



ESTUDIO DE UN PROCESADOR HÍBRIDO (SOLAR-ELÉCTRICO) DE ALIMENTOS CON ÉNFASIS EN EL SECADO SOLAR.

S. S. Nandwani¹, C. Chaverri

Laboratorio de Energía Solar – Departamento de Física – Universidad Nacional (UNA)
Heredia 3000 – Costa Rica.
Tel. (506) 2773482 / 2773345

email: snandwan@una.ac.cr , snandwan@yahoo.com,
christianch.1979@gmail.com

RESUMEN: Recientemente el autor principal ha diseñado y estudiado un nuevo dispositivo llamado “Procesamiento de Alimentos”, para cocinar alimentos, pasteurizar y destilar agua, y deshidratar productos agro alimenticios. Aunque el trabajo completo fue publicado recientemente en una revista técnica, aquí se informará sobre los nuevos datos obtenidos sobre el secado de cebolla y mango.

Por otro lado este dispositivo es híbrido, lo que permite la utilización de la energía solar o/y eléctrica de forma automática. Este artefacto se puede usar en cualquier clima para diferentes usos, ahorrando energía convencional. Hemos medido también los datos de consumo de energía solar e eléctrica en estos procesos.

Palabras claves: Cocina y Secador Híbrido, Solar- eléctrico, Humedad.

INTRODUCCIÓN

El autor SSN ha trabajado en diferentes aplicaciones de Energía Solar, en particular sobre Hornos Solares del tipo caja (Fig. 1) en más de 25 años [1-3]. Este artefacto, aparte de muchas ventajas, posee también ciertas limitaciones, principalmente con los cambios de clima.



Fig. 1. Horno/ cocina solar convencional diseñado y empleado para uso familiar.

Tomando en cuenta esta limitación, hace 4 a 5 años se diseñó y estudió un artefacto que pudiera realizar varias funciones en diversos climas. Este artefacto se conoce como *Procesador Híbrido de Alimentos* y se publicó recientemente [4]. Aunque fue diseñado y estudiado para diferentes usos, aquí se informará solo los datos medidos recientes relacionados al secado de cebolla y mango.

¹ Investigador principal y miembro: Red Iberoamericana de Secado Solar de Productos Agro alimenticios (RISSPA/CYTED) Argentina; Asociado Senior, the Abdus Salam International Center for Theoretical Physics (ICTP), Trieste, Italia; Red Iberoamericana de Transferencia Tecnología de Aplicaciones de Energía Renovable (RITTAER/CYTED) Brasil; International Solar Energy Society (ISES) Alemania y Solar Cookers International (SCI), EUA.

CONSTRUCCIÓN Y FUNCIONAMIENTO

Las figuras 2ª, 2b y 2c muestran un esquema y imágenes del dispositivo.

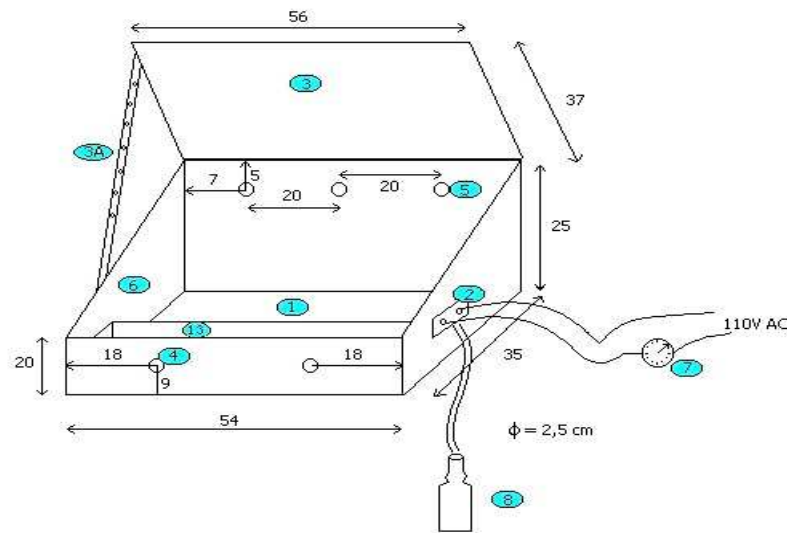


Fig.2a (esquema), 2b y 2c (modo de cocción y pasterización, Procesador Híbrido de Alimentos. (1) Placa eléctrica, (2) Entrada de energía eléctrica y termostato, (3) Reflector, (3A) Varilla para ajustar ángulo, (4) Entradas de aire externo, (5) Salidas de aire húmedo, (6) Caja exterior, (7) Medidor de energía eléctrica, (8) Recolector de agua destilada, (13) Canoa.

Como se puede observar este artefacto es similar al horno solar convencional, excepto que posee una chapa eléctrica (0.45m x 0.28m) con un área, aproximada, de 0.13 m² y un termostato como regulador de temperatura. Para introducir los productos a deshidratar o cocinar, el marco con dos vidrios se puede levantar.

Para usar en el modo de Secador, en lugar de ollas o jarras, se utilizan bandejas con los productos a deshidratar. Una o varias salidas y entradas, son abiertas para permitir la circulación del aire en la cámara donde está el producto. Si fuese necesario, se implementa el uso de corriente eléctrica conectándola al secador. El uso de un termostato (el cual es fijado a una temperatura entre 50 y 70 °C, dependiendo del producto) en el sistema permite que el secador consuma electricidad cuando la intensidad de la energía solar no pueda alcanzar la temperatura fijada anteriormente, y también la fuente de energía se revierte cuando aumenta la energía solar.

EXPERIMENTACIÓN

Aunque hemos deshidratado varios productos para consumo propio, la mayoría de las veces no se han tomado datos; sin embargo, aquí se informarán las mediciones obtenidas recientemente para la cebolla y el mango.

Cebolla

Usando el Balance de Humedad se ha podido medir el cambio de masa de una pequeña cantidad de cebolla, evaporando toda el agua hasta llegar a una masa constante (Fig. 3).

Humedad Inicial de la Cebolla (picada)

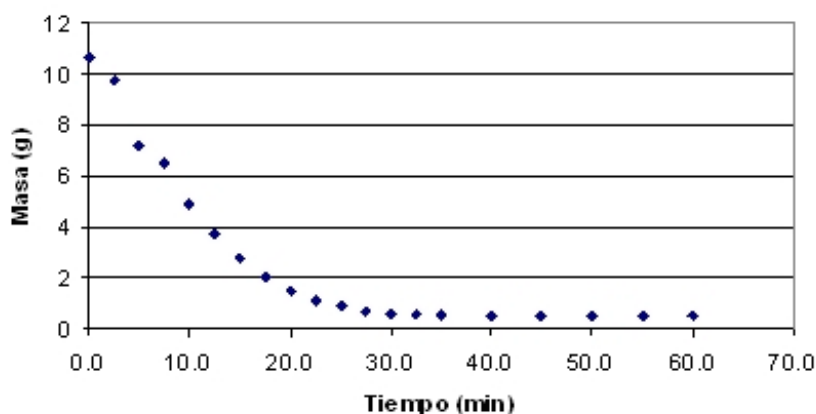


Fig.3. Cambio de masa de una pequeña cantidad de cebolla con calor/tiempo.

Con estos datos, se puede calcular la humedad inicial de la cebolla:

$$H (\%) = (10.6 - 0.5) / 10.6 = 95.3 \%$$

La cebolla, comúnmente utilizada como condimento natural, es comprada a bajo precio. Una vez secada, se puede guardar para uso posterior. El experimento fue realizado del 15 al 18 de mayo del 2007. Una masa de 520 g de cebolla fue repartida por igual en dos bandejas. Con el fin de también poder estudiar el efecto de la luz directa, se cubrió una de las bandejas con un plato metálico perforado, como se muestra en las figuras 4.



Fig. 4. Secado de la cebolla. Antes y después.

Para el primer día, solo se usó energía solar. La masa del producto fue medida cada 4 y 5 horas. Para esto, las bandejas eran extraídas y la masa de cada bandeja medida rápidamente. Los resultados de la temperatura del aire interior y exterior (ambiente), del producto (con plato, CP) y de la radiación solar son mostrados en la figura 5.

Debido a las fluctuaciones de energía solar, la temperatura del aire interno varió entre 23.2 y 53.1°C, y la del producto entre 23.5 y 32°C. La masa de la cebolla varió de 260g a 205g (bandeja descubierta), y de 260g a 218,5g (bandeja cubierta). Aunque no es recomendable cerrar las entradas el primer día por que se evita la circulación del aire y el producto puede verse afectado por el exceso de humedad, sin embargo como el clima en los meses del estudio era lluvioso, se cerraron las entradas y salidas de aire a las 5 pm.

El experimento continuó al día siguiente. A las 8:45 am se abrió de nuevo las entradas y salidas del aire, y se midieron de nuevo las mismas variables.

Esta vez, debido a que la intensidad solar era mejor, no hubo necesidad de utilizar energía eléctrica. La temperatura del aire interno varió entre 40 y 57°C, y la del producto entre 24 y 44°C para la bandeja descubierta, y entre 24 y 55°C para la bandeja cubierta. A las 3 pm comenzó a llover, por lo que se cerraron las entradas y salidas de aire para evitar el ingreso de humedad externa. La pérdida de masa, para este día, fue de 103 g (bandeja descubierta) y 70 g (bandeja cubierta). La Figura 6 muestra la variación de temperatura y humedad del aire interior.

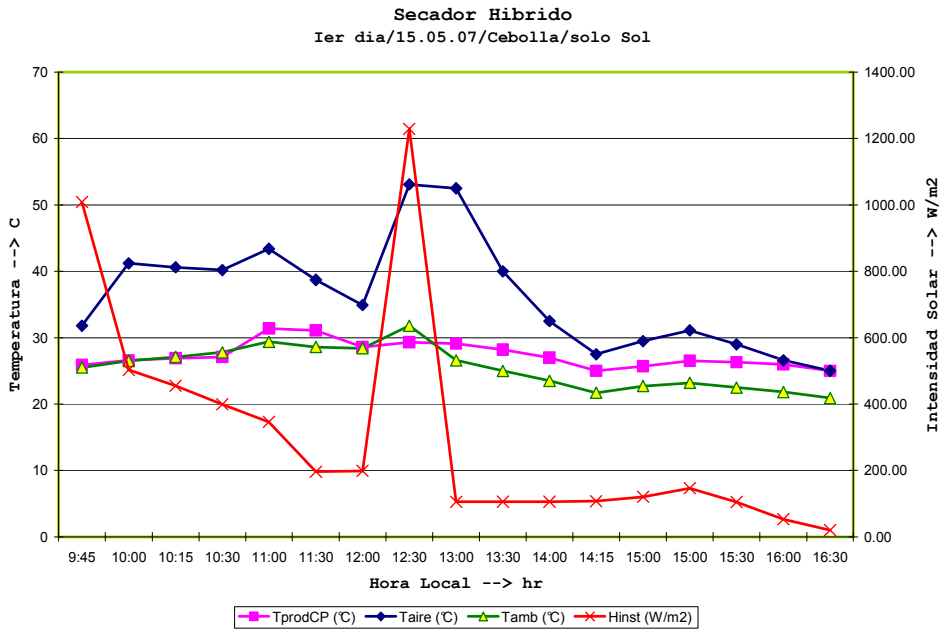


Fig. 5. Secado de la cebolla usando solo energía solar. 15 de mayo, 2007 (Día I).

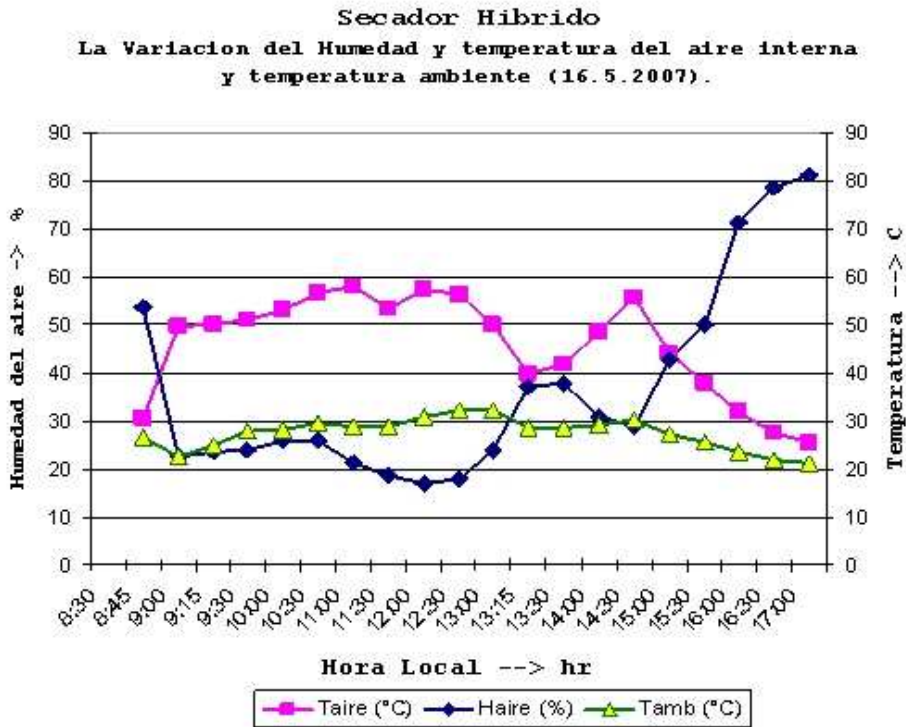


Fig. 6. Variación de temperatura y humedad del aire dentro del secador híbrido (Día II).

Se puede observar que después de las 3 pm, la humedad del aire en el interior del secador aumenta debido a la lluvia y la humedad propia del producto. También es posible notar que la humedad del aire disminuye con el aumento de la temperatura, como es de esperar.

El experimento continúa al otro día, 17 de mayo. A las 8:30 am, se abren las entradas y salidas de aire, y se miden los datos nuevamente. A las 9:30 am se conecta la electricidad junto con instrumentos portátiles (Fig. 7) para medir el consumo de energía eléctrica (Watiohora metro) y energía solar.



Fig. 7. Medición de energía solar y eléctrica integrada durante el secado, en el Secador Híbrido

Los resultados se indican en la Figura 8. Debido a dos fuentes de energía, la temperatura del aire interno y del producto no bajó de 40°C, esto era mayor que los días anteriores. Por razones de lluvia, se cerraron las entradas y salidas de aire a las 3 pm y también se desconectó el suministro de electricidad por falta de algún techo o cobertor.

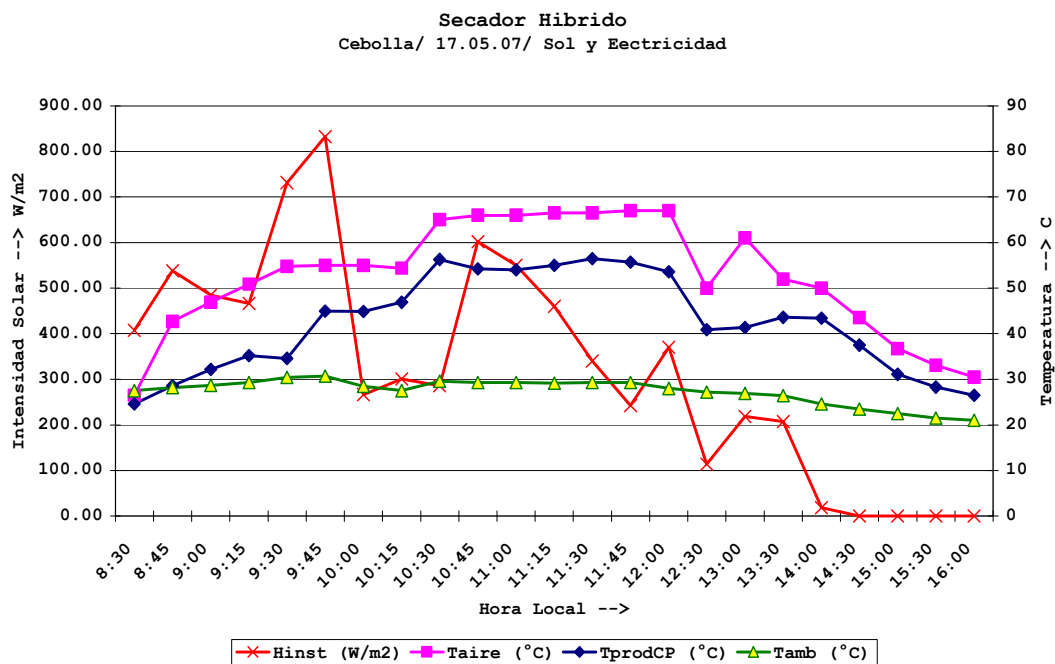


Fig. 8. Secado con ambas fuentes – energía solar y eléctrica – Día III

Con la observación y el tacto, se determinó que las cebollas no se habían secado completamente, por lo que se decidió continuar hasta el otro día, 18 de mayo. Se abrieron las entradas y salidas de aire a las 8:30 am. Debido a que el día era más soleado, y la temperatura del aire interno y del producto estaba entre 44 y 60°C, no se usó energía eléctrica. A las 12 md se concluyó el experimento. El producto final se redujo en 22g y 34g para la bandeja descubierta y cubierta, respectivamente. Durante 23 horas de estudio (incluyendo el período de lluvia) la masa total disminuyó de 520 g a 56 g; es decir, perdió 89% de agua. Además, solo se usó 1.33 kWh (4804 kJ) de energía solar y 0.34 kWh (1228 kJ) de energía eléctrica.

La cebolla deshidratada fue guardada en una bolsa plástica casi hermética, la cual fue colocada en un lugar oscuro, para consumo posterior.

Mango

En otro experimento realizado entre el 23 y 24 de mayo del 2007, se procedió a secar mango en trozos. Debido a que para este experimento ya estaba instalada una lona (un tipo de cobertor/ techo para proteger el secador de la lluvia), se pudo usar electricidad y sol en ambos días para acortar el tiempo de secado.

Primero se midió la humedad inicial del mango usando el Moisture Balance (Balanza del Humedad). Con base en el cambio de masa se calculó la humedad inicial del mango en 90.6 %. Se tomó una masa de 232 g de mango para disponer en cada bandeja (Fig. 9).

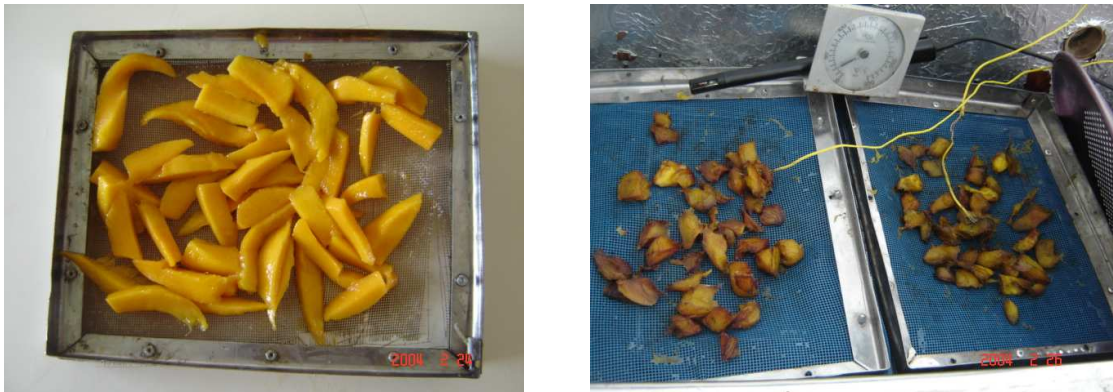


Fig. 9. Secado del mango. Antes y después del proceso.

El 23 de mayo se abrió el secador a las 10:00 am, y se empezó utilizando solo energía solar. Por posible cambio de clima, se conectó la electricidad a las 11:00 am (Fig. 7). Se midió la temperatura del aire y de la humedad interior, masa del producto, radiación solar y energía eléctrica integrada. Algunos resultados son mostrados en la Fig. 10.

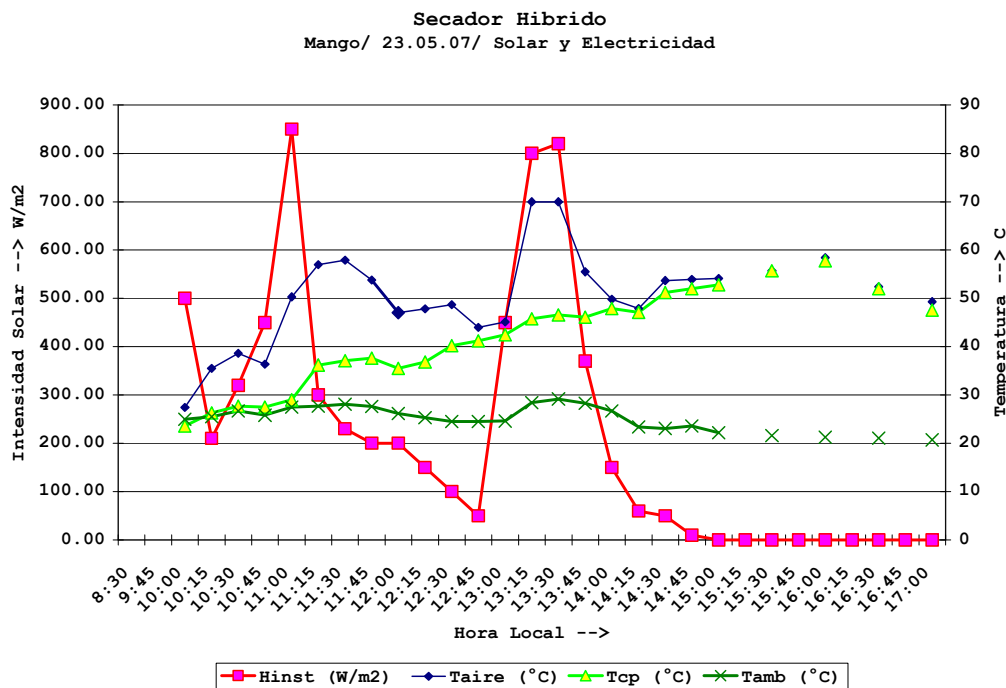


Fig. 10. Secado del mango con energía solar y eléctrica. Día I.

A las 14:30 hr (la energía solar acumulada es 0.20 kWh o 722 kJ y energía eléctrica es 0.21 kWh o 758 kJ) empezó a llover y el secador continuó usando energía eléctrica hasta las 17:00 horas. El secador se cubrió con la lona impermeable. A las 5 pm, la electricidad se desconecta y el experimento finaliza por ese día. El consumo de energía eléctrica llegó hasta 0.41 kWh (1481 kJ). La masa del producto disminuyó desde 231 g hasta 112 g.

El experimento continuó al otro día, 24 de mayo, a las 09:30 am usando ambas fuentes de energía, esto debido a que el día estaba muy nublado. A las 13:30 hr, la lluvia comenzó y solo se usó energía eléctrica. El experimento termina a las 16:45 hr.

Durante dos días del estudio, la masa total del producto bajó desde 463g hasta 73g, con una pérdida del 84% de la humedad. El consumo total de energía solar y eléctrica, durante los dos días, fue de 0.336 kWh (1214 kJ) y 1 kWh (3612 kJ), respectivamente.

ANÁLISIS Y CÁLCULO DEL RENDIMIENTO DEL PROCESO

Usando balance energético [4], el rendimiento aproximado del Secador/ proceso puede calcular.

Energía TOTAL, Q_T (solar y eléctrica) entregada al sistema,

$$Q_T = Q_P + Q_U \quad (1)$$

Donde Q_U y Q_P son la energía útil y pérdidas respectivamente.

$$Q_U = Q_T - Q_P \quad (2)$$

Por lo tanto, Rendimiento del sistema

$$\eta = \frac{Q_u}{Q_T} = \frac{Q_u}{Q_S + Q_E} \quad (3)$$

Donde Q_S y Q_E son energía solar y eléctrica entregada al sistema híbrido y fueron medidos experimentalmente. Ahora en el caso del secador, la energía útil es

$$Q_U = M_{PT} * C_P * (T_{FP} - T_{IP}) + M_{AgEV} * L \quad (4)$$

$$\eta = \frac{Q_u}{Q_T} = \frac{M_{PT} * C_P * (T_{FP} - T_{IP}) + M_{AgEV} * L}{Q_S + Q_E} \quad (3)$$

Hemos hechos cálculos para ambos productos y para todos los días. Tomamos L como 2268 kJ / kg y temperatura inicial del producto como 20 °C.

CEBOLLA: Debido a que cebolla tiene humedad inicial de 95%, podemos tomar C_p como 4 kJ /kg °C. Otros datos de entrada son mostrados en la Tabla I (1 kWh = 860 kCal o 3612 kJ).

Fecha	M_{PT} (kg)	T_{FP} (°C)	M_{AgEV} (kg)	Q_S (kWh)	Q_E (kWh)	Q_T (kWh)	η (%)
15.05.2007 (M)	0.5206	35	0.097	0.1425	0	0.1425	48.8
16.05.2007 (M)	0.423	50	0.191	0.6136	0	0.6136	38.9
17.05.2007 (M)	0.233	55	0.159	0.3364	0.34	0.6764	16.1
18.05.2007 (M)	0.0739	50	0.0175	0.2432	0	0.2432	5.52
18.05.2007 (N)	0.0564						
15 (M) al 18 (N)	0.5206	50 (T_{prom})	0.4642	1.3356	0.34	1.6756	18.4

Tabla I: Varios datos para calcular el rendimiento del secador híbrido/ proceso (Cebolla).

Donde M representa Mañana y N representa Noche. Última línea representa cálculo tomando en cuenta masa inicial al primer día y hasta masa final al finalizar al experimento. Energía consumida es total durante cuatro días y la temperatura del producto como promedio de cuatro días (T_{prom}).

Se puede observar que el rendimiento disminuye con cada día del uso. Razón es que el proceso necesita mas energía para eliminar agua adherida al producto, comparado con agua superficial.

MANGO:

Debido a que el mango tiene humedad inicial de 90%, podemos tomar C_p como 3.78 kJ/kg°C Otros datos de entrada son mostrado en la Tabla II.

Fecha	M_{PT} (kg)	T_{FP} (°C)	M_{AgEV} (kg)	Q_S (kWh)	Q_E (kWh)	Q_T (kWh)	η (%)
23.05.2007 (M)	0.463	50	0.239	0.2037	0.41	0.614	26.9
24.05.2007 (M)	0.224	45	0.151	0.1326	0.59	0.7226	13.9
24.05.2007 (N)	0.073						
23 (M) al 24 (N)	0.463	47 (T_{prom})	0.390	0.3363	1.00	1.336	19.3

Tabla II: Varios datos para calcular el rendimiento del secador híbrido/proceso (Mango).

CONCLUSIONES

Este artefacto, el Procesador Híbrido de Alimentos, se utiliza para realizar diferentes funciones: cocción, pasteurización, destilación, secado, entre otros.

Con el uso de un termostato, la conversión de fuente solar a eléctrica se realiza de forma automática, y con el uso de un medidor eléctrico portátil se puede conocer cuantitativamente el consumo de energía eléctrica.

Con este secador híbrido, de solo 0.13 m² de área de absorción, en el periodo de lluvia, fue posible secar entre 450 y 530g de cebolla y mango en 2 a 4 días, dependiendo del clima.

El rendimiento del secador/proceso estuvo entre 6 y 48%, dependiendo de la fuente de energía, clima y humedad inicial del producto.

En los productos como la cebolla y el mango, cubrir las bandejas para reducir la incidencia de luz natural no es tan importante como hemos observado en casos del culantro y la espinaca. Por otro lado, el tiempo de secado es mayor en la bandeja cubierta.

Este artefacto se puede utilizar, prácticamente, todo el año; con el ahorro de fuentes convencionales de energía y, consecuentemente, reduciendo la cantidad de contaminantes en la atmósfera.

NOMENCLATURA

M_{PT} = la masa total del producto (kg)
 C_p = calor específico del producto (kJ/ kg °C)
 T_{FP} = Temperatura final del producto (máxima) °C
 T_{IP} = Temperatura inicial del producto, °C
 M_{AgEV} = Masa del agua evaporada, (kg)
 L = Calor latente del vapor (kJ /kg)

REFERENCIAS

- Nandwani, Shyam S. (2005). My Twenty Five Years of Experience with Solar Cooking- Satisfaction and Frustrations, Proceedings, ISES 2005 World Conference on Solar Energy, Orlando, USA, 8-12.
- Nandwani, Shyam S. (1989). Design, Construction and Experimental study of Electric cum Solar Oven, Solar and Wind Technology (Pergamon Press), 6(2): 149-158.
- Nandwani, Shyam S. (2005). Folleto/libro- Construcción, Funcionamiento y Uso del Horno/ Cocina Solar, www.una.ac.cr/fisica/energiasolar/hornosolar.pdf
- Nandwani, Shyam S. (2007) Design, Construction and Study of a Hybrid Solar Food processor in the climate of Costa Rica, Renewable Energy – An International Journal, Vol. 32, No. 3, 427-441.

ABSTRACT

Recently the main author (SSN) has designed and studied new solar device- Hybrid (Solar-Electric) food processor to cook, pasteurize, distill water and dehydrate agricultural products for personal use. Although the detailed results are published in another technical journal, here the recent results related to drying of Onions and Mango are mentioned. On the other hand, the device is hybrid and switching from solar to electric energy and vice versa is automatic. The device can be used in any climate with the saving of conventional fuels. Electrical and solar energy used for the drying processes are also measured.

Keywords: Hybrid Cooker and Dryer, Solar- Electric, Humidity.