

Evaluación experimental de un secador solar tipo Gabinete para el secado de hollejo de naranja

Experimental Evaluation of a Cabinet type Solar Dryer for Drying Orange Skin

M Sc. Ronald Andi3n-Torres, Dr. Jos3 A. Su3rez-Rodr3guez, M Sc. Ciro C. Bergues-Ricardo

Centro de Investigaciones de Energ3a Solar, Santiago de Cuba, Cuba.
randion@cies.ciges.inf.cu

Resumen

Con el fin de extraer pectina a partir del hollejo de naranja seco, a escala de laboratorio, para usos m3dicos, se llevaron a cabo experimentos de secado en un secador solar de tipo gabinete construido en el Centro de Investigaciones de Energ3a Solar. Los experimentos se realizaron en el tiempo de cosecha de la naranja (noviembre – abril) del a3o 2009 – 2010, con el fin de determinar las caracter3sticas adecuadas del producto para su uso final. En dichos experimentos se midieron algunas de las variables que influyen en el proceso de secado y en la calidad del producto final, como son la radiaci3n solar, la humedad relativa ambiente, la temperatura ambiente y las alcanzadas en el interior del equipo, as3 como la humedad inicial y final de las muestras. El nivel de carga m3ximo fue de 0,8 kg de hollejo h3medo solicitada por la empresa.

Palabras clave: secado solar, hollejo de naranja, pectina.

Abstract

With the purpose of extracting pectin starting from the dry orange husk, to laboratory scale, for medical uses, were carried drying experiments in a solar dryer of type cabinet built in the Center of Investigations of Solar Energy. The experiments were carried in the time of crop of the orange (November - April) of

the year 2009 - 2010, with the purpose of determining the appropriate characteristics of the product for their final use. In this experiments some of the variables were measured that influence in the drying process and in the quality of the final product, like they are the solar radiation, the humidity relative atmosphere, the ambient temperature and those reached inside the team, as well as the initial and final humidity of the samples. The level of load maximum was of 0,8 kg of humid husk requested by the company.

Keywords: solar dryer, orange husk, pectin.

INTRODUCCION

En las grandes empresas de productos cítricos, se generan enormes cantidades de desechos, por lo que se necesitan suficientes 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 [12]. La mayoría de estos desechos son vendidos a fábricas para la obtención de piensos para la alimentación animal. Sin embargo, estas soluciones no están siendo rentables por el aumento del precio del combustible y de la energía eléctrica.

Para evitar estos problemas, en varios países se han dado a la tarea de darle un valor agregado a estos residuos, como es la obtención de pectinas a partir del hollejo de naranja seco para usos médicos, para lo cual es imprescindible someter este residuo a un proceso de secado.

La aplicación del secado solar es fundamental para 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 bajan los precios por sobreproducción. Además ofrece la alternativa de valorizar algunos desechos para su uso en la obtención de alimento animal y como materia prima en la industria farmacéutica. Por lo que en nuestro trabajo se evalúa un secador solar diseñado y fabricado en el Centro de Investigaciones de Energía Solar, para el estudio del secado del hollejo de naranja, la obtención del hollejo de naranja seco y para su posterior uso en la Empresa Farmacéutica.

Usos de los residuos de la naranja

Por estudios realizados, se ha declarado que por cada tonelada de naranja, la mitad se convierte en zumo y el restante 50 % es subproducto o residuo (corteza, semillas y pulpa). Actualmente, se utiliza parte como alimento de ganado pero su rápida fermentación lo convierte en un problema medioambiental. En cualquier caso, debido a su elevado contenido en humedad, el transporte de los residuos resulta muy costoso, además de suponer un problema logístico. Por lo que se han desarrollado varias alternativas para valorizar estos residuos.

Uno de los tantos usos de los residuos de la naranja, es la preparación de los alimentos tipo «snack» que corresponden a una amplia gama de productos fáciles

de manipular, que constituyen porciones individuales, no requieren preparación y satisfacen el apetito en corto plazo. Entre los diversos tipos de «snack» existentes en el mercado se encuentran barras energéticas con o sin chocolate, granolas, barras de frutas, entre otras, que pueden llevar incorporado o aportar por sí mismas, altos contenidos de fibra dietética, proteínas, minerales y vitaminas [15].

A nivel mundial muchos de los países desarrollados han presentado algunas líneas en la ambiciosa iniciativa de combatir el cambio climático que contempla, entre otros aspectos, el empleo de cítricos para fabricar combustibles alternativos al petróleo, además de utilizar las melazas fermentadas para producir biogás [11]. Otra aplicación de los residuos cítricos consiste en la obtención de pectinas para fines medicinales, como productos con propiedades espesantes, estabilizantes gelificantes y emulgentes; para la preparación de ungüentos, polvos, tabletas y otros medicamentos [14].

FUNDAMENTO TEORICO

El proceso de secado se basa en la operación de la transferencia de 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 ambas presiones se igualan, se dice que el sólido y el gas están en equilibrio y el proceso de secado cesa [9].

Existen una serie de factores que influyen directamente en el proceso de secado y en la calidad del producto final, que van desde las condiciones internas hasta las condiciones externas [9].

- Condiciones externas, están definidas por la resistencia a la transferencia de calor y de masa de la capa límite del gas; en el caso que predominen, el secado no dependerá de las características del sólido sino de las condiciones del gas, y estará controlado por la transferencia de masa y calor entre el gas y la superficie del sólido, empleándose en la evaporación todo el calor que se recibe del gas. La superficie del sólido se comporta como una superficie libre de agua.

- Condiciones internas, están definidas, por la transferencia de calor y de masa a través del sólido. En el caso que predominen, es decir, que la resistencia a la transferencia de masa a través del material será muy superior a la de la capa límite del gas, la difusión interna controlará el proceso y lo más importante serán las propiedades del sólido.

El principio de funcionamiento de los secadores solares tipo gabinete por lo general se basa en el efecto invernadero. La energía solar se trasmite al agente secante debido a la radiación solar infrarroja, que atraviesa la cubierta de cristal, la cual es absorbida por una chapa metálica ennegrecida y a su vez, trasmite la energía por radiación y convección al producto a secar. El producto se coloca en dos bandejas equidistantes, una encima de la otra, hecha de malla metálica que 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 de 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, como se muestra en la figura 1.



Fig. 1 Secador solar diseñado y construido.

MATERIALES Y METODOS

Las muestras de hollejo de naranja (Citrus, Valencia) fueron tomadas de naranjas adquiridas en los agros mercados de la provincia de Santiago de Cuba, dos días antes de la realización de los experimentos para evitar el deterioro de sus propiedades organolépticas, como son: el color, el olor y el sabor.

Las naranjas fueron previamente lavadas, luego se les extrajo el jugo de forma manual y fueron cortadas en ocho partes iguales cada una; este último paso se realizó para aumentar el área de transferencia de calor y masa además de disminuir el tiempo de secado del producto.

Procedimiento experimental

Tres corridas experimentales con una carga máxima de 0,8 kg de muestras de hollejo de naranja fueron realizadas, durante el período de la cosecha en los años 2009 y 2010. Las muestras fueron pesadas en una balanza electrónica (Modelo MP 200-1, Capacidad 200 g / $\pm 0,01g$) y puestas sobre las bandejas en una sola capa en el secador solar. Los días elegidos fueron días claros promedio en la estación invernal de la cosecha de la naranja.

Una vez cargado el secador con el producto, fue puesto al sol desde las 9.00 am, hasta las 4.00 pm. Durante los experimentos fueron registradas de forma horaria, la temperatura ambiente, la humedad relativa ambiente, la radiación solar y la temperatura en tres puntos del secador, tal como se muestra en la figura 2.

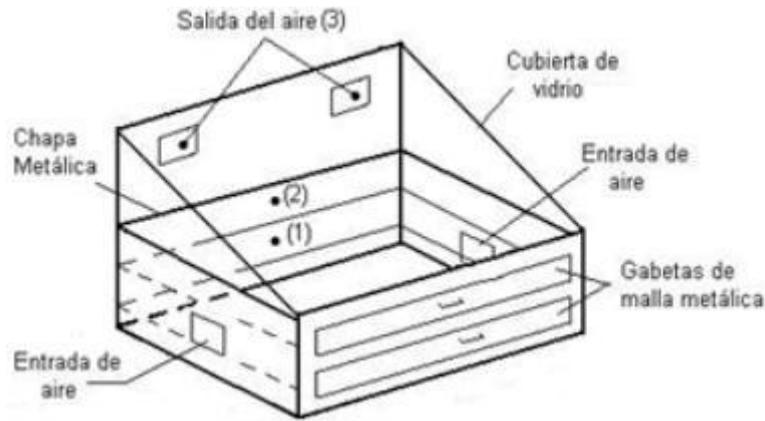


Fig. 2 Esquema del secador y puntos de ubicación de los termopares, (1) temperatura en la bandeja inferior, (2) temperatura en la bandeja inferior, (3) temperatura a la salida del secador.

La temperatura se midió utilizando un termómetro digital (marca CIE 307, Suecia, (precisión ± 0.1 °C), conectado a un termopar tipo K (cromo-aluminio).

La radiación solar incidente se registró en un piranómetro patrón marca EKO (Modelo NP-42, sensibilidad $7 \text{ mV} / \text{kW} \cdot \text{m}^{-2}$, Alemania) y la humedad relativa ambiente se obtuvo con un psicrómetro de precisión marca ASSMANN (modelo Isuzu Seisakucho Co. Ltd, Japón) con rango de temperaturas entre $- 30$ °C a 50 °C.

Después de las 4.00 pm, las muestras de control se guardaron en condiciones ambientales; como se comprobó, estas siguieron perdiendo humedad muy lentamente. Al próximo día, a las 9.00 am se continuó con la medición de los parámetros de temperatura, radiación y humedad relativa ambiental.

El contenido de humedad de las muestras de hollejo en el proceso se determinó cada dos horas.

Para ello se extrajeron tres muestras de cada bandeja, las mismas fueron pesadas y luego secadas en una estufa a 103 °C durante dos horas. Este proceso se repitió hasta que el peso de cada muestra se mantuviera constante, de acuerdo a la norma ASTM (Standard Method for moisture analysis of particulate wood), E-871-82) [1].

Después de aproximadamente tres días de secado solar y con un contenido de humedad menor que el 10 %, las muestras fueron envasadas en bolsas plásticas selladas y trasladadas al laboratorio Farmacéutico Oriente para su posterior análisis químico, mediante técnicas fotoquímicas, con el objetivo de determinar si el producto presentaba la calidad final exigida por el laboratorio.

Finalmente, de la carga inicial de 0,8 kg de hollejo de naranja húmedo, se logró obtener 0,23 kg de hollejo de naranja seco que fueron enviados al laboratorio farmacéutico.

RESULTADOS Y DISCUSION

La variación de la radiación solar, la temperatura ambiente del aire y la temperatura del aire a la salida del secador en un día típico del mes de febrero de

2010, con una carga de 0,8 kg se presentan en la figura 3. Los experimentos mostraron que la temperatura ambiente del aire varió desde 29 °C a las 9.00 am hasta 31 °C a las 12.00 m., finalizando con 29 °C a las 4.00 pm.

Durante el periodo de secado, como se esperaba, la temperatura del aire a la salida del secador fue mayor que la temperatura del aire ambiente, debido al efecto invernadero provocado por el secador y a la energía absorbida por el plato metálico, variando desde 50 °C a las 9.00 am hasta un valor máximo de 52 °C a las 11.00 am y 39 °C a las 4.00 pm. El promedio del incremento de la temperatura del aire a la salida del secador sobre la temperatura del aire ambiente fue de 17,87 °C.

Como puede verse en la figura 3, la temperatura del aire dentro del secador solar se incrementó continuamente en dirección a la salida, confirmando el gradual calentamiento del flujo de aire al pasar a través de la cámara de secado. Por su parte la radiación solar varió desde los 442,9 W/m² a las 9.00 am alcanzando su máximo valor de 771,4 W/m² al medio día y decreciendo finalmente en la tarde con un valor de 400,0 W/m².

En la figura 4, se muestran las temperaturas del aire en la bandeja inferior, la cual varió desde los 33 °C en la mañana, hasta 36 °C a la 1.00 pm, descendiendo hasta 33 °C a las 4.00 pm; mientras que en la bandeja superior se registraron temperaturas mayores desde los 39 °C a las 9.00 am hasta los 42 °C a las 12.00 m, alcanzando un mínimo de 35 °C a las 4.00 pm, esto se debe a que la bandeja superior se encuentra próxima a la chapa metálica, por lo que la radiación en esta parte del equipo es más intensa.

Seguidamente el comportamiento del contenido de humedad de las muestras del hollejo de naranja con respecto al tiempo de secado, en días típicos del mes de febrero en el año 2010 se muestra en la figura 5. Como se observa, el contenido de humedad en la primera etapa del proceso (hasta aproximadamente 14 h de secado) presenta un comportamiento similar en ambas bandejas. En este primer período, la mayor influencia en el proceso la ejercen las condiciones externas al material, como es la temperatura en el interior de la cámara de secado y la humedad relativa del aire. En este período solo se elimina la humedad superficial que no está ligada fuertemente al material y se necesita menor cantidad de energía para evaporar la misma, con respecto al segundo período.

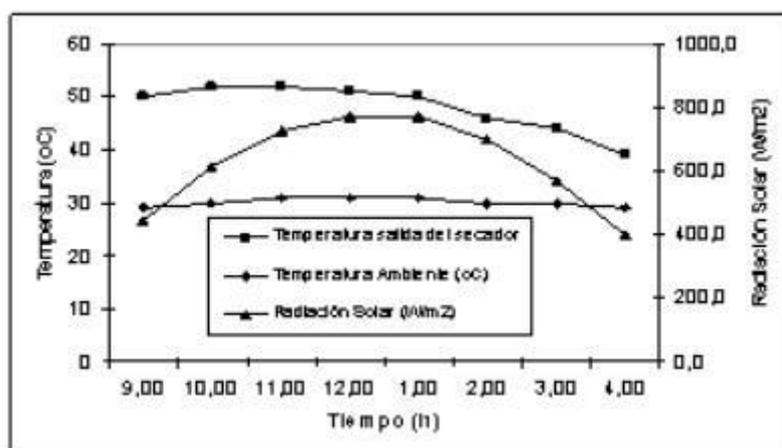


Fig. 3 Variación de la temperatura ambiente, temperatura del aire a la salida del secador y la radiación solar en función del tiempo para 0,8 kg (2/2/2010).

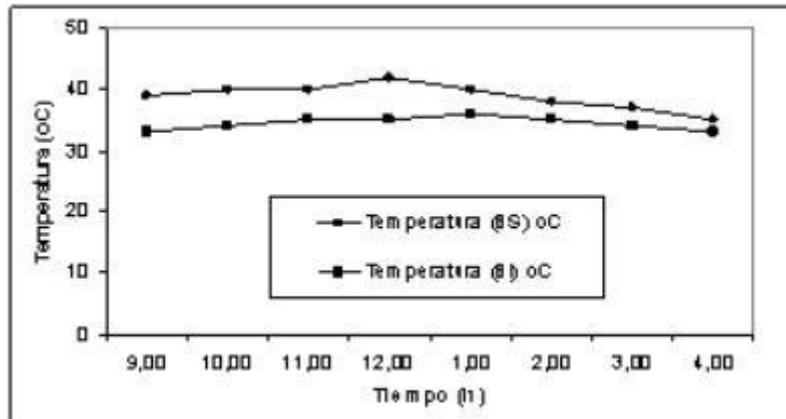


Fig. 4 Variación de la temperatura en la bandeja superior y la bandeja inferior en función del tiempo de secado (0,8 kg).

El comportamiento similar del contenido de humedad en las dos bandejas durante el primer período se debe a la poca diferencia en el nivel de temperatura de las dos bandejas, debido a que existen condiciones similares de transferencia de calor y a la presencia de una elevada cantidad de agua en el producto.

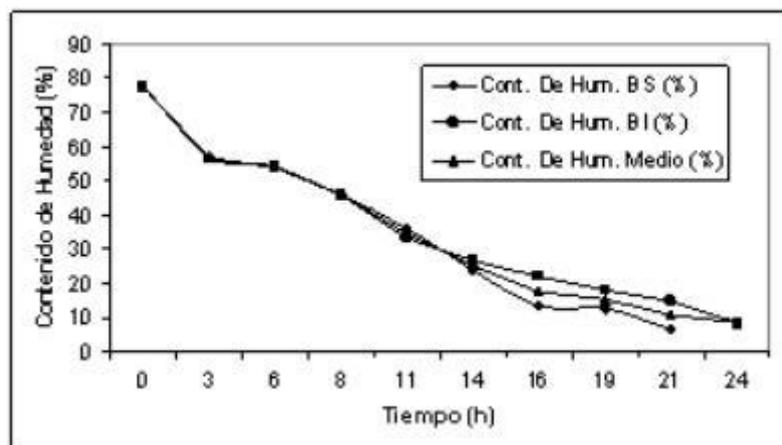


Fig. 5 Variación del contenido de humedad de las muestras de hollejo de naranja con respecto al tiempo de secado (0,8 kg).

Sin embargo, en las horas próximas a la conclusión del proceso ó segunda etapa de secado, se nota una ligera aceleración del proceso de secado en las muestras ubicadas en la bandeja superior. En esta segunda etapa, se evapora la humedad que se encuentra fuertemente ligada al material, por lo que existe una resistencia a la difusión de la humedad, oscilando en el rango de 0,5 a 1,7 m²/s según lo citado por Boizán [6], como corresponde a los materiales capilaro porosos.

Esto significa que aunque el hollejo este dividido, la resistencia a la difusión de la humedad es elevada. A esto se le añade la alta resistencia que ofrece el endocarpio y el epicarpio de la naranja.

Para evaporar esta humedad se necesita mayor energía que en la primera etapa. Al existir mayores temperaturas en la bandeja superior, existe un nivel mayor de energía, y de transferencia de calor y masa, por lo que se observa en las gráficas del contenido de humedad un ligero incremento de la velocidad de secado en las muestras colocadas en la bandeja superior, con respecto a la inferior. Finalmente

las muestras alcanzaron un 6,7 % (bh) en la bandeja superior en 21 h. A las 21 h, después de haber retirado las muestras de la bandeja superior, se realizó el intercambio de bandejas, para aumentar la velocidad de secado de las muestras de la bandeja inferior, las cuales alcanzaron una humedad final de 8,4 % (bh) en 24 horas de secado.

La humedad de equilibrio del producto se determinó en el laboratorio por el método citado en el epígrafe Procedimiento experimental; oscilando en torno a valores del 10 al 12 % en base húmeda, a una humedad relativa del aire entre 70 y 80 % y temperatura entre 25 a 28 °C. En el proceso de obtención de la pectina, según informa el laboratorio farmacéutico se necesita una humedad menor que la de equilibrio para su futuro procesamiento, además al ser transportadas las muestras al laboratorio farmacéutico pueden adsorber cierta cantidad de humedad del ambiente, y por ello se consideró obtener valores extremos de humedad entre 6 y 10 % (bh).

Luego de realizar la evaluación del secador, se realizó un análisis de regresión para la variación del contenido de humedad medio de las muestras ubicadas en ambas bandejas del secador, el cual se muestra en la figura 6. La variación del contenido de humedad medio de las muestras tiene un comportamiento de forma exponencial, y un coeficiente de correlación alto de 0,98, y una ecuación de regresión igual a:

$CH = 86,799 e^{-0,0945 t}$ %, para una carga de 0,8 kg, donde (t) es el tiempo de secado del producto.

Caracterización de las muestras en el Laboratorio Farmacéutico "Oriente"

Después de una corrida experimental en el secador solar, fueron entregadas las muestras secas al Laboratorio Farmacéutico "Oriente". Considerando de mayor importancia la identificación de la pectina en las muestras enviadas, los especialistas del Laboratorio Farmacéutico utilizaron tres métodos diferentes de identificación (B, D y E) obteniéndose los resultados previstos que garantizan la calidad del producto seco; además se determinaron otras características químicas tales como, el contenido de humedad final, el total de cenizas y el contenido de fibras dietéticas que también influyen en la calidad final, cuyos valores se encuentran en el rango permitido, estos se observan en la tabla 1.

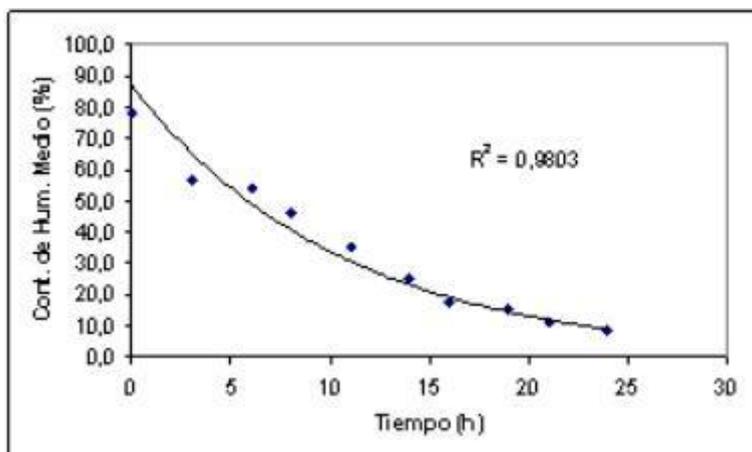


Fig. 6 Grafica de regresión de la variación del contenido de humedad medio de las muestras, para 0.8 kg. de carga.

Tabla 1
Resultados del análisis del hollejo seco de la naranja en la
Empresa Laboratorio "Oriente"

Ensayos Realizados	Resultados	Límite
Características	No Responde*	Polvo color oscuro pardo con olor característico a naranja
Identificación de pectina:		
- B	Responde	-Forma un precipitado gelatinoso traslúcido.
- D	Responde	-Forma un gel o semigel de color amarillo.
- E	Responde	-Forma un precipitado. Gelatinoso, incoloro y voluminoso.
Agua	10,4 %	No más de 12 %
Ceniza total	7 %	No más de 8 %
Contenido de fibra dietética total	54 %	No menos del 50 %

*No responde: significa que cuando las muestras se llevaron al proceso de molido, se obtuvo un polvo de color amarillo claro con olor característico a naranja, el cual no coincidía con el color obtenido en experiencias anteriores, donde el hollejo fue secado por vías no solares (estufa y otras).

De los análisis realizados en el Laboratorio Farmacéutico Oriente se puede concluir que las muestras evaluadas presentan las características de calidad para la utilización deseada en la Empresa Farmacéutica.

CONCLUSIONES

1. Un secador solar de tipo gabinete fue diseñado, construido y evaluado para el estudio del proceso de secado solar del hollejo de la naranja, confirmándose mediante los experimentos la capacidad de este para deshidratar esta biomasa, en condiciones de cantidad y calidad evaluadas en el Laboratorio Farmacéutico Oriente.
2. En el Laboratorio Farmacéutico "Oriente" se realizaron tres métodos diferentes para la identificación de la pectina, obteniéndose resultados satisfactorios los cuales avalan la calidad del producto final para la producción de pectina.
3. Para el nivel de carga utilizado de 0,8 kg, los valores de temperatura del secador fueron cercanos a los previstos inicialmente, obteniéndose temperaturas máximas a nivel del producto de 45 °C en horario pico, para radiaciones solares promedio entre

3,5 y 5 Kw.h/m² registrada en un día. Estos valores están en el rango de los secadores solares que utilizan convección natural.

BIBLIOGRAFIA

1. ASTM. "Standard Method for Moisture Analysis of Particulate. (E-871-82)" 1987.
2. ASTM. "Standard Method for the Bulk Density of Particulate Biomass. (E-873-82)". 1983.
3. BALA, B. K. WOODS, J. L. "Simulation of the indirect natural convection solar drying of rough rice.". Solar Energy 53 (3). Págs. 259-266. 1994.
4. BERGUES R. C. "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. 1999.
5. BERGUES R. C., IBAÑEZ G. et al. "Secador solar doméstico con materiales de la construcción". Tecnología Química. Vol. 13 No. 3. 1992.
6. BOIZÁN, J. M. A., IVANOVICH, Z. V. "Secado fluidizado de productos alimenticios". Editorial Mir. 1986.
7. CHEN, H., HERNÁNDEZ, C. A., HUANG, T., A study of the drying effect on lemon slices using a closed-type solar dryer. Solar Energy. 2004. Págs. 78, 97-103.
8. DUFFIE J., BECKMAN W. "Solar Engineering of thermal processes". Second Edition. Mc Graw-Hill. Inc. New York. 1991.
9. KNOULE F. "El secado". Bilbao. Ediciones Urno. Págs. 50-150. 1968.
10. MADARIAGA ARRIZURIETA J. F., El secado de biomasa residual de la caña de azúcar. Ciudad de La Habana. 1995.
11. CARBÓ, S. Aprovechamiento naranjero del Bioetanol. España. 2010.
12. CRUZ ARMENTA, J. M., VELASCO DÍAZ B. E., Obtención de la Pectina a partir de la cáscara de la naranja. Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán. 2009.
13. GONZÁLES, P. Las naranjas y sus propiedades curativas. 2009.
14. MUECKAY, V., Obtención de la pectina a partir de desechos industriales de maracuyá. 2009.
15. ZÁENZ, C. et-al. Utilización de residuos de la industria de jugos de naranja como fuente de fibra dietética en la elaboración de alimentos. 2009.

Recibido: Abril 2012
Aprobado: Agosto 2012

M Sc. Ronald Andión-Torres. Centro de Investigaciones de Energía Solar, Santiago de Cuba, Cuba. randion@cies.ciges.inf.cu