

## Diagramas de tendencia para la generalización sostenible de secadores solares directos de productos agropecuarios

### Trend Diagrams for Sustainable Generalization of Direct Solar Dryers for Agricultural Products

**MSc. Ciro César Bergues-Ricardo, Dr. José Raúl Díaz-López**

Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba. cirob@fim.uo.edu.cu

---

#### RESUMEN

Se establece un grupo de regularidades que se dan en el secado solar de productos agropecuarios, a partir de un enfoque integral del proceso en secadores directos. Ellas se visualizan mediante diagramas de eficiencia media vs. costo, que incluyen también los principales elementos constructivos y el direccionado de los cambios recomendados para elevar la efectividad. Los mismos son aplicables al diseño de secadores solares directos con convección natural o forzada de diversos productos agropecuarios específicos tales como viandas, vegetales, frutas, granos y madera. Los diagramas fueron validados para el rango de productos y eficiencias característicos del secado solar en secadores solares directos de tipo gabinete, cubierta y nave en condiciones tropicales, y resultan útiles para el diseño y explotación de secadores y una mejor comprensión teórica e implementación práctica de los procesos de secado solar como sistema.

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

---

#### ABSTRACT

A group of regularities of solar drying is given, as a part of an integral approach in solar direct dryers. These are visualized as Mean Efficiency- Specific cost Diagrams, with constructive elements and changes recommended to make this activity more

effective integrally. Diagrams are applied to design of solar direct dryers with natural or forced convection of diverse agricultural products as roots, vegetables, fruits, grains and wood. Diagrams were validated for usual rank of efficiencies and products, registered in solar drying in dryers type cabinet, cover and house in tropical conditions. Are useful for design and exploitation of dryers, and for theoretical and practical comprehension of solar drying processes like a system.

**Keywords:** solar drying, direct solar dryers, solar drying of crops.

---

## **INTRODUCCIÓN**

El secado solar de productos agropecuarios es una de las formas más antiguas de empleo de las fuentes renovables de energía que presenta actualmente grandes perspectivas para contribuir al desarrollo social. Incluye una serie de procesos físico-químicos de extracción de la humedad del producto a secar, y de cambio de sus propiedades organolépticas que influyen en la calidad del mismo.

Esta rama ha sido desarrollada desde el siglo XVI hasta ahora en su variante tradicional de plataformas, para secar productos tropicales tales como café y cacao, principalmente en zonas de alta humedad relativa, como son las zonas costeras y tropicales. Solo a partir de la crisis del petróleo en la segunda mitad del siglo XX se comenzó a desarrollar el diseño de secadores solares directos e indirectos en América y Europa. Dada la necesidad de preservación de los alimentos, como alternativa a la refrigeración, este desarrollo tuvo lugar principalmente en zonas tropicales.

El desarrollo del secado solar y los procedimientos de diseño de secadores es una prioridad de la industria de alimentos debido al alto consumo energético de los procesos de secado convencionales y a que este puede ser reducido usando al sol como fuente energética del proceso.

Para la generalización sostenible de secadores solares directos no solo se requieren secadores solares más eficientes, sino también más baratos y de bajo impacto ambiental, de manera que puedan asimilar partes apreciables de la producción nacional de renglones determinados. A partir de la elevación de los índices económicos y de calidad de los productos secos, obtenidos en estos equipos, se facilitaría el fomento de inversiones para el financiamiento del proceso en un plazo breve.

### **Antecedentes y situación actual**

En el presente 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 diez años, tiene un considerable camino por andar para que su efecto se haga perceptible en el balance energético nacional.

En particular, el proceso de diseño de secadores obedece a metodologías complejas y especializadas de cálculo térmico y técnico económico [2-6,10,20] que deben simplificarse para facilitar el diseño y generalización de los secadores directos.

Esta tendencia al estancamiento puede contrarrestarse con un abordaje integral y multifactorial de esta actividad.

Abordaje integral significa, ante todo, considerar al secado solar como sistema dinámico, con un enfoque industrial. Este enfoque, sugerido por diversos autores [3-6, 4, 5, 7-12] es opuesto al enfoque tradicional que considera al secado solar como un conjunto de eventos o aplicaciones locales aisladas dirigidas a propósitos específicos.

La principal regularidad de la información sobre el secado solar hasta ahora es su carácter fragmentario. Esto se aprecia en la bibliografía, donde se verifica el carácter local y no sistémico de la actividad [5, 7, 16], en el tratamiento a través de casos particulares de diseño y explotación de secadores. Pero además, no existe una teoría general que permita una mejor comprensión del proceso de generalización sostenible en su totalidad, y en particular desde el aspecto termoenergético del mismo.

Por otra parte, el planteamiento explícito de la necesidad de un enfoque integral de la actividad de secado es infrecuente, y se encuentra solo en determinados trabajos [2,19]. Son pocos los análisis en que el secado se enfoca como sistema, tanto en su aspecto tecnológico y termoenergético como en sus relaciones con el ámbito social [2, 3, 4, 5].

Todos los aspectos inherentes a la complejidad del secado contribuyen a complicar el proceso de diseño de secadores solares, que se efectúa por equipos multidisciplinarios especializados. Estos aspectos quedan condicionados también por la existencia objetiva de procesos diversos y de modelos específicos de velocidad de secado válidos para secadores, productos y procesos diferentes, como los de Luikov para semillas, [7]. Los artículos de secado solar, dado su carácter especializado, no se adaptan fácilmente a versiones sintéticas o populares.

El carácter singular de estos modelos, válidos para procesos concretos, plantea la interrogante de si es posible la existencia de otros enfoques generalizadores que no se basen en correlaciones entre los parámetros instantáneos de un proceso concreto, como en los modelos mencionados, sino en las relaciones entre los parámetros medios de diversos procesos para diferentes productos agropecuarios y secadores. La revelación de tales relaciones y su representación en diagramas de tendencia permitiría una mayor rapidez y efectividad en el diseño y explotación de secadores solares directos, y de sus estrategias de desarrollo a nivel de país o región.

El objetivo de este trabajo es establecer algunas regularidades tecnológicas y energéticas del sistema de secadores directos de productos agropecuarios, que se visualizan en forma de diagramas que sintetizan el comportamiento de sus tendencias actuales como sistema. Se discuten también algunos de los principios que facilitan su generalización sostenible a escalas de país o región.

## **FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

El enfoque integral del secado solar de productos agropecuarios en secadores directos, como proceso, tiene su punto de partida en carácter sistémico. Los aspectos fundamentales que sustentan este punto de vista son:

- Las condiciones de radiación integral media diaria en las zonas tropicales y húmedas, donde el secado está llamado a jugar un papel importante como alternativa de conservación de productos agropecuarios, son bastante uniformes, encontrándose entre 5 y 6 kW-h/m<sup>2</sup> día.
- El análisis estadístico de los parámetros térmicos medios del proceso de secado en diversos secadores y productos puede revelar las tendencias regulares de sus procesos. Los parámetros energéticos más importantes son la eficiencia térmica, la energía útil y las pérdidas de energía.
- Los rasgos y regularidades generales de un conjunto de procesos de secado y secadores pueden ser visualizados en diagramas generales de tendencia, que tienen su antecedente directo en los diagramas termodinámicos [3-5, 10] y mapas tecnológicos (Escorsa, Maspons, 1950) [20-22].
- Regularidades del secado solar directo de productos agropecuarios.
- Diagramas para visualizar las tendencias tecnológicas generales.

A continuación se dan dos ejemplos de diagramas que caracterizan diferentes aspectos de las tendencias de desarrollo de los secadores solares directos de productos agropecuarios en forma integral. Estos reflejan el comportamiento de los secadores solares y sus procesos desde una perspectiva sistémica.

Estos diagramas, que poseen un grado considerable de síntesis, fueron elaborados en el trabajo "Criterios integrales para la generalización sostenible de secadores solares directos", que es un tema doctoral del Centro de Estudios de Eficiencia Energética de la Universidad de Oriente, Cuba; el cual se ha visto reflejado en algunas publicaciones de impacto indizadas [3-5].

## **MÉTODOS UTILIZADOS Y CONDICIONES EXPERIMENTALES**

Los diagramas fueron obtenidos representando los valores de eficiencia media de proceso (eje de ordenadas) y de costo unitario (USD/m<sup>2</sup>) (eje de abscisas) de cada secador. Cada uno de los secadores se representa por un punto con estas coordenadas. Adicionalmente, en el eje de las abscisas se representa el costo de la inversión energética de cada secador (MJ/m<sup>2</sup>). Los datos provienen de estudios de casos en Cuba, América Latina y el resto del mundo, [1-20]. De ellos, los procedentes de Cuba fueron obtenidos durante más de dos décadas en el Centro de Investigaciones de Energía solar y el Centro de Estudios de Eficiencia Energética, pertenecientes al Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio ambiente (CITMA) y al Ministerio de Educación Superior (MES), de la República de Cuba.

La eficiencia térmica media se determina mediante un balance de masa y energía tipo primera ley, hallando la energía útil por la cantidad de agua evaporada y el calor latente de extracción del agua. Esta se halla con el método de peso seco de muestras horarias o diarias de producto en balanzas de precisión durante todo el proceso de secado. Simultáneamente, se halla la energía incidente o radiación solar global mediante piranómetros de alta precisión. En general, el nivel de error relativo de los instrumentos empleados no supera entre 2 y 5 %.

El balance energético detallado incluye el desglose de pérdidas mediante la medición de los parámetros sicrométricos del aire con termómetros y sicrómetros de precisión, así como el desglose de las pérdidas por conducción, convección y radiación combinadas en cubierta, paredes y por el aire evacuado. El error relativo máximo combinado de medición y de cálculo de los parámetros medios no sobrepasa entre 5 y 10%.

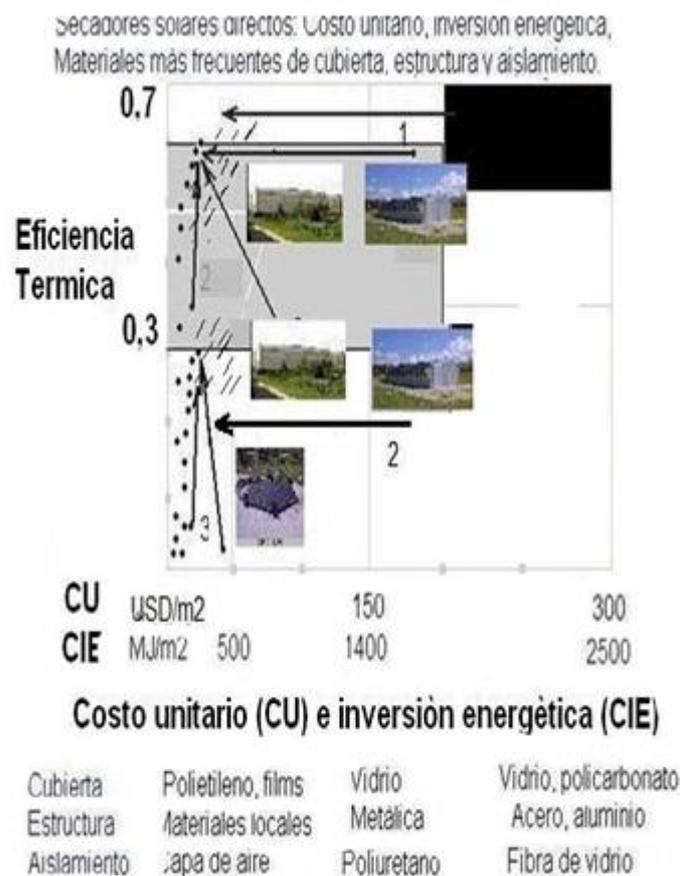
Los diagramas fueron elaborados para secadores solares directos de productos agropecuarios variados como:

- Viandas: yuca, malanga, boniato.
- Semillas: tomate, pepino, maíz, calabaza, soja.
- Plantas medicinales: sábila, manzanilla, jengibre, cúrcuma, cáscara de mangle, orégano, y además, madera y hollejo de naranja.

Estos diagramas son válidos para condiciones tropicales, o sea con niveles de radiación solar global diurna cercana a 5 kW-h/m<sup>2</sup> día y secado solar en secadores solares directos y cama fina.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el diagrama de la figura 1 se resume la variación de la eficiencia térmica con el costo unitario de todos los tipos de secadores solares directos, en un rango de costo unitario entre 2 y 300 USD/m<sup>2</sup>, que corresponde a un coeficiente aproximado de inversión energética o energía específica empleada en la construcción de un metro cuadrado de secador, entre 50 y 2500 MJ/m<sup>2</sup>. El rango de eficiencias térmicas de los procesos evaluados en diferentes secadores y productos va desde 0,02 a 0,75.



**Fig. 1** Diagrama eficiencia costo para secadores solares directos.

Este rango abarca todo tipo de secadores directos, desde las naves de secado por convección forzada, que funcionan a eficiencias medias entre 50 y 70 %, con costos entre 100 y 300 USD/m<sup>2</sup> dependiendo de los materiales y el tipo de control del proceso del secado solar de productos agropecuarios, hasta aquellas que tienen eficiencias medias entre 10 y 40 %, costos entre 8 y 50 USD/m<sup>2</sup>, y operan por

convección natural. Estos últimos son básicamente secadores de tipo cubierta o gabinete. Los puntos que representan secadores tipo nave que operan con convección forzada se concentran en la parte superior y media del diagrama.

En la parte inferior izquierda del diagrama se concentran los secadores tipo cubierta y gabinete que operan por convección natural, con eficiencias térmicas entre 2 y 40 %, y costos entre 2 y 35 USD/m<sup>2</sup>. En la zona de la parte inferior derecha del diagrama se ubican pocos secadores, debido al alto costo y baja eficiencia media en esta.

En la leyenda paralela al eje de abscisas se encuentra el nombre de los materiales de cubierta y estructura que se utilizan con más frecuencia en el diseño y construcción de secadores directos en cada zona del diagrama.

Los puntos de la parte extrema izquierda del diagrama representan los secadores detectados en la bibliografía y ensayados en Cuba y Latinoamérica que tienen menor costo para una eficiencia térmica media determinada.

La línea de regresión de estos puntos, dada en el diagrama eficiencia térmica costo (figura 2), es ajustada para una muestra de los secadores solares de menor costo en Cuba y Latinoamérica [3-6, 8, 11,13, 20], con valores de eficiencia térmica media en el rango de eficiencias del secado solar, de 2 a 50 %. Ajusta bien para un polinomio de segundo grado, (fórmula 1) con elevado coeficiente de correlación. Tiene forma de parábola y se llama línea de menor costo.



**Fig. 2** Línea de menor costo para una muestra típica de secadores baratos.

Esta línea fue ajustada para más de 50 secadores solares de bajo costo, construidos y evaluados en Cuba y países latinoamericanos

La expresión del polinomio de ajuste de la regresión y su coeficiente de correlación son:

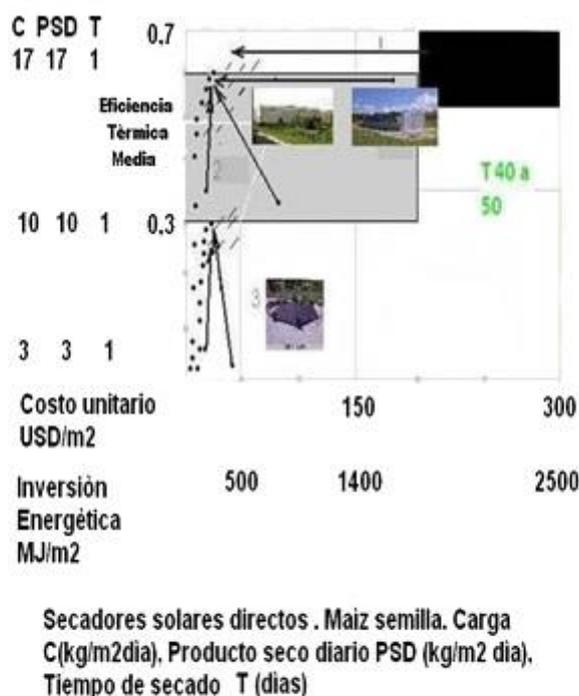
$$Y = -0,0185x^2 + 1,8475x + 0,8744 \quad (1)$$

$$R^2 = 0,8768$$

En la expresión (1), Y es la eficiencia térmica (%) y X el costo unitario o específico del secador (USD/m<sup>2</sup>).

En la vecindad de esta línea se hallan las llamadas "zonas de extensión potencial" en que se supone que se encuentran los secadores más efectivos desde el punto de vista técnico, económico y medioambiental. Estas zonas son dos, pues corresponden una a secadores que utilizan convección natural y otra a secadores con convección forzada.

Las zonas de extensión potencial, que se designan abreviadamente Z.E.P., están señaladas con trazos discontinuos en el diagrama de las figuras 1 y 3. Como se observa, para convección natural esta zona se halla en valores de eficiencia térmica entre 20 y 30 % y a valores del costo unitario entre 20 y 50 USD/m<sup>2</sup>. Para convección forzada, la eficiencia térmica en la Z.E.P. está entre 40 y 65 %, y los valores del costo unitario entre 25 y 60 USD/m<sup>2</sup>.



**Fig. 3** Diagrama eficiencia costo para secadores solares directos. Aplicación concreta de secado de semilla de maíz en Cuba.

Los secadores más representativos tomados en la figura 2 son:

- Los puntos de la parte izquierda inferior de la curva con eficiencias menores que 10 % y costos menores a 10 USD/m<sup>2</sup> representan secadores de tipo cubierta con convección natural.
- Los puntos intermedios de la curva, de eficiencias de 10 a 40 % y costos de 10 a 40 USD/m<sup>2</sup> representan secadores tipo cubierta, gabinete o nave con regímenes de convección natural o forzada.

- Los puntos de la zona superior de la curva con eficiencias 40 a 50 % y costos de 40 a 50 USD/m<sup>2</sup> representan secadores tipo nave con cubiertas de polietileno y convección forzada.

Los secadores de estos tipos y costos bajos operan en todo el mundo en los rangos de eficiencia y costo indicados [1-20], lo que permite afirmar que la línea de menor costo de la población de los secadores solares más baratos en el mundo tiene una forma cercana a una parábola.

Son secadores con materiales locales y baratos, apropiados para la generalización sostenible del secado solar en el mundo. Además son de fácil escalado.

Los cambios recomendados para mejorar los parámetros de funcionamiento medios de los secadores que no están dentro de las zonas de extensión potencial y transformarlos en secadores apropiados para la generalización sostenible, se representan por vectores, y van hacia estas zonas. Los vectores horizontales que van hacia la izquierda en la parte superior del gráfico, correspondientes principalmente a secadores tipo nave, incluyen cambios de materiales de cubierta y estructura por otros más baratos, principalmente polietilenos para la cubierta, y materiales locales como maderas rollizas, cuerdas y fibra mineral para la estructura.

Los cambios que ascienden verticalmente desde la parte izquierda inferior del gráfico requieren también, además del abaratamiento de los materiales, de medidas tecnológicas para disminuir las pérdidas de energía por convección, conducción y radiación, mediante la sustitución de materiales aislantes, la adecuación de las dimensiones de las ventilas de circulación, la introducción de ventiladores adicionales, etcétera. Estos cambios se recomiendan fundamentalmente para secadores de baja tecnología, de tipo cubierta, gabinete o nave barata.

Aunque los elementos de costo presentan siempre una variación incesante producto de la coyuntura económica, los costos presentados corresponden a costos de 2013, y las tendencias de desarrollo y fabricación más adecuadas para la generalización sostenible de secadores directos quedan expresadas en el diagrama en forma satisfactoria.

### **El diagrama puede ser de dos tipos**

1. De carácter genérico, donde se expresan los parámetros medios, y rangos de trabajo de los secadores solares directos en general, en un amplio conjunto de aplicaciones que abarcan secado de plantas medicinales, semillas y granos, vegetales, y madera, especificados en cada caso (figura 1).
2. De descripción de una aplicación concreta, donde se expresan los resultados de cada aplicación exitosa en el secado de un producto concreto, por ejemplo, el secado de café o maíz. Se especifican en la figura 3, el nombre del producto, nivel de carga (C) kg/m<sup>2</sup>, cantidad de producto seco diario (PSD), kg de producto seco/m<sup>2</sup>día, eficiencia media, temperatura máxima, tiempo de secado (T), días, correspondientes a cada experiencia realizada. El tipo de secador utilizado viene dado en el propio diagrama. En la figura 3, se aprecia un diagrama elaborado para el secado solar de maíz.

Lo característico de estos diagramas es que se pueden apreciar los aspectos generales y particulares de la tecnología, sus tendencias globales y sus aplicaciones concretas en cada región simultáneamente en un mismo análisis. El diagrama puede ser entendido con muy poco esfuerzo y utilizado por el colectivo

multidisciplinario de la especialidad de secado, eliminando parcialmente las barreras naturales que la diferencia de especialidades genera entre los integrantes del mismo. La comparación entre los diferentes casos es rápida y fluida, facilitando así la selección de los diseños correctos y el planteamiento de estrategias simultáneas de generalización para diversas aplicaciones y productos.

Los diagramas de las figuras 1 y 2, de carácter integrador, han devenido una eficiente herramienta que facilita el diseño de secadores solares directos de productos agropecuarios, con ayuda de la cual se ahorra tiempo y recursos en las fases de concepción de secadores para aplicaciones determinadas. Su validez ha sido demostrada en Cuba en el diseño de varios secadores solares para semillas y plantas medicinales, cuyos parámetros de funcionamiento promedio se encuentran la mayor parte del tiempo dentro de las Z.E.P. y que resultaron exitosos con bajos plazos de recuperación y altas relaciones beneficio /costo [3,4].

Por ejemplo, se diseñó un secador solar tipo cubierta, con cubierta de polietileno y estructura de alambazón para semillas de maíz, calabaza, soja, tomate, pepino y café, con un costo de unos 2 USD/m<sup>2</sup>, y con rendimientos promedios de 2 a 16 % y convección natural. El mismo tuvo excelentes resultados por la calidad del producto seco obtenido y fue evaluado en un proyecto de investigación territorial efectuado en Santiago de Cuba. La evaluación fue efectuada utilizando termómetros, sismómetros y balanzas de precisión en condiciones de verano e invierno. Los tiempos de amortización oscilaban de un mes a dos años en dependencia del producto concreto a secar, para un tiempo de vida útil estimado de unos 20 años [3-5, 11,13, 20].

Como otro ejemplo de caso concreto se diseñó con ayuda de estos diagramas un secador solar tipo nave con cubierta de polietileno, de 20 m<sup>2</sup> de área, para el secado solar de plantas medicinales en la finca "La República", de Santiago de Cuba, con un costo unitario de unos 20 USD/m<sup>2</sup>. Su eficiencia térmica media fue de 20 al 50 % en dependencia del material de cubierta y del tipo de convección utilizado, y la calidad del producto obtenido fue excelente en más de 12 renglones de plantas medicinales procesadas como sábila, jengibre, cáscara de mangle, menta, orégano, etcétera [3-5].

En ambos casos en los proyectos territoriales de diseño y evaluación de estos secadores, se ahorró tiempo y dinero con la utilización de los diagramas descritos.

## **CONCLUSIONES**

Se ha dado un grupo de regularidades del secado solar directo de productos agropecuarios que contribuyen al desarrollo de un enfoque integral del mismo visto como sistema. Estas se visualizan en diagramas de tendencia eficiencia media de proceso-costo que contienen también los elementos constructivos y la sugerencia de los cambios recomendados para hacer la actividad integralmente más efectiva. En ellos se define la zona de extensión potencial, que es el rango de eficiencia y costo adecuado para que los secadores puedan ser generalizados en forma sostenible.

Todos los diagramas son válidos para procesos de secado en secadores solares directos con convección natural o forzada de diversos productos agropecuarios especificados como algunas viandas, vegetales, frutas, granos y madera.

Los diagramas fueron validados para el rango de productos y eficiencias característicos del secado solar en secadores solares directos en condiciones tropicales. Los secadores diseñados con ayuda de los mismos tuvieron gran

efectividad técnico económica en el secado solar de productos agropecuarios en Cuba.

Estos diagramas contribuyen también al aumento del conocimiento de los posibles usuarios y personal que trabaja en la rama, y al ahorro de tiempo y recursos en el diseño de secadores.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. AMER A, HOSSAIN, GOTTSCHALK C. "Design and performance evaluation of a new hybrid solar dryer for banana" *Energy Conversion and Management journal*. Elsevier 2010 vol 51. p. 813-820
2. BELLESIOTIS V., DELYANNIS E. "Solar Drying". *Solar Energy*. Elsevier 2011 vol 85. p. 1665-1691
3. BERGUES CIRO, MARTINEZ A., GRIÑAN P. "Algunos aspectos de los cambios tecnológicos en secadores solares cubanos: Realidades y tendencias". *Revista Tecnología Química*, Vol 28 No 2, 2008, p. 35-45.
4. BERGUES CIRO, BERRIZ 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, p. 30-40.
5. BERGUES RICARDO, CIRÓ, IBAÑEZ, GUILLERMO, DESPAIGNE HUSSEIN, "Secador solar doméstico con materiales de la construcción". *Revista Tecnología Química*, ISSN 0253-9276, Vol 13 No 3, 1992, p. 84-93.
6. BERRIZ PEREZ Luìs "Secadores solares". *Revista Energía y tú*. 2009. Editorial Cubasolar. Vol 30 2009 ISSN 1028-9925 p.25-30.
7. BROOKER D. B. et. al. "Drying and Storage of Grains and Oilseed", Van Nostrand Reinhold, New York, 1992.
8. CORVALAN R., HORN M., ROMAN 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, p. 555.1992
9. DISSA A. O, DJ BATHIEBO, H DESMORIEUX, O. Coulibaly, J. Koulidiaty. "Experimental characterization and modelling of thin layer direct solar drying of Amelie and Brooks mangoes". *Energy* 2011, vol 36. Elsevier, p. 2517-252
10. DUFFIE J. BECKMANN W. A. *Solar Engineering of thermal processes*, Wiley interscience publication. John Wiley and sons inc. Nueva York. Second edition. 1980, p. 919. ISBN 0471510564
11. FERRO V., ABDALA J., FONSECA S. , PANTOJA J., TORRES A. , BERGUES CIRÓ. GRIÑAN P. , IBAÑEZ G. "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, p. 52-57
12. FERRO V., TORRES A., ABDALA J. FONSECA S. BERGUES C., PANTOJA J., GRIÑAN P, IBAÑEZ G. POVEDA L. "Secado solar de café. Estudio de opciones". "Memorias del IX Congreso Ibérico de Energía Solar. II Jornada Técnica sobre Biomasa".. Córdoba, España, 2000. T4. ISBN 987-20105-1x

13. FONSECA S. BERGUES C. ABDALA J. R., GRIÑAN P. et al "Estudio de la cinética del secado de granos en un secador solar, análisis de los resultados" . Revista Tecnología Química, 2002, volumen 22 No 2, p. 59-64
14. 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, p. 2407-2418
15. MOTEVALI Ali, MINA EI Saeid, KHOSTAGAZA MOHAMMAD Hadi." Evaluation of energy consumption in different drying methods" .Energy Conversion and Management journal. 2011, vol 52, p. 1192-1199.
16. PANWARA , S.C. KAUSHIKA, Surendra KOTHARIB A. "Solar greenhouse: an option for renewable and sustainable farming". Renewable and Sustainable Energy Reviews. Elsevier. 2011, vol 15, p. 3934-3945
17. SREEKUMAR A." Techno-economic analysis of a roof-integrated solar air heating system for drying fruit and vegetables" .Energy Conversion and Management journal. Elsevier. 2010. vol 51, p. 2230-2238.
18. 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, p. 250. ISBN 978-959-207-351-7
19. VILA C, CONTERO M. " "Herramientas para la interacción y comunicación". Ingeniería concurrente. Una metodología Integradora. Riba C, Molina a. Eds Barcelona, Ediciones UPC, 2006, p. 229-236
20. 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.

Recibido: Diciembre de 2013  
Aprobado: Mayo de 2014

*MSc. Ciro César Bergues-Ricardo.* Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba.  
cirob@fim.uo.edu.cu