

Diseño y construcción de una secadora solar de maderas

Ing. Róger Solano Garro*

INTRODUCCION

La madera por ser una sustancia higroscópica retiene o cede cierta cantidad de agua, dependiendo de la humedad relativa del ambiente en que se encuentre.

El secado de la madera consiste en extraer el agua contenida en ella sin causarle grandes daños. El agua dentro de la madera se encuentra en dos formas: agua libre, es la que se encuentra en las cavidades celulares y agua atada, la cual está unida a los constituyentes de la pared celular. La primera es relativamente fácil de eliminar, mientras que con el agua atada es necesario invertir cierta cantidad de energía adicional. En algunos casos el agua contenida en la madera puede significar el 75 % o más del peso total de la misma.

Algunas ventajas que se obtienen al secar la madera son las siguientes:

- A. **Disminución de peso**, lo que reduce considerablemente los costos por concepto de transporte de este material.
- B. **Estabilidad dimensional**, ya que la madera no sufrirá cambios apreciables en sus dimensiones, si se seca a un contenido de humedad próximo al que obtendrá en el ambiente en que se va a utilizar.
- C. **Propiedades mecánicas**. Se ha comprobado que puede aumentar hasta un tercio más su resistencia con respecto a la madera verde.
- D. **Protección a la degradación**, ya que la madera, sometida a un eficiente secado y mantenida con un bajo contenido de humedad (menos del 20 %), nunca sufrirá el ataque de hongos. Además algunos insectos que atacan madera verde no atacarán la madera que haya sido secada adecuadamente.
- E. **Preservación**, ya que la madera seca podrá ser impregnada con sustancias preservantes. Este efecto se logra de una forma más eficiente, cuando se usan productos no hidrosolubles o cuando el tratamiento se realiza bajo presión.
- F. **Acabados**. Conforme la madera posea un menor contenido de humedad tendrá mayor capacidad de aceptar y retener en buen estado cualquier tipo de acabado.
- G. **Adhesivos**. La madera que se somete a un proceso de secado, obtendrá una mejora considerable en las propiedades adherentes, por lo que se obtendrán juntas más estables y de mayor resistencia.
- H. **Trabajabilidad**. La madera con bajo contenido de humedad presenta mejores propiedades para ser trabajada, por lo que puede ser elaborada en forma más eficiente, obteniéndose un producto final mejor terminado.
- I. **Resistencia eléctrica**. El secado aumenta la resistencia eléctrica, permitiendo utilizar la madera seca como aislante de la conductividad eléctrica.
- J. **Resistencia térmica**. Los espacios celulares e intercelulares de la madera seca se encuentran ocupados por aire, lo que reduce transmisión de calor.

* Profesor en el Departamento de Ingeniería en Maderas del Instituto Tecnológico de Costa Rica e investigador del Centro de Investigación en Energía de la misma institución.

Contenido de humedad

El contenido de humedad de la madera (C.H.) se define como el peso de la cantidad de agua presente, expresado como porcentaje con respecto al peso de la madera seca al horno (peso del material leñoso). Matemáticamente se expresa de la siguiente forma:

$$C.H. = \frac{P_v - P_s}{P_s} \times 100$$

Donde: C.H. = Contenido de humedad
 P_v = Peso verde
 P_s = Peso seco

Con éste parámetro, el C. H. de los árboles va desde un 30 % hasta un 200 % o más; lo que da una idea de la variabilidad de contenidos de humedad con que la madera llega a los centros de procesamiento.

El C. H. con que se debe trabajar la madera depende del uso que se le dará y de las condiciones climáticas de la región en que se produce el producto. Por ejemplo para manufactura de muebles en Costa Rica, se puede trabajar con un 15 % de C. H. en promedio, mientras que, en algunas regiones de Estados Unidos, el C. H. no debe ser mayor de un 8 %.

Secado de la madera

Hay dos formas de extraer el agua de la madera, el secado natural o al aire y el secado artificial o en hornos.

La velocidad de secado, ya sea natural o artificial, depende de dos factores: internos y externos. Los factores internos son los relacionados con la madera, entre los que se destacan: especie de madera, tipo de madera, espesor de madera, contenido de humedad inicial y final. Entre los factores externos tenemos: temperatura del aire, humedad relativa y velocidad o circulación del aire.

En el secado natural o al aire, los factores externos no pueden ser controlados, por lo que la duración del proceso de secado dependerá de las condiciones ambientales. Se presentan variaciones de tiempo de secado desde un mes y medio hasta un año o más.

En el secado artificial los factores externos pueden ser controlados y variados por el hombre, con lo que se puede reducir el tiempo de secado hasta 20 veces con respecto al secado al aire. En este sistema existen varios métodos entre los que se pueden destacar el secado convencional o con fuente de calor y fuente de humedad y el secado por deshumidificación cuyo principio se puede resumir en un sistema de recirculación de aire. Según este sistema, el aire se hace pasar por un condensador para condensar el agua existente en él, una vez seco pasa a través de la madera donde por transferencia de masa, el agua pasa al aire.

No se describirán las ventajas y desventajas de cada sistema. El factor más importante en su utilización es el costo de inversión inicial y de funcionamiento ya que, algunas unidades de pequeña capacidad tienen costos sumamente altos.

La industria de la madera en Costa Rica está compuesta principalmente por pequeñas empresas que, en la mayor parte de los casos, no pueden pagar ninguno de los dos sistemas, y trabajan la madera sin secar o con un contenido de humedad incorrecto para los usos que le dan. El presente trabajo pretende dar una solución a éste problema con la implementación de las "Secadoras Solares".

DESCRIPCION

Desde 1960 se viene investigando sobre la energía solar para secar madera. Se han llevado a cabo investigaciones en Puerto Rico, Filipinas, Australia, India, Japón, Africa del Sur, Madagascar, Uganda, Estados Unidos, Brasil, etc.

Las secadoras solares son de una construcción muy sencilla. En la mayoría de los casos, su estructura puede ser construida de madera. Los rayos solares inciden en un colector plano que convierte la energía de radiación en energía térmica; un flujo de aire proveniente de abanicos internos se encarga de transportar el calor hasta la madera, el agua existente en la misma pasa al aire, saturando después de cierto tiempo el ambiente de humedad. De acuerdo con el programa de secado, el aire saturado es renovado por medio de unas compuertas que se accionan manualmente.

Existen varios diseños de secadoras, basadas en el mismo principio. Uno de los diseños que más rendimiento ha proporcionado es el que se ha to-

mado como base para construir en Costa Rica justificado por su bajo costo y fácil construcción.

Según las pruebas realizadas en otras partes del mundo la secadora solar de maderas puede disminuir de 4 a 5 veces la velocidad de secado con respecto al secado al aire. Para las condiciones de Costa Rica, es ideal para pequeñas industrias y puede ser utilizada casi en todo el país ya que la radiación solar en sus límites inferiores alcanza valores que pueden perfectamente ser aprovechados para secar madera.

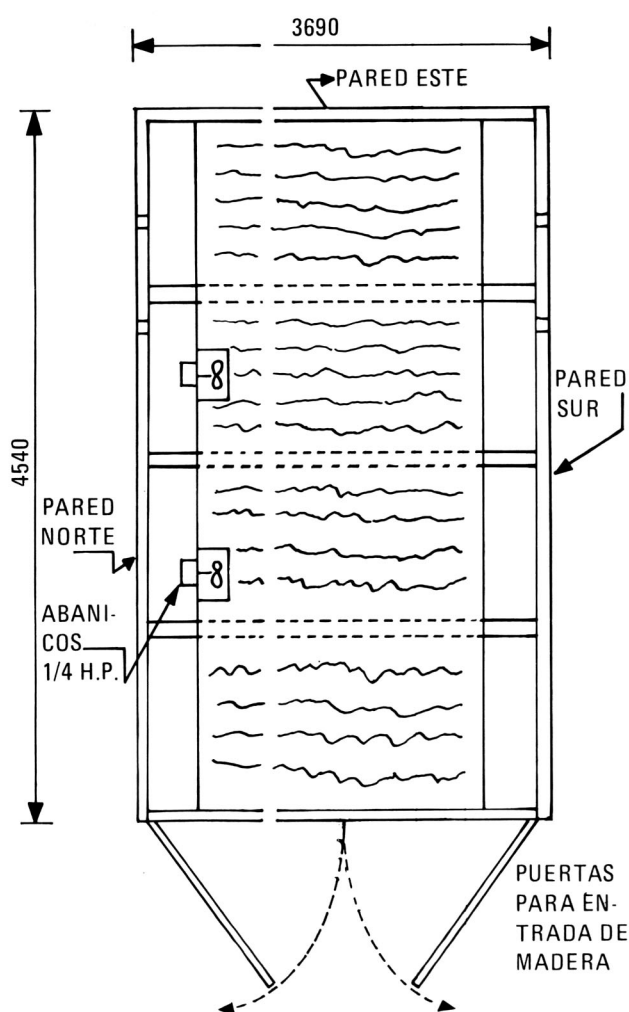


FIGURA 2: Vista superior secadora solar para maderas

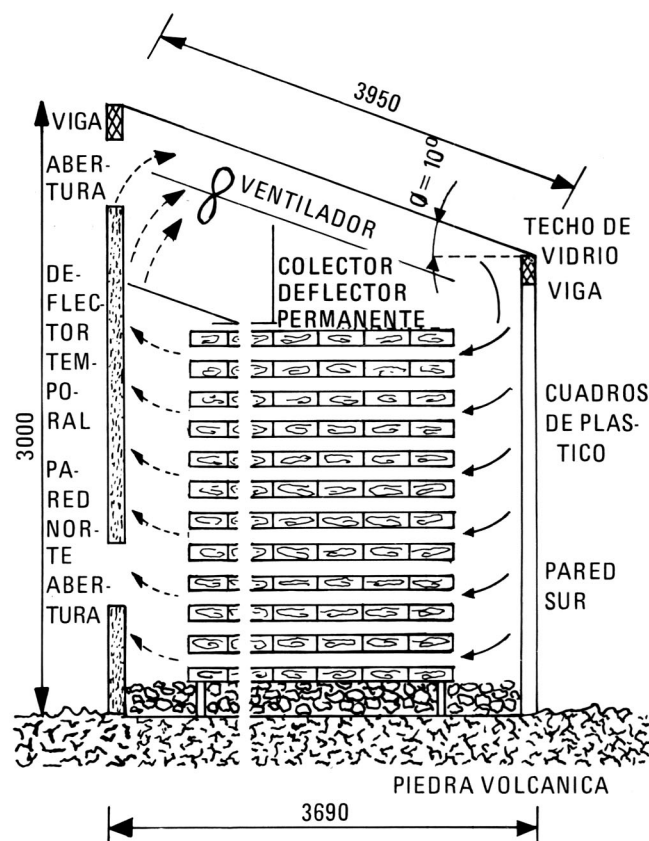


FIGURA 1: Vista lateral de secadora solar para maderas.

FUNCIONAMIENTO

La eficiencia en el funcionamiento de una secadora solar depende de una serie de factores que deben ser considerados en su planeamiento y su construcción:

- Captación eficiente de energía solar: ya que esta es la única fuente de energía necesaria para estimular el secado.
- Orientación de la cámara: es necesario diseñarla para que el ángulo de incidencia de los rayos sea el menor posible, así se evita la reflexión de los mismos y por consiguiente aumenta el índice de refracción. Conforme los rayos solares tiendan a incidir más normalmente en el secador, mayor será el número de rayos que pase la superficie transparente y llegue al colector. Es por esto que el colector y las caras transparentes deben estar orientadas hacia el

sur, por estar nuestro país en el hemisferio norte.

- La inclinación del colector debe escogerse de tal forma que el ángulo de incidencia no varíe más de 47° en las diferentes épocas del año. En los diferentes diseños se ha estudiado cuál es la inclinación óptima, sin embargo ha habido diferentes pronunciamientos al respecto. Los cálculos indican que la inclinación mejor para esta zona es la misma que la latitud ($\sim 10^{\circ}$ N).

DETALLES DE CONSTRUCCION

La capacidad de la secadora es de 5 m^3 de madera efectiva.

La estructura de la secadora fue hecha de madera previamente secada al 8 0/o. Se usó madera de Laurel (*Cordia alliodora*) y Caobilla (carapa s.p.). La pared norte fue cubierta con madera contrachapeada (plywood) y dentro de las capas se rellenó con aserrín seco para aislar el calor encerrado en la cámara. Las paredes este, sur y la puerta se recubrieron con cuadros de plástico en el exterior y en el interior, dejando aproximadamente 100 mm de separación entre ambas, con el objetivo de formar una capa aislante de aire estático.

Debido a que el mercado costarricense no ofrece posibilidades para abastecer madera contrachapeada (plywood) fenólica (a base de resina fenol formaldehído) resistente a la intemperie, se revistió la madera contrachapeada a base de urea formaldehído con una solución protectora al agua. Asimismo aunque la madera usada en la construcción presenta condiciones regulares de durabilidad natural, fue necesario impregnarla con una solución a base de pentaclorofenol para que resistiera el ataque de hongos e insectos.

El plástico usado en el interior tiene un espesor de 0,3 mm y el usado en el exterior tiene un espesor de 0,4 mm ya que en el exterior es donde presenta mayores riesgos de romperse. El material de plástico usado es a base de polietileno, que es preferible a otros por su bajo costo relativo y su fácil abastecimiento, aunque su eficiencia para detener la radiación solar es baja.

El colector fue elaborado con chapa metálica de 4,5 mm de espesor. Sus dimensiones son 2440 mm x 4360 mm. Está pintado de negro en ambos

lados con base de premier, la pintura es el negro para pizarras para obtener todo el mate posible, evitándose la reflexión de los rayos solares.

Sobre él están sujetos dos abanicos de 1/4 H.P. de potencia, que garantizan que existirá una velocidad de aire de 4 m/seg. entre los separadores de la madera.



FIGURA 3: Secadora solar en construcción.

Foto: Róger Solano.

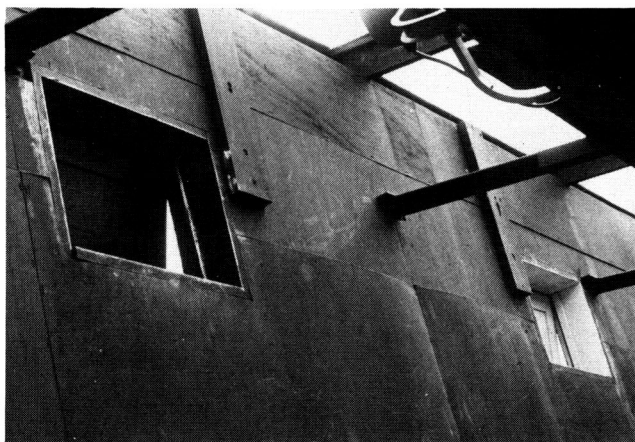


FIGURA 4: Detalles de estructura, abanico, compuertas y colector.

Foto: Róger Solano.

La secadora tiene cuatro compuertas en la pared norte, dos superiores y dos inferiores; las últimas sirven para extraer el ambiente cargado de humedad y las superiores para introducir aire seco a la cámara. ¿Cuándo deben estar abiertas y cuán-

do deben estar cerradas? Dependerá del tipo de especie a secar y la velocidad con que pierda humedad.

Según la teoría de secado es conveniente que permanezcan cerradas durante la etapa inicial del secado, para mantener una humedad relativa alta y así evitar defectos iniciales en la madera. Una vez que haya perdido suficiente humedad, las compuertas pueden permanecer abiertas proporcionalmente durante el día y cerradas durante la noche. En la segunda etapa se tratará de automatizar estas compuertas por lo que abrirán y cerrarán de acuerdo con un programa establecido.

Las puertas están localizadas en la pared oeste según se puede observar en la figura 2, abarcan todo el ancho de la pared y también están recubiertas con plástico interna y externamente. La altura de las puertas es de 1700 mm que es la altura máxima de la pila de madera.

El techo está cubierto con marcos de vidrio de 3 mm de espesor y tiene una dimensión de 3710 mm x 4600 mm.

Otro aspecto importante del colector es la sombra que éste proyecta sobre la primera capa de madera, impidiéndole un contacto directo con los rayos solares y evitando defectos en la madera.

EFICIENCIA

El rango de temperaturas encontradas dentro de la cámara en las zonas tropicales ha oscilado de 12°C a 60°C, teniéndose las mínimas temperaturas al amanecer y las máximas al mediodía.

La eficiencia de la energía solar colectada está basada en el total de radiación que llega y la parte de energía que se convierte en calor.

Las pérdidas en la cámara obedecen a una serie de factores entre los que se pueden citar:

- El ángulo de incidencia de los rayos solares al vidrio.
- Pérdidas por la energía absorbida en el vidrio.
- Pérdidas bastantes significantes por las paredes de la cámara debidas a la transmisión de calor en los tres aspectos por radiación, se deben a la transmisión de rayos solares de ondas largas a través del plástico y el vidrio, aquí

es donde se necesita tener material que tenga bajo porcentaje de transmisión.

Las pérdidas por conducción y convección también son considerables y dependerán de los materiales y las temperaturas internas y externas.

Hay que tomar en cuenta la energía usada en coleccionar el aire y los otros elementos que componen la cámara.

Se ha encontrado que el promedio en rendimiento para un colector puede ser de 60 % aproximadamente al mediodía y que después cae rápidamente, hasta valores de 10 % después de 3 horas.

RESULTADOS OBTENIDOS

Al concluir la construcción de la secadora solar se vio la necesidad de hacerle pruebas, para determinar su eficiencia. Como es lógico esta dependerá básicamente de la radiación solar incidente en el tiempo de prueba.

Para poder hacer una comparación de la velocidad de secado en el interior de la cámara y al aire libre, fue necesario hacer estibas de madera de espesores iguales y en cantidades similares. En ambas cargas se colocaron muestras testigo, o sea piezas de madera de la misma especie, en las que se medirían el contenido de humedad a lo largo de todo el proceso y se determinaría la velocidad de secado.

La especie usada fue Laurel (*Cordia alliodora*); porque su uso es muy abundante, tanto en la industria de muebles como en el área de construcción. El espesor de las muestras fue de 25.4 mm y 38 mm. En pruebas posteriores se usaron otras especies, también de amplio uso tales como Caobilla (*Carapa Guianensis*) Ciprés (*Cupressus lusitanica*) Surá (*Terminalia lucida*), etc., algunas de estas no se compararon con carga de prueba en el exterior ya que se contaba con poca cantidad de madera. La prueba se inició el 22 de setiembre de 1979, con una cantidad de madera de aproximadamente 4 m³ en la secadora y cantidad similar al aire libre. Las condiciones climatológicas exteriores no pueden indicarse debido a la carencia de una estación meteorológica que suministrara los datos, lo que impide también hacer comparaciones de índole meteorológica. Internamente se midieron y graficaron las condiciones de humedad relativa y temperatura

durante todo el secado. Una muestra de esta medición se da en la figura 5. Estos datos sirvieron para definir la velocidad y condiciones de secado, así

como para suponer el estado de esfuerzos internos en la madera.

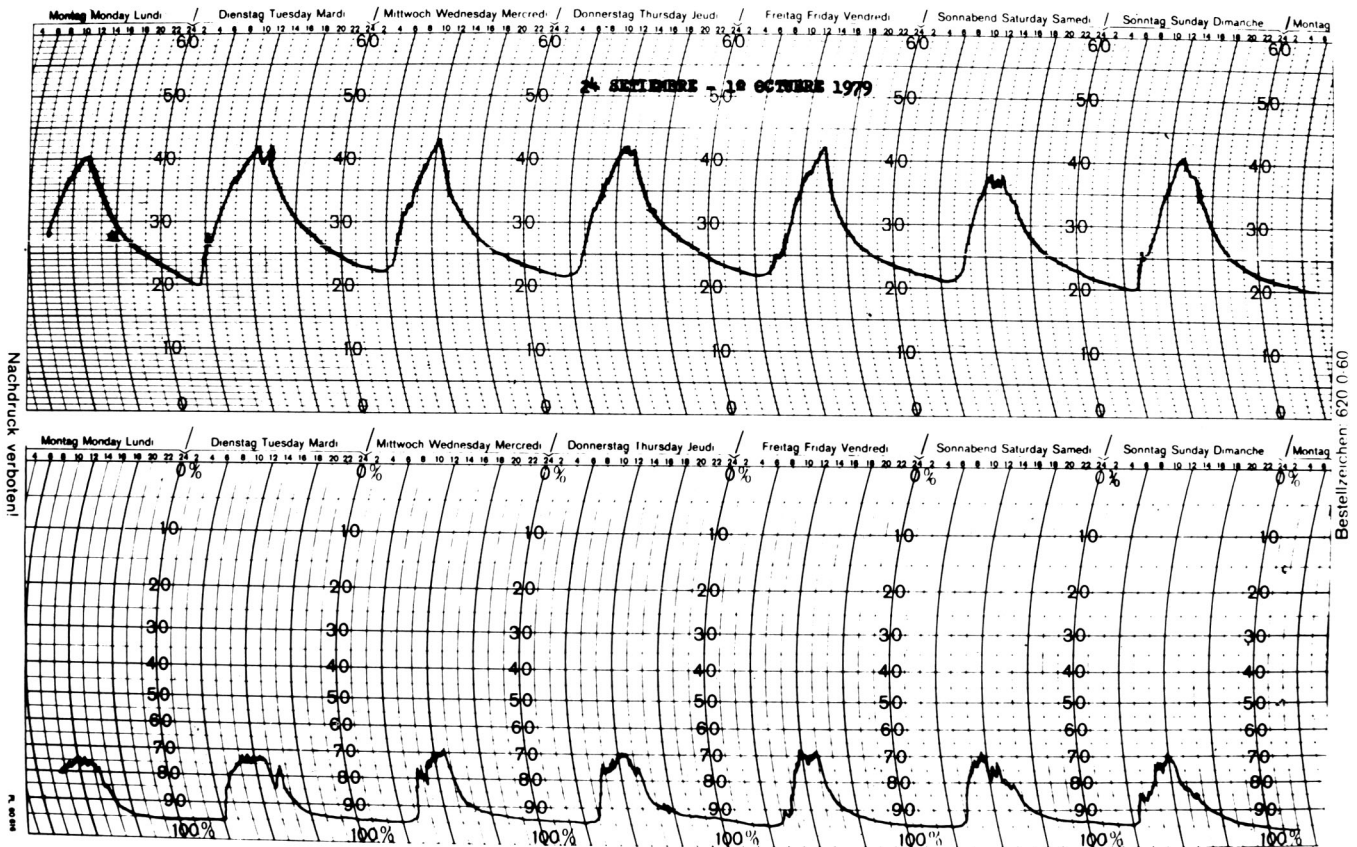


FIGURA 5: Datos de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y humedad relativa ($^{\circ}/\text{o}$) dentro de la cámara de secado.

METODOLOGIA EN EL SECADO DE MADERAS

Al inicio del secado se mantuvieron las compuertas cerradas, según se había explicado antes, obteniendo una humedad relativa lo suficientemente alta para que los defectos fueran reducidos al mínimo. El tiempo en que permanecieron cerradas fue de cinco (5) días, hasta llegar aproximadamente a un 45 $^{\circ}/\text{o}$ de humedad en promedio. Los siguientes días se abrieron las compuertas proporcionalmente cada día iniciando en un 5 $^{\circ}/\text{o}$ hasta un 80 $^{\circ}/\text{o}$, correspondiente a contenidos de humedad del orden de 12 $^{\circ}/\text{o}$.

Hacia el final del secado se hicieron pruebas para detectar si la madera estaba tensionada, es

decir, si presentaba esfuerzos internos que tendieran a deformar la madera una vez aserrada. Se comprobó que, efectivamente, presentaba tensiones por lo que se procedió a dejar las compuertas abiertas por una noche completa y detectándose al día siguiente que habían desaparecido los defectos. Como es lógico, es posible que para otras especies se debe prolongar o disminuir el acondicionamiento.

En la figura No. 6 se presentan en forma gráfica los resultados obtenidos en la primera carga de prueba. Como se puede notar en la secadora solar en 19 días se alcanzó un 13 $^{\circ}/\text{o}$ de humedad, mientras que al aire libre después de 39 días el contenido de humedad era de 25 $^{\circ}/\text{o}$.

Si bien es cierto que la época del año en que

se hicieron estas pruebas era posiblemente la peor en lo referente a condiciones atmosféricas, se debe tener en cuenta que estas condiciones afectan a los

dos sistemas de secado (solar y al aire libre), por lo que en épocas de radiación más elevada la eficiencia de ambos sistemas mejoraría en forma notable.

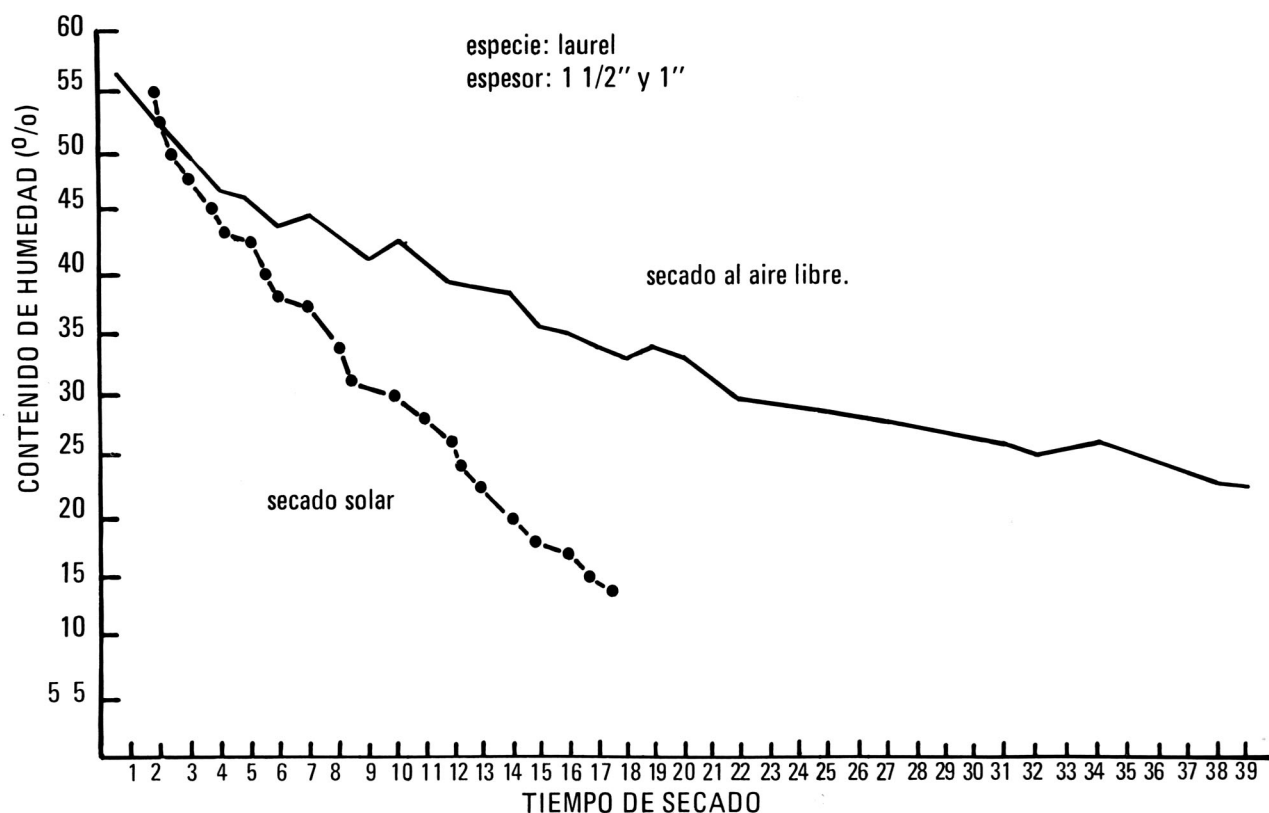


FIGURA 6: Gráfico de comparación secado solar vrs. secado al aire

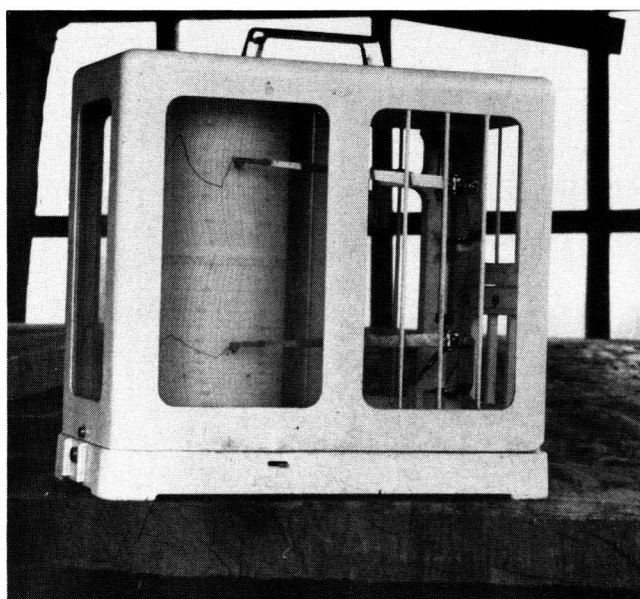


FIGURA 7: Medición de temperatura y humedad relativa por medio de un higrotermógrafo.

Foto: Róger Solano.

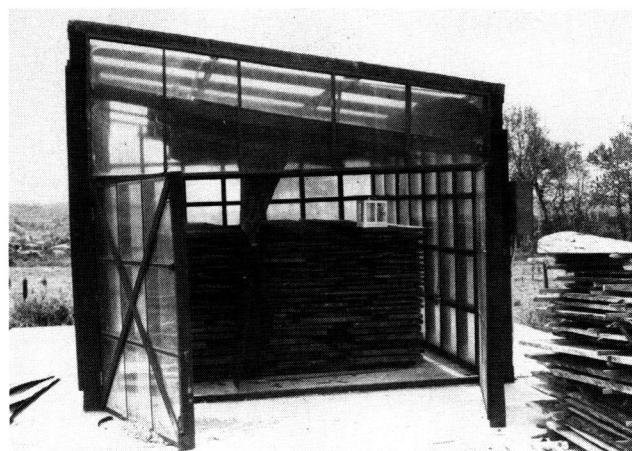


FIGURA 8: Carga inicial de "Laurel" para la prueba de la secadora solar.

Foto: Róger Solano.

COSTOS

A continuación se hará una lista de los artículos usados en la construcción de la secadora solar, en la que se indica su costo a julio de 1979. En algunos casos este costo podría elevarse o reducirse dependiendo de las circunstancias y de los recursos del que construye la secadora.

(7 x 6 x 0.1) m
4

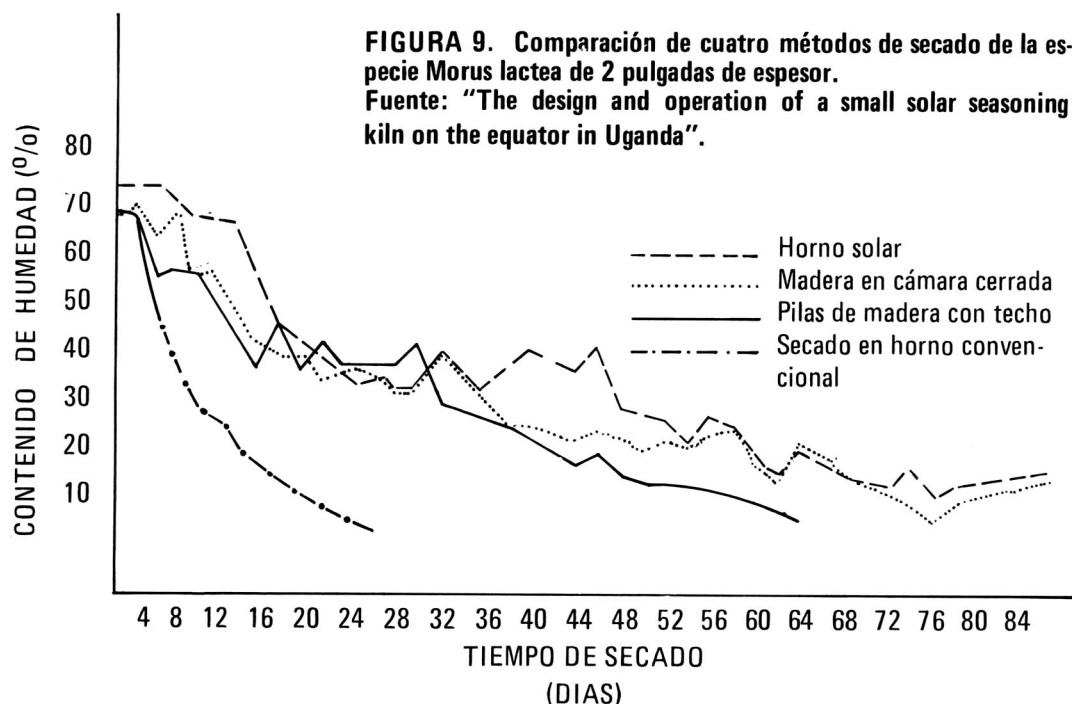
Conexión de electricidad	500
Conexión del agua	150
Piso de concreto	1300
Láminas de Hierro negro 1,22x2,44 m.	700
Anclajes	300
Otros	1000
Mano de obra	5000
TOTAL	20000

DETALLES DE COSTOS DE CONSTRUCCION

CANTIDAD	ARTICULO	COSTO ₡
1674 dm ³	Madera	1550
13 láminas	Madera contrachapada (plywood)	1170
2	Abanicos de 1/4 HP c/u	5200
12	Vidrios	1800
50 m	Plástico	1300

RESULTADOS EN OTRAS PARTES DEL MUNDO

Es conveniente conocer algunos resultados obtenidos en otras latitudes y con otros modelos de secadora. Las figuras No. 9, No. 10, No. 11 presentan lo obtenido en esas investigaciones.



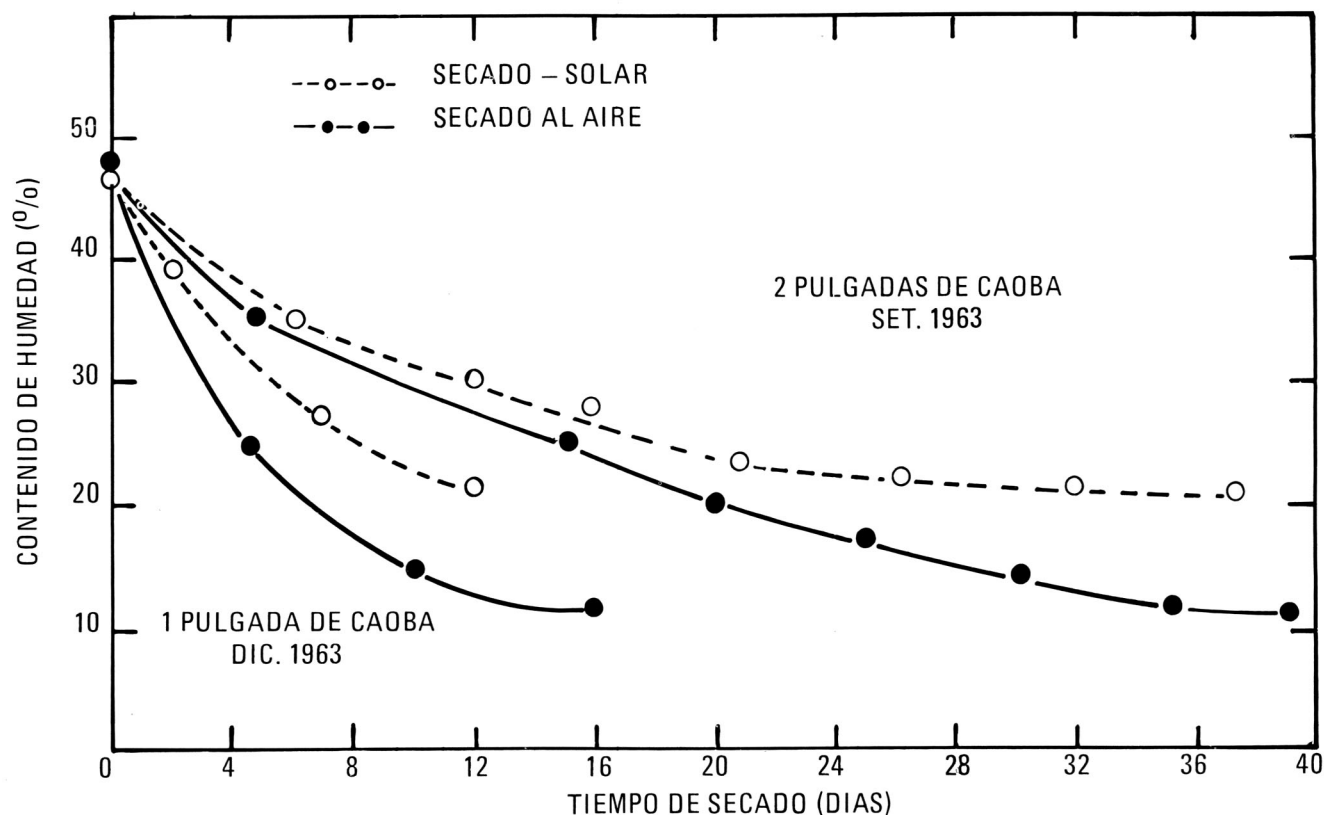
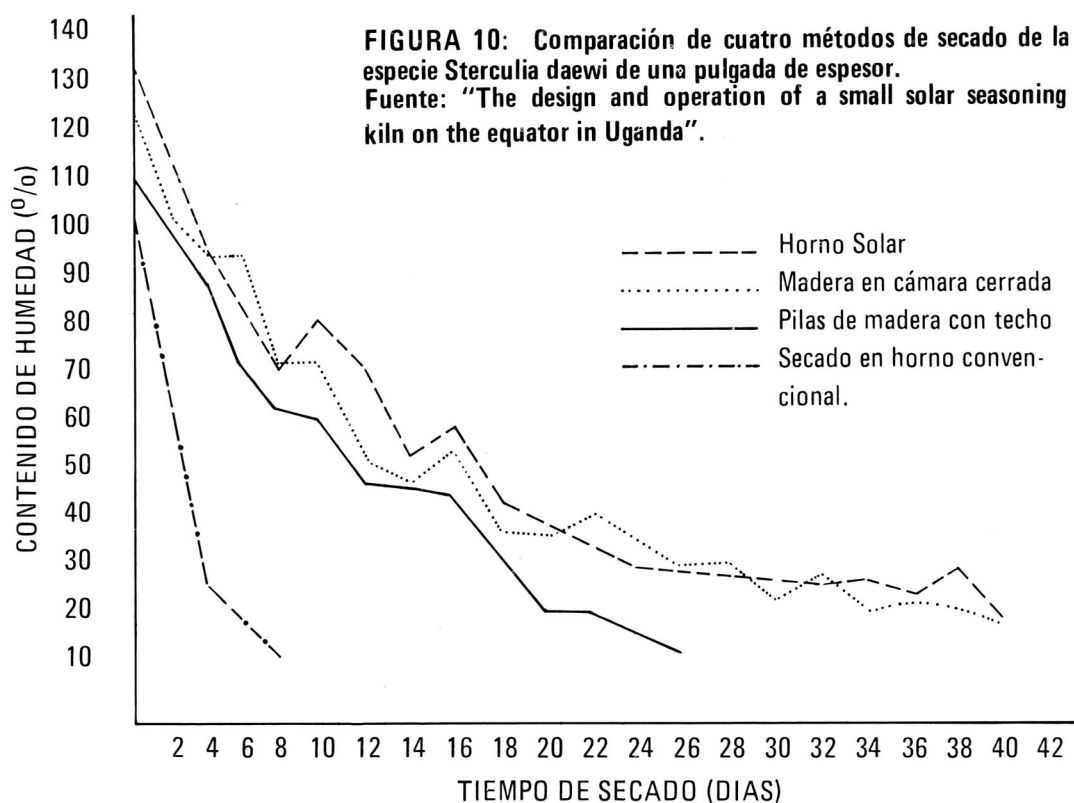


FIGURA 11: Comparación de curvas de secado solar y secado al aire de la especie caoba hondureña, usando espesores de una pulgada y dos pulgadas.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos se puede afirmar que las secadoras solares pueden ser usadas en la mayoría de las regiones del país con buenos resultados.

En relación con los estudios realizados se puede afirmar que el costo de secado en secadora solar puede resultar, en la mayoría de los casos, más barato que secar al aire libre. Además el secado solar es mucho más rápido y llega a contenidos de humedad menores que el secado al aire libre.

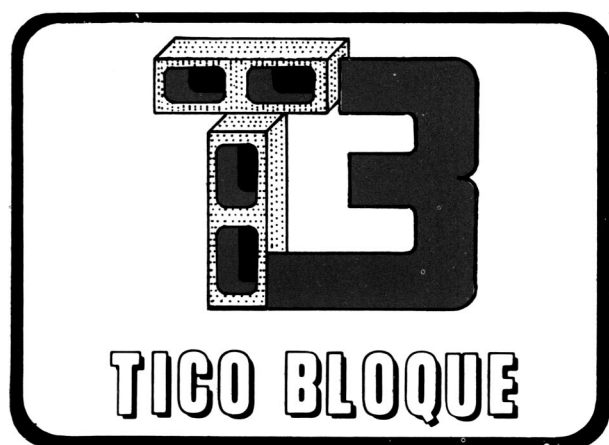
La protección contra el ataque de hongos e insectos es otra ventaja sobre el sistema al aire libre.

Al usar energía solar se tiene un recurso fijo y que no variará en suministro ni en precio en función del tiempo.

Este modelo o modelos similares podrían ser usados por pequeñas y medianas industrias como secadoras propias de producción ya sea en forma única o como batería de secadoras. En grandes industrias se recomendará usarla como presecadoras.

BIBLIOGRAFIA

1. Rocha, Benedito y Lester, James. **Secador solar para madeira**. Minas Gerais: Imprensa Universitaria, 1979.
2. Chudnoff, M.O.; Maldonado, E.D. and Goytia, E. **Solar drying of tropical forestry**. 1966. Forest Service Research Paper. ITF-2.
3. Workshop proceedings. **Practical application of solar energy to wood processing**. Virginia Polytechnic Institute and State University. Forest Products Research Society.
4. FPL — AID — PASA TA (AG) **Solar Kilns. Feasibility of utilizing solar energy for drying lumber in developing countries**. Madison, Wisconsin: U.S. Department of Agriculture, Forest Products Lab.
5. Rasmussen, Edmund. F. **Dry Kiln: operator's manual**. Madison, Wisconsin: Forest Products Laboratory Forest Service, 1961.



CONSTRUYA CON LO MEJOR...

técnica
experiencia
y calidad

TICO BLOQUE SUPERIOR S.A.

Tel. Fábrica 25-95-56 25-85-26