, con mas de 5 a 7 repeticiones por proceso y producto, para convección natural o forzada. /7-20/.

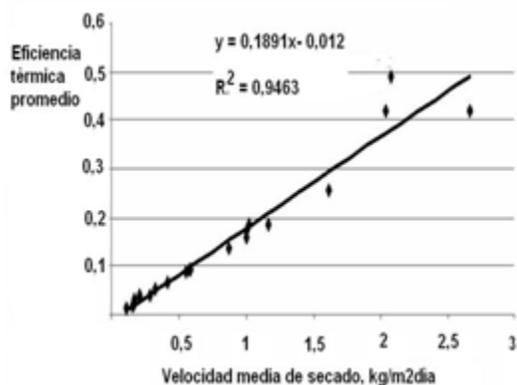


Fig. 1 Regresión lineal de la velocidad de secado y la eficiencia térmica. Valores experimentales medios. CIES.1980-2000, para plantas medicinales, viandas, granos y semillas.

La expresión de la recta de regresión es:

$$Y = 0,1891 x - 0,012 \quad (7)$$

donde:

x: velocidad de secado, kg agua/m²día

Y: eficiencia térmica media anual del secador (fracción)

El alto coeficiente de correlación para la regresión rectilínea de la figura 1 demuestra el carácter regular de los procesos de secado de los diversos productos especificados como granos, semillas, viandas y plantas medicinales en cama

fina en los niveles de carga y condiciones dados para Cuba y zonas tropicales.

Se midió la cantidad de agua evaporada por día computando la diferencia de humedades medidas por el método del peso seco. También se midieron las temperaturas el aire y su humedad relativa. El nivel de la radiación solar global se evaluó con un piranómetro Eppley y la velocidad del viento, con anemómetros de precisión. Con ayuda de estos parámetros se hizo un balance térmico tipo primera ley de los secadores en condiciones reales de trabajo para cada producto, calculando los diferentes tipos de pérdidas de energía por conducción, convección y radiación en cada caso.

En las evaluaciones fueron utilizados los siguientes instrumentos de precisión: Balanzas digitales de cuatro cifras de precisión, piranómetros, termómetros y sicrómetros con error relativo máximo entre el 2 y el 5 %.

La validez de la correlación eficiencia media de proceso vs velocidad de secado media de proceso fue verificada estadísticamente con la prueba de validez de correlación para R dada en la bibliografía (Freund. John C. Estadística moderna, Págs.386-387, Yamane, Taro, "Statistics"). Su resultado positivo se confirma al tener los procesos representados condiciones físicas similares. Todo ello valida las consideraciones teóricas anteriores.

También fueron obtenidas y validadas estadísticamente mediante el mismo método las correlaciones fuertes obtenidas entre eficiencia térmica y energía útil, eficiencia térmica y pérdidas globales de energía. Estas se observan en las figuras 2 y 3. En estas correlaciones, los coeficientes de correlación obtenidos varían entre 0,84 y 0,99, lo que da idea de que la mayoría de ellas son correlaciones fuertes. Todas ellas pueden utilizarse para la estimación aproximada de los parámetros energéticos medios del secador a partir de la eficiencia o de la velocidad de secado con niveles de error relativo máximo estimado entre 10 y 15 %.

Las causas de este error son, por orden de importancia, el cambio de producto y de Qe que implica, el error experimental de las mediciones de laboratorio, y la variación de niveles de radiación, temperatura y humedad dentro del secador.

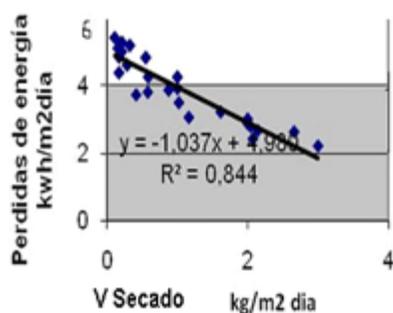


Fig. 2 Regresión lineal de la velocidad de secado vs pérdidas de energía para los productos, secadores solares y condiciones especificados.

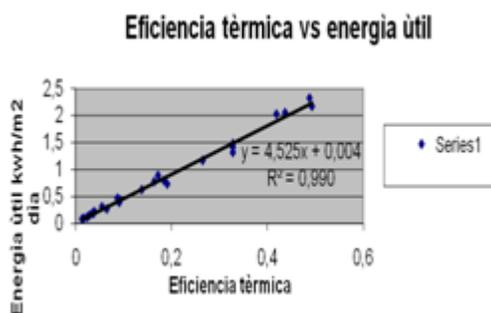


Fig. 3 Regresión lineal de la energía útil vs eficiencia térmica media del proceso para los productos, secadores solares y condiciones especificados.

Discusión de los resultados

En general, se observó la influencia de la estructura de cada producto en particular, en la cinética del proceso de secado. Por ejemplo, en el caso de secado de viandas en un secador tipo gabinete hecho con materiales de la construcción y cubierta de vidrio, se puede observar en la tabla 1, que para niveles de radiación muy parecidos y cercanos a 5 kW-h/m² día, una carga específica del producto de 4 kg/m² de secador, y el producto picado en rodajas de 3 mm, la velocidad de secado

es mayor para el boniato, el plátano y el fongo que para la yuca, y estas van decreciendo en este orden. Todos estos productos se ajustan a las correlaciones descritas dentro de los niveles de error especificados, para secadores directos de los tipos evaluados. Los resultados de la tabla 1 corresponden a un secador solar doméstico tipo gabinete construido con materiales de la construcción, con convección natural /5/. La diferencia debida a la naturaleza del producto se observa en plantas medicinales, maderas, y semillas, productos que para sus niveles de carga y secadores respectivos se ajustan también a las correlaciones dadas, lo que muestra la unidad de los procesos analizados, a pesar de sus diferencias.

Las temperaturas de trabajo en el interior del secador oscilaban entre 40 y 60 °C y las condiciones del aire exterior eran temperaturas de 25 a 30 °C y humedades relativas diurnas entre 50 y 80 %. Los resultados de las evaluaciones térmicas de estos secadores fueron publicados en revistas internacionales indizadas. /3-5/. Las diferencias individuales se observan en todos los productos mencionados: plantas medicinales, granos y semillas, viandas y madera cuando se secan en condiciones y secadores similares.

Casi todos los datos que sirven de base a las correlaciones elaboradas fueron obtenidos en secadores directos en condiciones de convección natural. Sin embargo, es notable la excepción de las plantas medicinales en secadores tipo "Secsol 1", con cubierta de vidrio, carga en bandejas y convección forzada. En él fueron obtenidos productos secos de alta calidad, con convección forzada de baja intensidad, y consumos de energía para la ventilación del orden del 5 al 10 % de la radiación incidente, o sea, unos 0,25 a 0,5 kW-h/día m² de secador. El tiempo de duración total de los procesos es usualmente en condiciones tropicales de 2 a 7 días.

Tabla 1
 Secado de viandas en secador de gabinete. Convección natural. Carga de producto: 4kg/m². Condiciones de Cuba

Producto	Energía incidente kWh/m ² día	Consumo específico de energía kWh/kg de agua	Energía útil kWh/m ² día	Eficiencia térmica	Velocidad de secado kg agua/m ² día
yuca	5,153	0,923	1,845	0,358	0,294
boniato	4,765	1,122	2,46	0,518	0,609
plátano	4,836	0,993	2,025	0,418	0,6
fongo	4,865	0,973	2,14	0,44	0,462

Los puntos obtenidos de parámetros medios para estos secadores se ajustan a las correlaciones dadas.

Estas correlaciones son regularidades del secado solar en secadores directos, válidas para los niveles de carga, radiación media, los productos agrícolas y tipos de secadores especificados, a pesar de las diferencias de los procesos de secado individuales y su existencia muestra que es posible una concepción y abordaje sistémico del secado solar directo en secadores solares que permita obtener expresiones simples que facilitan el diseño y la generalización sostenible de estos equipos.

Dentro de los niveles de error señalados, han sido utilizadas en Cuba para el diseño de secadores solares de café, granos y otros productos, y se lograron diseños efectivos y duraderos.

A pesar de corresponder a secadores diferentes, las condiciones de cama fina descritas y tomadas para el experimento en secadores directos de bajo costo son relativamente homogéneas desde el punto de vista físico químico, lo que explica en última instancia el hecho de que son correlaciones verdaderas.

Estas correlaciones pueden ser utilizadas en la elaboración de estrategias o procedimientos futuros de diseño y generalización sostenible de secadores solares directos en Cuba y zonas tropicales, en particular de secadores solares baratos tanto tipo gabinete como tipo nave y cubierta, que tienen grandes perspectivas para su generalización sostenible en zonas tropicales y subtropicales.

Los secadores diseñados con ayuda de estas correlaciones tuvieron resultados productivos de

acuerdo a las expectativas y, una vez construidos y evaluados, los parámetros medios de proceso de comportaron similares a los de secadores similares diseñados por los métodos convencionales con una diferencia entre los mismos no mayor al error relativo máximo especificado.

La aplicación de las correlaciones descritas se incluye en la metodología de diseño de secadores "Calidología 2", que está siendo evaluada en el CIES, Cuba, desde el año 2010, y que se basa en los resultados expuestos en este trabajo. Esta metodología será perfeccionada y evaluada en un proyecto internacional de colaboración entre Cuba y México en el marco del CELAC.

Conclusiones

Se obtuvo un grupo de correlaciones de los parámetros medios de proceso del secado solar de productos agropecuarios que contribuyen al desarrollo de un enfoque integral del secado solar en secadores directos visto como sistema. Estas consisten en:

Una serie de correlaciones empíricas entre la velocidad media de secado, las pérdidas de energía, la energía útil y la eficiencia térmica media del proceso, las cuales fueron fundamentadas teóricamente. Ellas son válidas para procesos de secado en secadores solares directos baratos con convección natural o forzada de diversos productos agropecuarios específicos tales como algunas viandas, vegetales, frutas, granos y madera en cama fina.

Las correlaciones fueron demostradas y validadas para el rango de productos y eficiencias

característicos del secado solar en secadores solares directos en condiciones tropicales y han sido utilizadas para el diseño de secadores en Cuba con buenos resultados, contribuyendo también al aumento del conocimiento sobre secadores directos, y a facilitar el trabajo de diseño y asimilación de secadores por los posibles usuarios y personal técnico de la rama.

Bibliografía

- 1 AMERA, HOSSAIN M.A, K, GOTTSCHALK C. Design and performance evaluation of a new hybrid solar dryer for banana *Energy Conversion and Management journal*. Elsevier 2010 vol 51. Págs. 813-820.
- 2 BELLESIOTISV., DELYANNIS E. *Solar Drying*. Solar Energy. Elsevier 2011 vol 85. Págs. 1665-1691
- 3 Bergues Ciro, Martínez A., Griñan P. "Algunos aspectos de los cambios tecnológicos en secadores solares cubanos: Realidades y tendencias". *Revista Tecnología Química*, Vol 28 No 2, 2008. Págs.35-45.
- 4 BERGUES Ciro, BÉRRIZ Luis, GRIÑAN Pedro. "Generalización de secadores solares directos en Cuba. Análisis numérico de sus tendencias actuales". *Revista Desarrollo sostenible (DELOS)*. Eumed. 2010. vol. 3, No 8. Págs. 30-40.
- 5 BERGUES, Ciro, IBÁÑEZ, Guillermo, DESPAIGNE HUSSEIN y otros, "Secador solar doméstico con materiales de la construcción". *Revista tecnología Química*, ISSN 0253-9276. vol. 13 No. 3. Págs. 84 a 93. 1992.
- 6 BERRIZ PÉREZ Luis. "Secadores solares". *Revista Energía y tú. Editorial Cubasolar*. vol. 30. ISSN 1028-9925. Págs. 25-30. 2009.
- 7 BROOKER D B. *et. al*. *Drying and Storage of Grains and Oilseed*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1992.
- 8 CORVALÁN R., HORN M., Román R., SARAVIA L. *La ingeniería del secado solar*. Editora Cyted -D- Programa de Ciencia y Tecnología para el desarrollo. V Centenario. Primera Edición, Santiago de Chile, 555 Págs. 1992.
- 9 DISSA A. O, DJ BATHIEBO, H. DESMORIEUX, *et. al*. "Experimental characterization and modelling of thin layer direct solar drying of Amelie and Brooks mangoes". *Energy*. vol. 36. Elsevier. Págs. 2517-252. 2011.
- 10 DUFFIE J. BECKMAN W. A. *Solar Engineering of thermal processes*. Wiley interscience publication. John Wiley and sons inc. Second edition. Pág. 919. ISBN0471510564. 1980.
- 11 FERRO V., ABDALA J., FONSECA S. *et. at*. "Análisis de opciones para el secado solar de Café. Parte 2. Aspectos energéticos, de rendimiento y económicos". *Revista Tecnología Química*. 2000. vol. 20. No. 1. Págs. 52 a 57.
- 12 FERRO V., TORRES A., ABDALA J. *et. al*. "Secado solar de café. Estudio de opciones". En: *Memorias del IX Congreso Ibérico de Energía Solar. II Jornada Técnica sobre Biomasa*. Córdoba, España. 2000. t. 4.
- 13 FONSECA, S. BERGUES C. ABDALA J. R. "Estudio de la cinética del secado de granos en un secador solar, análisis de los resultados". *Revista Tecnología Química*, 2002, vol. 22 No. 2. Págs. 59-64.
- 14 Greenhouses design and install guides. [www. Greenhouse construction.com](http://www.Greenhouse construction.com). 2008.
- 15 Everlast greenhouses. www production greenhouses. Com. 2009.
- 16 KAVAK AKPINAR E. "Drying of mint leaves in a solar dryer and under open sun: Modelling performance analyses". *Energy Conversion and Management*. 2010. Vol 51. Págs. 2407-2418.
- 17 MOTEV, ALI, MINAEI, SAEID, KHOSHTAGAZA MOHAMMAD HADI. Evaluation of energy consumption in different drying methods. *Energy Conversion and Management journal*. vol 52. 2011.
- 18 PANWARA, S. C. KAUSHIK A, SURENDRAKOTHARIBA. "Solar greenhouse an option for renewable and sustainable farming". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier. vol 15. Págs. 3934-3945. 2011.
- 19 SREEKUMAR A. "Techno-economic analysis of a roof-integrated solar air heating system for drying fruit and vegetables". *Energy Conversion and Management journal*. Elsevier. vol 51. Págs. 2230-2238. 2010.
- 20 TORRES TEN, A, FONSECA FONSECA S. BERGUES RICARDO C. *et al*. "Conceptos para el uso extendido del secado solar en la conservación de productos agrícolas". *Monografías de excelencia de la Universidad de Oriente* 2008.
- 21 VILA C, CONTERO M. "Herramientas para la interacción y comunicación". *Ingeniería concurrente. Una metodología Integradora*. Riba C, Molina a. Eds. Ediciones UPC. Barcelona. Págs. 229-236. 2006.
- 22 VANAKEN J. E. "Valid knowledge for the professional design of complex design processes". Eindhoven Centre for innovations study, Departament of Technology Management., Technische Universiteit Eindhoven. Holanda, 04,11. 2004. Págs. 200-211.