

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SECADOR SOLAR PARA MADERA



Cynthia Salas Garita¹
Róger Moya Roque¹
Rafael Córdoba Foglia¹

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería Forestal
Centro de Investigación en Integración Bosque Industria (CIIBI)

2008

¹ Instituto Tecnológico de Costa Rica. cysalas@itcr.ac.cr, rmoya@itcr.ac.cr, rcordoba@itcr.ac.cr

Resumen

En este informe técnico se presentan los aspectos más importantes que deben ser considerados en la construcción de un secador solar para madera aserrada. Se detallan aspectos de diseño de cimientos, paredes, puertas, techo, colector, equipamiento y una recomendación de los materiales por utilizar. Se incluye un prototipo de secadora solar, que ha sido construido por la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica en Cartago. Como parte del paquete tecnológico se han incluido planos y vistas de la construcción así como el detalle de los costos de construcción, que para este modelo es de US \$7223.3. Como complemento importante se incluye un análisis comparativo de costos por metro cúbico utilizando un secador solar y un horno convencional. Se determinó que el retorno de la inversión podría lograrse en 36 meses si se requiere de un préstamo y de 32 meses si se cuenta con el dinero; también se determinó que sin considerar el costo de capital inicial, el costo de secado por metro cúbico con una secadora solar es un 85% más económico respecto al secado de la madera utilizando un horno convencional.

Palabras clave: Secadora solar, Secado, Costos, Prototipo, Costa Rica

Abstract

This technical report shows the most important aspects to be considered in the construction of a solar dryer for lumber. It is detailed aspects of design of foundations, walls, doors, roof, collecting, equipment and a recommendation for the materials to be used. This document includes a prototype of solar dryer, which was built by the **Forest Engineering School at Technological Institute of Costa Rica** in Cartago. As part of the technology package has been included maps and views of the construction and details of construction costs, which for this model is US \$7223.3.

As an important complement the authors had included a comparative analysis of cost per cubic meter using a solar dryer and a conventional oven. It was determined that the return on investment could be achieved within 36 months if it requires a loan, and 32 months if the money has also found that regardless of the initial capital cost, the cost per cubic meter of drying with a solar dryer is 85% cheaper than the drying of wood using a conventional oven.

Key words: Solar dryers, Costs, Drying techniques, Prototype, Costa Rica.

CONTENIDO

Resumen	I
Abstract	I
INTRODUCCIÓN	2
DISEÑO DE UNA SECADORA SOLAR	2
Las secadoras solares	2
Posición de la secadora.....	3
Tamaño y capacidad del secador solar	5
Aislamiento del calor	5
Componentes básicos de la secadora	6
Techo	6
Colector.....	7
Ventiladores (abanicos)	7
Ventilas	8
MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	9
Cimientos	9
Paredes, puertas y ventanas.....	9
Techo.....	9
Colector	10
Ventiladores (abanicos).....	10
Modelo de producción	10
Prototipo de una secadora solar	11
1. Cimientos	12
2. Techo.....	14
3. Vistas laterales de paredes	16
COSTOS	22
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	23
BIBLIOGRAFÍA.....	24

INTRODUCCIÓN

Resulta muy conveniente para la industria nacional aumentar el valor agregado de la madera, especialmente mediante la elaboración de productos terminados. Sin embargo, uno de los principales problemas para ese propósito es el secado de este material, de manera que sea posible fabricar productos de calidad en función de un contenido de humedad óptimo.

El secado que tradicionalmente se lleva a cabo en Costa Rica es al aire libre. Este tipo de secado tiene la gran desventaja de que logra bajar los contenidos de humedad entre 18 y 24%, dependiendo de la región geográfica donde se realice el proceso de secado. Estos valores no son los óptimos para trabajar productos acabados, pues por lo general existen problemas de contracciones en la madera que afectan la aplicación de adhesivos y acabados, lijado, entre otros. La otra opción que existe es la de utilizar hornos convencionales, pero este sistema sólo está disponible en muy pocas industrias, debido a su alto costo de inversión y de operación, poca disponibilidad de mano de obra calificada y complejos sistemas de control de humedad de la madera y de temperatura y humedad relativa de la cámara de secado.

La tecnología intermedia entre el secado al aire libre y el secado en horno convencional, es el uso de secadoras solares. La inversión inicial en la construcción de este tipo de secadoras no es muy alta y los diseños y modelos no son complejos de construir ni de operar; se puede obtener material seco más rápidamente y con contenidos de humedad óptimos para el producto acabado en las líneas de fabricación de muebles, puertas, juguetes, entre otros.

Se ha comprobado en Honduras y México, el uso de secadoras solares desde hace más de 15 años, esta tecnología es de bajo costo, muy accesible a los pequeños y medianos productores, tienen un bajo consumo de energía convencional, requieren de un mantenimiento básico y sencillo y no generan contaminación ambiental.

La Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica, ha investigado el proceso de secado solar y ha desarrollado su propio modelo de secadora con la experiencia generada. La presente publicación busca apoyar y promover este tipo de tecnología entre aquellos productores que apuesten por el uso de tecnologías limpias y secado óptimo de la madera, según las necesidades del producto y del mercado nacional.

DISEÑO DE UNA SECADORA SOLAR

Las secadoras solares

Las secadoras solares son cámaras que tienen la capacidad de almacenar el calor que es generado por la incidencia de los rayos solares sobre un colector de temperatura. La idea es que el calor que se genera sea útil en el proceso de secado de la madera.

Las cámaras de secado tienen dos partes fundamentales: la primera se ubica en la parte superior de la cámara y es la responsable de que el aire se caliente; la segunda es el área de apilado de la madera que se requiere secar (Figura 1).

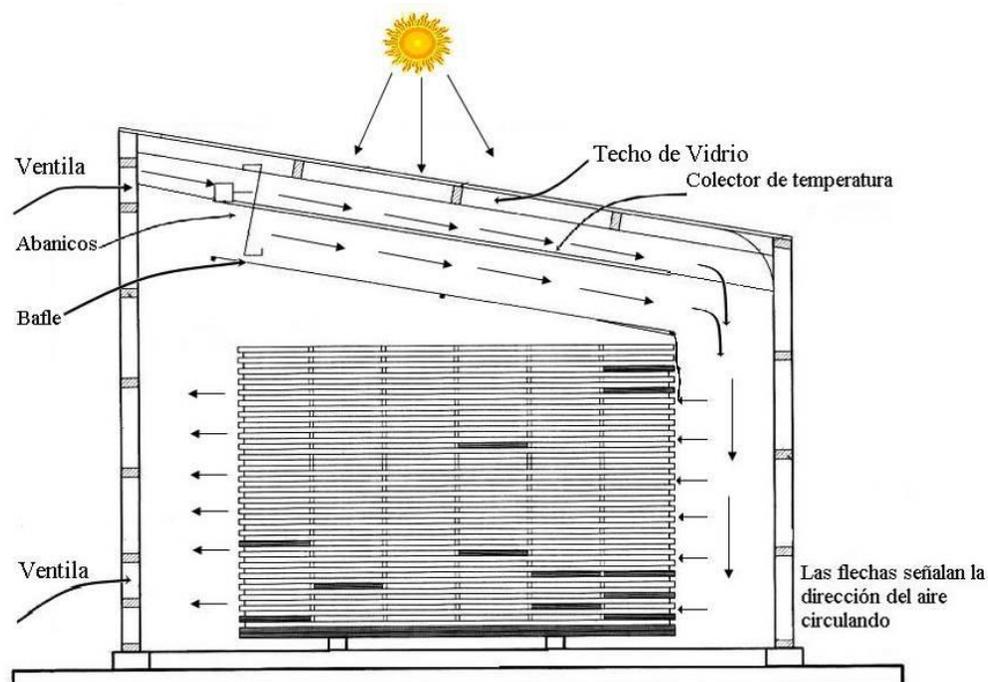


Figura 1. Principio general de un secador solar para madera.

El principio de funcionamiento de una secadora solar es simple. Una vez que el aire se calienta a lo interno de la secadora, ese aire se pone a circular entre la madera gracias a un sistema de ventiladores.

La masa de aire caliente se hace circular continuamente a través de la madera con el fin de que esta se caliente. Al elevar la temperatura el material empieza a liberar el agua que contiene y por ende se seca. Esto permite que la madera descienda sus contenidos de humedad a los niveles deseados, según sean las necesidades de la industria.

Las secadoras solares a pesar de que son muy simples en cuanto a diseño y funcionamiento, permiten y a la vez requieren de algún grado de control de las condiciones internas de temperatura y humedad relativa. Esto es posible gracias a la instalación de ventanas o ventilas que permitan intercambiar el aire húmedo de la cámara por aire más seco del exterior de la cámara.

Posición de la secadora

La posición de un secador solar depende de la incidencia de los rayos solares. Por ello, en primera instancia deben orientarse de norte a sur, para el caso de Costa Rica, pues el país se ubica en el Hemisferio Norte.

La caída o inclinación del techo, en el caso de Costa Rica, debe ser hacia el sur, de tal forma que se asegure la incidencia de los rayos solares lo más perpendicularmente posible, a lo largo del año. El grado de inclinación va a corresponder con la latitud del país. Para el caso de Costa Rica esa inclinación es de 10%. Esta inclinación permite que la variación en el ángulo de incidencia de los rayos solares en las diferentes épocas del año, no afecte la eficiencia en la captación de la energía sobre el techo y el colector de la secadora (Figura 2).

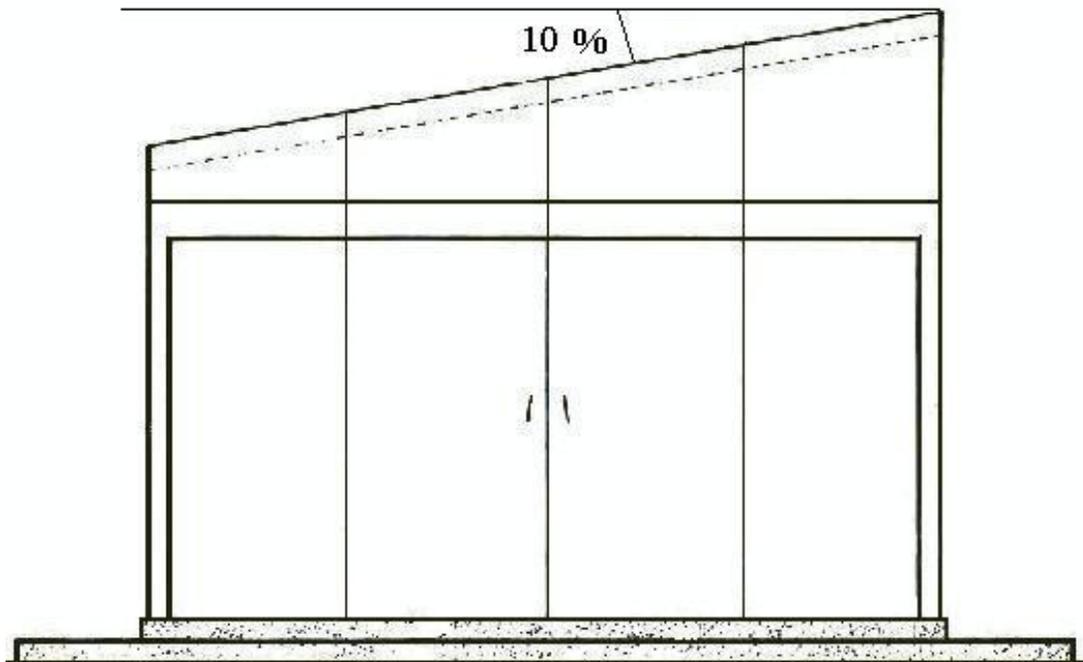
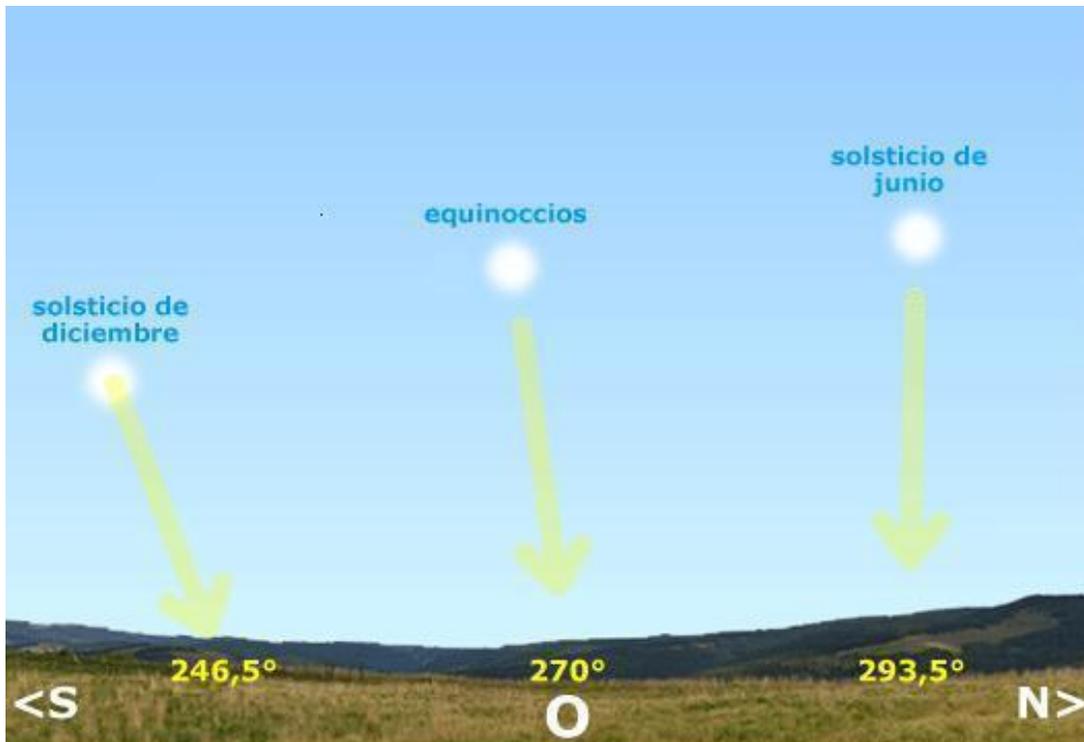


Figura 2. Posición de la secadora solar e inclinación con respecto a la incidencia de los rayos solares en Costa Rica (La imagen de la inclinación del sol para Costa Rica fue tomada de Villalobos, 2007).

Tamaño y capacidad del secador solar

Cuando se diseña y construye una secadora solar, hay que considerar que el tamaño óptimo de la cámara está en función de la demanda de volumen de madera seca que requiere determinada industria.

La experiencia en Honduras indica que no es conveniente construir secadoras con capacidades superiores a los 15 m³ (Benítez y Calderón, 1993), pues cuanto más grande sea la cámara menos eficiente es el secado.

Otro aspecto a considerar es el ancho de la secadora. El diseño debe garantizar una uniformidad en la circulación de la masa de aire a través de la pila de madera que se pretende secar. Es por ello que se recomienda que las secadoras no superen los 5 m de ancho (Benítez y Calderón, 1993).

Una secadora que tenga 3.5 m de ancho y 3.5 m de largo con una altura máxima de 3 m permite apilar una carga de madera de 6.6 m³ (Figura 3)².



Figura 3. Secadora solar con capacidad máxima de 6 m³ instalada en el Instituto Tecnológico de Costa Rica en Cartago.

Aislamiento del calor

Al diseñar y construir una secadora solar, es de fundamental importancia evitar al máximo la pérdida de calor. Mantener la temperatura a lo interno de la cámara, es vital para acelerar el proceso de secado y llevar la madera a contenidos de humedad que no se logran con un secado al aire libre.

El objetivo del aislamiento del calor es lograr la máxima diferencia entre la temperatura interna de la cámara y la temperatura ambiental. Para ello, la selección de materiales para el techo y paredes es fundamental. La experiencia en Honduras sobre este aspecto, indica que la selección de materiales, debe garantizar que la diferencia mínima entre las temperaturas externas e internas sea de al menos de 10°C, según Benítez y Calderón (1993).

² 6.6 m³ equivalen aproximadamente con 3000 pulgadas madereras ticas.

El techo debe construirse con un material transparente. Entre los que tienen esa propiedad, el vidrio es el que mejores resultados brinda. En el caso de las paredes, se puede usar madera, block, ladrillo, hierro galvanizado o esmaltado, etc.

Cuando la estructura de las paredes es construida con madera, hierro galvanizado o esmaltado, el aislante térmico interno es de vital importancia pues se requiere evitar la fuga de la temperatura. En el mercado costarricense, el que mejores resultados brinda, por costo y calidad, es la fibra de vidrio flexible. Este material debe cubrir al máximo los espacios entre el forro interno y externo de la secadora (Figura 4). Por otra parte, es necesario asegurarse de que las puertas de acceso cuenten con un material aislante entre el marco y las paredes de la puerta y de las ventilas. En ambos casos se puede usar láminas de hule comercial.

El estereofón es un tipo de material que puede utilizarse como aislante; sin embargo, tiene un costo más elevado que la fibra de vidrio flexible. También pueden utilizarse como aislante el heno o el aserrín, pero la eficiencia en el aislamiento del calor de estos materiales no se ha estudiado en Costa Rica.



Figura 4. A la izquierda se observa el uso de la fibra de vidrio como aislante entre forros. A la derecha se observa la misma pared interna ya forrada internamente.

Si la secadora solar se va a construir en un lugar donde hay problemas de radiación solar, existe la opción de agregar calor inyectado a la secadora a través de un sistema de quemador de desechos.

Componentes básicos de la secadora

El diseño de una secadora solar debe incluir al menos cuatro componentes: techo, colector, ventiladores y ventilas. Cada uno de estos contribuye a asegurar un funcionamiento adecuado y garantiza la eficiencia y la calidad en el secado.

Techo

El techo de una secadora solar es un componente que requiere de gran atención, ya que es precisamente a través de él que se capta la energía solar que calentará el aire interno de la cámara, el cual es el responsable del secado de la madera. Para su construcción se puede utilizar vidrio o láminas transparentes; dando mejores resultados el vidrio. La energía solar pasa a través del vidrio utilizando la onda corta y una vez que lo atraviesa la energía no puede escapar ya que se refleja en forma de onda larga, la cual queda atrapada en la cámara y produce un efecto invernadero a lo interno de la cámara (Figura 5).

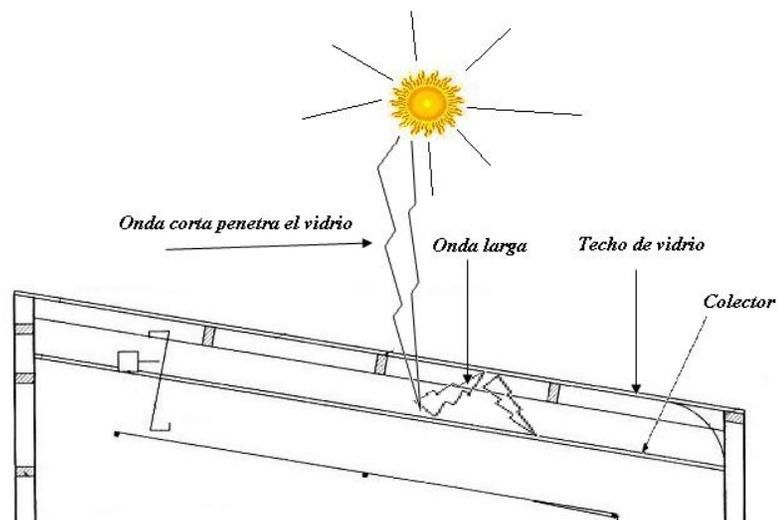


Figura 5. Efecto invernadero ocasionado por la incidencia de los rayos solares que atraviesan el techo de vidrio.

Colector

El colector debe ubicarse entre el techo y la pila de madera. La función de este componente es capturar la energía solar, la cual se transforma en calor y se transmite al aire, lo que produce que este se caliente. Además, la presencia del colector impide que los rayos del sol incidan directamente sobre la madera que se pretende secar, evitándole daños a la superficie como las grietas y la decoloración.

Los colectores pueden construirse con láminas de zinc, corrugadas o lisas, pero este tipo de material por su espesor se enfría rápidamente en ausencia de los rayos solares. Debido a esto es mejor utilizar una lámina de hierro pintada en color negro mate de al menos 3 mm de espesor. El espesor de la lámina, combinado con su color negro mate, permite aprovechar al máximo la energía solar capturada.

Ventiladores (abanicos)

La energía solar capturada en el colector debe ponerse en movimiento a lo interno de la secadora, a fin de que ese aire caliente circule entre la pila de madera que se va a secar. Ese movimiento debe ser propiciado por ventiladores que se colocan dentro de la cámara de secado. El aire caliente que circula entre la pila de madera, absorbe la humedad contenida en la madera y es por ello que se produce el secado.

El tamaño de las aspas y la capacidad del motor de los ventiladores, depende básicamente de la cantidad de madera que se va a secar. Esto significa que tendrán que instalarse la cantidad de ventiladores necesarios para que haya un movimiento uniforme de la masa de aire interna, a través de la pila de madera.

La velocidad promedio del aire a través de la pila de madera que se seca debe estar entre 1.0 y 2.0 m/s, (Benítez y Calderón, 1993). Si se tiene una velocidad más baja, el secado no es eficiente y si la velocidad es más alta, se pueden causar daños severos a la madera, como reventaduras e incluso grietas.

Idealmente, se deberían instalar abanicos que puedan invertir el giro para así permitir circulación de aire en determinado momento por ambos costados de la pila de madera. Se promueve con ello una homogeneidad del contenido de humedad final de ésta en proceso de secado (Figura 6).

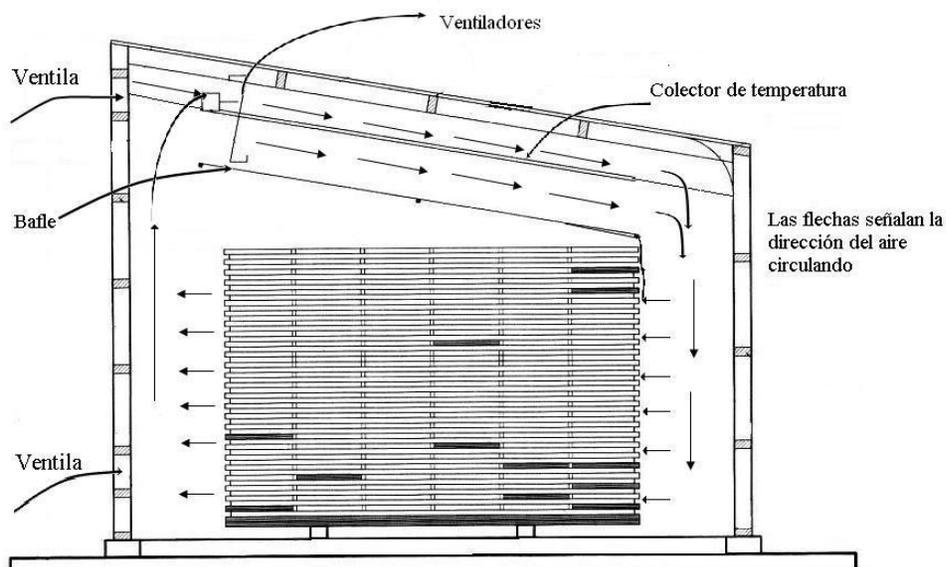


Figura 6. Movimiento del aire caliente a través de la pila de madera que se seca cuando se usa abanico con un sólo sentido de giro.

Ventilas

El aire caliente que circula a través de la pila de madera recoge la humedad que hay contenida en la madera, esa humedad llega a saturar el aire caliente y eleva la humedad relativa a lo interno de la secadora. Cuando esto ocurre, el secado se estanca y si esa humedad no se saca de la secadora se corre el riesgo de que el proceso de secado se detenga, e incluso, que la humedad retorne a la madera. Para evitar esto, el diseño de la secadora debe contemplar la existencia de ventilas o ventanas que se ubiquen en las paredes y que permitan aperturas controladas para que se dé intercambio entre la humedad ambiental fuera de la cámara y la interna.

Estas ventilas sólo se abren cuando la humedad relativa interna de la cámara es más alta que la externa. Debido al movimiento del aire que producen los ventiladores y la presión interna y externa a la cámara, una porción del aire caliente y cargado de humedad sale y otra porción menos húmeda y más fría entra para sustituir el aire que sale (Figura 6).

Con este procedimiento se asegura bajar la humedad relativa interna del aire de la cámara, pero también se sacrifica un poco de temperatura a lo interno de ésta. La saturación de humedad del aire interno a la cámara se intensifica durante las noches, cuando el aire es más frío. El momento idóneo para abrir las ventilas es bien temprano en las mañanas, cuando aún el sol no ha calentado lo suficiente el aire interno de la cámara. De esa manera la pérdida de temperatura es mínima.

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Las características primordiales de los materiales para construir la secadora no son diferentes a los requeridos para cualquier otro tipo de construcción. Se busca que el material esté disponible cerca del lugar de construcción para disminuir el costo de traslado. Además, se espera que ese material sea del menor costo posible.

La principal característica de los materiales de construcción es que deben mantener el calor a lo interno de la cámara de secado, se busca que éstos aseguren un aislamiento térmico adecuado y que sean de larga duración.

Cimientos

La estructura de la secadora debe montarse sobre un cimiento que asegure aislamiento de temperatura y humedad proveniente del suelo. Aunque el área mínima de cimiento que debe existir en la secadora es la misma área de la secadora solar, se sugiere que se incluya un área de preapilado que sea de un área al menos igual al área de la secadora.

La calidad del concreto a utilizar para asegurar el soporte a la secadora, y la circulación de la maquinaria pesada (tractor, montacargas, entre otros), debe ser de 210 kg/cm² de resistencia mínima al esfuerzo.

Paredes, puertas y ventanas

Para la construcción de paredes, puertas y ventanas se sugiere que se utilice la madera como estructura principal. Como forro externo e interno, se recomienda el hierro galvanizado número 26, que está ampliamente disponible en el mercado nacional.

Si se quieren acabados más estéticos, se puede usar lámina corrugada como forro externo y lámina lisa como forro interno. También se puede usar el hierro esmaltado número 26, aunque el costo de este es mayor; pero este último tipo de material tiene la ventaja de que no se corroe o herrumbra como el galvanizado.

El aislante térmico es indispensable en estos casos, por lo que se sugiere el uso de fibra de vidrio flexible (lana de fibra de vidrio). Este material debe cubrir todo el espacio que hay entre los forros internos y externos.

Este material se consigue en el mercado nacional con facilidad y está disponible en diferentes espesores según sean las necesidades o especificaciones técnicas del secador a construir.

Techo

A continuación se brinda un análisis de ventajas y desventajas de los diferentes tipos de materiales para construir el techo de una secadora solar.

Materiales usados en la construcción de techo de secadoras solares.

Materiales	Ventajas	Desventajas
Vidrio	<ul style="list-style-type: none"> - Material estable - Alta transmitancia - Durable - Pocas pérdidas de calor - Disponibilidad local 	<ul style="list-style-type: none"> - Pesado - Difícil de manejar - Construcción especial - Frágil
Plástico transparente	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo costo - Liviano - Fácil de instalar - Disponibilidad local 	<ul style="list-style-type: none"> - Poco durable - Regular transmitancia - Regular aislamiento - Frágil
Lámina transparente	<ul style="list-style-type: none"> - Liviano - Bajo costo - Fácil de instalar - Resistente - Durable - Disponibilidad local 	<ul style="list-style-type: none"> - Baja transmitancia - Poco aislamiento

Fuente: Benítez y Calderón, 1993.

Entre todos estos materiales, el más recomendable para construir el techo es el vidrio. Sin embargo, al instalarlo debe realizarse con cuidado y precisión para evitar que se quiebre. Además, debe sellarse muy bien las juntas o uniones, utilizando materiales como la silicona, para evitar filtraciones de agua. Para un mejor manejo se recomienda que el techo se coloque en cuadros de 0.80 m² y utilizando vidrios de 4 mm de espesor.

Colector

Aunque el colector solar se puede construir con hierro galvanizado, para mejores rendimientos se sugiere la lámina de hierro de 3 a 4 mm de espesor pintada en color negro mate. Este colector debe cubrir toda el área en donde se pretende apilar la madera que se va a secar.

Ventiladores (abanicos)

Para secadoras solares cuya área interna en la cámara sea de 3.5 m x 3.5 m, se sugiere la instalación de dos ventiladores con aspas que tengan un diámetro de 45 cm, 1700 rpm, con motor de 0.33 Hp y para conectar en 110 ó 220 voltios, según voltaje disponible. Es deseable que se pueda conseguir en el mercado motores que permitan doble giro para dar movimiento de la masa de aire en ambos costados de la pila de madera.

MODELO DE PRODUCCIÓN

Cuando se diseña y construye una secadora solar es porque va a ser de utilidad en la cadena productiva de una determinada empresa. Eso obliga a hacer un análisis del proceso productivo que se sigue y, con ello, ubicar el papel del secado y el manejo de la madera dentro de la industria que se trate.

La primera etapa es el pre-secado, con lo cual se acondiciona la madera y se alista para el secado. Realizar un presecado va a depender de las condiciones climáticas del lugar en donde se lleve a cabo el proceso de secado al aire. En el pre-secado la madera puede ser llevada a un contenido de humedad de alrededor del 50%, luego se introduce a la secadora solar, para el proceso de secado que la llevará hasta el contenido de humedad requerido según las necesidades posteriores

dentro de la cadena productiva. Si no se realiza el pre-secado, se requerirá de más días de secado en la cámara.

Cuando ya la madera ha sido secada, lo mejor es clasificarla según su calidad y separar aquella que pudiera tener defectos producto del secado; luego debe ser almacenada bajo techo, a la espera de continuar en la cadena productiva.

La clasificación que se menciona está estrictamente relacionada con el proceso de secado y no debe ser confundida con la clasificación de calidad y tamaño que se hace previo al secado, en donde incluso es posible hacer saneos que garanticen que un alto porcentaje del volumen que se va a secar siga dentro de la cadena productiva, estas clasificaciones permiten ahorrar espacio, tiempo y dinero al productor.

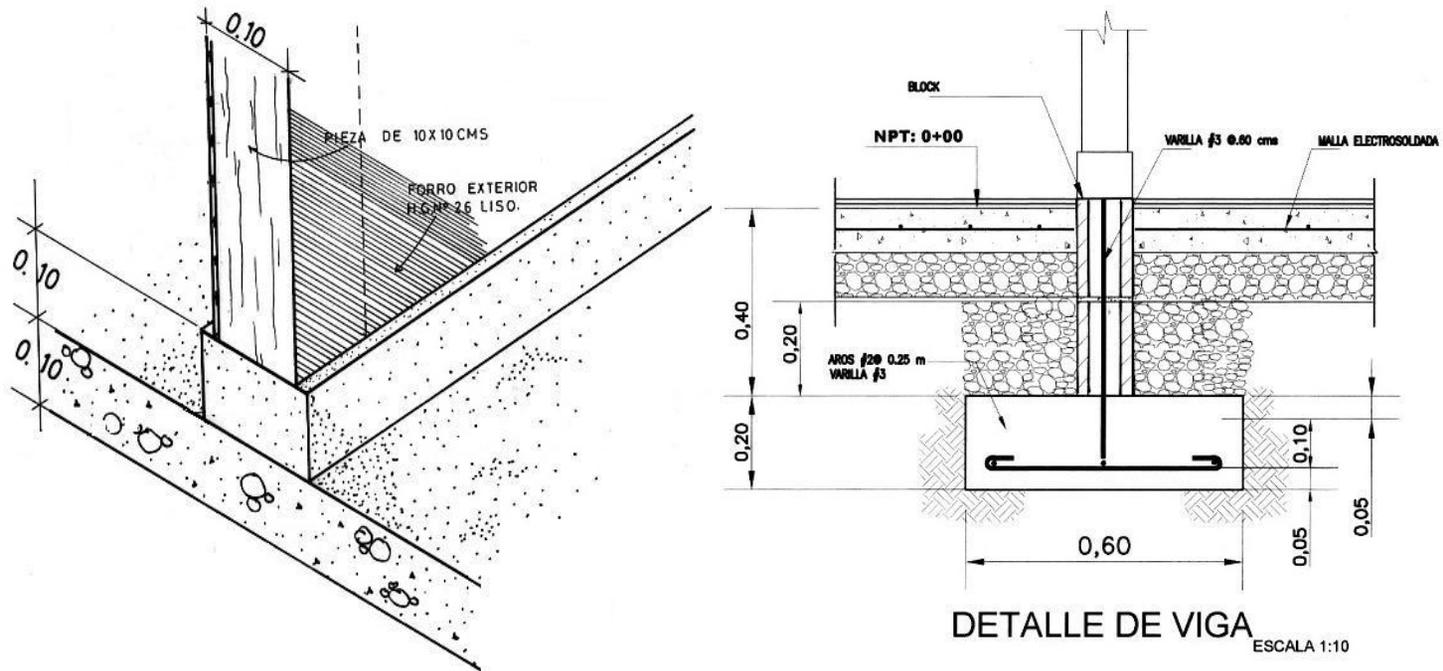
PROTOTIPO DE UNA SECADORA SOLAR

Para ejemplificar un diseño de secadora solar, se presenta a continuación el modelo de secadora construido por la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica, el cual puede servir de guía para la construcción de secadoras solares que se adapten a los recursos financieros y a las necesidades de cada industria. Este modelo fue diseñado por el Ing. Rafael Córdoba Foglia.

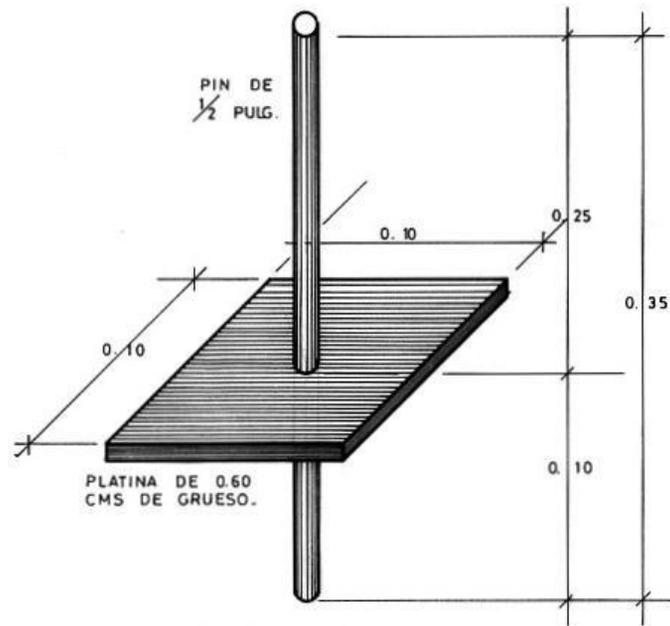
A continuación se presentan los planos que ejemplifican las características del secador solar en cuanto a:

1. Cimiento
2. Techo
3. Vistas laterales

1. Cimientos



Detalle del cordón de concreto donde se monta la estructura de madera

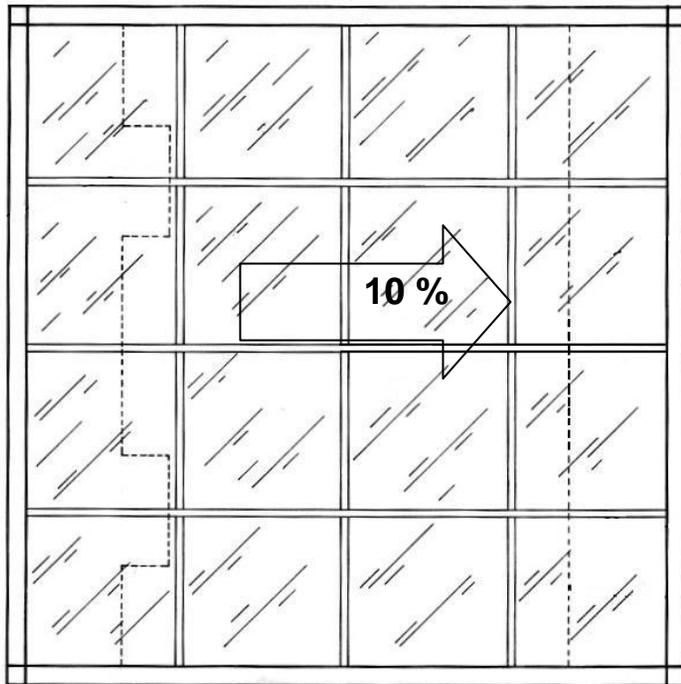


Detalles del pin de anclaje

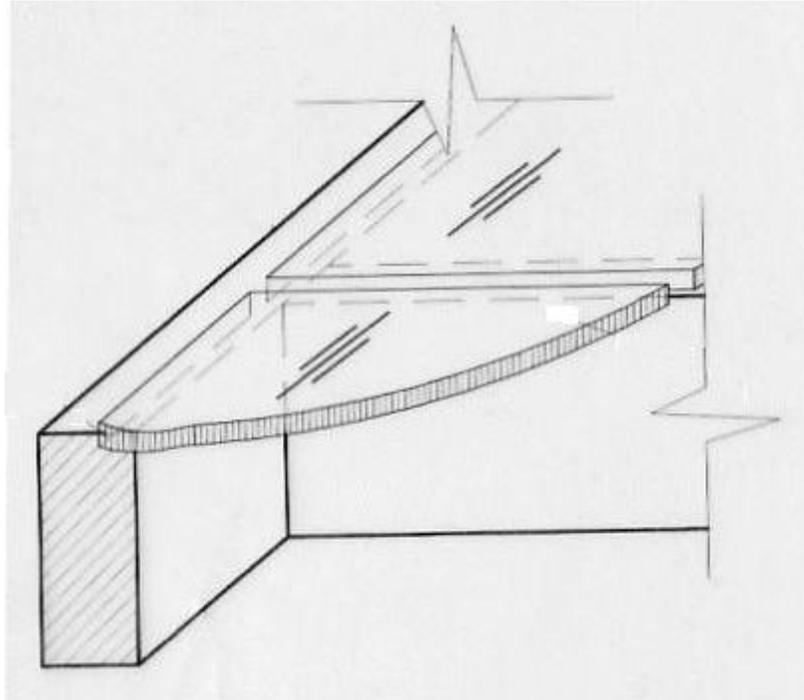


Detalle del cimiento y colocación de malla electro soldada

2. Techo



Vista superior del techo



Detalle de la colocación del vidrio

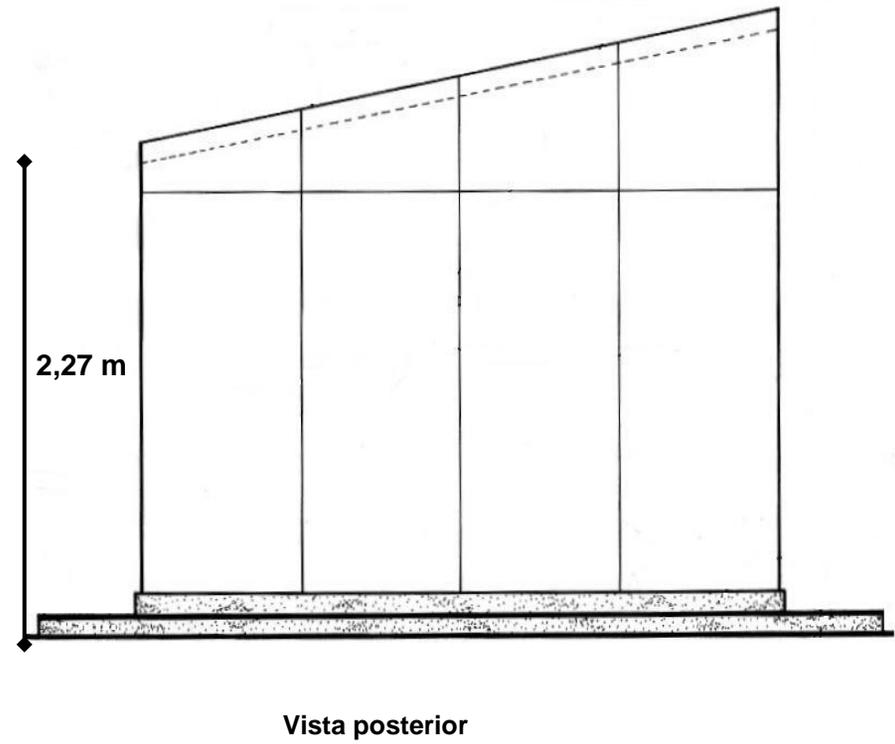
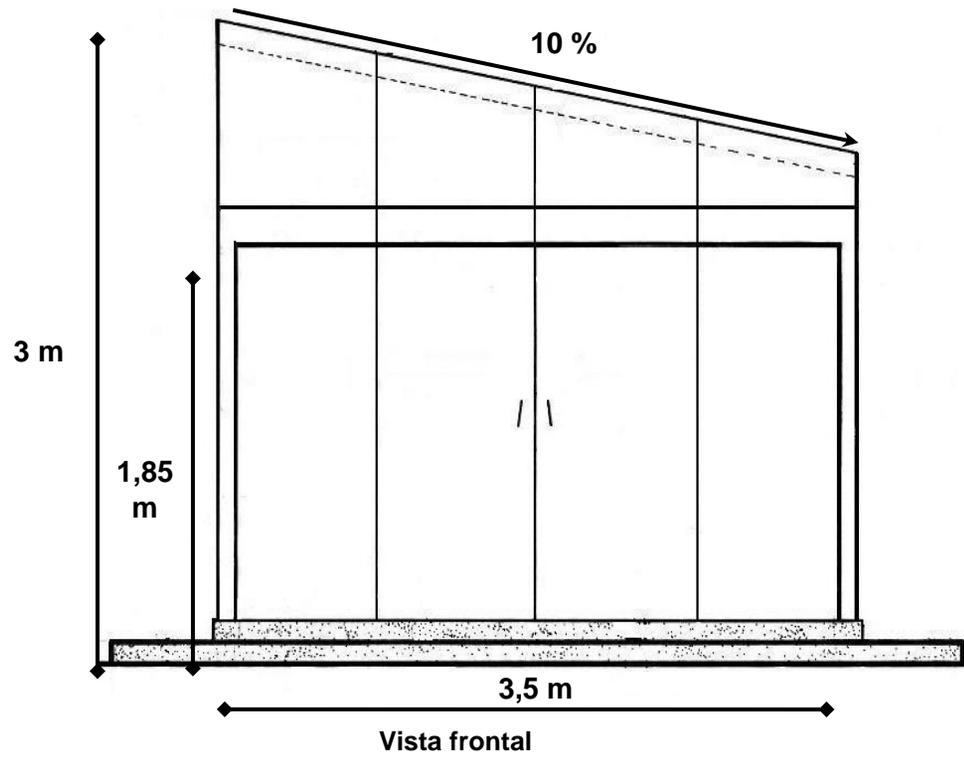


Vista superior del techo instalado

Vista inferior del techo instalado, el uso de escuadras da mejor soporte a los cuadros que sostienen el vidrio

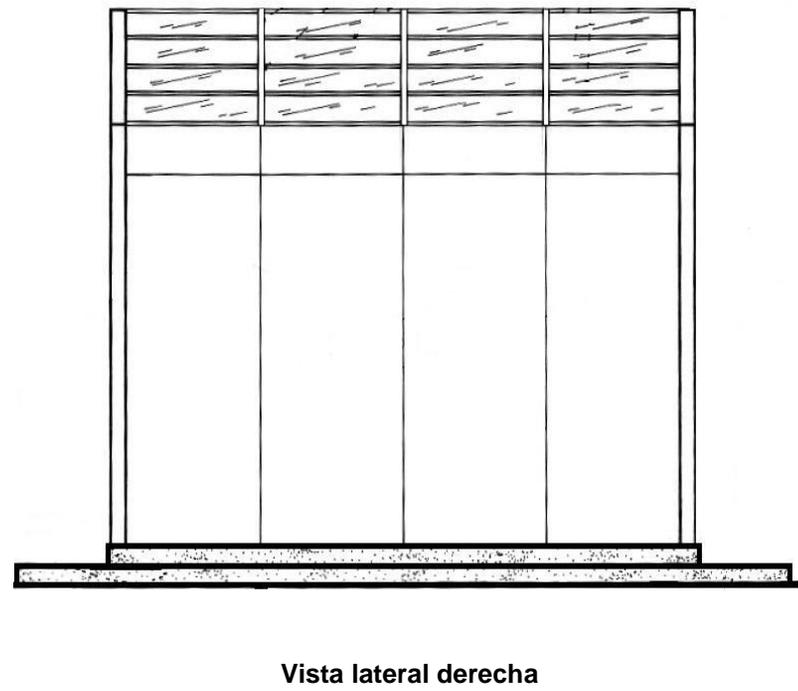
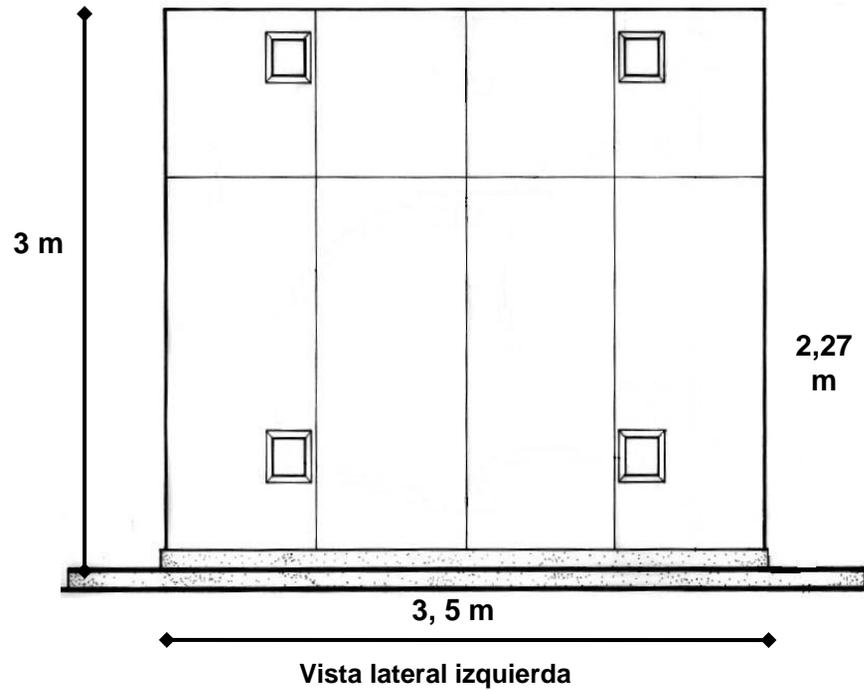


3. Vistas laterales de paredes



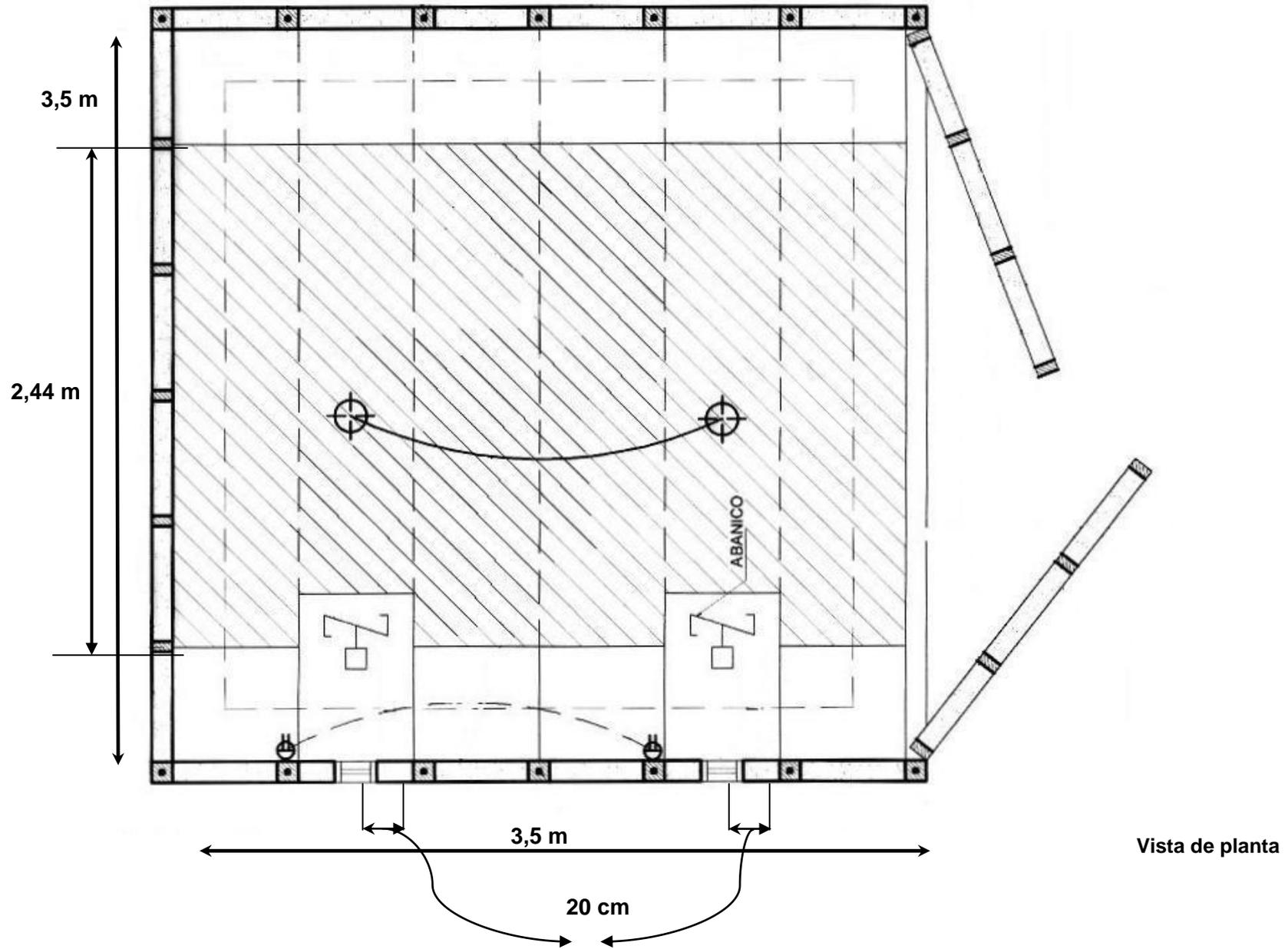


Vista frontal





Vista lateral izquierda





Instalación de fibra de vidrio



Detalle de soportes del colector y colector



Detalle de instalación y ubicación del bafle



Ubicación e instalación e instalación del ventilador

COSTOS

Se presentan los costos de la construcción de la secadora según el diseño mostrado y confeccionado en octubre del 2007. Debe aclararse que estos costos pueden rebajarse si algunos materiales se cambian por otros más económicos.

Costos de construcción de un modelo de secado solar de 6 m³ de madera.

Rubro	Valor (US\$) ¹	Porcentaje (%)
Mano de obra	2884.6	39.9
Cimiento	564.4	7.8
Paredes, puertas y ventanas	1945.8	26.9
Techo y colector	765.8	10.6
Ventiladores y sistema eléctrico	1016.5	14.1
Costos administrativos	46.2	0.6
Total	7223.3	100.0

¹Relación de cálculo: 1US\$=520 colones (¢)

Como se observa en el cuadro anterior, sin contar la mano de obra, la construcción de paredes, puertas y ventanas, los ventiladores y el sistema eléctrico, así como el techo y el colector resultan los elementos construcción más caros. Sin embargo, debe considerarse que son precisamente estos los que aseguran la calidad de la secadora.

La inversión de instalar un horno convencional para secado es de aproximadamente 50 000 US\$, es decir un 85.5% más cara que la inversión de construir una secadora solar, esto sin incluir los costos de la energía para el funcionamiento de la secadora, que en el caso del horno convencional son bastante elevados.

Se estima la vida útil del secador en 30 años. Si los ventiladores trabajan 24 horas al día y realizan 24 cargas al año pueden tener una vida útil de 4 años. Los costos de operación se detallan a continuación.

Costos de operación por metro cúbico.

Rubro	Costo (¢/m ³) ¹	Costo (US\$/m ³) ¹
Edificio (30 años)	941.6	1.8
Ventiladores (4 años)	609.7	1.2
Inversión inicial en materiales	59.5	0.1
Mano de Obra	2481.6	4.8
Energía eléctrica (1.1 kw/hr*264 hr)	408.5	0.8
Costos de mantenimiento	204.2	0.4
Costo de materiales	18.9	0.04
Equipo de control (10 años)	980.4	1.9
Subtotal	5704.4	11.04
Costo de capital (18%)	6121.08	11.77
Total	11825.5	22.83

¹Relación de cálculo: 1US\$=520 colones (¢)

El secado de madera en horno convencional cuesta en el mercado nacional $\text{¢}30\,954/\text{m}^3$ ($\text{¢}67/\text{pmt}$)³. Haciendo la inversión completa en equipamiento e infraestructura de una secadora solar, se asegura una recuperación a los 36 meses de realizada la misma, con un costo de capital de 18% anual.

Los costos de secado en la secadora de horno convencional son de $\text{¢}20\,000/\text{m}^3$ sin considerar el costo de capital (Córdoba, 2008 comunicación personal), mientras que en la secadora solar es de $\text{¢}5\,692.4/\text{m}^3$, es decir, el costo se reduce en 71.5%.

Aunque el secado al aire libre sigue siendo una opción, es importante considerar que los porcentajes de humedad que se obtienen del secado al aire llegan entre el 18 y el 24%, mientras que en la secadora solar pueden llegar entre el 8% y 12%. Aunque esta diferencia puede parecer mínima, en términos de mercados como el mueblero, puertas y juguetes, entre otros, esa reducción en los contenidos de humedad es significativa en cuanto a calidad del material para trabajar.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Antes de efectuar la inversión en la construcción de una secadora solar es importante que se evalúen las necesidades de materia prima, con el fin de construir la secadora según las necesidades óptimas del usuario.

Al diseñar y construir una secadora solar, el aislamiento térmico es de vital importancia para asegurar la calidad de la secadora.

El vidrio, aunque es frágil, resulta ser el mejor material para construir el techo de la secadora.

Para asegurar la mayor cantidad de radiación solar perpendicular al techo de la secadora, en el caso de Costa Rica, debe construirse en dirección norte-sur con inclinación de 10%.

Si se comparan los costos del secado en horno convencional con el de secadora solar, esta última ofrece la ventaja de tener una inversión inicial relativamente baja. La inversión de instalar un horno convencional podría superar en un 85,5%, la inversión de construir una secadora solar.

El retorno de la inversión con la construcción de una secadora solar cuando se requiere de un préstamo es de 36 meses. Desde este punto de vista, la construcción de una secadora solar se convierte en una buena opción para los pequeños y medianos productores.

Si no se solicita el préstamo y se tiene el dinero disponible para construir, el tiempo para recuperar la inversión es de 32 meses que es el equivalente a pagar durante este mismo tiempo, el secado a $\text{¢}23\,100/\text{m}^3$ o sea $\text{¢}50/\text{pmt}$.

El uso de secadoras solares de madera es una tecnología de muy bajo costo, con utilización de una energía renovable muy abundante en los países tropicales como Costa Rica, por lo que su implementación sería una alternativa de muy buena utilidad en las industrias forestales.

³ pmt: pulgada maderera tica, unidad que se utiliza en Costa Rica en la comercialización de madera, $1\text{ m}^3 = 462\text{ pmt}$

BIBLIOGRAFÍA

- Benítez, R.; Calderón, A. 1993. Secador solar para madera. Tegucigalpa, HO, CEMAPIF - CUPROFOR. 23 p.
- Helwa, N. 2004. Experimental evaluation of solar kiln for drying wood. *Drying Technology* 22(4):703-717.
- Martínez-Pinillos, E. 1997. Diseño y ensayo de una secadora solar para madera. *Madera y Bosques* 3(2):13-28.
- Simpson, W.T. 1992. Drying technology issues in tropical countries. Conference. *In* IUFRO (International Union of Forestry Research Organisations). Forest Products (1992, Nancy, FR). Proceedings of All-Division. Nancy, FR, IUFRO. p. 497-507.
- Villalobos, J. 2007. Equinoccios y solsticios. (en línea). San José, CR, CIENTEC. Consultado 22 ago. 2007. Disponible en <http://www.cientec.or.cr/astronomia/equinoccios.html>
- Wright, J. 2003. Estudio de la variabilidad espacial y temporal de la heliofania relativa en Costa Rica. *Top. Meteor. Oceanog.* 10(1):20-30.