

## Diseño y construcción de colectores solares planos, para calentar aire y deshidratar frutas

GUTIÉRREZ-ÁVILA, Javier\*†, CASTELLANOS-REBOLLEDO, Noé, JIMÉNEZ-VÁZQUEZ, Mario y GAZGA-PORTILLO, José Francisco

*Departamento de Metalmecánica. Instituto Tecnológico de Acapulco. Av. Instituto Tecnológico S/N. Crucero de Cayaco, Acapulco, Gro., C.P.39905.*

Recibido Junio 4, 2014; Aceptado Octubre 13, 2014

### Resumen

Varios productos se comercializan secándolos previamente, que favorece de esta manera, su conservación. La cantidad de agua que se extrae, no debe superar ciertos valores, para que la fruta no se muestre reseca, quebradiza en el mercado y se transforme en polvo. Actualmente, en el mercado existen valores establecidos de contenido de humedad, para cada fruta, que limita la temperatura de secado. Para ser rentable esta actividad, la operación de secado no se debe incrementar los costos de producción. Al contrario, se amplía para difundir el proceso de secado solar indirecto, a través de un deshidratador solar de bajo costo.

### Diseño, construcción, colectores.

### Abstract

Several products are marketed by drying previously, thus favoring its conservation. The amount of water withdrawn, must not exceed certain values, so that the fruit does not show dry, crisp on the market and turn into dust. Currently on the market there are set values of moisture content, for each fruit, which limits the drying temperature. This activity to be profitable, the drying operation should not increase production costs. On the contrary, it expands to spread the indirect solar drying process, through a low-cost solar dryer.

### Design, construction, collectors.

**Citación:** GUTIÉRREZ-ÁVILA, Javier, CASTELLANOS-REBOLLEDO, Noé, JIMÉNEZ-VÁZQUEZ, Mario y GAZGA-PORTILLO, José Francisco. Diseño y construcción de colectores solares planos, para calentar aire y deshidratar frutas. Foro de Estudios sobre Guerrero. Mayo 2014 Abril 2015, 1-2:577-580

\* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: javiguta12@yahoo.com.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Objetivos

El objetivo de este trabajo es obtener un deshidratador solar indirecto moderno y actualizado, con un índice de rendimiento térmico, una capacidad evaporativa, que analiza la factibilidad del deshidratado de productos alimenticios, con diferentes actividades acuosas. También, que muestre gráficos del comportamiento de la radiación solar del lugar, las variaciones de temperaturas del aire y del medio ambiente, el calor útil que absorbe el aire y la eficiencia instantánea térmica del banco de colectores. Así también, que permita visualizar la factibilidad de secado de un producto a partir del conocimiento de su actividad de agua y de las condiciones climáticas y el cálculo que determina el caudal de aire necesario, para alcanzar la humedad final requerida en el producto.

## Metodología

La metodología de secado, el factor de mayor influencia es el tiempo de operación de secado. El agua contenida en los productos de frutas, depende de la naturaleza de unión con la materia seca, que se localiza de diferentes maneras, como libre o ligada fuertemente a la estructura del producto. La actividad acuosa en un material, es el grado de libertad que tiene el agua contenida en él (Kneule, 1982). Así también, un producto intercambia agua con el ambiente que lo rodea, hasta que se establece un equilibrio, en estas condiciones, el valor de la humedad relativa del aire recibe el nombre de actividad de agua del producto (aw).

El deshidratador solar que se utilizó es del tipo indirecto, que consta de una cámara de secado y un banco de colectores planos solares, como se muestra en la figura 1.



**Figura 1** Banco de colectores solares planos y deshidratador de frutas

El aire que ingresa al banco de colectores solares, lo absorben 5 ventiladores de corriente directa de 12 volts, 0.15 A, 12 cm de diámetro y con una velocidad de 2 m/s, respectivamente, que se muestran en la figura 2. Además, contiene dos ventiladores de 120 volts, 0.5 A y un diámetro de 22 cm. Estos equipos, proporcionan un flujo y temperatura homogénea del aire a la entrada de los colectores y proporciona el valor de la temperatura deseada. El caudal está regulado con la apertura del área de succión. Estos factores son condiciones necesarias en la realización del proceso de calentamiento del aire.



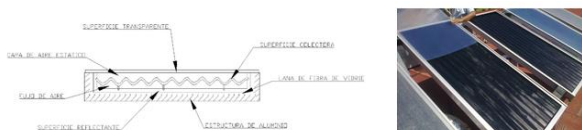
**Figura 2** Entrada del aire a los colectores y ventiladores internos.

El aire que sale por la parte inferior del banco de colectores solares, se muestra en la figura 3. Así también, se muestra la inclinación de  $26^\circ$  en dirección al sur. El material que se utilizó son ángulos de acero de 1 pulgada por 1/8 de espesor pintada de negro, como recubrimiento al medio ambiente.



**Figura 3** Salida del aire de los colectores solares e inclinación al sur.

Las placas de absorción es una pieza de chapa corrugada pintada de negro mate, tiene una separación de 5 cm. con la cubierta transparente, que recibe la radiación solar, para formar un recinto hermético con la capa de fibra de vidrio, que aísla y refleja los rayos solares. El aire circula por los canales de la superficie absorbente, como se muestra en las figura 4.



**Figura 4** Placa absorbente y cubierta transparente.

La salida del conducto del último colector, se conecta a la cámara de secado. En el interior de la cámara de secado, el aire circula en flujo ascendente a través de las 8 bandejas, y sale por la parte superior de la cámara de secado, accionado con un extractor de las mismas características, que tienen los dos ventiladores de C. A, como se muestra en la figura 5.



**Figura 5** Cámara de secado y aislamiento del colector solar.

La cámara de secado, se ubicada a 0,40 m con respecto al nivel del suelo, consiste en una estructura de acero inoxidable tipo alimenticio 304, de 2,00 m de altura, por 1,07 m de ancho y 1,17 m de profundidad, recubierta de polietileno de negro de 1,00 cm de espesor, para evitar el deterioro del producto por la radiación solar (Ndawula et al., 2004).

La eficiencia térmica del colector (  $\eta$  ), se representa por la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{m_a C_p (T_o - T_1)}{I_T A_c}$$

Donde  $m_a$  es el flujo másico de aire húmedo (kg/s),  $C_p$ , es la capacidad calorífica del aire húmedo (J/kg °C),  $T_1$  (°C) es la temperatura del aire a la salida del colector y  $T_o$  (°C) es la temperatura de entrada. Esta relación muestra el calor útil, que obtiene el colector solar plano. Con las pruebas experimentales se determinó el rendimiento del colector (  $\eta$  ), para el área de apertura del colector ( $A_c$ ), ( $m^2$ ), e irradiación horaria sobre el plano del colector ( $I_T$ ) ( $W/m^2$ ).

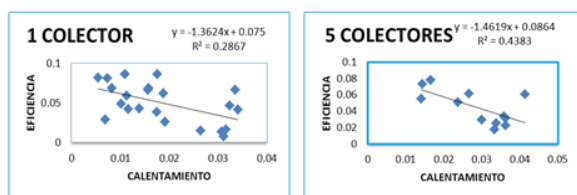
**Resultados**

La tabla 1, muestra las mediciones realizadas, los cálculos desarrollados de la eficiencia del los colectores solares, para predecir la posibilidad de secar un producto y para proponer el caudal de aire necesario. Es necesario determinar, las características climáticas del lugar donde opera la cámara de secado, como temperatura ambiente  $T_a$ , humedad relativa  $\Phi$  e irradiación solar  $G$ .

Hora	m	Ca	Área	TE	TSIC	TST	BRAD	RAD	TA	Quic	%BU	CALIBT.1C	QuT	Tamb	WT	CALIBT.1T
11:25:44	7006F	11	42	45.58	54.25	55.0	126.7	24.27	18.277283	0.027741	0.0157898	0.07	48.205	41.4081	0.072667	
11:40:44	7006F	11	49	45.88	51.56	52.00	141.46	44.817925	0.0252113	0.0281128	0.0325113	11.2021613	50.7	0.0166254	0.0215005	
11:55:44	7006F	11	51	39	54	52.8	177.05	37.46	19.707643	0.0181564	0.0240555	11.4261643	51.3	0.0117746	0.0278249	
12:10:44	7006F	11	51.5	39	54.19	52.19	181.19	37.004077	0.020779	0.020079	0.020079	11.2449271	49.66	0.0092929	0.0271456	
12:25:44	7006F	11	46	45.1	47.03	47.73	170.39	45.76	19.4495023	0.013449	0.0031449	14.4445313	45.49	0.0049503	0.0113127	
12:40:44	7006F	11	51.6	53.76	54.65	54.5	161.14	31.36	18.4776681	0.0074463	0.0003446	14.3265545	53.1	0.0064676	0.0114844	
12:55:44	7006F	11	56.6	55.15	55.16	60.8	155.49	30.46	18.2618256	0.0436031	0.0093778	11.677417	57.65	0.0158424	0.0204496	
13:10:44	7006F	11	57	59	57	67.1	145.46	18.454729	0.0691119	0.0204466	0.0204466	14.2345059	59.3	0.0160478	0.0244475	
13:25:44	7006F	11	56.4	55	71	60	143.38	16.46	18.1717823	0.0163774	0.0254414	14.4861753	58.713	0.0158612	0.0207778	
13:40:44	7006F	11	50.3	55	65.49	67.8	151.13	14.3412566	0.045699	0.0191449	0.0191449	14.752299	55.29	0.0158167	0.0266667	
13:55:44	7006F	11	57.1	70	71	65.8	146.66	17.76	18.0384411	0.0387412	0.0074494	17.373994	59.04	0.0169795	0.0261146	
14:10:44	7006F	11	51.3	59	64.28	64.28	143.24	16.39	18.1913791	0.017798	0.017798	11.764923	56.69	0.0117359	0.0271513	
14:25:44	7006F	11	71.7	70	61.4	67	142.89	17.27	18.1782585	0.0266465	0.0204466	14.1264118	70.25	0.0203804	0.0424177	
14:40:44	7006F	11	54.4	70	66	60	157.26	15.4	18.2871564	0.0265565	0.0204466	14.0225456	66.113	0.0162655	0.0262972	
14:55:44	7006F	11	54.4	69	63.2	69.8	149.46	17.4	18.270238	0.0261116	0.0165559	14.1261096	61.16	0.0166554	0.0278111	
15:10:44	7006F	11	57.4	69	61.7	74.1	137.4	16.45	18.4577829	0.0260329	0.0204466	11.4431348	61.1	0.0116844	0.0261201	
15:25:44	7006F	11	49.3	65	64.28	64.28	137.4	16.7111516	0.048664	0.0174116	0.0174116	15.0700004	57.27	0.0050589	0.0251212	
15:40:44	7006F	11	49	67	56	69	124.4	14.6	18.3587823	0.0179167	0.0074074	15.222171	57	0.0049793	0.0241414	
15:55:44	7006F	11	49.3	67	51.71	67.71	135.4	14.1488811	0.0263922	0.0263922	0.0263922	11.1394031	49.20	0.0077759	0.0240465	
16:10:44	7006F	11	47.4	69	70.29	69.8	135.4	14.65	18.4567274	0.0263922	0.0177978	11.2420211	50.2	0.0117359	0.0241268	
16:25:44	7006F	11	57.4	67	70.29	70.29	135.4	14.65	18.4567274	0.0263922	0.0177978	11.2420211	50.2	0.0117359	0.0241268	
16:40:44	7006F	11	51.1	67	70.29	69.8	135.4	14.65	18.4567274	0.0263922	0.0177978	11.2420211	50.2	0.0117359	0.0241268	
16:55:44	7006F	11	57.4	67	70.29	69.8	135.4	14.65	18.4567274	0.0263922	0.0177978	11.2420211	50.2	0.0117359	0.0241268	
17:10:44	7006F	11	51.2	65.81	64.28	67.4	149.27	14.65	18.4567274	0.0263922	0.0177978	11.2420211	50.2	0.0117359	0.0241268	
17:25:44	7006F	11	47.4	69.78	64.28	64.28	135.4	14.65	18.4567274	0.0263922	0.0177978	11.2420211	50.2	0.0117359	0.0241268	
17:40:44	7006F	11	41.3	69.8	45.89	44.4	113.4	14.67	18.1380284	0.0231991	0.0231991	10.580247	43.593	0.0044413	0.0231033	

**Tabla 1** Mediciones y resultados de calor útil, eficiencia y calentamiento del aire.

En la figura 6, se muestra la curva de rendimiento de un colector y para los 5 colectores, ajustada para un caudal de aire constante, se obtiene también sus ecuaciones, respectivas.



**Figura 6** Rendimiento para uno y para cinco colectores.

Estas curvas de eficiencia térmica del colector ( $\eta$ ), son de acuerdo al modelo de Hottel-Whillier-Bliss, en la ecuación obtenida se muestra el valor de:

$$x = \left( \frac{(T_m - T_a)}{G} \right)_{el}$$

La evolución de la Capacidad evaporativa del aire, debe realizarse de acuerdo a los caudales volumétricos de aire a la entrada del colector, que estén dentro del rango de utilización de la curva de rendimiento obtenida.

## Conclusión

La eficiencia instantánea de los colectores, muestra ser una herramienta útil para determinar la factibilidad de secado de un determinado producto, y un criterio adecuado para caracterizar un deshidratador.

La información aportada por la eficiencia instantánea de los colectores solares, permite complementar y refinar el criterio de desempeño de deshidratadores solares indirectos.

De ser factible el secado, este índice es útil a los fines de seleccionar el mínimo caudal de aire que requiere el secado de un determinado producto, dependiendo de la temperatura de secado y humedad final requerida.

En particular, la aplicación del método de cálculo para productos que requieran actividades acuosas moderadas, como el caso de la mayoría de las hortalizas y aromáticas, muestra que el deshidratador es capaz de reducir la humedad del mismo, al valor requerido e indicar el caudal de aire a utilizar.

## Referencias

Javier Gutiérrez Ávila, Vicente Flores Lara, Raúl Lugo Leyte.-“Deshidratador De Frutas Con Energía Solar En El Estado De Guerrero”. Revista de Energías Renovables. Abril-Junio. No. 14. Pp. 9-13. 2012. (ANES).México, D.F.

Javier Gutiérrez Ávila, Rosa María Moctezuma Ramos, Juan G. Juárez Vázquez, Luis Riaño Cruz.- “Concentrador Parabólico Compuesto (Cpc), Para Sustituir El Gas Licuado Del Petróleo (Glp)”.-Revista Fomix Guerrero No. 2 Septiembre-Diciembre. 2012.Pp. 22-25. Chilpancingo, Gro.

Almanza R. y Muñoz F. (1994) Ingeniería de la Energía Solar. El Colegio Nacional, México. UAM-I.