



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

División de Ciencias e Ingeniería

**CONSTRUCCIÓN DE UN SECADOR SOLAR
DE TIPO INDIRECTO PARA LA DESHIDRATACIÓN
DE PRODUCTOS AGRÍCOLAS**

TRABAJO MONOGRÁFICO
Para obtener el grado de
Ingeniero en Sistemas de Energía

Presenta

GABRIEL ENRIQUE CHAN GONZÁLEZ

SUPERVISORES
DR. JOSÉ HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ
M.E.S. ROBERTO ACOSTA OLEA
M.C. JAIME D. CUEVAS DOMÍNGUEZ

Chetumal Quintana Roo Diciembre 2010



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
División de Ciencias e Ingeniería

Trabajo monográfico elaborado bajo la supervisión del Comité de Asesoría y aprobada como requisito parcial, para obtener el grado de:

INGENIERO EN SISTEMAS DE ENERGÍA

COMITÉ

Director: Dr. José Hernández Rodríguez

Asesor: M.E.S. Roberto Acosta Olea

Asesor: M.C. Jaime D. Cuevas Domínguez

Chetumal, Quintana Roo, Diciembre 2010

**Este trabajo monográfico se lo dedico a mis padres,
ejemplo y faro de vida.**

**A mi esposa Patricia, compañera y amiga en las buenas y
en las malas, por tu valor, amor y paciencia.**

A mis hijos, Katia y Adrian son la luz de mis ojos.

AGRADECIMIENTOS

Primero a Dios por darme la fortuna de una extraordinaria esposa y amiga, Patricia, te amo, sin ti no lo hubiera logrado, por tu paciencia y fe en mí.

A mis hijos: Katia, Adrian por tolerar mi ausencia, son la luz de mis ojos este título es para ustedes, los amo.

A mis padres: Sr Jacobo Chan Uc y Sra. Teresita González de Chan es para ustedes, son mi orgullo, los amo, sobre todo por haber cultivado en mí el amor y la fe en Dios.

A mis compañeros de trabajo en la Universidad por las palabras de aliento en momentos difíciles, su apoyo incondicional y cómplices en mis proyectos escolares: Raúl, Alfredo, Monty, Set.

A mis maestros por sus enseñanzas y por depositar su confianza en mí: Dr. José Hernández, Dr. Omar Yam, Mtro. Javier Vázquez, Mtro. Juan Carlos Avila, Dr. Jorge Aguilar, Mtro. Roberto Acosta por su apoyo, a todos los que me exigieron en la carrera, Dr. Fernando Flores Dr. Inocente Bojorquez. , Mtro. Emmanuel Torres y Mtro. Victor Sánchez.

A mis compañeros laborales que me tendieron la mano en circunstancias difíciles: Adán, Cesar, a mi amiga Niuris, por el apoyo incondicional, por creer en mí.

Y a mis compañeros escolares que sin ellos la carrera no tendría sabor, Omar, Paul, Isis, Carlitos, Juan, Luis, Audomaro, Sergio, Josué, Jorge, Freddy.

A la División de Ingeniería y Ciencias por el apoyo que me otorgo para la impresión y encuadernado de esta monografía.

A todos ustedes ¡MUCHAS GRACÍAS!

RESUMEN

El presente trabajo monográfico, ilustra de una forma sencilla y gráfica los principios básicos del funcionamiento de un secador solar de tipo indirecto y su aplicación al secado de productos agrícolas. Se destaca sobre todo las diferentes etapas de la construcción del mismo, así como una propuesta a la conservación de productos agrícolas, usando la energía limpia e inagotable del Sol.

Esta monografía tiene la intención de aportar una alternativa para disminuir el porcentaje de pérdidas post-cosecha en el estado de Quintana Roo, evitar la emisión de contaminantes al medio ambiente y finalmente ser una manera de aprovechar el recurso que la naturaleza proporciona en abundancia.

CONTENIDO

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.0 Energía solar	1
1.1 La energía del sol	1
1.2 Componentes de la radiación solar	2
1.3 Variaciones de la radiación solar	5
1.4 Parámetros principales de la posición del sol	7
CAPÍTULO II. APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR	8
2.0 El Sol y la energía solar térmica.	8
2.1 Principio de funcionamiento	8
2.2 Efecto invernadero en los colectores	8
2.3 Sistemas de transferencia calor por aire	11
2.4 Eficiencia de un colector solar.....	11
2.5 Secado Solar de productos agro-forestales.....	13
2.5.1 Secado mediante aire climatizado	14
2.6 Factores que rigen el proceso	17
2.7 Clasificación de los secadores	19
2.7.1 Los secadores tipo directo, integrales.....	20
2.7.2 Tipo directo	22
2.7.3. Tipo indirecto y mixto	25
2.7.4. Secadores mixtos activos:	26
CAPÍTULO III. PROCESO DE CONSTRUCCIÓN.....	28
3.1 Construcción del secador.	28
3.2 Proceso de la cabina de secado.	32
3.3 proceso del captador solar.....	39
CAPITULO IV. COMENTARIOS FINALES	49

Bibliografía	51
ANEXO I	52
ANEXO II.....	54

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

El estado de Quintana Roo se encuentra en una región privilegiada y es considerado como una reserva ecológica en la región sureste de nuestro país, de aquí la importancia de coadyuvar a la preservación de sus tesoros naturales. En el estado se producen productos agrícolas pero no se cuentan con sistemas masivos para su conservación como en otras partes del país. De ahí la importancia de desarrollar alternativas no agresivas ni dañinas al medio ambiente, en este trabajo monográfico se propone el uso de deshidratadores de productos agrícolas que tengan como fuente energética el Sol, se presentan resultados en un prototipo de secador solar indirecto, la experiencia con diferentes productos que se realizaron con dicho equipo demostrando su viabilidad para uso en el medio rural local. En este capítulo se presentan los conceptos generales tales como definiciones básicas y principios en los que se basa el aprovechamiento de la energía solar para el secado.

1.0 Energía solar

La emisión del calor en el Sol se produce por efecto del fenómeno físico conocido con el nombre de “radiación”, que consiste en la emisión de energía en forma de ondas electromagnéticas que se desplazan por el espacio en todas direcciones. Así, la Tierra recibe los efectos de dichas ondas emitidas por el Sol, cuando se encuentra en su camino.

1.1 La energía del sol

El Sol se encuentra a 149.5 millones de kilómetros de la tierra y su luz tarda 8.3 minutos en llegar a la superficie terrestre, a la velocidad de 300,000 km/s (Guillen Solís, 2004). La radiación solar llega a la tierra como ondas electromagnéticas en forma de fotones, que no necesitan un medio físico para su propagación, desplazándose por el espacio en todas las direcciones. Cabe señalar que en función de la frecuencia, las radiaciones tienen más o menos capacidad de penetración en los materiales, en donde mientras más corta sea la longitud de onda, mayor será su capacidad de penetración (Sánchez Maza, 2008).

Para medir la cantidad de energía solar que llega a la frontera exterior de la atmósfera terrestre, se ha establecido la llamada “constante solar”. La constante solar sirve para establecer el valor correspondiente a la energía que incide perpendicularmente sobre una superficie de 1 m^2 de área de la atmósfera.

Así entonces se denomina constante solar, a la radiación solar (flujo o densidad de potencia de la radiación solar) recogida fuera de la atmósfera sobre una superficie perpendicular a los rayos solares. No es un valor constante puesto que la distancia entre el Sol y la tierra tampoco lo es, esta depende de la distancia. Esta oscila entre $1,400$ y $1,310 \text{ W/m}^2$, pero tomándose como valor establecido $1,353 \text{ W/m}^2$, con una variación de $\pm 3\%$ durante el año por ser la órbita terrestre elíptica (Sánchez Maza, 2008).

La atmósfera absorbe parte de la radiación solar. En condiciones óptimas, un día perfectamente claro y con los rayos de sol cayendo casi perpendiculares, como mucho, las tres cuartas partes de la energía que llega del exterior alcanzan la superficie. El resto se refleja en la atmósfera y se dirige al espacio exterior. Las nubes son en gran parte las responsables de ello. Casi la totalidad y gran parte de la radiación infrarroja es absorbida por el ozono y otros gases en la parte alta de la atmósfera. El vapor de agua y otros componentes atmosféricos absorben en mayor o menor grado la luz visible e infrarroja.

Cabe señalar que el valor de la constante solar mencionada no es válida a nivel de la superficie de la tierra. Aquí, en condiciones atmosféricas óptimas: día soleado de verano, cielo totalmente despejado, en una superficie de 1 m^2 perpendicular al sol, a luz plena registra un valor de $1,000 \text{ W/m}^2$ (Sánchez Maza, 2008).

1.2 Componentes de la radiación solar

Por la forma en que llega la luz solar a la superficie de la tierra, se puede clasificar a la radiación en tres tipos:

- Directa.
- Dispersa o difusa.

- Albedo.

La radiación solar directa: es la que incide sobre cualquier superficie con un ángulo único y preciso. La radiación viaja en línea recta, pero los gases y las partículas en la atmósfera pueden desviar esta energía, lo que se llama dispersión, esto explica como un área con sombra o pieza sin luz solar esté iluminada.

Los gases de la atmósfera dispersan más efectivamente las longitudes de onda más cortas (violeta y azul) que longitudes de onda más largas (naranja y rojo). Esto explica el color azul del cielo y los colores rojo y naranja del amanecer y atardecer. Cuando amanece o anochece, la radiación solar recorre un mayor espesor de atmósfera y la luz azul y violeta es dispersada hacia el espacio exterior, pasando mayor cantidad de luz roja y naranja hacia la tierra, lo que da el color del cielo de esas horas.

Albedo: se le llama a la fracción de la radiación reflejada por la superficie de la tierra o cualquier otra superficie. Este es variable de un lugar a otro y de un instante a otro, por ejemplo, para un cuerpo negro, su valor es igual a cero, pero para la nieve es de 0.9, y para un suelo mojado es de 0.18. En la tabla 1.1, se indican los valores más comunes del albedo para diferentes superficies

Tabla 1.1: Albedo de diferentes superficies

Nieve virgen	0.95
Agua (ángulos de incidencia grandes)	0.07
Suelos (arcillas)	0.14
Bosques de coníferas	0.07
Hojas muertas	0.30
Hierba seca	0.20
Hierba verde	0.26
Gravas	0.13
Paredes oscuras(ladrillo rojo)	0.27
Paredes claras (pinturas luminosas)	0.60

Las proporciones de radiación directa, dispersa y albedo recibida en una superficie dependen de:

- Las condiciones meteorológicas: en un día nublado la radiación es prácticamente dispersa en su totalidad mientras que en día despejado con clima seco predomina, la componente directa, que puede llegar hasta el 90% de la radiación total.
- La inclinación de la superficie respecto al plano horizontal: en una superficie horizontal se recibe la máxima radiación dispersa –si no hay alrededor objetos a una altura superior a la de la superficie- y la mínima reflejada. Al aumentar la inclinación de la superficie de captación disminuye la componente dispersa y aumenta a la componente reflejada.
- La presencia de superficies reflectantes: debido a que las superficies claras son las más reflejantes, la radiación reflejada aumenta en invierno por efecto de la nieve, cuando es el caso y disminuye en verano por efecto de la absorción de la hierba o del terreno.

Es decir que la radiación total que incide sobre una superficie inclinada corresponde a la suma de las tres componentes de la radiación (figura 1.1).

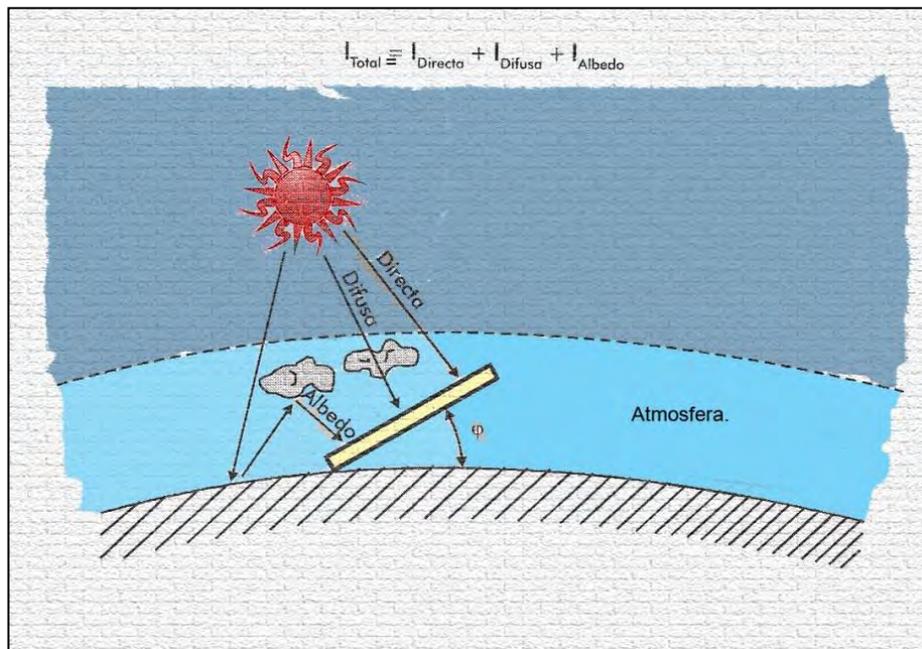


Figura 1.1: Componentes de la radiación solar (Sánchez Maza, 2008)

El porcentaje en la radiación global de una u otra componente depende de las condiciones meteorológicas. Cuanto más nublado es el día, más importante es la radiación difusa y por el contrario en días despejados la componente directa representa el porcentaje mayoritario. Esto se ilustra en la figura 1.2, donde se presenta el efecto de las condiciones climatológicas en la proporción de cada tipo de la radiación solar recibida por la superficie terrestre.

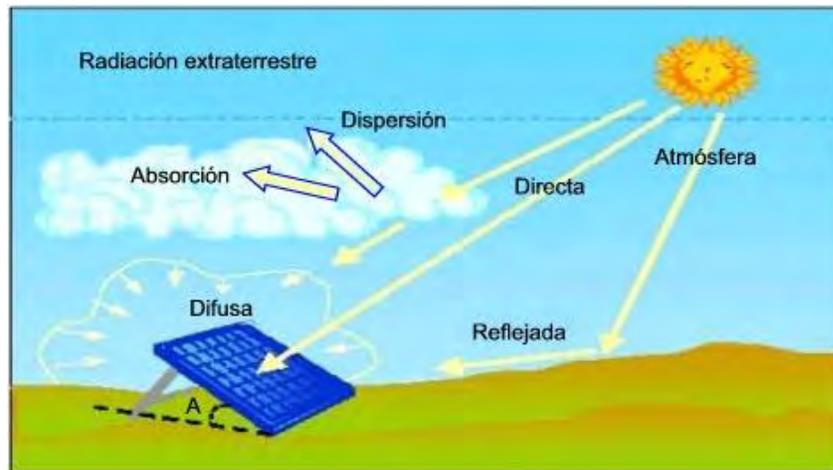


Figura 1.2: Tipos de radiación que son aprovechadas para la generación de energía (ampliadas2ciencia.blogspot.com, 2010).

En la tabla 1.2, se presentan los valores de la irradiancia solar y porcentaje de la componente difusa, para diferentes condiciones del clima.

Tabla 1.2 Irradiación global y difusa en diferentes condiciones

Condiciones climatológicas	Irradiancia(Wm^2)	Componente difusa (%)
Cielo claro	750-1,000	10-20
Parcialmente nublado	200-500	20-90
Completamente cubierto	50-150	90-100

1.3 Variaciones de la radiación solar

La posición del Sol varía diariamente desde el amanecer hasta el ocaso. Si se observan las posiciones del Sol al amanecer, mediodía y atardecer en cualquier lugar del hemisferio norte, se verá como el Sol sale por el este, se desplaza en dirección sur y se pone por el oeste (figura 1.3).

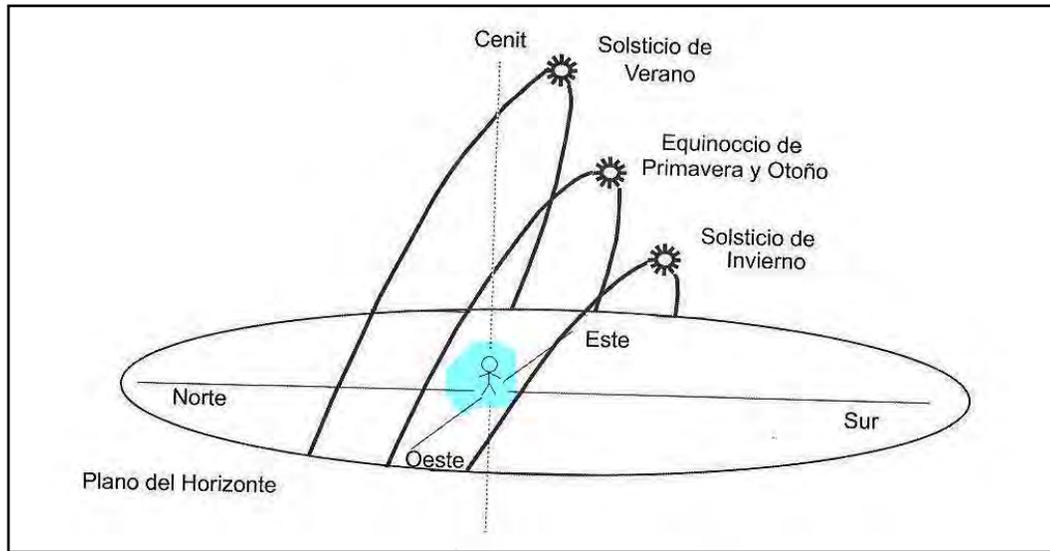


Figura 1.3: Las diferentes trayectorias solares son la razón por la que se requiere orientar los captadores dependiendo de la estación del año para su óptimo desempeño (Ibáñez Plana, 2005)

También es distinta la posición del Sol, según la estación del año: ya que no se encuentra a la misma altura sobre el horizonte en invierno que en verano, esto es debido a que en invierno, el Sol no alcanzará el mismo ángulo que en verano. (Ibáñez Plana, 2005). Esto se ilustra en la figura 1.4.

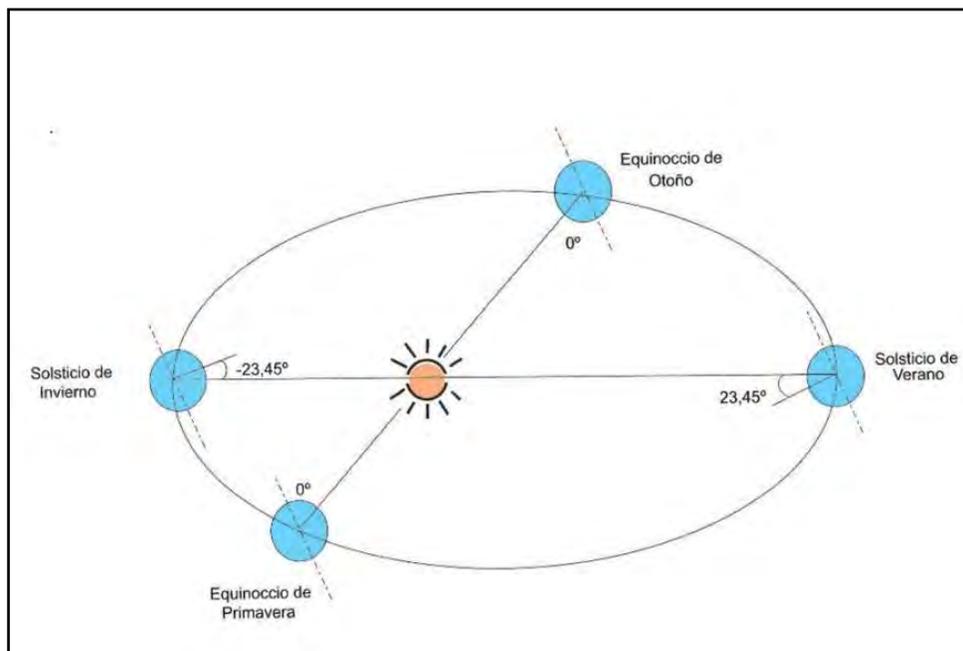


Figura 1.4: Las diferentes inclinaciones solares de acuerdo a la estación del año (Ibáñez Plana, 2005).

El conocer la posición que ocupa el Sol en cualquier momento del día es importante porque así se puede conocer cuál es el ángulo de incidencia de la radiación, y por tanto el comportamiento de las sombras proyectadas por los objetos, lo que junto con las medidas de radiación realizadas, son la base de los cálculos solares.

1.4 Parámetros principales de la posición del sol

Los principales parámetros que definen la posición del Sol son:

- *Azimuth* (A): Es el ángulo que forman la proyección de los rayos solares sobre un plano tangente a la superficie terrestre y el sur geográfico. Cuando el Sol se encuentra exactamente sobre el sur geográfico (mediodía solar), el azimuth tiene valor 0.
- *Altura solar* (h): es el ángulo que forman los rayos solares con la horizontal cuando llegan a la superficie de la tierra.

CAPÍTULO II. APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR

En este capítulo, se presentan los conceptos básicos del aprovechamiento de la energía solar, considerando los fundamentos de la transferencia de calor para la conversión de la radiación solar en calor de proceso.

2.0 El Sol y la energía solar térmica.

La energía solar térmica (EST), es un método en el que se transforma la energía radiante del Sol en calor, que sirve para la producción de: agua caliente destinada al consumo doméstico, agua caliente sanitaria, calefacción, o para la producción de energía mecánica y a partir de ella, de electricidad. El lugar donde tiene lugar la transformación de la energía radiante en calor recibe el nombre de captador solar (Sánchez Maza, 2008).

2.1 Principio de funcionamiento

La EST aprovecha la componente directa y difusa de la radiación total. La conversión de energía radiante en calor, se realiza por los mecanismos de conducción, convección y radiación.

La conducción es el mecanismo de transferencia de calor, presente entre dos cuerpos que están en contacto directo, y en donde existe una diferencia de temperaturas.

Ahora bien si la transferencia de calor se produce, entre un objeto sólido y un fluido que le rodea, y los cuales se encuentran a diferentes temperaturas, entonces se trata de convección.

Finalmente la radiación, se refiere a la transferencia de calor entre dos objetos que están a distinta temperatura, sin que en este caso se requiera ningún medio material.

2.2 Efecto invernadero en los colectores

Un colector solar es un dispositivo diseñado, para transformar la energía solar, a energía térmica, pueden existir diferentes tipos de diseño, en función de la temperatura que se busque

alcanzar, en este trabajo, se hace referencia específicamente a los llamados colectores solares planos.

La radiación solar que llega a un colector lo hace sobre la cubierta transparente. Una parte será reflejada, volviendo al exterior y otra se transmitirá, y de ésta que se transmite, la cubierta absorberá una parte.

El proceso de captación se basa en el *efecto invernadero*¹. De las diferentes longitudes de onda que componen la radiación solar, son las radiaciones de onda corta (*menores de $3\mu m$*), las que atraviesan una cubierta e inciden sobre una superficie denominada absorbedor. De aquí parte de esta energía es transferida al fluido portador de calor en forma de energía térmica. La cubierta es transparente a la radiación solar pero opaca a la radiación infrarroja: el absorbedor al calentarse emite una radiación de mayor longitud (entre 4.5 y $5.2\mu m$) que no puede escapar por ella y es reflejada al interior otra vez, minimizándose las pérdidas tanto por conducción como por convección.

De esta forma se produce una “trampa energética de radiaciones” que impide que la energía radiante que ha atravesado la cubierta vuelva a salir; esta trampa constituye el efecto invernadero. La cubierta también evita el contacto directo de la placa con el aire ambiente con lo que, además se evitan las pérdidas por convección antes referidas (figura 2.1).

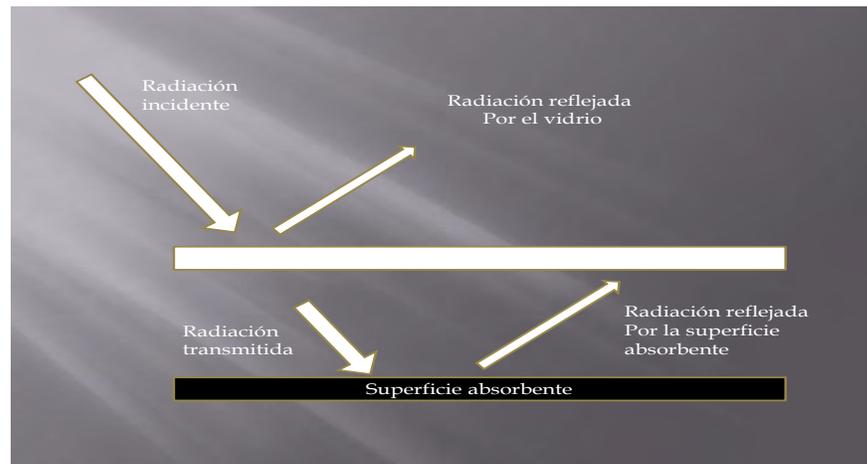


Figura 2.1. Principio básico de funcionamiento de un colector solar (Miguel Ángel Sánchez Mazza México Limusa: 2008).

¹— El mismo principio que se puede experimentar al entrar en un coche estacionado al sol en verano—. El vidrio actúa como filtro para ciertas longitudes de onda de la luz solar: deja pasar fundamentalmente la luz visible, y es menos transparente con las ondas infrarrojas de menor energía.

La combinación del efecto invernadero, la absorción de radiación de los objetos negros y el aislamiento para evitar las pérdidas de calor constituyen los principios físicos fundamentales para comprender el funcionamiento de un colector plano o tubular figura 2.2 (Sánchez Maza, 2008).

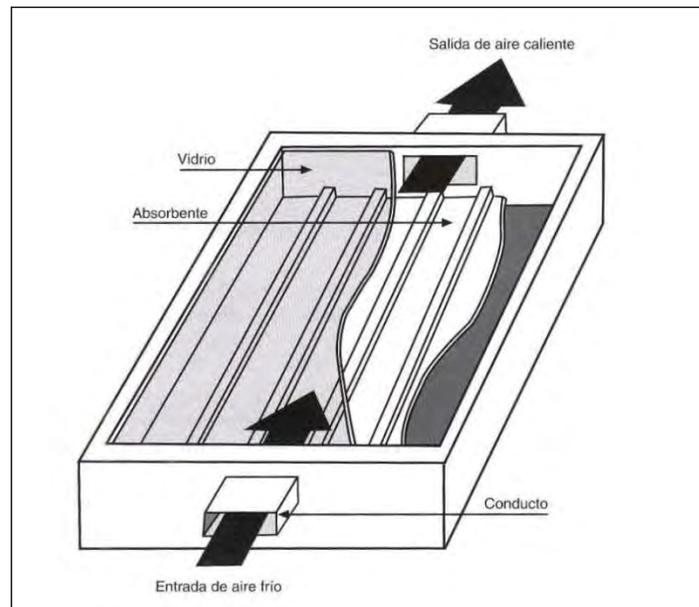


Figura 2.2: Esquema básico de un captador solar de caja para calentar aire (Ibáñez Plana, 2005).

2.3 Sistemas de transferencia calor por aire

Los sistemas de transferencia calor por aire son básicamente idénticos a los sistemas líquidos con la diferencia de que los parámetros de entrada se expresan en general de modo diferente. En la figura 2.3, se ilustra la forma típica de un sistema de aire sencillo, el cual consta de un conducto rectangular, en donde la anchura del conducto será a y su profundidad b , dando un área ab .

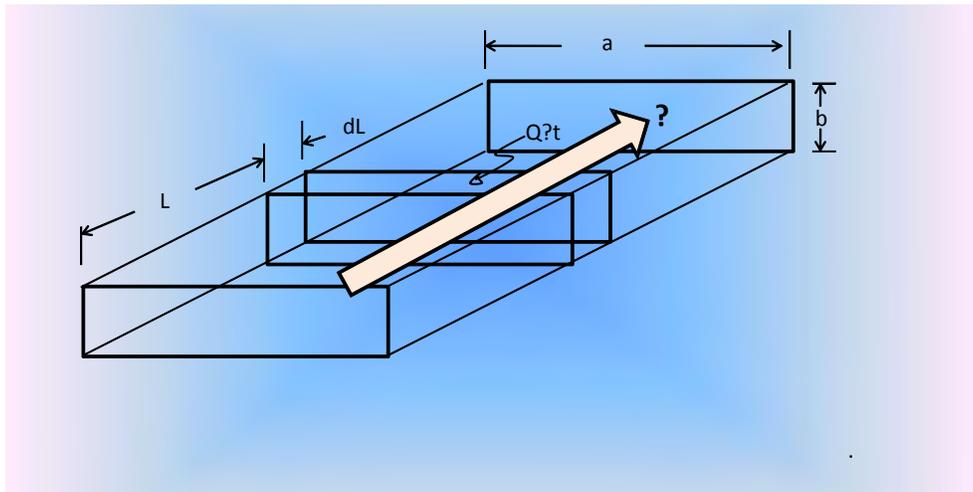


Figura2.3: Esquema básico de un colector solar plano.

2.4 Eficiencia de un colector solar

La energía útil que se obtiene de un colector $Q_{\text{útil}}$ (en W) puede determinarse mediante la fórmula que calcula el calor que extrae el fluido caloportador (de calor específico C_p en $J/kg^{\circ}C$ en función del caudal másico m (en kg/h) y la diferencia de temperaturas entre la entrada de T_e y la salida T_s :

$$Q_{\text{útil}} = 1.16 \cdot m C_p (T_s - T_e)$$

La eficiencia del captador es la relación entre la energía útil y la radiación solar total que incide sobre el mismo:

$$\eta = \frac{Q_{\text{útil}}}{I \cdot A}$$

donde:

I= irradiancia solar incidente sobre el captador, en W/m^2 .

A= Superficie útil del mismo, en m^2 .

Por otro lado, la energía útil puede calcularse también como la diferencia entre la energía que se capta y la energía que se pierde: No toda la radiación solar que incide en el captador es realmente captada por el absorbedor ya que depende de lo que transmite el vidrio y de lo que absorbe la placa absorbidora. Por lo tanto puede expresarse la energía absorbida por:

$$Q_{\text{abs}} = \alpha \cdot I \cdot A$$

Las pérdidas térmicas del captador son proporcionales a su superficie y a la diferencia de temperatura del absorbedor T_e con la temperatura ambiente T_a por la expresión:

$$Q_{\text{per}} = b(T_e - T_a) \cdot A$$

El rendimiento del captador puede expresarse por tanto:

$$\eta = \frac{Q_{\text{útil}}}{I \cdot A} = \frac{Q_{\text{abs}} - Q_{\text{per}}}{I \cdot A} = \alpha - b \frac{(T_e - T_a)}{I}$$

Donde a y b son coeficientes globales de pérdidas.

Con la función de rendimiento se determina la parte de la radiación incidente que el colector transforma en energía térmica en función de la diferencia de temperaturas y de la irradiancia solar.

La función de rendimiento permite conocer el rendimiento máximo del colector que se obtiene para $T_e = T_a$ y vale $\eta_{m\acute{a}x} = \alpha$.

También se puede determinar la temperatura máxima T_{cm} que puede alcanzar un colector, que se obtiene cuando $\eta = 0$ y vale:

$$T_{cm} = T_a + \frac{\alpha}{b} \cdot I$$

2.5 Secado Solar de productos agro-forestales

Durante miles de años el hombre ha secado una gran diversidad de productos con la sola exposición al Sol y al viento. El objetivo ha sido su conservación para usos posteriores, tal es el caso del pescado y las frutas, o como parte del propio proceso de producción, en los ejemplos de la madera y el tabaco. El *concepto de secado se refiere al proceso de separar un líquido, generalmente agua, del sólido que lo retiene*. En la industria el secado forma parte de muchos procesos como operación diferenciada o como parte de una operación más compleja.

En algunos sectores de las regiones industrializadas, los secadores abiertos al aire han sido extensamente reemplazados por sistemas cerrados, con calderas para calentar el aire de proceso y ventiladores para forzar la circulación del aire a velocidades más elevadas. Estos secadores cerrados permiten procesos más rápidos, requieren menor espacio y habitualmente permiten obtener un producto de mayor calidad. Pero frente al secado solar artesanal los equipos son caros y su demanda energética importante. La justificación de los secadores solares se basa en qué estos son más efectivos que el método tradicional y al mismo tiempo tienen menores costos de operación que los secadores mecanizados.

Diferentes diseños de secadores solares han probado su viabilidad técnica y económica. Uno de los objetivos de este capítulo es presentar los métodos de utilización de la energía solar para secar sin considerar el secado solar tradicional a cielo abierto. Esto debido a que los sistemas de secado solares no son a cielo abierto y se aplican casi exclusivamente a la deshidratación de productos alimentarios y forestales (Ibáñez Plana, 2005).

2.5.1 Secado mediante aire climatizado

El secado de productos agro-forestales mejora el *tiempo de almacenamiento, minimiza pérdidas durante el almacenamiento, alarga el período de consumo del producto y aborra costos de transporte del producto*. A pesar del desarrollo de múltiples tecnologías y procesos para la transformación y la conservación de alimentos por largos períodos de tiempo el deshidratado se mantiene como una de las formas de conservación más utilizadas. ²Bromatológicamente los productos deshidratados tienen *mayor poder alimenticio* ya que al perder gran parte de su contenido de agua se concentran los hidratos de carbono, sustancias pécticas, proteínas, grasa y sales minerales que se encuentran en los tejidos.

Por deshidratado *se entiende la extracción de la humedad contenida en un producto a través de provocar su evaporación y arrastre hacia el ambiente que le rodea*. En condiciones ambiente, el proceso de secado es lento y con humedades relativas altas, el equilibrio entre la presión de vapor de la humedad en el producto y el ambiente se alcanzan valores de contenido de agua que no permiten un almacenaje seguro. Por lo tanto, el objetivo de diseñar secadores, es suministrar energía térmica, aumentando la presión de vapor de la humedad contenida en el producto y disminuyendo la humedad relativa del aire de secado. Este proceso aumenta la capacidad de descargar agua y asegura una humedad en equilibrio relativamente baja.

El contenido de *agua inicial de la mayoría de los productos agrícolas varía entre el 30% y 90% de la masa original*; mediante el deshidratado este contenido de agua es reducido a valores por debajo del 20%. Para conseguir un almacenaje seguro se deben procurar contenidos inferiores *al 15% en frutas y carne, entre 11 y 15% en granos e inferior al 10% en vegetales*.

² Un análisis bromatológico, es cualquier análisis que se realice a un alimento, por ejemplo: el análisis de porcentaje de agua, en un alimento deshidratado

La *figura 2.4.* muestra las etapas en que se realiza el proceso de secado. La primera etapa, es la llamada de *velocidad (tasa) de secado constante*, y la segunda, se denomina como de *velocidad de secado decreciente*.

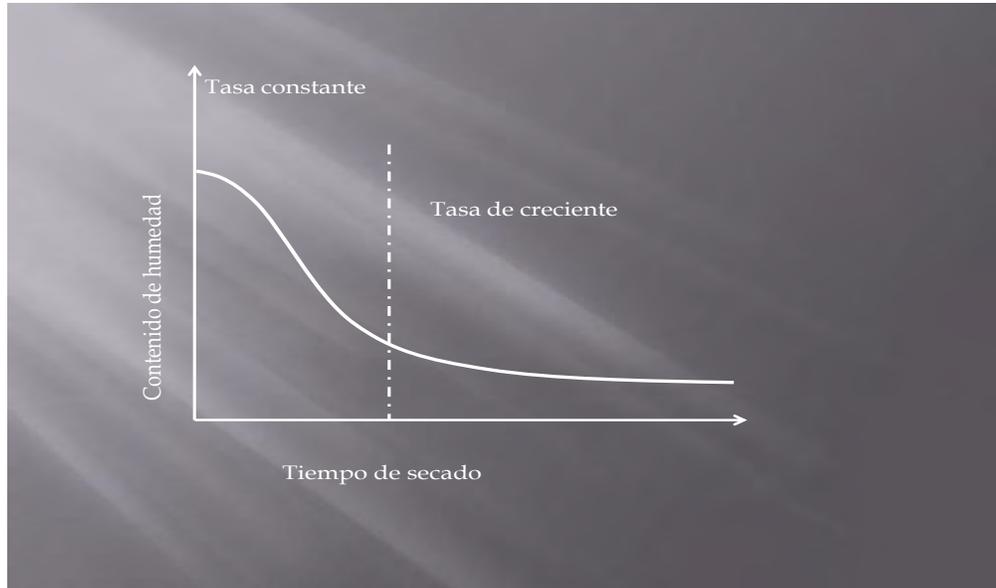


Figura 2.4.: Gráfica ilustrativa del contenido de humedad vs. Tiempo de secado.

En el período de velocidad de secado constante los productos permanecen con la superficie húmeda y por lo tanto el riesgo de echarse a perder es alto. En el periodo de tasa de secado decreciente la humedad superficial ya prácticamente no existe (Ibáñez Plana, 2005).

La accesibilidad de la humedad para el crecimiento de microorganismos en un producto, es conocida como actividad de agua. La actividad del agua, está estrechamente relacionada con el contenido de humedad, variando entre 0 y 1, siendo el valor más bajo el que indica una mayor dificultad para que los organismos se reproduzcan en los alimentos.

El secado no destruye los microorganismos sino que inhibe su crecimiento. Por ello, tratamientos previos al secado como el lavado de los alimentos frescos se deben realizar de forma rutinaria.

El secado también puede tener otros efectos no tan beneficiosos, como la formación de una piel dura en las frutas, el pescado u otros alimentos. Esta superficie *disminuye naturalmente la tasa de secado* y puede permitir el enmohecimiento. El endurecimiento suele ser causado por un secado *excesivamente rápido en la fase inicial*. Por razones económicas, las máximas tasas de secado

serían deseables, pero esto puede ser contraproducente por el efecto sobre la calidad del producto. Otros cambios a considerar están relacionados con las propiedades ³organolépticas y el contenido vitamínico del alimento.

La utilización de la radiación solar como fuente de energía para el deshidratado ha sido desplazada por las energías convencionales, sobre todo en los países industrializados, debido a la producción en escala, la variabilidad diaria y estacional del secado solar que dificulta su control, y la exigencia de superficies de captación relativamente grandes en comparación con la necesidad de superficies que demanda, por ejemplo, un secador eléctrico.

Actualmente, los secadores solares se limitan a aplicaciones de baja temperatura mientras que la gama de altas temperaturas se cubre con otras fuentes de energía. En zonas donde se dispone de un potencial solar importante y donde las presiones para la utilización de terreno son mínimas se han desarrollado soluciones que permiten enfrentar la producción de energía solar a escala industrial. La tabla 2.1 compara los sistemas de secado solar frente al secado solar tradicional, al aire libre, y el secado convencional con otras fuentes de energía.

Tabla 2.1. Ventajas y limitaciones de los secadores solares.

<i>Ventajas</i>	<i>Limitaciones</i>
<i>Incremento del valor añadido de los productos</i>	<i>Potencial de la radiación solar</i>
<i>Mejora las condiciones higiénicas</i>	<i>Costo inicial</i>
<i>Aborro de combustibles convencionales</i>	<i>Uso selectivo</i>
<i>Mejora las condiciones de almacenamiento y reducción de pérdidas post-cosecha</i>	

En el secado solar de productos agrícolas a baja temperatura la energía solar se emplea como fuente única de energía. El calentamiento se puede realizar mediante el paso de aire precalentado a través del producto o exponiendo el producto al Sol. Afortunadamente muchos productos presentan absorciones relativamente altas, entre 0.67 y 0.90. También cualquier otra forma intermedia es viable. La selección de un secador solar para un producto particular depende de la calidad requerida, las características del producto y factores económicos.

³ Es lo que nos muestra la calidad de alguna materia a través de los sentidos, tacto, color, olor, sabor.

2.6 Factores que rigen el proceso

Durante la deshidratación pueden presentarse cambios físico- químicos como la decoloración, pérdida de textura y forma física, pérdida de sustancias volátiles, pérdida de cualidades nutritivas. La naturaleza de estos cambios es afectada por la transferencia de calor y masa, así como las características del producto. Los parámetros más importantes del secado se detallan a continuación:

- *Contenido de humedad:* Es definido como el porcentaje de masa de agua sobre la masa del producto seco. El contenido inicial y final de conservación dependen de la estructura interna del material. El contenido de humedad final del producto no es cero sino el valor máximo que permite su conservación. El secado más allá no es económicamente interesante.
- *Temperatura máxima:* Se entiende que es el valor más alto de temperatura que puede soportar un producto, sin pérdidas significativas en sus principios activos o componentes nutricionales característicos. Cada producto soporta una temperatura máxima que depende de factores como el tipo de producto, humedad y grado de madurez.
- *Uniformidad de piezas:* Los productos secos destinados a la industrialización y almacenamiento prolongado necesitan homogeneidad en cuanto a su humedad para facilitar la evaluación y el control de sus cambios físicos y químicos durante el procesamiento y tiempo de almacenaje. La uniformidad de las piezas a secarse tiene influencia sobre la homogeneidad del contenido de agua. Para cada producto hay formas y tamaños óptimos que requieren ser determinados.

- *Pretratamiento:* Los pretratamientos influyen decisivamente en la calidad del producto final, tanto en cuanto a las propiedades organolépticas como en el resultado del mismo. Entre los pretatamientos se encuentra el ⁴escaldado, ⁵el blanqueado, el uso de bicarbonato de sodio, el pelado químico, el agrietado, el salado y el almibarado.

En los procesos de pretratamiento se utilizan conservantes y aditivos para fines tan diversos como la aceleración del proceso de secado o la disminución de la flora microbiana. La aplicación de los pretratamientos es variable en cuanto al tiempo de inmersión de productos a deshidratar en la solución del reactivo, concentraciones de los reactivos, temperatura de la solución y otros, teniendo en cuenta los diferentes productos e incluso factores como el estado de madurez de la materia prima, variedad y tamaño. Existen normas que deben seguirse para la utilización de ciertos tipos de sustancias.

⁴ El escaldado es un tratamiento térmico que se aplica sobre todo a productos vegetales. A diferencia de otros procesos, no destruye los microorganismos ni alarga la vida útil de los alimentos. Esta técnica, previa a un segundo tratamiento, como pueden ser la congelación, el enlatado, la liofilización o el secado, produce un ablandamiento en el alimento que facilita el pelado, en el caso de los tomates, la limpieza y su posterior envasado.

⁵ *Blanquear es una cocción de corta duración en abundante agua hirviendo, va desde unos segundos a dos minutos, dependiendo del ingrediente a cocinar. Esta técnica precisa a continuación de un rápido enfriamiento en agua helada para detener la cocción del alimento.* Al blanquear los vegetales, evitamos que se oscurezcan, pierdan textura, aromas y vitaminas bloqueando las encimas interiores que se liberan al cortar o pelar los vegetales.

2.7 Clasificación de los secadores

Los sistemas de secado solar se pueden clasificar según los componentes y el modo de utilización de la energía solar tal como se presenta en la Figura 2.5

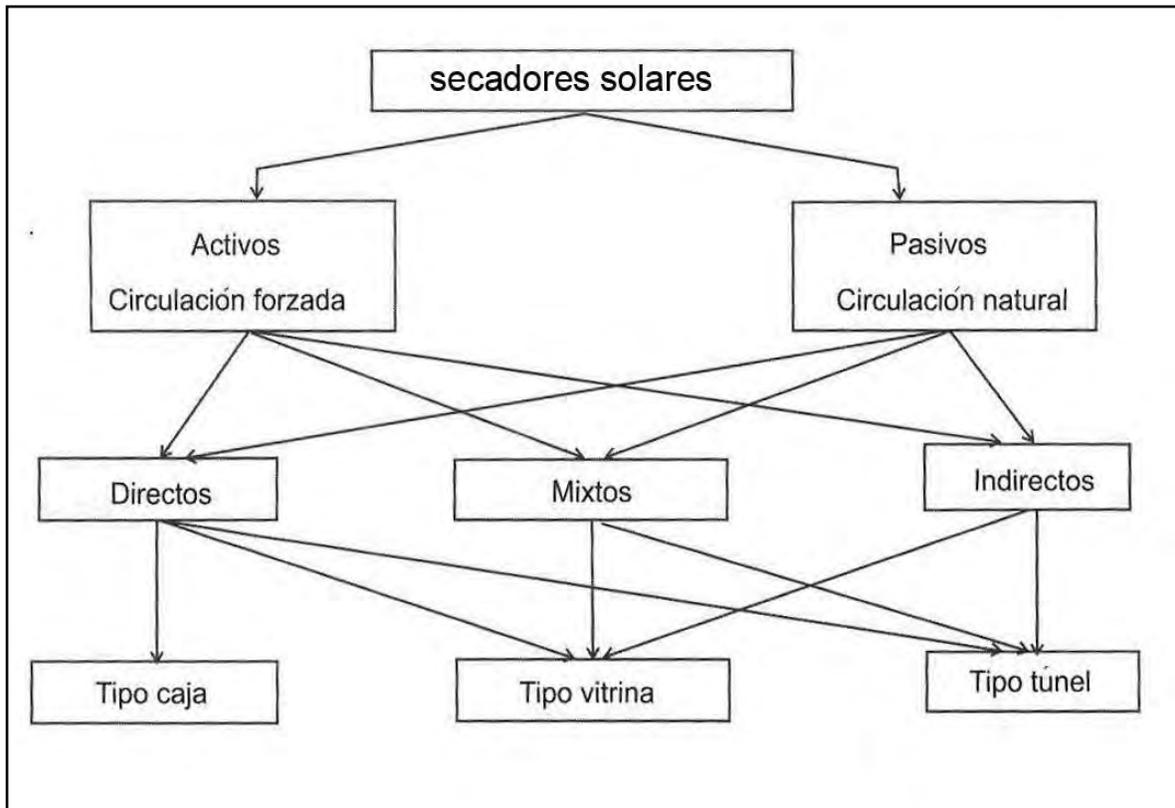


Figura2.5: Clasificación de secadores solares y métodos de secado.

Se pueden definir en términos generales dos grandes tipos, los secadores solares activos y los pasivos. Los primeros, caracterizados por la circulación forzada del aire a través del producto procesado, los segundos emplean la circulación natural del aire. En cada uno de los grupos se distinguen tres de diferente morfología:

- Los secadores directos o también llamados integrales
- Los secadores indirectos o nombrados como distribuidos.
- Los mixtos, que resultan ser la hibridación de los dos anteriores.

2.7.1 Los secadores tipo directo, integrales

Los secadores tipo directo, *integrales o invernadero* constan de una estructura con cubiertas transparentes o translúcidas en el techo y en las paredes en las tres orientaciones (sur, este y oeste). Los materiales suelen ser plásticos. Estas superficies laterales suponen *considerables pérdidas por conducción*. Una segunda fuente de pérdidas importante es la radiación que alcanza *el espacio de secado sin incidir directamente sobre el producto que se desea secar*, que tiene la función de material absorbente. Para reducir pérdidas se pueden doblar las láminas de material que integran las paredes.

Los *secadores tipo semi-invernadero o mixto* habitualmente sólo mantienen el techo o el techo y la pared sur con materiales de *alta transmisión de la radiación solar*, las otras superficies son opacas y se procura que estén bien aisladas. Este diseño *reduce sustancialmente las pérdidas por conducción*, con ello se incrementan las temperaturas y las tasas de secado. Estos diseños generalmente, permiten alcanzar *humedades finales de secado más bajas* que en los diseños de tipo invernadero.

En los *secadores de superficies opacas o tipo indirecto*, las paredes y el techo del espacio están térmicamente bien aislados, como en los secadores que emplean energías fósiles convencionales. En este caso *los colectores solares están separados de la cámara de secado de forma que el aire o el agua caliente se introducen en él*. Este diseño permite el uso de una fuente de energía auxiliar ya que esta energía no se disipará fácilmente durante la noche o en días nublados.

La tabla 2.2 resume la comparación de los diferentes tipos de secadores, incluyendo el tipo híbrido, caracterizado por el uso de combinado de la energía solar con otro tipo energética auxiliar.

Tabla 2.2: Ventajas y desventajas de los distintos tipos de secadores.

	Ventajas	Desventajas
Directo	Más económico. Más sencillo.	Daños por radiación UV.
Indirecto	Protección de productos a radiación UV. Menor riesgo de temperaturas extremas.	Más complejos y caros.
Mixto	Menor riesgo de temperaturas extremas.	Daños por radiación UV. Más complejos y caros.
Híbrido	Operación con cualquier meteorología. Mejor control del secado. Hasta 40 veces más rápido que el secadero solar directo.	Dependencia de los combustibles fósiles poco económicos.

Los secadores solares pasivos con circulación debida a la convección natural aparecen como los más atractivos para la aplicación en áreas rurales remotas. Estos sistemas han resultado de la evolución de los secadores a cielo abierto mejorando las prestaciones en diversos aspectos: requieren menor superficie para secar cantidades de producto similares, mejoran la calidad del secado, acortan el periodo y con todo, aún son relativamente económicos en inversión inicial y mantenimiento.

2.7.2 Tipo directo

El producto a secar se sitúa en una cámara de secado con las paredes transparentes de forma que la radiación solar incide directamente sobre el producto, actuando como superficie de captación. La energía térmica extrae humedad del grano o la madera a la vez que al calentar el aire reduce su humedad relativa. Por otra parte, la expansión del aire de la cámara de secado provoca su circulación y la remoción del vapor de la cámara transportado en el aire caliente. Un esquema básico de este tipo de secadores se presenta en la figura 2.6. En donde se observa que la circulación es auxiliada por un ventilador, creando una corriente de aire a velocidad constante y en el pasivo es por convección natural.

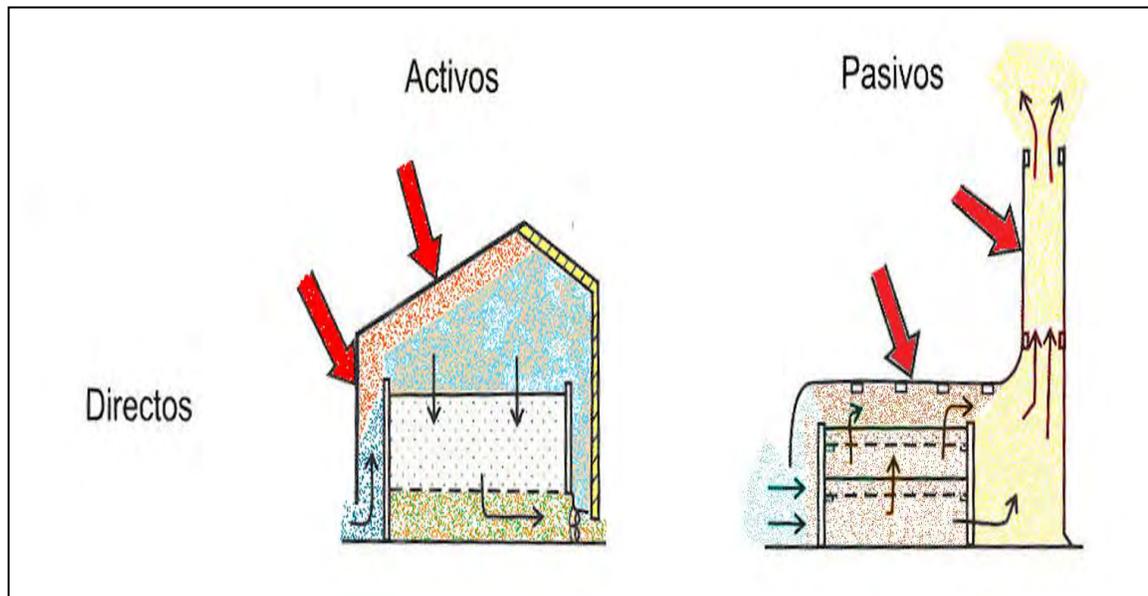


Figura 2.6: Esquema básico de secadores.

Los secadores tipo directo presentan *ventajas* adicionales gracias a la exposición directa de los productos a la radiación. Así mientras se deshidratan, se produce la descomposición de la clorofila residual de los tejidos. *La desventaja* más destacable de estos diseños es el riesgo de dañar los productos por sobrecalentamiento y las tasa de secado relativamente lentas debido a *una pobre extracción del vapor*. Para superar estas dificultades es interesante el empleo de chimeneas solares. Dentro de los secadores pasivos directos se distinguen diversos diseños:

- Los secadores de armario.
- Los de invernadero.

Los primeros se caracterizan por ser unidades pequeñas, prácticamente de uso doméstico (figura 2.7).

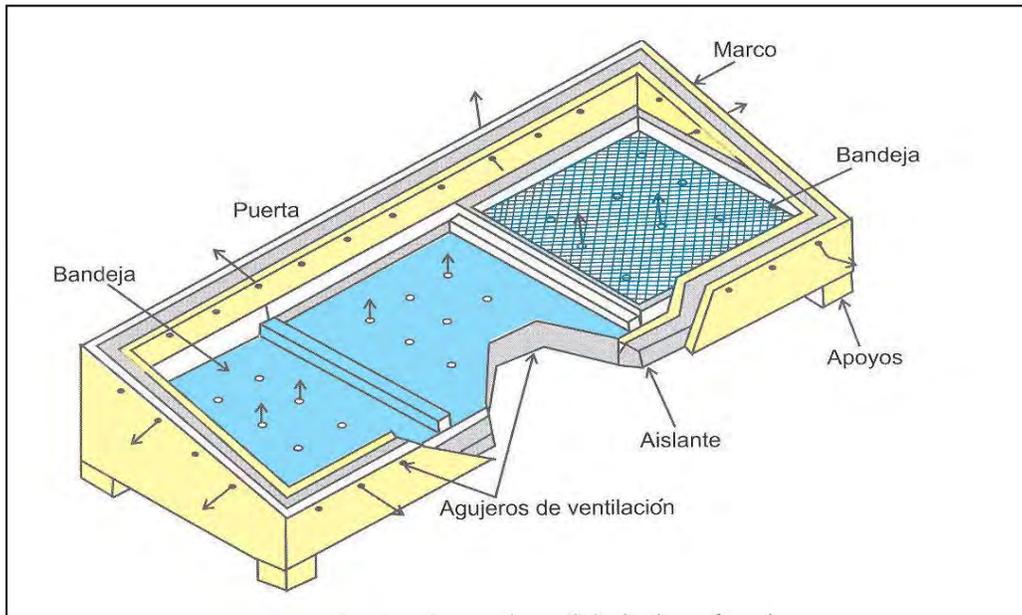


Figura 2.7: Ejemplo de secador directo de tipo armario

Su configuración habitual característica consiste en una caja acristalada bien aislada con agujeros de ventilación en la base y en la parte superior de las paredes. La radiación incidente sobre la cubierta es captada por las superficies interiores ennegrecidas y el mismo producto. Se genera circulación de aire cuando el descenso de densidad de éste en el interior de la caja le confiere empuje suficiente para escaparse por las aberturas superiores y ser reemplazado por aire fresco que entra por la parte inferior. Existen unas recomendaciones básicas para éste tipo de secaderos y son las siguientes:

- La longitud del armario debe superar en un mínimo de tres veces su anchura para minimizar el efecto de sombreado de los paneles laterales.
- Existe un ángulo óptimo de inclinación del cristal que depende de la latitud.
- Las paredes interiores deben de pintarse de negro.

- El producto debe situarse a una altura razonable sobre la base del armario para asegurar la circulación del aire a su alrededor.
- La cubierta de vidrio preferentemente doble, debe ser tratada para evitar la degradación por radiación UV.
- La elección de los materiales debe ser en función de las disponibilidades locales.

El otro tipo de secadores directos pasivos son los invernaderos modificados (figura 2.8). Se caracterizan por grandes superficies transparentes que habitualmente incorporan paneles aislantes para evitar el enfriamiento nocturno y algún sistema de almacenamiento (Ibáñez Plana, 2005).

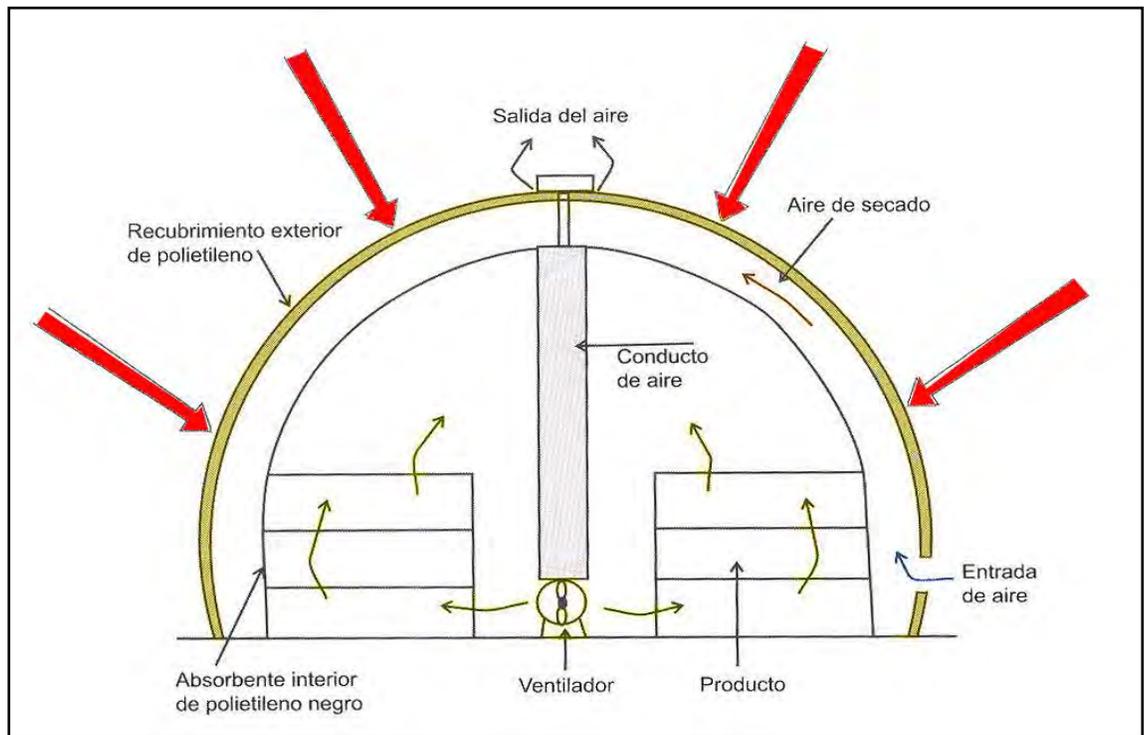


Figura 2.8: Ejemplo de secador directo de tipo invernadero (Ibáñez Plana, 2005).

2.7.3. Tipo indirecto y mixto

En los secadores *tipo indirecto* el producto es situado en una cámara opaca y es calentado por el aire que circula a través de ella. El aire, a su vez, ha captado energía térmica en colectores solares de termosifón⁶ donde las pérdidas de carga son muy pequeñas. Estos dispositivos son especialmente recomendados para productos perecederos y frutas que sufren una notable disminución en contenido vitamínico si son expuestas directamente al sol.

Los secadores indirectos pueden alcanzar temperaturas de operación más elevadas que los directos y con ellos conseguir *productos deshidratados de mayor calidad*. En referencia a las desventajas hay que tener en cuenta las fluctuaciones de temperatura y la dificultad para mantener unas condiciones constantes en la cámara de secado. En comparación de los directos requieren inversiones iniciales mayores y también los costos de operación y mantenimiento son superiores (figura 2.9).

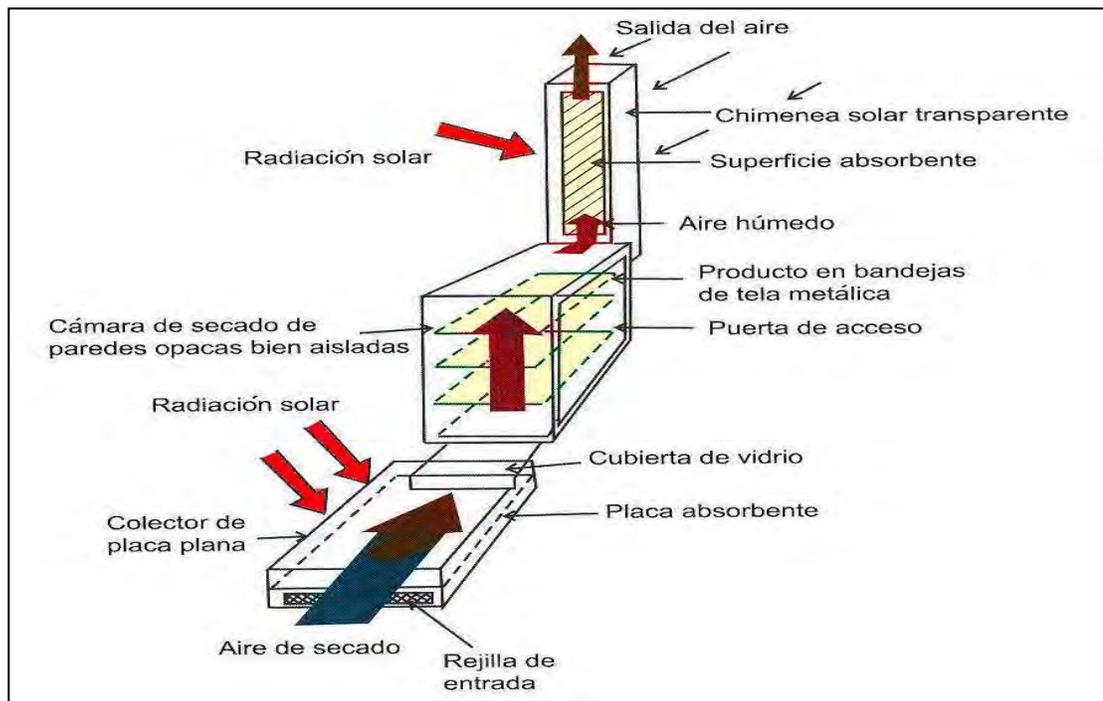


Figura 2.9. Componentes básicos de un secador indirecto.

⁶ Un termosifón es un aparato cuyo funcionamiento se explica con las corrientes de convección naturales de los fluidos, en los que las partes calientes de los mismos tienden a ascender.

Un secador solar indirecto pasivo se compone, de los siguientes elementos básicos.

- Colector solar de aire.
- Conductos para el aire adecuadamente aislados.
- Cámara de secado.
- Chimenea.

Debido a la mayor eficiencia de los diseños que utilizan circulación de aire forzada, la mayoría de las construcciones tipo indirecto y mixto realizadas, no son de secadores pasivos.

En las construcciones de secadores pasivos el énfasis se ha concentrado en la mejora de los colectores de aire y la circulación de éste, pero se ha dedicado escasa atención al diseño de las cámaras o espacios de secado. Estos espacios se construyen habitualmente de madera y en ocasiones sin aislante adicional aunque se insiste en recomendar buenos aislamientos y cubiertas metálicas.

Secadores mixtos:

Se combina la acción directa de la radiación solar con un pre-calentamiento del aire. El diseño básico tiene los mismos elementos que un secador indirecto pero algunas superficies transparentes (figura 2.10).

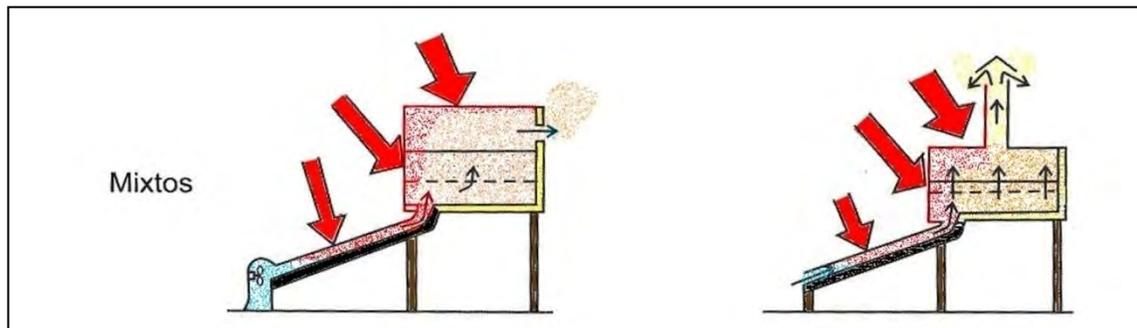


Figura 2.10. Secadores mixtos activo izquierda y pasivo derecha,

2.7.4. Secadores mixtos activos:

Este tipo de secadores son de circulación forzada (figura 2.11). Un secador solar activo típico depende únicamente del sol como fuente térmica, pero emplea ventilador y bombas eléctricas para forzar el flujo de aire. Dentro de este grupo hay autores que incluyen los secadores híbridos, aquellos que junto con la energía solar emplean sistemas de calentamiento basados en

la electricidad o combustibles fósiles. Debido a que el trabajo con altas temperaturas de secado requiere importantes caudales de aire, todos los secadores que trabajan en estas condiciones de temperatura son activos.

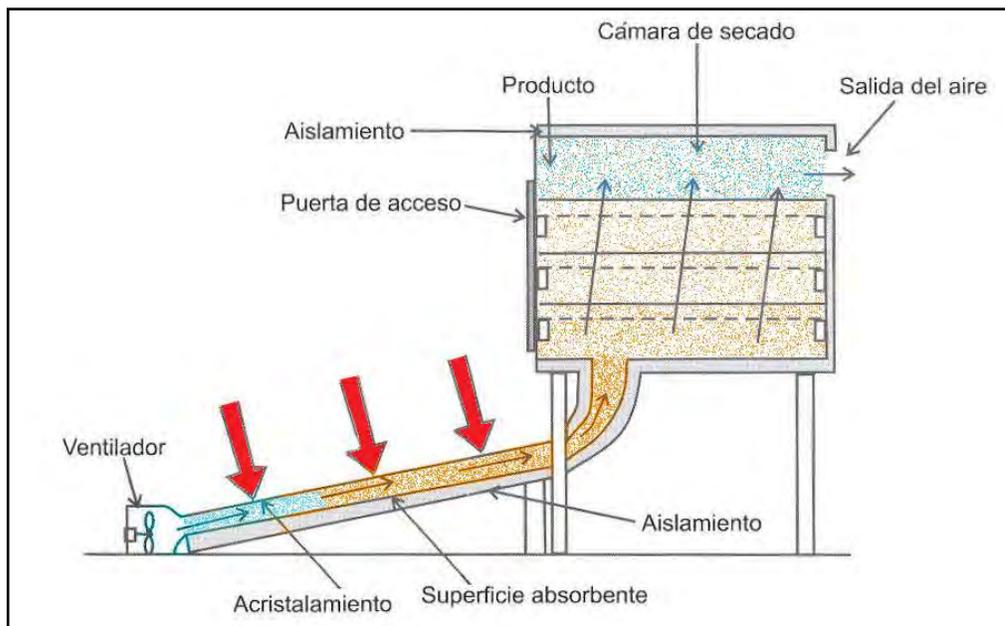


Figura 2.11 Secador solar mixto activo

CAPÍTULO III. PROCESO DE CONSTRUCCIÓN.

3.1 Construcción del secador.

En este capítulo se presenta el desarrollo del proceso constructivo de un secador solar del tipo indirecto, el cual fue diseñado para emplearse en las condiciones del estado de Quintana Roo, México. Para el proceso constructivo de este prototipo se tomo como premisa, la utilización de materiales fáciles de conseguir en la localidad, y que no requiera de un alto grado de especialización en la construcción, para que sea fácilmente reproducible por otros usuarios.

Cabe hacer mención que durante la realización del proyecto se presentaron varios retos que fueron:

- Encontrar los materiales idoneos y que sean de origen local
- Buscar la mejor alternativa para lograr un aislamiento adecuado del colector solar.
- Protección contra la intemperie sin un gran costo de materiales y mantenimiento.
- Alcanzar las temperaturas de secado adecuadas para deshidratar productos locales
- Realizar adecuaciones sobre la marcha a fin de mejorar la operación del equipo.
- Encontrar en base a mediciones preliminares la forma más adecuada para operar el secador.

La construcción se realizó en tres etapas: diseño, construcción y realización de pruebas de operación. Para el diseño del prototipo, se tomo como base un secador que se ha probado en otras partes del país, al cual se le hicieron algunas adecuaciones tomando en consideración las características del estado de Quintana Roo. El criterio tomado para las adecuaciones fue el contar con un equipo eficiente y fácil de operar. En la figura 3.1 se muestra una de las principales adaptaciones realizadas, consistente en la inserción de unos laberintos para incrementar el tiempo de residencia del aire caliente, así como el uso de un extractor de aire de bajo consumo de energía, con la finalidad de que se pueda conectar a un panel solar, y de esta forma hacer un secador operable 100% con energía renovable.

El diseño de este secador puede clasificarse como un secador tipo indirecto activo y de tipo mixto.

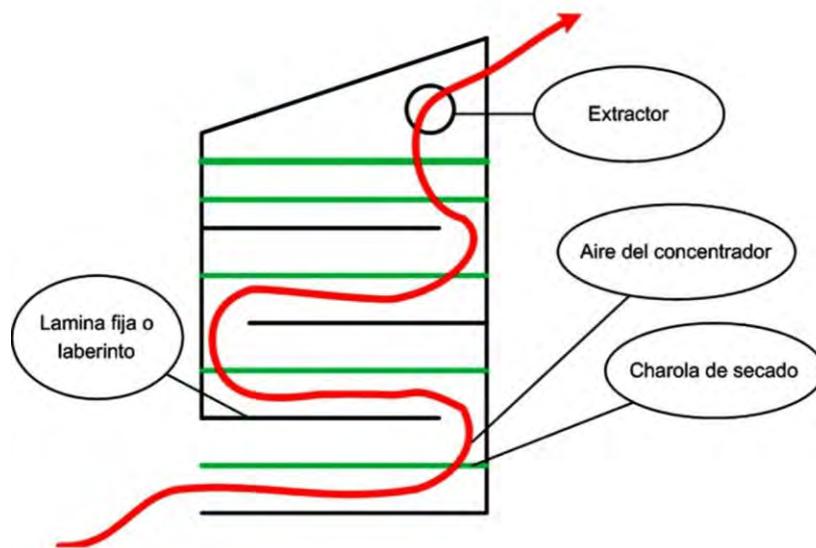


Figura 3.1 Sentido del aire calentado por el colector.

En la figura 3.2, se muestran las dimensiones finales propuestas para el diseño de la cámara de secado. El material seleccionado para la construcción del secador fue lámina galvanizada calibre #18, y estructura de angular de aluminio de 1/8" x 2". Esto se realizó considerando que son materiales fáciles de conseguir en la localidad.

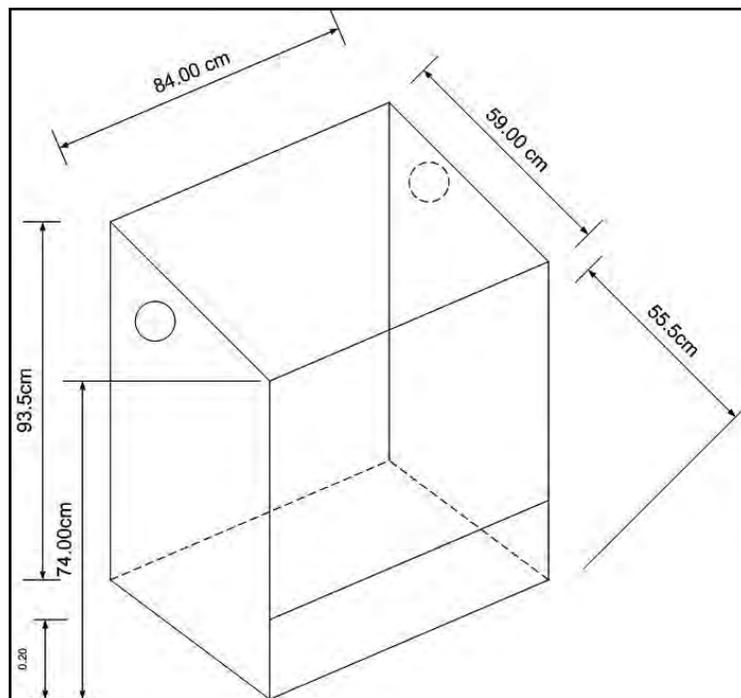


Figura 3.2 Dimensiones de la cámara de secado.

Por otra parte, en la figura 3.3, se presenta el diseño del colector solar, en este caso incluye como innovación las perforaciones realizadas en la parte de la base inferior del colector, esto con la finalidad de que el aire de recirculación entre por esta parte y entre en contacto con el aire de renovación del ambiente. En este diseño, no pasa aire caliente por la parte de arriba de la lámina, sino que solo lo hace por la parte inferior de la misma.

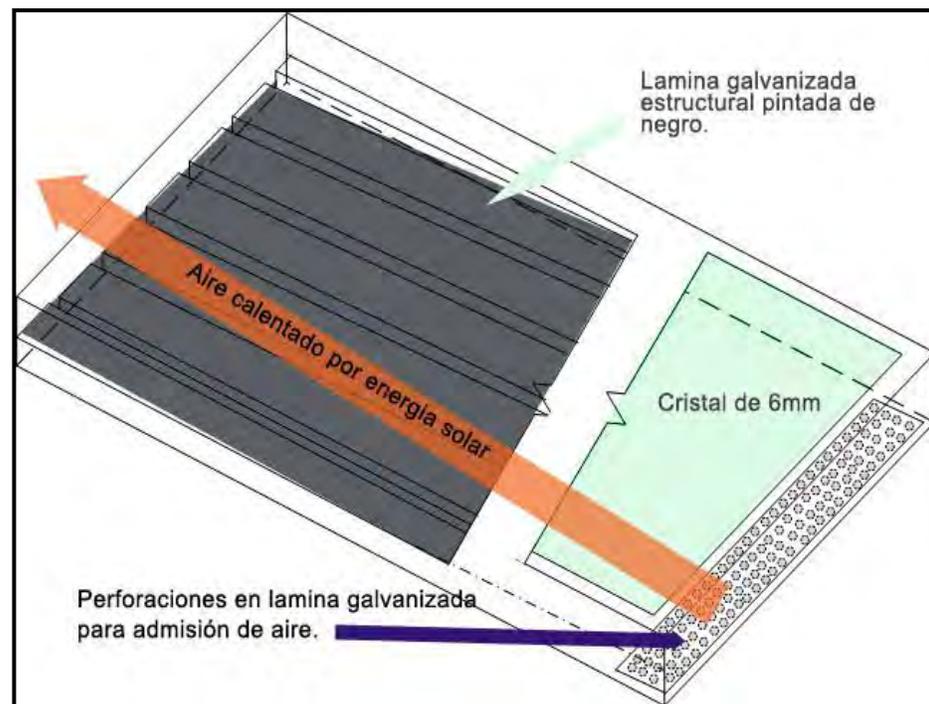


Figura 3.3. Esquema del colector plano.

En la figura 3.4, se muestra el diagrama completo del secador solar, indicando la forma de operar, la cual es la siguiente: el aire de la atmosfera inicialmente se introduce por la parte frontal del colector, de ahí es conducido hacia la cámara de secado, y durante este trayecto, va ganando calor. Posteriormente el aire llega caliente a la entrada de la cámara y de ahí comienza a circular de forma retardada en el laberinto, donde entra en contacto con el producto a secar. Un extractor produce la recirculacion de una parte del flujo de aire, enviandolo de nuevo hacia el colector, a través de una tubería de p.v.c de 3", y al mismo tiempo, otro extractor ayuda a retirar el aire saturado de humedad procedente de la cámara.

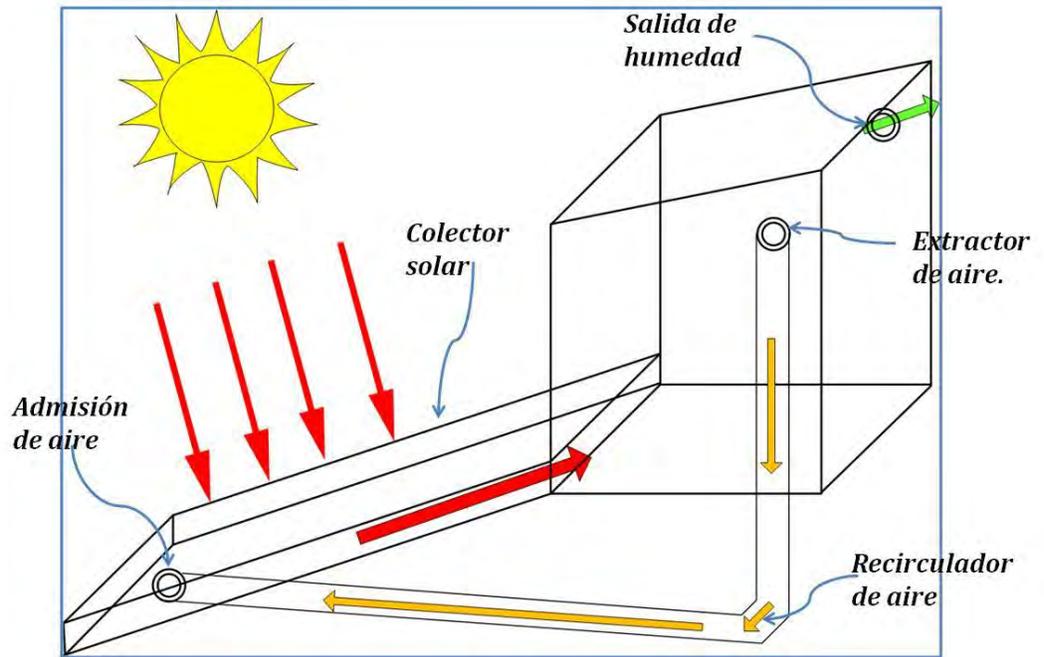


Figura 3.4. Diseño del Sistema completo del secador

3.2 Proceso de la cabina de secado.

La construcción de la cabina o cámara de secado, se realizó en las instalaciones y con herramienta del taller de Ingeniería en Sistemas de Energía de la Universidad de Quintana Roo.

La estructura principal de la cámara de secado es de ángulo de aluminio de 1 1/2" x 1/8", con remaches tipo pop #11, se prestó especial atención a las juntas de los ángulos para evitar tanto la fuga de flujo calentado como evitar filtraciones de agua en la cabina como se aprecia en las figuras 3.5 y 3.6.



Figura 3.5 Armado de la base de la cabina de secado



Figura 3.6 .remachado de cabina.

El siguiente paso fue el armado de la estructura de las paredes laterales donde se encontrarían los extractores, colocando sus refuerzos en los laterales como se aprecia en las figuras 3.7. y 3.8.



Figura 3.7. Escuadrando los ángulos de la cabina.



Figura 3.8. Refuerzos de los laterales de la estructura de la cabina.

El siguiente paso del proceso fue el del corte de la lámina calibre 18 para forrar la cabina, corte de los agujeros para los extractores mostrados en las figuras 3.9, 3.10. y 3.11.



Figura 3.9. Corte de lámina para el forado de la cabina



Figura 3.10. Corte del orificio donde se instalo el extractor de aire.



Figura 3.11. Forrado de la estructura de la cabina de secado.

A continuación se colocaron las láminas en el interior para el retardado del fluido calentado, ilustrada en la figura 3.12.



Figura 3.12. Remachado de las adecuaciones

A continuación se armaron las mallas de secado construidas con perfil para viriniac y malla de aluminio que se aprecia en las figuras 3.13 y 3.14.



Figura 3.13. Armando las mallas de secado.

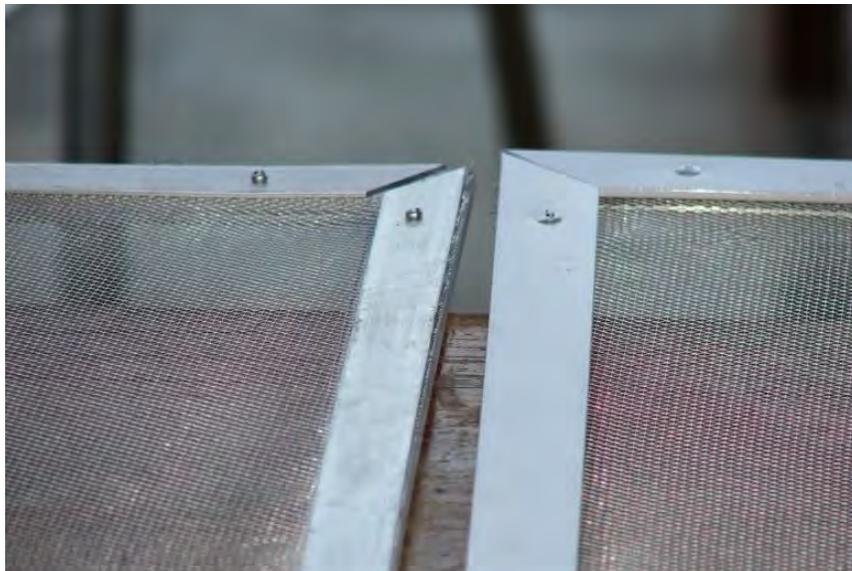


Figura 3.14. Detalle del ángulo de las mallas de secado.

Continuando con el proceso se verifico el ajuste de las guías de malla, la importancia de este proceso radica en el hecho de que mientras más ajustadas estén las mallas de secado , más contacto tiene el producto con el aire calentado (figura 3.15.), y un mejor manejo del producto Figuras 3.16.) y (3.17).



Figura 3.15 Detalle del espacio entre la canalización y la malla de secado.



Figura 3.16 Verificado el desplazamiento en la guía de las mallas.

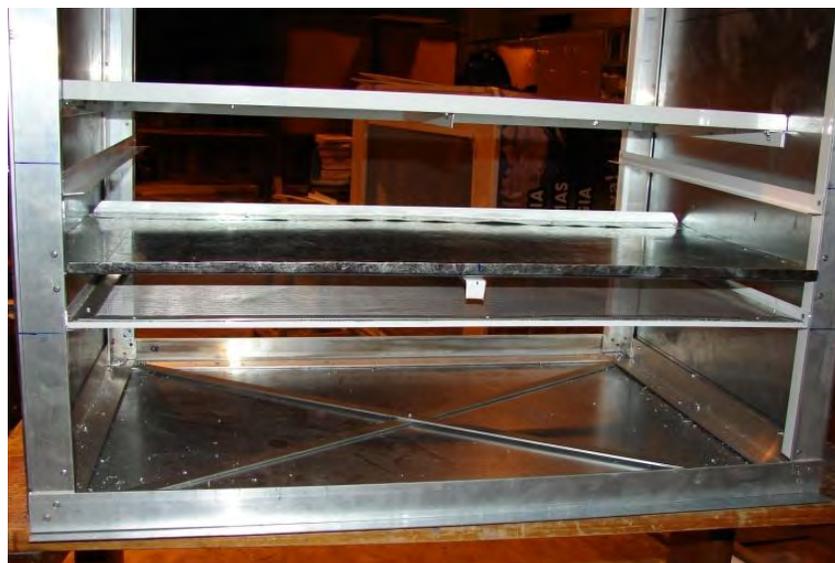


Figura 2.17 Vista frontal en la cabina de las mallas.

En las figuras 3.18 y 3.19. se ve la construcción de las cubiertas de aluminio de los extractores y el ajuste de la puerta de la cabina respectivamente, la importancia de este proceso es, proteger el producto durante el deshidratado de los contaminantes externos, como; polvo e insectos. Y en el caso de los extractores para protegerlos de la lluvia. La puerta de madera terciada fue cubierta en su parte externa con plaste de nitrocelulosa y pintada para protegerla de la intemperie y por dentro sin plaste, para no contaminar con olores los productos agrícolas a deshidratar se le fabrico un empaque, para su mejor sellado.



Figura 3.18 Instalando las cubiertas de los extractores de la cámara de secado.



3.19. Ajuste de la puerta.

3.3 proceso del captador solar.

El siguiente paso del proceso, fue la construcción del colector solar plano, este se realizo con las siguientes dimensiones exteriores : una longitud de 1. 83m x 0.83m x 0.12m. y se ocuparon los siguientes materiales:

- Estructura de angulo de aluminio de 2"x 1/8".
- Lámina galvanizada calibre #18.
- Remaches tipo "pop" de diversas medidas.
- Cristal de 6mm.

- Lamina galvanizada tipo estructural comercial calibre 22.
- Empaque de vinil para canceleria.
- Espuma de poliuretano.
- Lamina galvanizada calibre 22 para el forro interior.
- Silicón.

El primer paso en este proceso fue el de armar la estructura con el ángulo forrando de forma parcial (sin una pared del colector) con la lámina calibre 18 (figura 3.20) con el mismo cuidado evitar partes saltadas, realizar las perforaciones de 5/16" de diametro en la parte inferior del colector, esto fue con el objetivo de evitar la entrada de insectos grandes, forrando de forma posterior esta admision con una malla de aluminio (figura 3.21) esto se ve en las figuras y colocando el soporte central para la nivelacion de la lámina estructural comercial que se utilizo como el absorbedor de este colector (figura 3.22).



Figura 3.20 Estructura semiforrada.



Figura 3.21 Orificios de admisión de aire en la parte baja del colector.



Figura 3.22 Refuerzo central para soportar la lamina absorbadora

A continuación , después de dejar un espacio de 2.0 centímetros en las tres paredes se procedió al inyectado de la espuma aislante, este paso se realizo de la siguiente manera:

- Después de forrar la parte interior del colector se realizaron diversas perforaciones a intervalos cortos entre si con broca de 1/4".

- Se inyecta la espuma cada tres filas de agujeros permitiendo que el aire desplazado por la espuma escape por los agujeros anteriores hasta llenar el espacio deseado en forma sistemática tanto en las paredes como en el fondo del colector (figura 3.23) recortando posteriormente los excedentes (figura 3.24 y 3.25).



Figura 3.23 Realizando el llenado de la cámara de aislamiento.

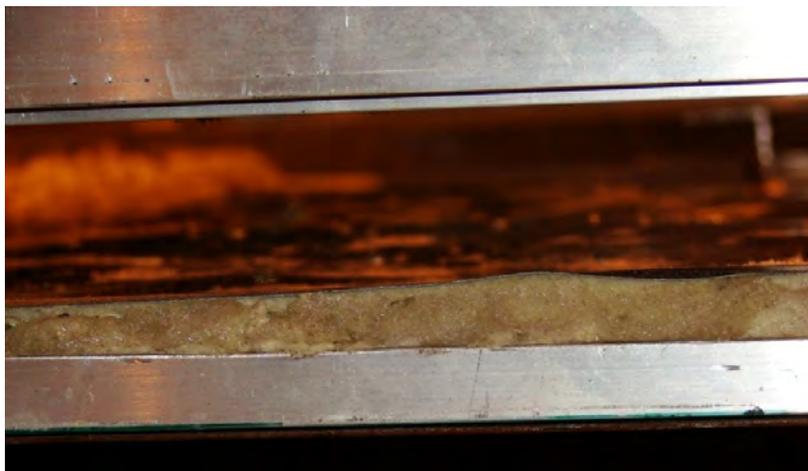


Figura 3.24 Excedentes de espuma en la parte horizontal del colector.



Figura 3.25 Colector aislado por completo aún con excedentes de espuma aislante.

Se prosiguió con la fijación de la superficie absorbadora⁷ que en este caso fue de lámina estructural comercial calibre 22 pintada de negro mate (figura 3.26). Dejando una cámara interna de 2", sellando los bordes para evitar filtraciones hacia la cámara superior con silicón automotriz transparente. Se colocó el cristal de 6 mm ajustándolo con empaque de vinil para cancelería, sellando filtraciones con silicón automotriz transparente (figura 3.27).

⁷ Una parte importante de los colectores planos es su superficie absorbadora, que es esencialmente plana, pero que puede ser perforada, corrugada, provista de aletas o rugosa. La superficie absorbe energía solar, se calienta y luego transfiere el calor al aire. Los colectores planos, en su mayor parte, son fijos. Recogen la radiación directa y difusa, lo que permite calentar el aire incluso en días nublados, cuando toda la radiación incidente es difusa (MIDWEST PLAN SERVICE 1980)



Figura 3.26 Colocación de la lámina comercial pintada y montaje del cristal de 6mm sobre la cámara aislada.



Figura 3.27 Detalle de la aplicación de silicón en la unión del empaque de vinil para evitar penetración de agua.

El siguiente paso fue la construcción de las bases para soporte del secador, la base del colector se construyó con hierro dulce. La base del colector tuvo una inclinación de 18° y la base de la cámara horizontal fueron construidas por separado, ajustaron por separado y posteriormente

se unieron con tornillos, fue necesario soldarle unas placas de metal debido a que solo el peso (figura 3.28 y 3.29) del colector fue de aproximadamente 70 kgs. y el lugar donde se instalaba era tierra con pasto.



Figura 3.28. Soldando la base del colector a 18° de inclinación.



Figura 3.29 base del colector terminada.

El siguiente paso fue el de ajuste del sistema y se realizo de la siguiente forma;

- Se instalo orientado al sur para durante el día la mayor cantidad de energía solar del día. (Figura 3.30).
- Se nivelaron las dos estructuras y ajustaron (figura 3.31).



Figura 3.30 Colector orientado al sur.



Figura 3.31 uniendo las estructuras ya niveladas.

Para la unión de la cámara de secado con el colector, se sellaron las uniones con espuma de poliuretano de tal forma que no se tengan fugas de calor. En la figura 3.32, se observa el detalle de la unión entre la cámara de secado y el colector, antes del sellado. En la figura 3.33 se ve el secador de productos agrícolas ya ensamblado con la espuma de ajuste en el acoplamiento



Figura 3.32 Detalle de acoplamiento cámara-colector.



Figura 3.33 Cámara-colector con unión aislada.

Por último, se pintó el sistema (figura 3.34), se le colocó el recirculador del aire y se le adaptó un control de velocidad a un extractor para disminuir su velocidad de recirculación, esto fue para disminuir la velocidad del aire en el interior de la cámara, con lo cual se obtiene mayor temperatura en el interior de la cámara de secado.



Figura 3.34 Deshidratador solar de productos agrícolas terminado y deshidratando productos

CAPÍTULO IV. COMENTARIOS FINALES

Este trabajo en particular, constituyó un proyecto interesante ya que al iniciar este, solo existía un secador solar en la Universidad de Quintana Roo, pero para una gran cantidad de madera, pero ninguno con las características del que es objeto este trabajo.

El proyecto en sí pareció muy interesante desde sus orígenes, por el hecho de que a pesar de vivir en este paraíso de nombre Quintana Roo, con una gran diversidad de productos, y teniendo tanto potencial solar, existen pocas alternativas para los productores del campo.

Los conocimientos adquiridos en la carrera de Ingeniería en Sistemas de Energía, dieron la pauta para decidir el realizar un prototipo que diera una alternativa para solucionar el problema de conservar cosechas de productos agrícolas, sobre todo con características ecológicas y amigables de la naturaleza, sin daños colaterales hacia el medio ambiente.

Asimismo, durante el desarrollo del trabajo, que cabe hacer mención, fue paralelo al desarrollo de una investigación relativa a generar información de un producto local en el que se tiene el privilegio de estar considerados dentro de la “Denominación de origen”, específicamente se hace referencia al proceso del deshidratado del chile habanero.

El verdadero reto de este trabajo, consistió en que al momento de determinar la temperatura ideal para este proceso, se obtuvieron de manera preliminar, valores alentadores en las lecturas de temperaturas. Sin embargo, cuando se terminó el prototipo, las condiciones de la estación del año, no eran las mejores para realizar el secado (octubre-noviembre con mucha nubosidad y varios nortes en este lapso), además de presentarse humedades relativas en el orden de más del 85% en el lugar de las pruebas.

Lo cual ocasionó que no se lograran alcanzar las temperaturas que se requerían, claro que al mejorar el tiempo de manera puntual se alcanzaban pero no por el tiempo necesario para mantener el proceso en forma continua, debido a estas condiciones adversas del año, se decide hacer un rediseño del secador, con la inclusión de un recirculador y la cancelación de uno de los extractores, además se colocó un regulador de la velocidad del extractor con un control de velocidad de un ventilador de pedestal, reduciendo así la potencia del extractor y solucionando el problema, con lo que se pudo realizar el secado en los tiempos ideales.

Esta es la esencia de la ingeniería, el hecho de realizar cada trabajo aparentemente igual que otro pero con un carácter de poder personalizar cada proyecto a las características del usuario esta capacidad de reacción se aprende en el transcurso de la carrera. Los conocimientos en este proyecto permitieron mejoras y soluciones adecuadas para hacer funcionar de forma adecuada este prototipo.

Cabe hacer mención, que este secador ha dado como resultado la generación de pruebas de secado de diversos productos agrícolas tales como, papaya, nopal, chile habanero, uva, piña. Las cuales se han conservando en un lapso variado de tiempo sin conservadores artificiales en bolsas de celofán transparente, y sus características de sabor, color y aroma no han variado.

En el caso del chile habanero, que fue el origen de este proyecto, las muestras deshidratadas en las primeras pruebas, se han mantenido sin refrigeración desde octubre de 2008 y solo ha perdido color, pero la misma

muestra que se conserva en refrigeración sigue con los colores de su deshidratado original, sin alterar su aroma, sabor y color, y al rehidratarse, su sabor picante se concentra más, demostrando que el prototipo cumplió su objetivo.

Bibliografía

(s.f.). Recuperado el agosto de 2010, de .dforceblog.com:

<http://www.dforceblog.com/2007/07/19/queesunsecadorsolar>

(s.f.). Recuperado el 6 de diciembre de 2010, de <http://terra.org/htm/s/sol/ingenio/termicos/secadero.html>.

ampliadas2ciencia.blogspot.com. (noviembre de 2010). Recuperado el noviembre de 2010

Aviable frommidwet plas service. (12 de 08 de 2010).

E, T. (2002). *Secado Solar. XXVI Semana Nacional de Energía Solar*. Chetumal, Quintana Roo, México: Asociación Nacional de Energía Solar A.C.

Flores prieto, J. (2002). *XXVI semana nacional de Energía Solar, Colectores Solares Planos*. Chetumal: Asociación Nacional de Energía Solar.

Fodor, E. (2005). *The solar food dryer*. Canada: New Society Publishers.

Guillen Solís, O. (2004). *Energías renovables: una perspectiva ingenieril*. México: Trillas.

H. Montgomery, R. (1992). *Energía solar, seleccion del equipo, intalacion y aprovechamiento*. México: Limusa.

Ibáñez Plana, M. (2005). *Tecnología Solar*. Madrid: Mundi-prensa.

Jiménez, J. M. (1997). *Super Ingenios Solares*. Pamplona: Pamiela.

Keey, R. (1999). Theoretical foundacios of drying technology in advances in drying.

Laruse. (2005). *Diccionario enciclopedico*. México, Mexico, México: Laruse S.a de C.V.

Madrid Vicente, A. (2009). *Curso de energía solar:(fotovoltaica, termica y termo eléctrica)*. España: Colección de libros sobre temas energéticos.

May Cervantes, V. d. (Julio de 2008). *Sistema fotovoltaico de Iluminación del Parque de Energías Renovables de la Universidad de Quintana Roo. Tesis*. Chetumal, Quintana Roo, México.

Montgomery, R. H. (1992). *Energía Solar: Selección del equipo, instalación y aprovechamiento*. México: Limusa.

Omar, M. V. (Septiembre de 2009). *Estudio del Secado del Chile Habanero con Energía Solar*. Chetumal , Quintana Roo, México: Tesis.

Pérez León, C. I. (Febrero de 2007). *Diseño de la Estación Solarimetrica de la Universidad de Quintana Roo. Tesis*. Chetumal, Quintana Roo, México.

Sánchez Maza, M. Á. (2008). *Energía Solar Termica*. México: Limusa: Innovacióny cualificación.

Serway, R. A. (1993). *Física tomo 1 segunda edición*. Mexico : McGraw- hill.

Textos científicos. (2005). Recuperado el 18 de 02 de 2010, de <http://www.textos.cientificos.com/energia/solar>

yogi goswami, D. (1999). *Principles of Solar Engineerring*. Philadelphia: Taylor and Francis.

ANEXO I

Pruebas preliminares del secado solar



Realizando pruebas en el secador con termopares producto en una de los pocos días con las condiciones ideales de sol.



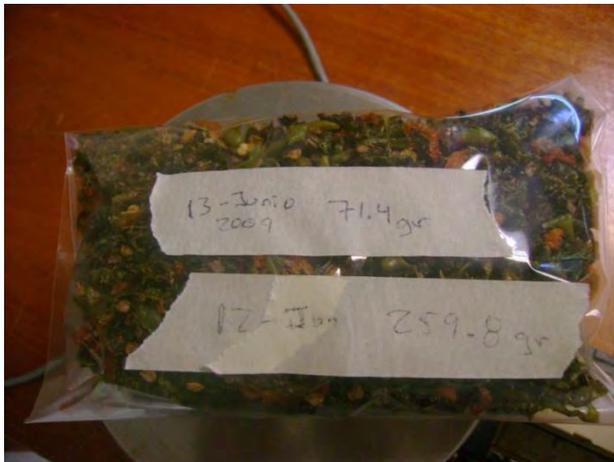
Compañeros realizando secados de otros productos agrícolas.



Primeros productos con excelentes resultados, cabe señalar que no fue necesario en esta prueba el recirculador.



Cargando muestras de chile Habanero.



Primer producto del secador con excelentes cualidades de color aroma y sabor.

ANEXO II

Otros productos deshidratados y gráficas de análisis del proceso



Piña



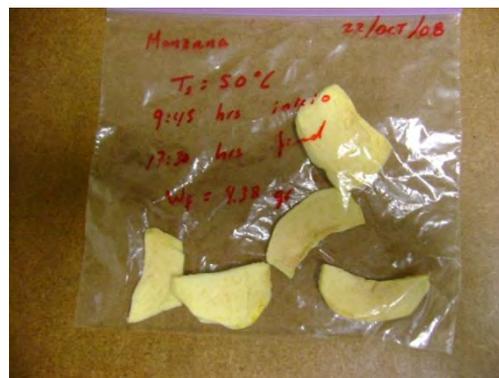
Guayaba.



Chile jalapeño

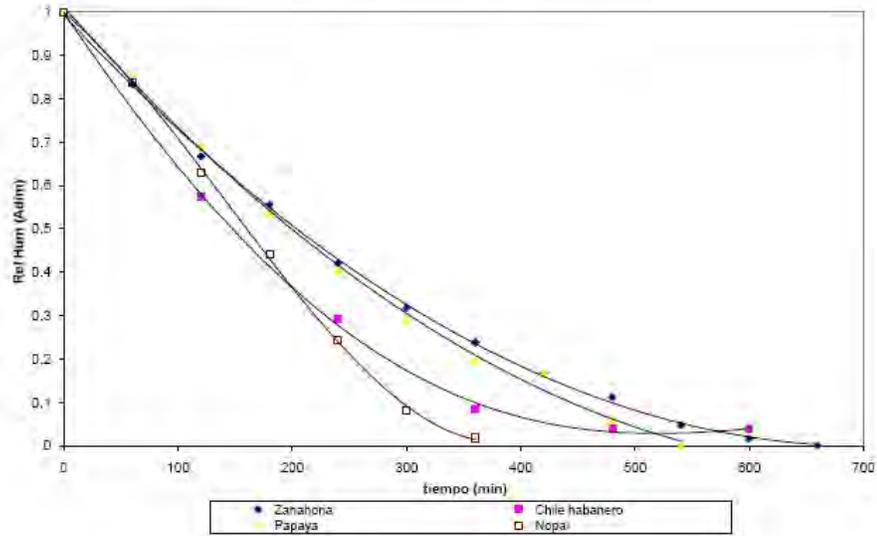


Papaya.



Manzanas

Relación de humedad secado solar



Comparación secado solar vs Tradicional (Papaya)

