



**DESHIDRATADOR DE ALIMENTOS CON COLECTORES SOLARES
PLANOS Y ACEITE DE COCO, COMO FLUIDO DE TRABAJO.**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ACAPULCO
DEPARTAMENTO DE METALMECANICA
LABORATORIO DE INGENIERÍA ELECTROMECHANICA
Av.Instituto Tecnológico s/n C.P. 39905 Crucero del Cayaco
Acapulco, Guerrero
javiguta12@hotmail.com**

PONENTE: DR. JAVIER GUTIÉRREZ ÁVILA



• INTRODUCCIÓN

- La energía solar es una fuente alterna, para obtener energía térmica y eléctrica. La captación de esta energía se logran altas temperaturas, aplicando varios fluidos de trabajo. Particularmente, para obtener energía térmica se utilizan dispositivos que reciben el nombre de Colectores solares y se clasifican en planos y concentradores. Entre los concentradores se tienen los Cilíndricos parabólico móviles con seguimiento solar y los concentradores parabólico compuestos (CPC) o fijos, sin seguimiento solar.
- El proceso de conversión de la energía solar a energía energética es la promesa de llegar a ser una fuente de energía segura, sin necesidad de una gran tecnología y especialización para su correcta utilización. Sin embargo, no existen efectos secundarios por contaminación durante su uso. de los resultados obtenidos de los Colectores Solares.



Estos proyectos de investigación han tomado como experiencia a los resultados obtenidos a los colectores planos y los colectores cilíndricos parabólicos, donde se han analizado el comportamiento de la radiación solar y el proceso de calentamiento del fluido de trabajo a las diferentes concentraciones de la radiación solar, como se muestran en la figura 1 y 2.



Figura 1.- Dimensiones físicas del colector solar plano



Figura 2.- Prototipo del concentrador parabólico cilíndrico



Figura 3.- Concentrador Parabólico Fijo o compuesto. CPC



DESHIDRATACIÓN

La **deshidratación de los productos hortofrutícolas** y en general de los alimentos, es un excelente **método de conservación**.

Esto se **logra por la eliminación gradual del agua** contenida en los alimentos, que impide el deterioro al **inhibir el crecimiento de los microorganismos**, reduce o detiene la actividad enzimática y las reacciones químicas del propio alimento, logrando que se **alargue su vida útil**.

**Reduce el volumen del producto en un 50%,
y su peso en un 80%, esto permite un fácil manejo y transporte.**



El sol: fuente de energía

El sol es una estrella, que por varios años ha permitido el desarrollo y subsistencia de las diferentes formas de vida sobre la tierra, su aporte de energía origina en su núcleo las reacciones de fusión nuclear.

La energía solar es una fuente efectiva, gratuita, limpia e inagotable útil lograr la conservación y secado de alimentos a bajo costo, que permite reducir el uso de combustibles fósiles, contaminantes y agotables, cada vez más escasos y más caros empleados en procesos artificiales con el inevitable impacto ambiental



Sistemas de aprovechamiento solar

- De la energía solar podemos obtener dos sistemas de aprovechamiento:

Fotovoltaicos. En este proceso la energía solar se convierte directamente en energía eléctrica.

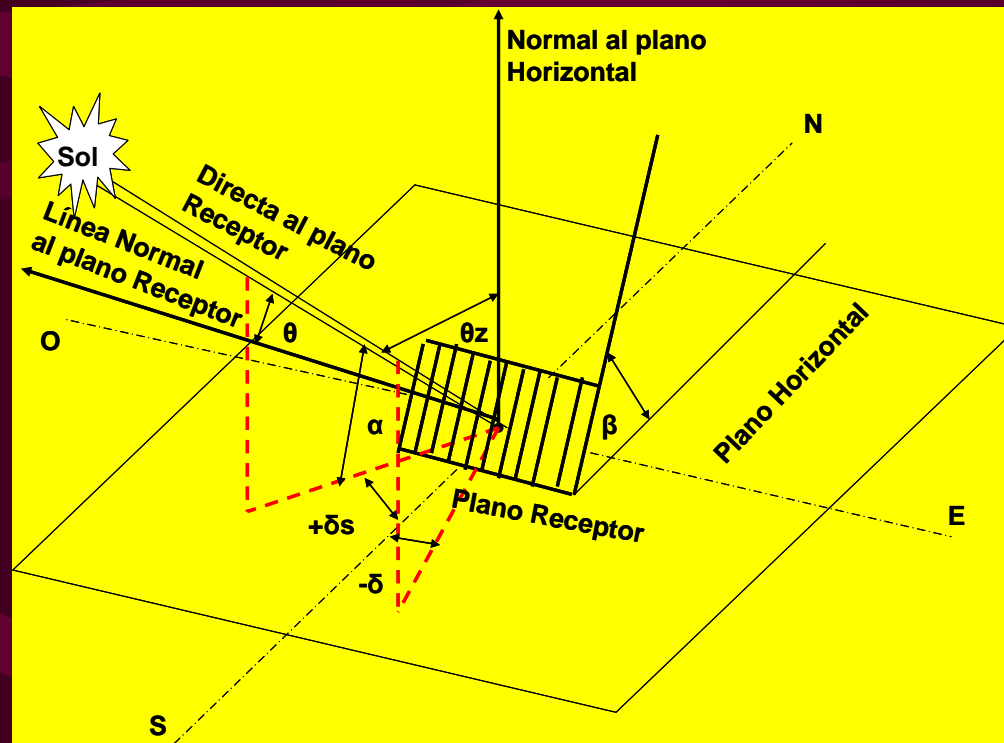
Fototérmicos. En este proceso un gas o un líquido se calienta mediante energía solar, para almacenarse o distribuirse. Éste sistema es el aprovechado en el secado solar.

- La transformación de la energía solar en energía térmica se lleva a cabo típicamente en los colectores solares



ANGULOS GEOMETRICOS

Las relaciones geométricas entre un plano receptor, con orientación particular relativa al horizonte terrestre y la radiación solar incidente, se describen en términos de diferentes ángulos





INCLINACIÓN DEL PLANO RECEPTOR β .- Es el ángulo formado en la superficie del plano y la horizontal en un rango de $-90^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$

ÁNGULO DE ACIMUT SUPERFICIE δ

Es el ángulo de desviación con respecto a la línea horizontal N-S de la proyección sobre un plano horizontal de la línea Normal a la superficie del plano receptor con valor de 0° , hacia el sur, para el Este negativo y Oeste positivo $-180^\circ \leq \delta \leq 180^\circ$

ÁNGULO DE INCIDENCIA θ .- Corresponde al ángulo entre la radiación solar directa y la Normal al plano receptor,

ANGULO ZENIT θ_z .- Ángulo formado entre la radiación solar directa y la normal al plano horizontal.

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \text{Sen} \delta \text{ Sen} \phi \text{ Cos} \beta - \text{Sen} \delta \text{ Cos} \phi \text{ Sen} \beta \text{ Cos} \delta + \text{Cos} \delta \text{ Cos} \phi \text{ Cos} \beta \text{ cos} \omega \\ & + \text{Cos} \delta \text{ Sen} \phi \text{ Sen} \beta \text{ Cos} \delta \text{ Cos} \omega + \text{Cos} \delta \text{ Sen} \beta \text{ Sen} \delta \text{ Sen} \omega \end{aligned}$$

$$\cos \theta_z = \text{Cos} \delta \text{ Cos} \phi \text{ Cos} \omega + \text{Sen} \delta \text{ Sen} \phi$$

Para una **superficie horizontal**, cuando $\beta = 0$, implica que $\text{Sen} \beta = 0$ y $\text{Cos} \beta = 1$. En estas condiciones, desaparece el segundo, el cuarto y el quinto término de la ecuación anterior.



TIPOS DE SECADO

Tipos de deshidratación solar:

- > Sistema directo
- > Sistema indirecto
- Sistema mixto

El deshidratador solar utiliza **aire como medio secador** y para acarrear el vapor de agua retirado del alimento. Esta **circulación de aire** se logra de dos formas:

- > Convección natural
- Convección forzada (ventilador)

Cualquier sistema o equipo de deshidratación solar consta de dos **elementos básicos** que se **diseñan** de acuerdo al equipo de secado que se pretenda lograr y la naturaleza del producto:

- > Colector
- > Cámara de secado



DESHIDRATACIÓN A LA INTEMPERIE



La deshidratación solar a la intemperie es la práctica más antigua de secado.

- La energía solar incide directamente sobre la superficie del producto.
- Una parte de la radiación incidente se refleja y otra es absorbida por la superficie de acuerdo con el color del producto.
- Del total del espectro, la energía de onda corta es la más significativa para este caso.
- La radiación absorbida se convierte en energía térmica y la temperatura del producto se incrementa.
- Se obtienen pérdidas de radiación de onda larga (radiación térmica) de la superficie del producto al aire ambiental, llevándose parte de la humedad del producto.
- También, existen pérdidas de calor convectiva, debido al flujo de aire sobre la humedad superficial del producto.
- La evaporación de humedad, se obtiene del secado del producto.
- Así también, parte de la energía absorbida es transferida por conducción hacia el interior del producto.



DESHIDRATACIÓN A LA INTEMPERIE

- En consecuencia, se obtiene un incremento de la temperatura y la formación de vapor de agua al interior del producto, el cual por el fenómeno de difusión llega a la superficie del producto y muestra una pérdida térmica en forma de evaporación.
- En la primera etapa, la pérdida de humedad es rápida, porque el exceso de humedad en la superficie del producto es retirada fácilmente, por el flujo de aire caliente.
- Las etapas subsecuentes dependen de la velocidad, que se desplaza por difusión la humedad del interior a la superficie. El proceso de difusión de humedad depende de las características del producto.



DESHIDRATADOR DIRECTO



- Este deshidratador solar, parte de la radiación solar se reflejada hacia la atmósfera y el resto se transmite a través del interior de la cámara.
- También, parte de la radiación transmitida se refleja de la superficie del producto, y el resto la absorbe el producto.
- A consecuencia de la absorción de la radiación, la temperatura del producto se incrementa y el alimento emite radiación térmica, que no llega a la atmósfera debido a la cubierta del deshidratador.
- Por otro lado, la temperatura del aire sobre el producto es mayor.
- La cubierta del equipo, permite reducir las pérdidas de calor por convección y radiación al ambiente, pero permite elevar la temperatura de la cámara.
- Sin embargo, existen pérdidas por convección y evaporación de la superficie del producto, porque la humedad es retirada por el flujo de aire, que entra por la parte inferior de la cámara y sale por la parte superior de la misma.
- El sistema de aislamiento del deshidratador reduce la pérdida de calor por conducción

Se muestra la figura 4, del deshidratador directo modificado a deshidratador indirecto.



Parte externa



Parte interna

Figura 4.- Se muestra el deshidratador existente de tipo directo a la radiación solar.



DESHIDRATADOR INDIRECTO



- En este sistema el producto no se expone directamente a la radiación solar, debido que reduce el descoloramiento y el acabado quebradizo.
- Este deshidratador solar contiene dos partes fundamentales:
 - El colector solar que sirve para calentar el aire; y la cámara de secado donde se coloca en producto en bandejas.
 - El colector solar y la cámara están conectados de tal forma que el aire caliente entra por la parte baja de la cámara, pasa a través de las bandejas y sale por la parte superior.
 - En este caso el calor necesario para la evaporación de humedad es proveído por una transferencia convectiva de calor entre el aire caliente y el producto fresco.
 - En el proceso de secado, para este sistema es fundamental la diferencia de concentración de humedad entre el aire caliente, que pasa por la cámara y el aire en la vecindad inmediata del producto.



RECONSTRUCCIÓN DEL DESHIDRATADOR DIRECTO A INDIRECTO



Se considera un sistema combinado de un banco de colectores solares, que previamente calienta el aceite térmico de coco hasta una temperatura aproximadamente de $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, que circula sobre los intercambiadores de calor que integran los fain coil, colocados en la parte inferior de cada extremo de la cámara de secado, donde se colocan los productos a deshidratar. En la figura 5 se muestran las modificaciones de la estructura



Figura 5.- Modificaciones de la estructura y el volumen original.



La vista frontal de la cámara secadora, está diseñada con material de placa de acero inoxidable Tipo AISI 316 grado alimenticio de acuerdo a la Sección VIII, División 1, del Código ASME, espesor de 0.45 mm.. Las dimensiones son de 4.00 m de ancho, un largo de 6.00 m y una altura de 2.00 m pero se le agregan 0.5 m de radio a la media circunferencia. Este material cubre la parte interna de la cámara de secado, como se muestra en la figura 6.



Figura 6.- Vista lateral y frontal del deshidratador cubierto con lamina de acero inoxidable tipo alimenticio.



En seguida contiene una capa de aislamiento térmico de espuma de poliometano de 47 kg/m^3 , con grado R-5 de aislamiento, para conservar el calor y minimizar las pérdidas de calor por las paredes, como se muestra la figura 7.



Figura 7.- Recubrimiento de aislamiento térmico de la cámara de secado.



Este aislamiento se cubre con una superficie de lámina metálica de aluminio dúctil calibre 26 en la parte exterior, para reflejar los rayos solares. Este material también, evita que el calor no pierda densidad y se aproveche en menos tiempo de la mezcla del aire caliente y húmedo, como se muestra la figura 8.



Figura 8.- Recubrimiento de aluminio dúctil en la parte exterior



En el interior de la cámara de secado, se colocan cuatro muebles por cada lado, cada mueble tiene nueve charolas con una medida de 1.35 x 0.89 metros, y dos charolas con una medida de 135 x 0.60, para que se realice la humidificación homogénea del aire y absorber la humedad de los productos, como se muestra la figura 9.



Figura 9.- Muebles dentro de la cámara de secado



También, se muestran los termopares tipo J, que se utilizan como una expansión térmica para medir la temperatura y la humedad relativa, que se ubican en la parte inferior y superior de las charolas, donde se encuentran colocados los productos alimenticios, para controlar el proceso de deshidratación de alimentos, como se muestra en la figura 10.

Finalmente en la parte frontal en la parte superior de la puerta de la cámara de secado, contiene dos extractores, para extraer el aire cargado de humedad obtenida de los procesos de deshidratación, como se muestra la figura 11.



Figura 10.- Control para obtener la temperatura y la humedad relativa del aire



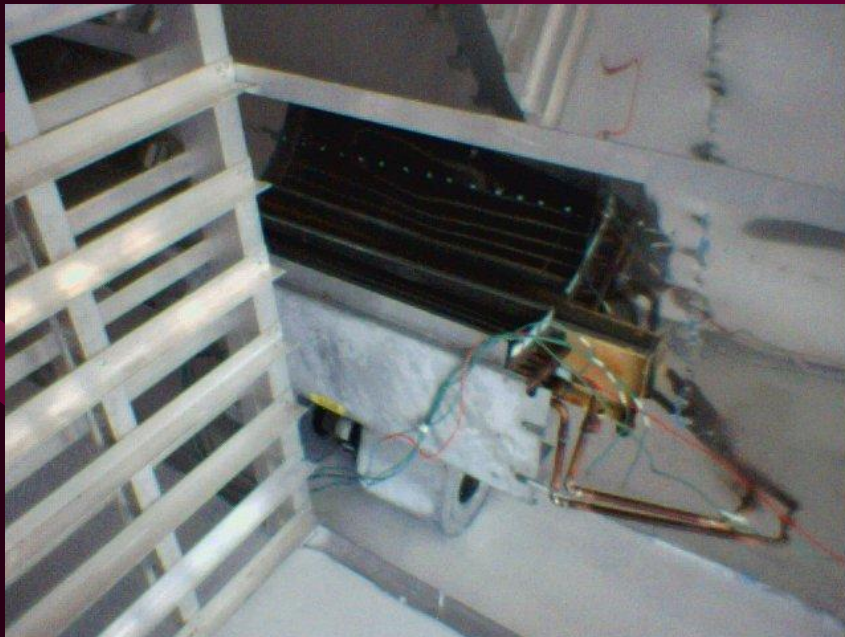
Figura 11.- Extractores en los extremos de la puerta lado superior



En la parte inferior y en el centro de la cámara de secado, se localiza el intercambiador de calor, que tiene una conexión de entrada del aceite térmico de coco, para realizar el proceso de calentamiento del aire, como se muestra en la figura 12.



Figura 12.- Localización del fain-col, para calentar el aire.





El banco de colectores solares planos, la función principal es suministrar el aceite térmico de coco al interior de los intercambiadores de calor, bombeado a presión, para generar un movimiento con turbulencia y a una temperatura aproximada de 150 °C, como se muestra en la figura 13.



Figura 13.- Banco de colectores solares planos



Este aceite es calentado con la energía solar, que llega a los colectores solares, que se bombea a los intercambiadores de calor, para el calentamiento del aire que llega a la cámara de secado a una temperatura aproximada de 55 a 60 °C. El aceite sale a baja temperatura hacia los colectores solares planos, para su nuevo recalentamiento y así cerrar el circuito de circulación, como se muestra en la figura 14.



Figura 14.- Sistema de calentamiento del aceite y bombeo del banco de colectores solares planos

Este sistema está apoyado con dos bombas hidráulicas, colocadas a la entrada y salida del banco de los colectores solares planos, para suministrar el aceite a presión a los colectores solares y los intercambiadores de calor, como se muestra en la figura 15.



Figura 15.- Bomba hidráulica colocada a la entrada y salida de los colectores solares.



Así también, permite disponer de una zona de almacenamiento del aceite térmico a altas temperaturas, pero de una forma sellada herméticamente que soporta altas presiones y suministra un alto grado de seguridad moldeado con lámina de acero inoxidable, aislamiento térmico y lámina de aluminio, para la reflexión de los rayos solares, para conservar el aceite térmico y aplicarse en el turno de la noche, como se muestra en la figura 16.



Figura 16.- Depósito de los 500 litros de aceite de coco



Se tiene una zona de trabajo fuera de la cámara de secado. En este lugar se hacen los cortes de la fruta a deshidratar, para trasladarla a la cámara de secado, terminado el producto seco, se realizan los trabajos de empaque en un confort adecuado, como se muestra en la figura 17.



Figura 17.- Operación de la cámara de secado, donde se muestran las charolas del producto de mango a deshidratarse.



CONCLUSIONES



1. Este trabajo demuestra que el secador solar tipo indirecto es un sistema que protege al producto agrícola de la contaminación y es factible de ser aplicada en las zonas rurales.
2. Permite a los productores dar salida a frutos con baja posibilidad de comercialización y en temporadas de desplome de precios
3. La temperatura máxima que debe alcanzar el producto es de 43°C , y la cámara no debe sobrepasar los 70°C . Por lo tanto, es necesario diseñar un banco de colectores solares, que obtenga el fluido de trabajo una temperatura entre 130 a 150°C , para tener los niveles de temperatura necesarios para el proceso.
4. Las charolas para deshidratar el producto, se construyen de madera, aluminio, etc., para el marco y se utiliza tela de mosquitero alimenticio, donde se coloca la fruta y en consecuencia no desprender olores ni reaccionar con los ácidos de los frutos.
5. Los deshidratadores solares tipo indirecto, se obtienen resultados con un contenido de humedad menor. El periodo de tiempo de secado y el costo es menor, porque la operación de los fin-coil, produce un calentamiento del aire limpio, para no dañar al producto y para que no genere su contaminación. Por lo tanto, esta propuesta es una buena opción para los productores de mango.



CONCLUSIONES



6. Los productos deshidratados se conservan por más tiempo antes de su venta.
7. El proceso es sencillo, seguro y eficiente.
8. Los productos deshidratados no pierden esencialmente sus propiedades organolépticas (color, sabor, textura) ni nutritivas.
9. La deshidratación permite comercializar los productos a precios mayores en los mercados locales y globales.
10. La energía solar es gratuita. Con el uso de otro tipo de deshidratadores (eléctricos o de combustión) el productor gastaría dinero en suministrar la energía necesaria para su operación