

Departamento de
Agricultura de los
Estados Unidos

Servicio Forestal



Estación de
Investigación Sur

Informe Técnico
General SRS-134

DISEÑO Y OPERACIÓN DE UN SECADOR SOLAR DE MADERA PARA PAÍSES TROPICALES

Brian Bond, Omar Espinoza, y Philip Araman



Los autores:

Brian Bond, Profesor Asociado y Especialista de Extensión,
Omar Espinoza, Asociado de Postdoctorado, Departamento de
Ciencia de la Madera y Productos Forestales, Virginia Tech,
Blacksburg, VA 24060; y **Phil Araman**, Científico en Madera y
Lidera de Equipo de Investigación, Departamento de Agricultura
de los Estados Unidos, Servicio Forestal, Estación de Investigación
del Sureste, Blacksburg, VA 24060.

Aclaración

El uso de marcas o nombres de compañías en esta publicación es solo para fines ilustrativos, y no implica el respaldo del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos para ningún producto o servicio.

Enero 2011

Estación de Investigación del Sur
200 W.T. Weaver Blvd.
Asheville, NC 28804

Diseño y Operación de un Secador Solar de Madera para Países Tropicales

Brian Bond, Omar Espinoza, y Philip Araman

Diseño y Operación de un Secador Solar de Madera para Países Tropicales

Brian Bond, Omar Espinoza, y Philip Araman

Resumen

La madera es usualmente secada a un contenido de humedad específico antes de ser transformada en productos finales. A pesar de que la madera puede ser secada al aire, la humedad ambiental en la mayoría de las ubicaciones previene a la madera alcanzar el contenido de humedad necesario para su estabilidad dimensional y adecuado procesamiento, especialmente para usos de interior. Los hornos de secado solares son una alternativa económica a los hornos convencionales, especialmente para operaciones pequeñas y comunidades rurales. Hornos calentados con energía solar tiene gran potencial para países en desarrollo, especialmente en ubicaciones remotas con poco acceso a fuentes de energía convencionales. Esta publicación describe la construcción y operación de un horno solar para secar madera en latitudes tropicales.

Palabras clave: Secado de madera, secado solar, maderas tropicales, secado de maderas tropicales.

INTRODUCCIÓN

La madera es usualmente secada a un contenido de humedad específico antes de su procesamiento y uso debido a que este material cambia de dimensiones a medida que cambia su contenido de humedad. La cantidad de agua en la madera es usualmente expresada como contenido de humedad y puede ser directamente medida o calculada. El contenido de humedad de la madera (CH) es definido como la relación entre el peso del agua en la madera y el peso de la madera completamente libre de agua, o peso anhidro de la madera¹. A pesar de que la madera puede ser secada al aire, la humedad presente en muchas zonas geográficas impide que la madera secada de esta forma alcance el contenido de humedad requerido para su estabilidad dimensional y resistencia al ataque biológico, cualidades esenciales para su uso en productos de interior.

Los hornos de secado calentados con energía solar son una alternativa económica a los hornos convencionales, calentados con vapor, especialmente para operaciones pequeñas, como aficionados o artesanos. Los secadores solares de madera tienen gran potencial en países en desarrollo, especialmente en localidades con poco acceso a fuentes de energía convencionales. Esta publicación describe la construcción de un secador solar para madera diseñado para países tropicales.

DISEÑO DEL SECADOR SOLAR

El secador de madera solar descrito en esta publicación fue diseñado, construido y experimentado en la Universidad de Virginia Tech, en Blacksburg, Virginia. El diseño se basa en 25 años de investigación y desarrollo en secado solar de madera en los Estados Unidos y en otros países. Previas versiones del horno fueron construidas para secar hasta 4,7 m³ (2.000 pies tablares) de madera². La versión aquí descrita puede contener entre 1,2 a 1,9 m³ (500 a 800 pies tablares) de madera y permite secar en las condiciones ambientales comunes en países tropicales. Las fotografías que se muestran en este documento fueron tomadas durante la construcción del secador solar en Virginia Tech (Blacksburg), que tiene algunas diferencias con el diseño que se muestra en los planos (ver Apéndice con los dibujos del diseño), siendo las más importantes: (1) el ángulo del techo mostrado en las fotografías es de 45 grados, apropiado para secar en las latitudes de Virginia, mientras que el ángulo en los planos es 17 grados; y (2), las puertas del secador que muestran las fotografías están localizadas en la pared opuesta al ecuador, y los planos muestran puertas construidas en la pared que da a la línea del ecuador (cara norte para latitudes del hemisferio sur).

A pesar de que existen varios tipos de hornos solares para secar madera, el horno descrito en la presente publicación fue diseñado con dos objetivos principales: 1) debe ser relativamente económico de construir y, 2) ser simple de operar. Secar madera puede ser un proceso complejo; acelerar el secado sin tener pérdida de calidad muchas veces requiere un profundo conocimiento y experiencia. Este no es el caso del diseño aquí descrito, para el cual no se requieren profundos conocimientos ni amplia experiencia, y tampoco un control muy estricto del proceso. El tamaño del colector previene que el secador se sobrecaliente, lo cual causa rajaduras y grietas en la madera. El horno es simple de construir y utiliza un colector solar pasivo, además de cuatro paredes y piso con aislamiento térmico. La cubierta del techo es de policarbonato corrugado transparente, apto para invernaderos.

¹ Según la relación: $CH = (\text{Peso del agua presente en la madera}) / (\text{Peso de la madera libre de agua}) \times 100\%$.

² Un pie tablar es una medida de volumen para madera, consiste en una pulgada de espesor por 12 pulgadas de ancho y 12 pulgadas de largo. Un metro cúbico es equivalente a aproximadamente 424 pies tablares. Para obtener el número total de pies tablares de una pieza de madera, utilice la siguiente relación: $\text{Pies tablares de madera} = \text{largo (ft)} \times \text{ancho (pulg.)} \times \text{espesor (pulg.)} / 12$.

PRINCIPIOS DE DISEÑO

El secador solar puede contener hasta 1,9 m³ (800 pies tablares) de madera de 25,4 mm (1 pulgada) de espesor en cada carga de secado, y puede secar esta cantidad en aproximadamente un mes con clima moderadamente soleado. El horno es calentado cuando la energía solar entra por la cubierta de policarbonato y es absorbida en una de las superficies interiores pintadas de negro. La energía solar calienta el aire en el espacio del colector y éste es forzado a través de la madera usando ventiladores. A medida que el aire caliente circula absorbe humedad de la superficie de la madera, lo que aumenta la humedad relativa del aire, y cuando ésta es muy alta, es expulsada de la cámara a través de las salidas de aire (o ventilas) en la parte trasera del horno.

Diseño del Techo

El diseño del secador solar es muy similar a un invernadero. Un colector solar pasivo provee la energía térmica para secar la madera, que a su vez es generada por los rayos solares que pasan a través de la cubierta del techo y llega a la superficie absorbente dentro de la cámara. Muchos factores influyen en la cantidad de calor que puede ser obtenida de la energía solar, uno de éstos es la inclinación del techo con respecto a la horizontal, que en este diseño es de 17 grados, inclinado hacia el norte en el hemisferio sur, y hacia el sur en el hemisferio norte. El ángulo óptimo del techo depende de la localización del horno y es típicamente igual a la latitud del lugar en que va a ser instalado el secador. Una dificultad en elegir el ángulo de inclinación óptimo para el techo es que éste varía con la época del año, debido a que la posición del sol a la misma hora del día también cambia. Si se piensa secar madera durante los meses de invierno, se puede mejorar el desempeño del colector durante estos meses incrementando la inclinación del techo unos 10 grados. Muy importante, todas las referencias a el ángulo del techo y a la orientación de las paredes en esta publicación asume una ubicación en las latitudes del hemisferio sur; si el horno está ubicado al norte del ecuador, esto deberá ser considerado y hacer los cambios necesarios (por ejemplo, el techo deberá estar inclinado hacia el sur). La tabla 1 muestra las latitudes aproximadas de algunas ciudades de América del Sur.

El tipo de material transparente para el techo, o cubierta vitrificada, puede también afectar la cantidad de energía calorífica obtenida por del sol. El material usado en la cubierta debe transmitir los rayos del sol al colector, y no

reflejarlos. También deberá ser resistente a la degradación ocasionada por los rayos ultravioletas. Muchos materiales pueden usarse para la cubierta, incluyendo vidrio, filme de plástico, y paneles de fibra de vidrio (ver la sección de Referencias para información sobre diferentes tipos materiales para cubiertas). El secador construido en Virginia Tech usa policarbonato corrugado, normalmente utilizado en invernaderos. Para mejor operación en invierno o en climas más fríos, es conveniente utilizar dos capas de cubierta, separadas por listones de 90 mm (1,75 pulgadas) de ancho. La estructura para el techo es construida usando amplias separaciones, que deberán ser ajustadas para acomodar el ancho del material de cubierta (ver fig. 1).

La característica de diseño más importante de este secador es que debe existir aproximadamente 1 pie cuadrado de área de cubierta vitrificada por cada 10 pies tablares de madera de 25,4 mm (1 pulgada) de espesor a secar. Esta relación provee la cantidad adecuada de calor para roble americano (*Quercus* sp.) de 25,4 mm (1 pulgada) de espesor, pero excesivo para secar roble americano de 50,8 mm (2 pulgadas). Por el contrario, la relación deberá ser mayor (esto es, mayor área de cubierta por pie tablar de madera) para secar pino u otras especies de secado rápido. El roble americano es una de las especies más difíciles de secar debido a que un secado muy agresivo produce grietas y rajaduras, y por el contrario con un secado muy lento la madera de albura puede mancharse y descolorarse. En general, madera de mayor espesor debe secarse en un tiempo más que proporcional al requerido para secar madera más delgada; por ejemplo, madera de 50,8 mm (2 pulgadas) de espesor secará en aproximadamente dos y media veces el tiempo de secado para madera de 25,4 mm (1 pulgada) de espesor de la misma especie.

El área del colector puede incrementarse para proveer más calor (para maderas más fáciles de secar que el roble americano) extendiendo el techo hacia el sur, acompañado por una

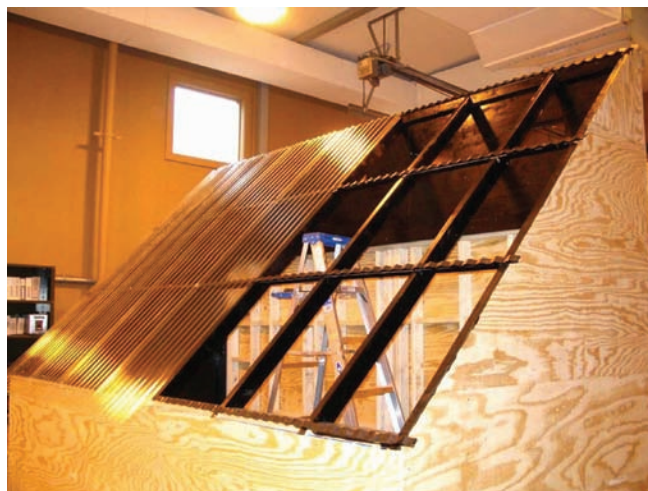


Figura 1—Interior de la cámara pintado de negro y cubierta parcialmente instalada.

Tabla 1—Latitudes en ciudades de América del Sur.

Ciudad – país	Latitud
Santa Cruz - Bolivia	17d 46m S
Lima – Perú	12d 0m S
Bogotá – Colombia	4d 32m N
Quito – Ecuador	2d 10m S

pared sur más alta, o simplemente cargando menos material dentro de la cámara (esto incrementará la relación entre el área del colector en pies cuadrados y los pies tablares de madera a más de 1:10). Para proveer menos calor sin hacer modificaciones a la estructura, reduzca el área de colector cubriéndolo parcialmente con un tablero de contrachapado de madera u otro material opaco.

Diseño Básico de la Cámara

El horno puede ser construido con bloques de concreto, ladrillo u otros materiales. El secador descrito aquí está construido usando técnicas estándares de entramado para estructuras de madera, de amplio uso en los Estados Unidos (fig. 2). El primer paso es construir el marco para el piso con vigas de 40 por 170 mm (2 por 7 pulgadas) de sección. La madera usada para el piso deberá ser químicamente tratada para prevenir su degradación por contacto con el suelo, o en su lugar utilizar una madera que sea naturalmente resistente a la pudrición. Después de construir el marco para piso, instale material aislante entre las vigas (fig. 2 y tabla 2) y cubra la parte superior del marco con plástico de 0.6 Mil para prevenir condensación dentro de la estructura. Cubra las caras superior e inferior del marco de piso con contrachapado para exteriores de 9.5 mm (3/8 de pulgada) de espesor. Luego, construya las paredes del horno usando listones de 40 por 90 mm (2 por 4 pulgadas), instale material aislante entre los listones, y cubra la cara interior y exterior de los marcos con contrachapado para exteriores de 9.5 mm (3/8 de pulgada). Las caras de los tableros de contrachapado que dan al interior de la cámara fueron pintadas con dos manos de pintura asfáltica negra, utilizada normalmente para impermeabilizar concreto, que actúa como una barrera de vapor y también como colector solar. Otra opción es usar dos manos de pintura de aluminio como barrera de vapor y después una tercera capa de pintura negra para absorber la energía solar. Algunos ejemplos de pinturas para el interior se muestran en la figura 3.



Figura 2—Estructura interior.

Tabla 2—Resistencia térmica de algunos materiales de aislamiento y construcción.

Material aislante	Espesor <i>pulg. – mm</i>	Valor RSI* <i>m² x C°/W</i>
Fibra de vidrio	1 – 25	0,55
Poliestireno expandido	1 – 25	0,65
Viruta de madera	1 – 25	0,42
Espacio de aire	1 – 25	0,18
Madera de pino	1,75 – 90	0,78
Concreto**	4 – 100	0,13
Bloque de concreto	4 – 100	0,12
	12 – 300	0,22
Ladrillo común	4 – 100	0,07

* Resistencia de un material al flujo de calor. El valor de RSI se incrementa en directa proporción al espesor del material aislante
 ** Densidad= 1,760 kg/m³ (110 lb/ft³)

El exterior es pintado con pintura para exteriores para prevenir degradación ocasionada por el clima. Tenga cuidado de no usar una pintura que actúe como barrera de vapor en la superficie exterior, pues la humedad que migre dentro de las paredes no tendrá forma de escapar al exterior.

El diseño descrito aquí tiene puertas en la parte trasera de la estructura para cargar, descargar e inspeccionar las muestras de secado (fig. 4). Opcionalmente, se pueden añadir dos puertas de acceso en las paredes laterales (caras este y oeste) para permitir la periódica inspección de la madera y medición del contenido de humedad. Otra posible modificación al diseño es un techo levadizo por medio de bisagras en la pared sur y una pared norte desmontable en lugar de puertas. Esto permite que el techo se eleve y la pared sur se remueva para facilitar el cargado y descargado del horno. Las ventilas deberán ser colocadas invariablemente en la pared sur (para el hemisferio sur), y pueden ser simples aberturas enmarcadas con una pequeña pieza de contrachapado para cubrirla cuando sea necesario, o también se puede adquirir una ventila comercial de abertura regulable, similar a las usadas para ventilación de sótanos.



Figura 3—Cubiertas que pueden usarse para sellar la cara interior de las paredes del secador y las testas de las muestras de control. De izquierda a derecha: pintura de aluminio para techos, un recubrimiento comercial para hornos, y un impermeabilizante de techos a base de goma.



Figura 4—Vista posterior del secador mostrando las puertas de acceso y las ventilas. En el secador descrito en la presente publicación, las puertas se encuentran en la pared opuesta.

Los tres ventiladores usados en este diseño son de bajo costo, con aspas de plástico, tres velocidades y configuración de caja (fig. 5). Los ventiladores son asegurados a la estructura del techo a aproximadamente 0,50 m (20 pulgadas) de la pared sur con un deflector de contrachapado alrededor de ellos, extendiéndose 0,90 m (36 pulgadas) hacia abajo y del mismo largo que el interior de la cámara para forzar el aire a pasar a través de la pila de madera (fig. 6). Cuando el horno este vacío, tenga cuidado de no dejar las puertas completamente cerradas debido a que la temperatura de un horno vacío puede exceder los 90 °C (200 °F), y dañar las aspas de plástico de los ventiladores.

OPERACIÓN DEL SECADOR SOLAR

Preparación de la Madera

La madera recién cortada y verde (con alto contenido de humedad) deberá ser pintada en las testas con pintura impermeabilizante o selladora (pintura asfáltica o a base



Figura 5—Vista frontal del secador, mostrando los ventiladores.

de aluminio, u otro impermeabilizante) inmediatamente después del aserrío para prevenir grandes pérdidas por rajaduras y grietas en los extremos de las tablas. El sellado de testas no es muy efectivo cuando la madera ya ha comenzado a secarse. La madera deberá ser apilada en el horno dejando una distancia de por lo menos 0,30 m (1 ft) a cada lado del paquete (entre el paquete de madera y las paredes norte y sur) para permitir una adecuada circulación de aire. El apilado de la madera debe hacerse en capas uniformes, separadas por espaciadores colocados en orientación perpendicular al largo de la madera (fig. 6). Otra consideración importante es que la madera debe ser de espesor uniforme. Si la madera aserrada tiene espesor variable, una o las dos caras de las tablas deberán ser cepilladas antes del secado para obtener un espesor uniforme y reducir de esta manera las torceduras durante el secado. La madera verde deberá ser apilada con separadores inmediatamente después del aserrado, de lo contrario puede comenzar a mancharse, especialmente durante los meses cálidos y húmedos.

Los separadores usados entre cada capa de madera son típicamente de 19 a 25 mm (3/4 a 1 pulgada) de espesor y 25 a 30 mm (1 a 1-3/16 pulgadas) de ancho, y de largo igual al ancho del paquete de madera. Es importante que los separadores sean de espesor uniforme y se mantengan secos. Los separadores son colocados perpendicularmente al largo de las tablas, cada 0,30 o 0,50 m (12 a 20 pulgadas) y en alineación vertical con los separadores de capas adyacentes. Si la madera es de largos variables, las piezas más largas se deben colocar en ambos costados del paquete y las piezas más cortas deben ser alternadas de un extremo a otro del paquete, igualando las piezas más largas, para lograr un paquete uniforme. Los extremos de cada pieza de madera deben estar siempre soportados por separadores. Los separadores mantienen la madera recta, previniendo torceduras; y también permiten la circulación de aire a través del paquete, secando la madera.

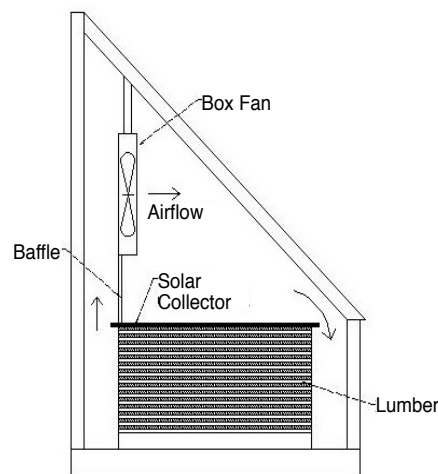


Figura 6—Diagrama del secador solar mostrando los ventiladores, el deflector, el absorbente, y el espacio para circulación de aire entre la madera y las paredes.

A medida que la madera es apilada, varias muestras de control, o testigos, deben ser cortados (vea la sección Procedimientos para Cortar y Usar Muestras de Secado). Inspeccionar periódicamente estas muestras permite determinar el contenido de humedad de la madera en el horno y observar posibles defectos de secado que se estén desarrollando. Después de que la madera es apilada y colocada dentro de la cámara, instale una capa final de separadores y además un tablero de contrachapado pintado de negro para actuar como absorbente.

Controlando el Proceso de Secado

Monitorear el contenido de humedad (CH) durante el secado es importante para evitar un secado muy rápido que resulta en pérdidas de calidad, y para saber cuándo la carga ha alcanzado la humedad deseada. Las muestras de control (o testigos) son usadas para medir el contenido de humedad cada día y determinar la pérdida de humedad por día. Esta pérdida deberá ser comparada con la tasa segura de secado para la especie que se está secando. Si la tasa de secado es muy alta, entonces será necesario bloquear parte del colector o apagar los ventiladores y abrir las ventilas durante la parte más cálida del día.

A pesar de que el horno solar descrito en esta publicación está diseñado para secar roble americano de manera que no se desarrollen grietas ni rajaduras, de todas formas es conveniente monitorear el proceso de secado. Controlar la pérdida de humedad diaria y la calidad de la madera durante el secado ayudará a maximizar la eficiencia del secador solar. La madera debe ser secada a un ritmo igual a su “tasa segura de secado.” La tasa segura de secado se refiere a la pérdida de contenido de humedad por día, no al promedio de humedad perdida en varios días. Debido a que la tasa segura de secado para la mayoría de especies tropicales no es conocida, se deben monitorear las pérdidas de humedad diarias y también la calidad del secado y ajustar el proceso según sea necesario. La tabla 3 lista la tasa segura de secado para algunas especies latifoliadas comunes en Norteamérica. En general, las maderas coníferas pueden secarse mucho más rápido que las latifoliadas, normalmente perdiendo más de 10 puntos porcentuales de humedad por día sin mayor desarrollo de defectos de secado.

Tabla 3—Tasas seguras de secado para algunas especies latifoliadas de Norteamérica.

Especie	Densidad <i>g/cm³ – lb/ft³</i>	Máxima pérdida de humedad al día	
		25,4 mm (1 pulg.) de espesor	50,8 mm (2 pulg.) de espesor
		-----por ciento-----	
Cherry	0,53 – 33,1	5,8	2,3
Beech	0,68 – 42,4	4,5	1,8
Red oak	0,62 – 38,7	3,0	1,5
Yellow-poplar	0,46 – 28,7	13,8	5,5

Cuando el contenido de humedad de la madera es el máximo (madera verde o recién cortada), es de crítica importancia adherirse a la tasa segura de secado. Es durante el primer tercio de pérdida de contenido de humedad que ocurren la mayoría de los agrietamientos y rajaduras. Una vez que la madera está a menos de 22 por ciento de contenido de humedad, el riesgo de crear nuevas rajaduras o agrietamientos es bajo. El contenido de humedad final deberá estar lo más cerca posible al contenido de humedad de equilibrio (CHE) de las condiciones de servicio. Esto limitará la cantidad de cambios dimensionales que ocurrirán cuando la madera sea procesada y esté en servicio. Como ejemplo, la tabla 4 lista el contenido de humedad de equilibrio promedio para exteriores en algunas ciudades de América del Sur.

Si la madera está secando muy rápidamente, existen varias maneras de reducir la tasa de secado. El mejor método es simplemente cubrir parcialmente el colector. Apagar los ventiladores también bajará la tasa de secado pero resultará en temperaturas altas que pueden derretir las aspas de plástico de los ventiladores.

Es poco práctico pesar cada tabla en el secador para medir la pérdida de contenido de humedad, y los medidores eléctricos de humedad no son precisos a más de 30 por ciento de humedad. Por lo tanto, use el método de muestras de control para determinar el contenido de humedad de la madera dentro del horno. Este método usa muestras cortas cuidadosamente seleccionadas, cortadas de piezas de madera más largas. Estas muestras son pesadas periódicamente y con estos datos se calcula el contenido de humedad estimado. Como las piezas más húmedas o más lentas de secar, como las tablas de corte radial, dentro de una carga tienen el mayor riesgo de rajarse y agrietarse, las muestras de control deberán representar estos dos tipos de madera. Típicamente, las muestras deberán ser cortadas de las piezas recientemente aserradas, de las tablas más anchas y de mayor espesor, de piezas con contenido predominante de madera de duramen, y de tablas de corte radial.

La temperatura dentro del horno incrementará durante el día hasta alcanzar su máximo valor a la mitad de la tarde, y entonces bajará en la noche. A medida que el aire

Tabla 4—Contenido de humedad de equilibrio (CHE) promedio para exteriores en tres ciudades de Bolivia.

Ciudad	CHE (%)
Lima-Peru ¹	15,7
Brasilia-Brasil ¹	12,3
Santa Cruz-Bolivia ²	12,6

¹ Calculado con datos en: Simpson, William T. 1998. Equilibrium moisture content of wood in outdoor locations in the United States and worldwide. Res. Note FPL-RN-0268.

² Calculado usando datos históricos de temperatura y humedad relativa del servicio Boliviano de clima.

dentro de la cámara enfría en la noche, la humedad relativa aumenta significativamente. El incremento de humedad en la noche es beneficioso pues permite reducir o liberar las tensiones de secado que se desarrollan durante el día. El resultado de secar durante el día y tener humedad creciente en la noche ayuda a minimizar las tensiones. Los ventiladores deberán ser apagados durante la noche por la misma razón.

Existen dos simples controles que pueden hacer la operación de su secador solar más sencilla. Un simple temporizador puede controlar la operación de los ventiladores. Este control puede ajustarse para prender los ventiladores en la mañana, cuando la temperatura del horno aumenta, y apagarlos en la noche, cuando la temperatura baja. Un humidistato puede también ser usado para apagar los ventiladores en días de lluvia, en los que la humedad exterior es alta, lo que es perjudicial para el proceso de secado.

Modificaciones al Diseño

Como se mencionó en la sección del diseño del techo, el ángulo del techo con respecto a la horizontal debe de ser igual a la latitud de la localidad en que operará el secador, por lo tanto la adaptación más importante es dar al techo el ángulo apropiado, para lograr esto puede ser necesario bajar o elevar las paredes del secador. Al hacer estas modificaciones, debe tomarse en cuenta que la relación entre área de colector y el volumen de madera debe mantenerse en aproximadamente un pie cuadrado de colector por cada 10 pies tablares de madera.

Una modificación que se puede realizar en países tropicales es hacer transparente la pared norte, incrementando el área de colector. Esto no fue incorporado en el presente diseño debido a que se reduciría el área de pared con aislamiento. A mayor tamaño de colector, mayor la energía solar que entra a la cámara de secado; sin embargo, mayor es la pérdida de calor en clima frío a través de la pared transparente. En climas templados y fríos, la pérdida de calor a través de una pared sur transparente compensaría y excedería las ganancias de calor a través de dicha pared.

Si usted quiere que su horno funcione enteramente con energía solar, existen varias opciones disponibles, siendo las dos más comunes 1) usar paneles solares y un transformador de corriente para proveer electricidad a los ventiladores de corriente alterna (AC), o 2) usar paneles solares y reemplazar los ventiladores por ventiladores a corriente discontinua (DC). Las dos opciones incrementan significativamente el costo de construir el secador solar. Por ejemplo, para el secador descrito en este documento, utilizar energía solar para los ventiladores incrementaría el costo de construcción en un 50 por ciento a dos tercios.

PROCEDIMIENTO PARA CORTAR Y USAR LAS MUESTRAS DE CONTROL

1. Seleccione algunas tablas del paquete de madera que representen el material de secado más lento. Estas tablas deberían ser las más anchas, gruesas, y con mayor contenido de humedad; y aquellas piezas que contienen más madera de duramen o madera de corte radial.
2. Corte una muestra de 0,60 a 0,75 m (24 a 30 pulgadas) de largo, libre de nudos y cortada a por lo menos 0,30 m (12 pulgadas) de los extremos de la tabla. Corte luego dos secciones de humedad de 25,4 mm (1 pulgada) a lo largo del grano de ambos extremos de la muestra de control como muestra la figura 7. Asegúrese de enumerar las dos secciones de humedad y la muestra de control.
3. Inmediatamente pese las dos secciones de humedad de 25,4 mm (1 pulgada) con una precisión de 1 gramo, y registre el peso. Pese rápidamente después del corte, pues es importante que estas secciones no pierdan peso, lo cual distorsionaría los resultados. No selle las testas de estas secciones.
4. Coloque las secciones de 25,4 mm (1 pulgada) en un pequeño horno a 102 °C, por un tiempo de 18 a 36 horas, dependiendo del horno. Pese las secciones nuevamente y obtenga el peso de la sección totalmente seca (este es el peso anhidro).
5. Calcule el contenido de humedad (CH) de cada sección según la ecuación 1, y promedie el CH de las dos secciones para obtener el CH de la muestra de control.

$$CH\% = \frac{\text{Peso de la sección húmeda}}{\text{Peso anhidro de la sección}-1 \times 100\%} \quad [1]$$

6. Proceda luego a sellar las testas de la muestra de control con una pintura selladora o dos capas de pintura de aluminio (fig. 8) para evitar pérdida de humedad por estas caras. Ahora, pese la muestra de control y registre el nuevo peso (con una precisión de 5g). Este es el peso húmedo de la muestra de control.

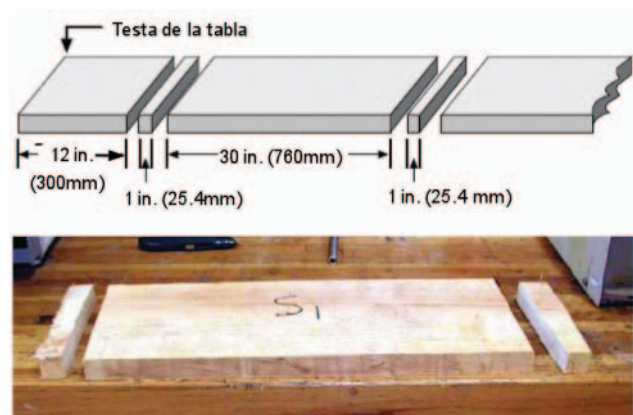


Figura 7—Dimensiones de la muestra para controlar el proceso de secado.

- Usando la ecuación 2, estime el peso anhidro de la muestra de control usando el contenido de humedad promedio calculado en el paso 5 y el peso medido en el paso 6 y registre este peso de manera que este pueda usarse para futuros cálculos de contenido de humedad.

$$\text{Peso anhidro de muestra (g)} = \frac{\text{Peso de muestra de control húmeda}}{100 + \text{CH}\%} \quad [2]$$

- Coloque la muestra de control en el paquete de madera en una ubicación donde pueda secar al mismo ritmo que el resto de la carga (fig. 9).
- Para determinar el contenido de humedad de la muestra de control en cualquier momento, pese la muestra nuevamente y use la ecuación 3. La figura 10 muestra un ejemplo de registro para el proceso de secado.

$$\text{CH actual (\%)} = \left(\frac{\text{Peso actual de la muestra de control}}{\text{Peso anhidro de muestra}} - 1 \right) \times 100\% \quad [3]$$

- Detenga el proceso de secado cuando el contenido de humedad actual (CH actual) sea igual al objetivo.

RECONOCIMIENTOS

Agradecimientos especiales a las personas que asistieron en el diseño y construcción del secador solar: Rick Caudill,

Kenny Albert, y Fred Albert. Parte de la información presentada fue adaptada de: Wengert, E.M. Solar Heated Lumber Dryer for the Small Business. MT # 20 Utilization and Marketing. Virginia Cooperative Extension Service. Virginia Tech. Blacksburg, VA. Abril, 1980.

REFERENCIAS

Materiales de Cubierta

Diferentes tipos de cubiertas para invernadero. www.igcusa.com/TECHNICAL/Coverings.html. [Fecha de acceso: Abril 30 del 2010].

Giacomelli, G.A. Greenhouse Glazings: What's New under the sun, under the glazing, and at the plant canopy. Southeastern United States Greenhouse Vegetable Growers Conference and Trade Show Proceedings.

Secado de Madera

Estas publicaciones pueden ser encontradas en www.fpl.fs.fed.us:

Simpson, W.T., ed. 1991. Dry Kiln Operator's Manual. United States Department of Agriculture Forest Service. Forest Products Laboratory. Agric. Handb. 188. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture Forest Service, Forest Products Laboratory. 274 p.

Denig, J.; Wengert, E.M.; Simpson, W.T. 2000. Drying hardwood lumber. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-118. Madison, WI: United States Department of Agriculture Forest Service. Forest Products Laboratory. 138 p.

Forest Products Laboratory. Air drying of lumber. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-117. Madison, WI: United States Department of Agriculture Forest Service. Forest Products Laboratory. 62 p.

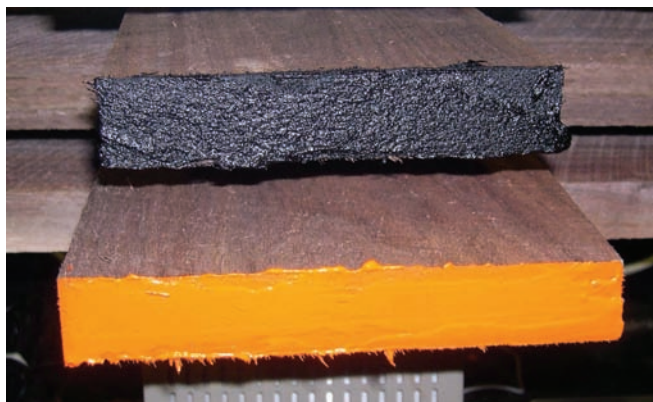


Figura 8—Muestra de control con diferentes pinturas para sellar de testas.



Figura 9—Un paquete de madera con las muestras de control.

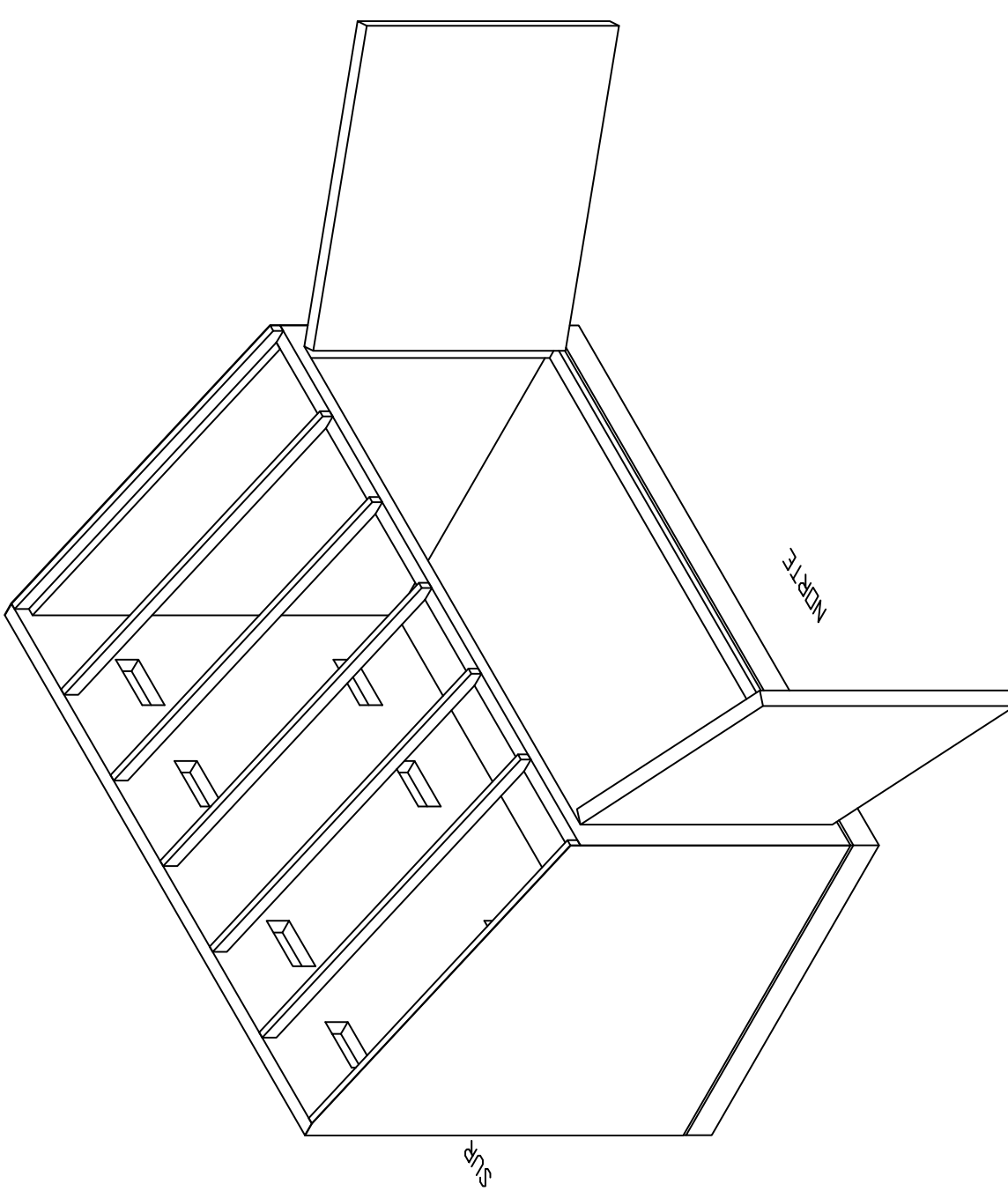
Numero de muestra		Secciones de humedad		Muestras de control				
		Peso húmedo (g)	Peso anhidro (g)	Peso húmedo (g)	Peso anhidro (g)	Día		
						1	2	3
1	Peso							
	CH							
2	Peso							
	CH							

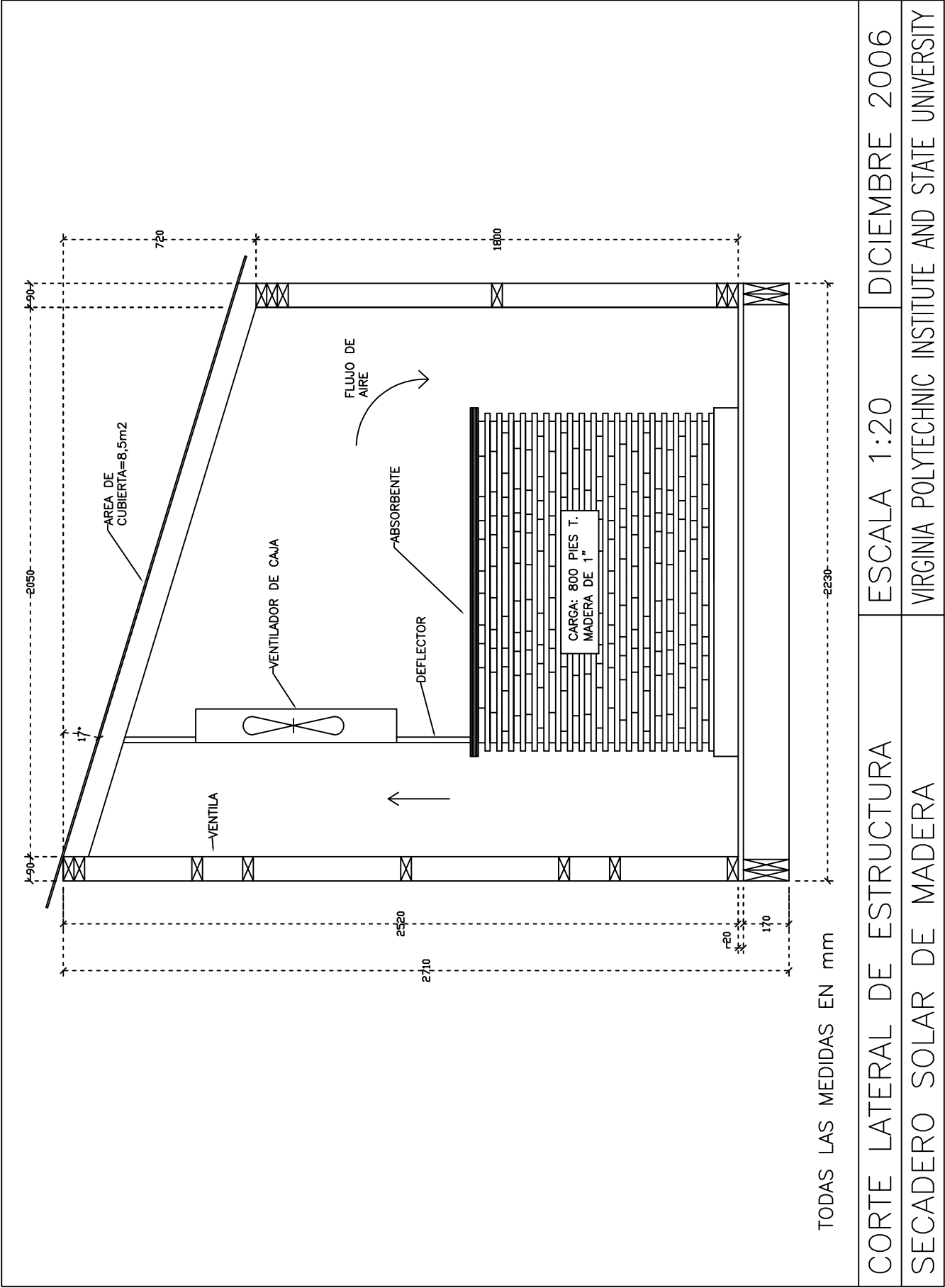
n	Peso							
	CH							

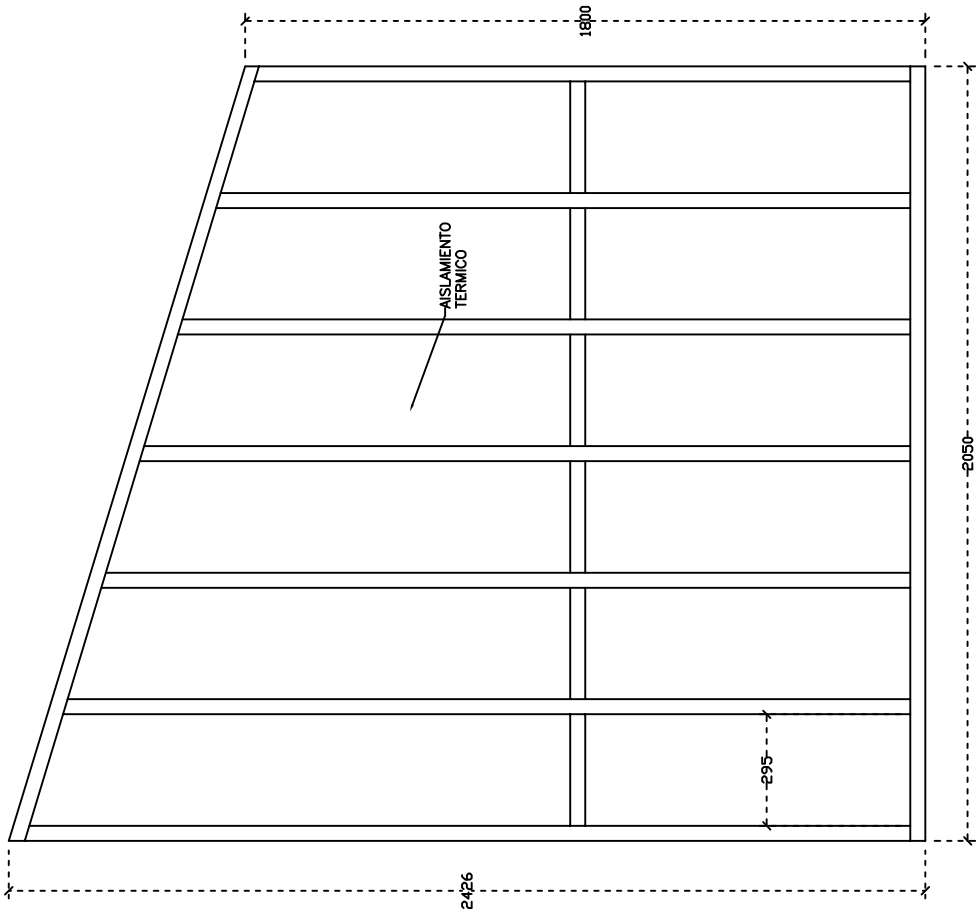
Figura 10—Ejemplo de registro para datos de muestras de control.

APÉNDICE

Los planos de diseño para el horno solar

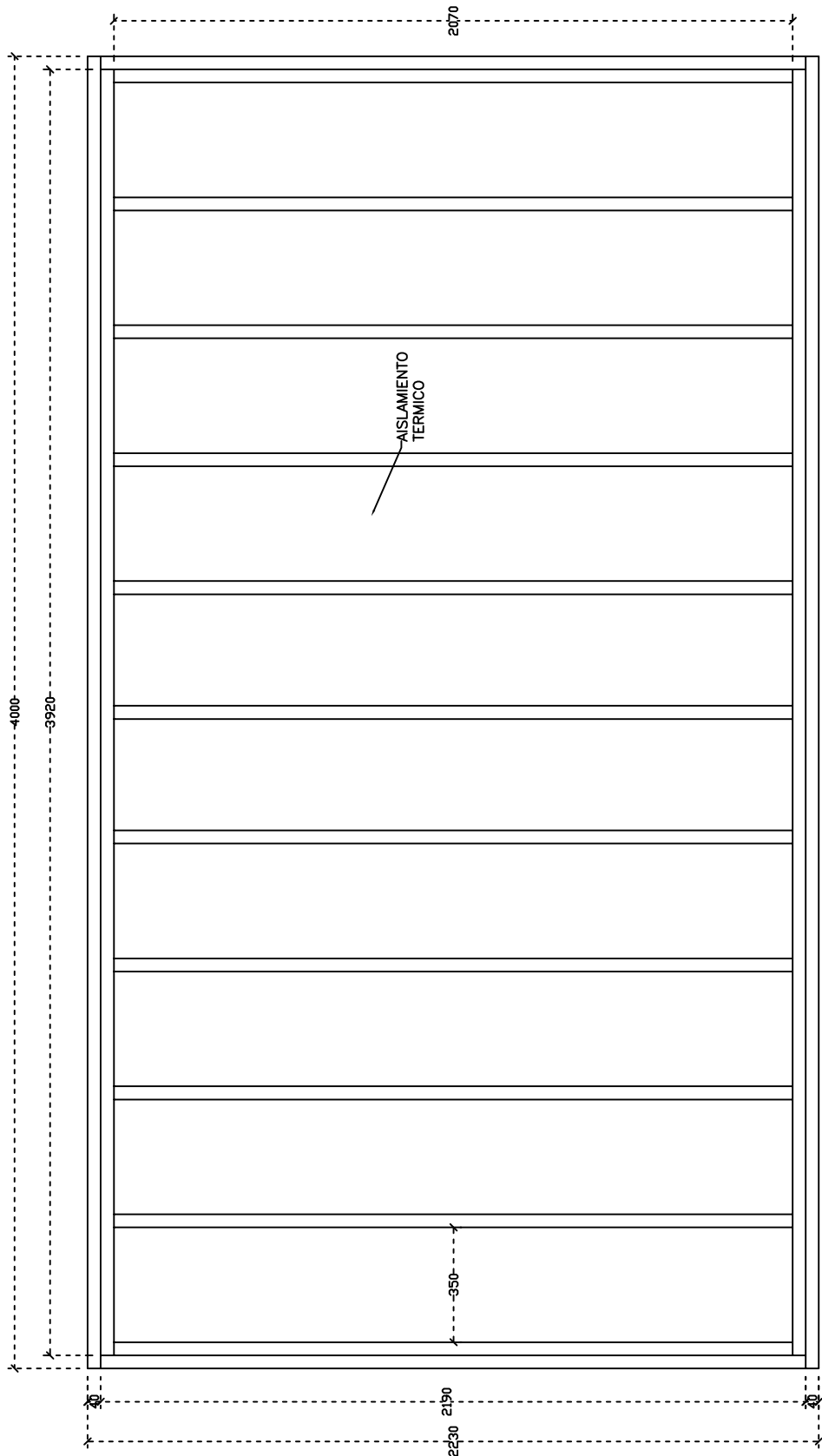
		ESCALA 1:20	DICIEMBRE 2006
VISTA ISOMETRICA	VIRGINIA POLYTECHNIC INSTITUTE AND STATE UNIVERSITY		
SECADERO SOLAR DE MADERA			





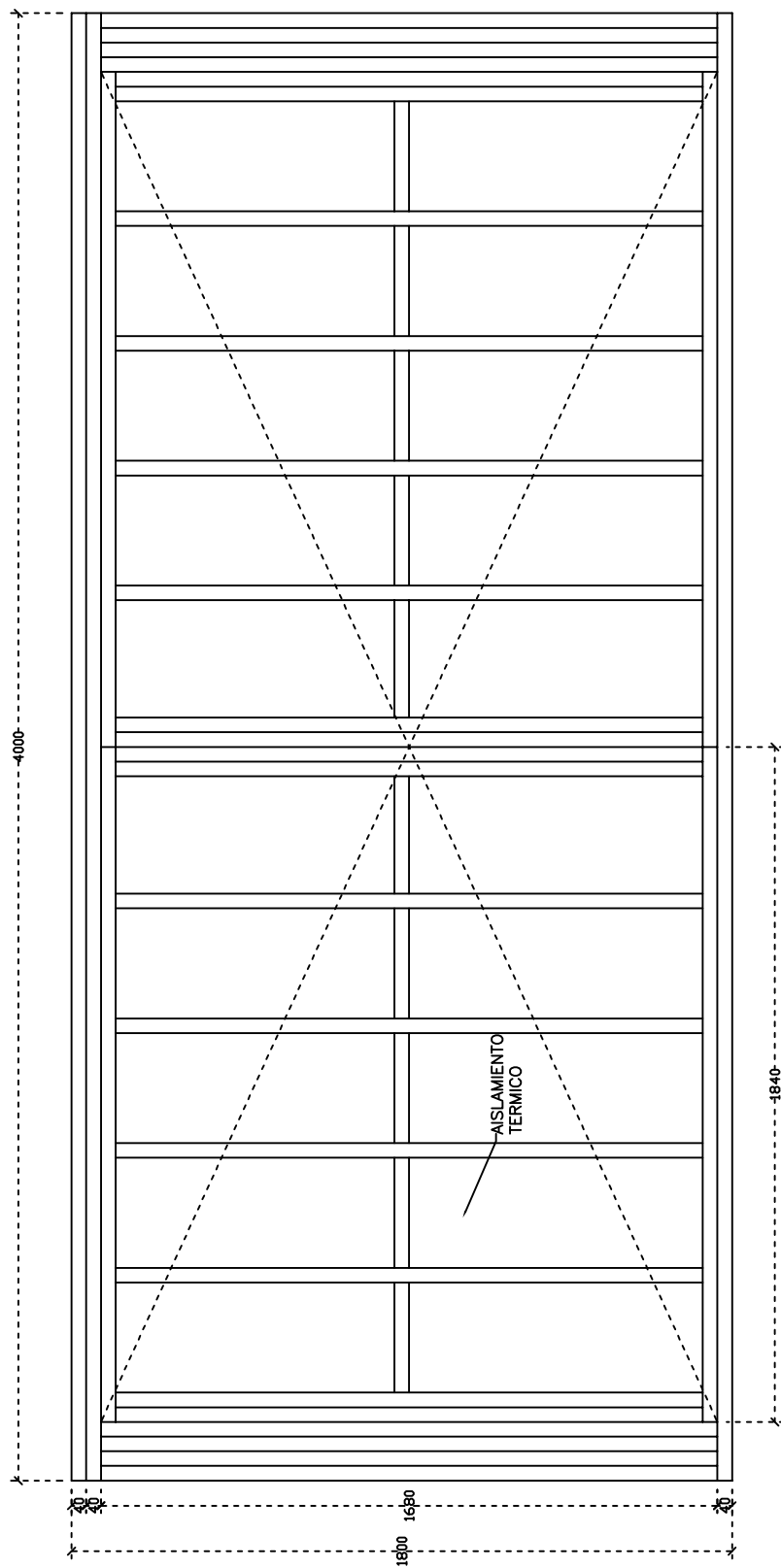
USAR LISTONES DE 90x40mm – TODAS LAS MEDIDAS EN mm

ESTRUCTURA PAREDES ESTE Y OESTE	ESCALA 1:20	DICIEMBRE 2006
SECADERO SOLAR DE MADERA	VIRGINIA POLYTECHNIC INSTITUTE AND STATE UNIVERSITY	



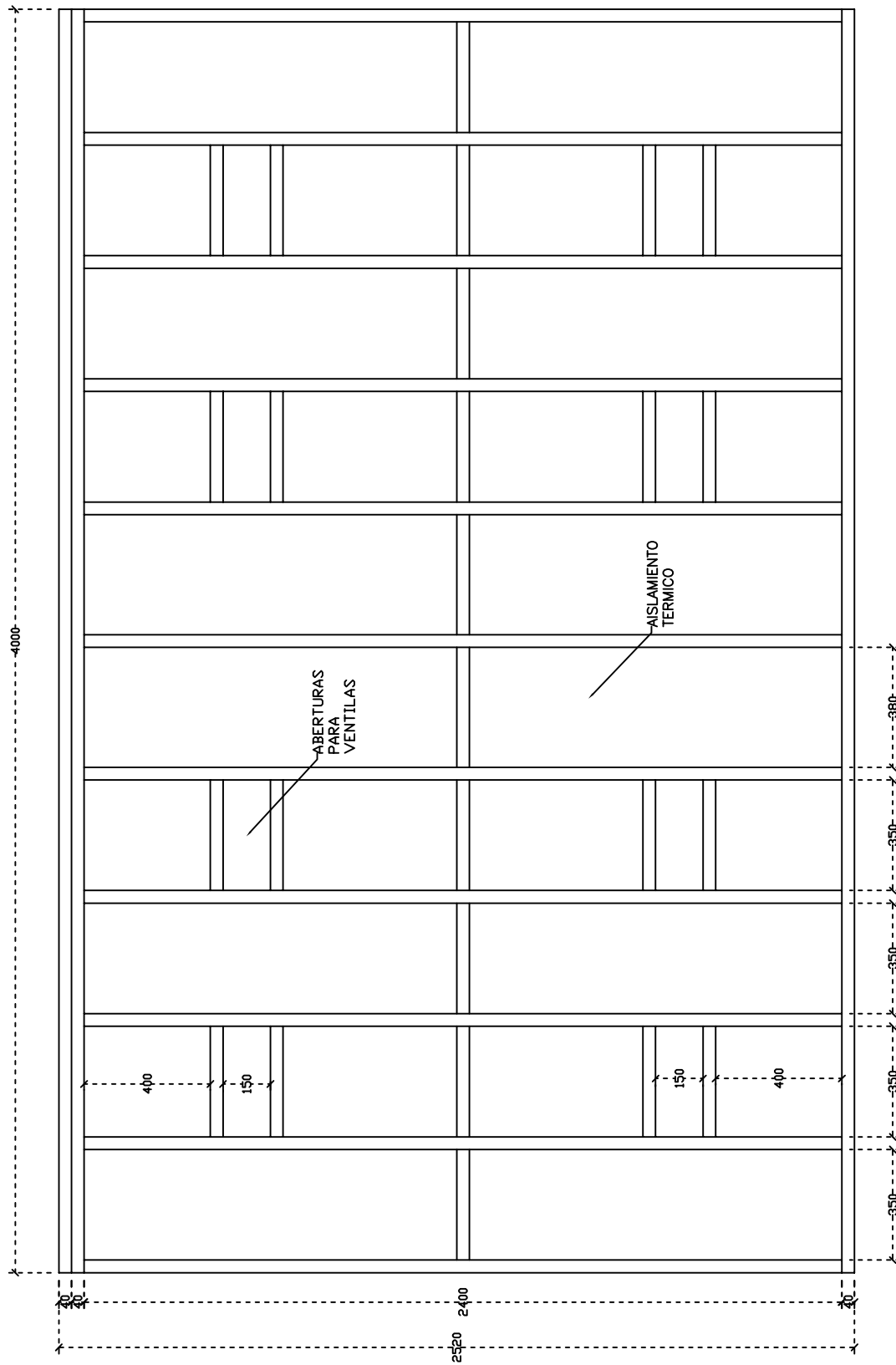
USAR LISTONES DE 90x40mm (USAR MADERA TRATADA PARA CONTACTO CON SUELO)
TODAS LAS MEDIDAS EN mm

ESTRUCTURA PARA PISO	ESCALA 1:20	DICIEMBRE 2006
SECADERO SOLAR DE MADERA	VIRGINIA POLYTECHNIC INSTITUTE AND STATE UNIVERSITY	



USAR LISTONES DE 90x40mm – TODAS LAS MEDIDAS EN mm

ESTRUCTURA PARED NORTE Y PUERTAS	ESCALA 1:20	DICIEMBRE 2006
SECADERO SOLAR DE MADERA	VIRGINIA POLYTECHNIC INSTITUTE AND STATE UNIVERSITY	



USAR LISTONES DE 90x40mm – TODAS LAS MEDIDAS EN mm

ESTRUCTURA PARED SUR	ESCALA 1:20	DICIEMBRE 2006
SECADERO SOLAR DE MADERA	VIRGINIA POLYTECHNIC INSTITUTE AND STATE UNIVERSITY	

Bond, Brian; Espinoza, Omar; Araman, Philip. 2011. Diseño y Operación de un Secador Solar de Madera para Países Tropicales. Informe Técnico Gral. SRS-134. Asheville, NC: Departamento de Agricultura, Servicio Forestal, Estación de Investigación Sur. 13 p.

La madera es usualmente secada a un contenido de humedad específico antes de ser transformada en productos finales. A pesar de que la madera puede ser secada al aire, la humedad ambiental en la mayoría de las ubicaciones previene a la madera alcanzar el contenido de humedad necesario para su estabilidad dimensional y adecuado procesamiento, especialmente para usos de interior. Los hornos de secado solares son una alternativa económica a los hornos convencionales, especialmente para operaciones pequeñas y comunidades rurales. Hornos calentados con energía solar tiene gran potencial para países en desarrollo, especialmente en ubicaciones remotas con poco acceso a fuentes de energía convencionales. Esta publicación describe la construcción y operación de un horno solar para secar madera en latitudes tropicales.

Palabras clave: Secado de madera, secado solar, maderas tropicales, secado de maderas tropicales.

