

huella

cuadernos de divulgación académica

10

Gerhard Kunze

horno solar
para secar madera
en la sierra huichola



iteso

**HORNO SOLAR
PARA SECAR MADERA
EN LA SIERRA HUICHOLA**

Gerhard Kunze

**HORNO SOLAR
PARA SECAR MADERA
EN LA SIERRA HUICHOLA**



© D.R. 1985 Instituto Tecnológico
y de Estudios Superiores de Occidente, ITESO,
Comisión para el Fomento Editorial, COFE
Av. Niños Héroes 1342-8, 44189 Guadalajara, Jal., México.
Impreso y hecho en México
Printed and made in México

ISBN 968-511-011-5

Introducción

La energía solar ya ha encontrado muchos campos de aplicación. En aquellos casos donde se necesitan grandes cantidades de calor a temperaturas bajas, el sol es la fuente de energía por excelencia. Un ejemplo típico que presenta estas características es el secado de la madera.

La madera recién cortada tiene un contenido de humedad de 40 a 80% según la especie. Pero en el momento de su transformación a productos terminados la humedad debe fluctuar entre 10 y 18% solamente, para evitar que la madera después todavía se deforme o se raje.

Un secado cuidadoso requiere de buena técnica y de experiencia. Tradicionalmente es común secar la madera en patios al aire libre. Pero esta técnica sencilla tiene sus limitaciones. En lugares de aire muy húmedo la madera nunca llega al grado de humedad deseado. Por otra parte, en lugares de aire muy seco el secado procede tan rápido que la madera se tuerce y/o se raja. Esto es cierto sobre todo de maderas de latifoliados como el encino, cuya madera es de muy buena calidad y de alto valor en el extranjero. A pesar de que en México el encino es todavía bastante común, casi no se aprovecha, porque en los lugares donde crece el aire es demasiado seco para un secado al aire libre. Se podría pensar

en llevar los troncos enteros de encino desde los lugares de su origen hasta un aserradero a orillas del mar con clima húmedo para secar las tablas allá. Pero, como ya hemos visto, en un clima húmedo no se alcanza la humedad deseada. Además, al final del proceso habría que devolver las tablas a la sierra de su origen.

Parecería más fácil diseñar una cámara con clima artificial —un horno de secado. Ya se ofrece una variedad de estos aparatos en el mercado. Sin embargo, estos hornos son más bien la excepción que la regla en los aserraderos mexicanos, probablemente por su alto costo y por el hecho que representan una tecnología bastante complicada; y sería difícil imaginarse que un equipo de esos trabajara satisfactoriamente en un lugar remoto de la sierra. Además, el gasto por energéticos es considerable. Aun un horno bien diseñado no gasta menos de 500 kwh por cada metro cúbico de madera que seca.

Este último punto es un argumento en favor de la energía solar. Ya hay varias experiencias con hornos solares para secar madera en otros países.^{1, 2, 3} No es el objetivo de este trabajo hacer un estudio exhaustivo de la bibliografía acerca de estas experiencias en el extranjero, pero creo que han de ser de 50 a 100 hornos solares repartidos en los cinco continentes.

Con respecto a los datos bibliográficos, nuestro horno por varias razones parece una novedad: una gran parte de los diseños publicados no respetan las reglas elementales de la energía solar. Generalmente los colectores solares son demasiado pequeños y consecuentemente el secado es muy lento, de cuatro semanas a seis meses. Por eso, en este trabajo me permito introducir un pequeño capítulo sobre la eficiencia de colectores solares.

Los demás hornos, que sí están bien diseñados, son de un grado de complicación técnica tal, que sólo pueden dar resultados satisfactorios en condiciones muy favorables y no en un lugar remoto de la sierra con personal casi analfabeto.

Nosotros hemos diseñado y construido un horno solar para secar madera para una escuela de carpintería en la Sierra Huichola al norte del estado de Jalisco. El proyecto fue patrocinado por el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente.

Según me han dicho, parece que el horno solar descrito en este trabajo es el primero de su género en México, aunque tengo conocimiento de otros proyectos que están todavía en proceso de construcción. Nuestro horno se comenzó a construir en enero de 1983 y después de varias interrupciones causadas por el tiempo desastroso se terminó a principios de marzo de 1983.

2. El problema

En la comunidad indígena de Sta. Catarina Cuexcomatlán, municipio de Mezquitic, Jal., se organizó un taller escuela para enseñar carpintería. Este taller pretende vender sus productos, y para que éstos sean de buena calidad, conviene que la madera que se utiliza esté seca. Para este fin se pidió un horno de secado con las siguientes características: a) Capacidad para 3 metros cúbicos de madera, b) que alcance una temperatura hasta de 60°C, c) que se pueda variar la humedad relativa del aire y que éste circule libremente entre la madera.

3. Las condiciones

El lugar elegido para la construcción del horno se halla

en medio del bosque, lejos de todo pueblo, con un solo acceso: una brecha en malas condiciones. El lugar queda incomunicado durante la época de lluvias. El horno se ha diseñado para que pueda ser construido y mantenido por personal muy poco capacitado. No hay energía eléctrica. Tampoco se puede contar con combustible líquido o gaseoso por las dificultades de transporte. Por la misma razón se deben usar materiales de construcción locales (piedra, madera) o materiales fácilmente transportables y fuertes, que no se dañen por las sacudidas del camión sobre la brecha.

4. Las alternativas de solución

4.1 Secado al aire libre

Este método sería sin duda el más fácil. Pero en las condiciones específicas del lugar no conviene. Los meses de trabajo en el taller van de noviembre a mayo, porque los alumnos dedican el resto del año a la agricultura. En diciembre y enero las lluvias fuertes son frecuentes y además las temperaturas bajan a cerca de 0°C. De febrero a mayo hace bastante calor, pero el aire muy seco y los vientos muy fuertes comunes en este lugar provocan un secado demasiado rápido que rajaría la madera superficialmente. Esto ya lo hemos experimentado.

4.2 Secado con combustión de leña

Este es un método muy antiguo y todavía practicado en algunas pequeñas madererías, por ejemplo en Michoacán. Tiene dos problemas: uno es el combustible. Al secar madera de pino obviamente quedan bastantes desperdicios de pino. Pero es leña de mala calidad. Da

una flama alta que pone en peligro la madera que se quiere secar y se consume muy pronto y por ello, requiere de alguna persona que esté vigilando el fuego. El otro problema es el humo. Las tablas que se van a secar se cubren con una capa gruesa de hollín y es un trabajo muy desagradable tener que limpiarlas, sobre todo si se dispone únicamente de un cepillo manual.

Se podría usar un intercambiador de calor con el fin de que el humo no toque directamente la madera sino que caliente sólo el aire que después se dirige hacia la pila de tablas. Pero esta técnica es demasiado complicada para las condiciones del lugar.

4.2 La energía solar

Temperaturas como las que se exigen para el horno, fácilmente se pueden lograr con un colector solar simple. Aun en invierno se dispone de suficiente energía solar para este fin. Además, se tiene la ventaja de que los colectores solares para calentar el aire son la técnica solar más sencilla que existe. Sin embargo, la necesidad de hacer circular el aire a través de la pila de madera sin la presencia de un ventilador requiere un diseño cuidadoso del aparato.

Si además se toma en cuenta que el secado de 3m^3 de madera de pino requiere aproximadamente 1000 kwh de energía, sin calcular las pérdidas comunes en los hornos, el horno solar parece la técnica más ventajosa.

5. El concepto del "horno solar"

5.1 El colector solar

El colector solar es un aparato diseñado para captar la energía de los rayos solares. Básicamente, es una caja negra en el interior, abierta hacia arriba, cubierta de un material transparente y cuyas paredes y fondo deben ser de un material térmicamente aislante. La eficiencia de este sistema la conoce cualquiera que haya estacionado su carro alguna vez con las ventanas cerradas en un lugar soleado.

Sin embargo, no nos interesa solamente la temperatura que pueda alcanzar el colector solar, sino también la cantidad de energía útil que se pueda aprovechar. En nuestro caso eso corresponde a la cantidad de aire caliente. Definimos como la eficiencia del colector el cociente entre la energía aprovechada y la energía recibida por el colector en forma de luz. Existe una relación empírica, aproximada por la fórmula:

$$E = 0.7 \left(1 - \frac{K}{I} (T - T_0)\right) \quad (1)$$

en la cual, el significado de las variables es el siguiente:

E eficiencia del colector

k una constante, cuyo valor depende básicamente del material y del número de capas transparentes que cubren el colector. La tabla siguiente nos da unos ejemplos aproximados:

TABLA 1

Tipo de recubrimiento	k (kw/m ² ,°C)
un solo vidrio	0.011
dos vidrios (distancia 5 cm)	0.0077
PVC transparente, una capa	0.0115
PVC transparente, dos capas (distancia 5 cm)	0.008
polietileno, transparente, una capa	0.02

Vale la pena mencionar que no importa el grosor del vidrio o del plástico para determinar k. El polietileno da resultados menos satisfactorios porque deja escapar la radiación infrarroja que emite el colector. Además, el polietileno se destruye en pocos meses por la radiación ultravioleta del sol, pero por otra parte es el material más barato.

I intensidad de la radiación solar en kw/m². A mediodía, si no hay nubes, I está alrededor de 1 kw/m².

T temperatura dentro del colector solar, en °C.

T₀ temperatura del ambiente, en °C.

Según la fórmula (1), E = 0 cuando:

$$T = T_{\max} = T_0 + \frac{I}{K} \quad (2)$$

Y eso es la temperatura máxima que el colector puede alcanzar. Obviamente conviene trabajar a temperaturas T considerablemente inferiores a T_{max}, para que E sea grande.

Para el horno solar en cuestión se escogió PVC transparente como material de recubrimiento, ya que el transporte de vidrio por la brecha nos pareció demasiado riesgoso.

Para mayor claridad se dan algunos ejemplos de resultados de las fórmulas (1) y (2) en la siguiente tabla, suponiendo $T_0 = 20^{\circ}\text{C}$ y $T = 60^{\circ}\text{C}$.

TABLA 2

Recubrimiento del colector	I(kw/m ²)	T _{max} (°C)	E	E'(%)
una capa de PVC	0.5	63.5	0.056	5.6
una capa de PVC	1	107	0.38	38
dos capas de PVC	0.5	82.5	0.25	25
dos capas de PVC	1	145	0.48	48

Los valores de E' que se dan a la derecha son también la eficiencia, pero expresada en porcentaje. Ejemplo de la lectura de la tabla: en la mañana, cuando el sol todavía es débil (0.5 kw/m²) un colector con una sola capa de PVC alcanzaría una temperatura máxima de 63.5°C. Si se quiere trabajar con una temperatura de 60°C, la eficiencia sería de sólo 5.6%. El resto de la energía se pierde hacia el ambiente. Dos capas de PVC son mucho más provechosas que una y pensamos que durante todo el día dos capas rinden aproximadamente 50% más que una sola capa. (Para el cálculo exacto habría que tomar en cuenta que T no se puede mantener constantemente en 60°C, sino que varía dependiendo de I, de la humedad del aire y de la humedad de la madera y su temperatura. Eso nos llevaría a un sistema de ecuaciones diferenciales no lineales simultáneas, que según mis conocimientos hasta el momento nadie ha resuelto. Este será un trabajo interesante para los jóvenes adictos a las computadoras.)

5.2 El calentamiento del aire

Como se puede ver en las figuras 1 y 2, el calentador de aire consiste en una caja con dos pisos. En el piso superior se calienta el aire al pasar sobre una lámina de asbesto, pintada de negro, que absorbe los rayos solares. El aire caliente sube hacia el horno. En el piso inferior el aire frío que viene del condensador baja y se precalienta con el lado inferior de la lámina de asbesto.

Hicimos pruebas sobre la eficiencia de la transferencia del calor del asbesto hacia el aire, resultando que la rugosidad o pequeñas ventilas en la lámina sí mejoran la transferencia, pero en todo caso no más de 10%. Por otra parte, las ventilas en las láminas no permiten que se desarrolle el "efecto de chimenea", que hace circular el aire.

5.3 El condensador de agua

Como se puede ver en la figura 1, el aire circula en un sistema cerrado, sin ventilación hacia afuera. Eso minimiza las pérdidas de energía. Pero hay que prever un dispositivo para eliminar la humedad excesiva del aire en forma controlable.

Al salir del horno, el aire pasa por un ducto a un lado de una lámina de aluminio que, por fuera, está en contacto con el ambiente. Consecuentemente, la humedad se condensa sobre esta lámina y el aire se enfría antes de regresar al colector solar.

El control de la condensación se logra mediante una "puerta" de material térmicamente aislante que se puede colocar enfrente de la lámina de aluminio; si esta "puerta" está cerrada, la lámina queda aislada del ambiente y en el interior ya no se condensará más agua.

Con la condensación y con la actividad contraria —rociando el piso del horno con agua para que se evapore— se puede variar la humedad del aire en el horno, tal como lo exige el secado de la madera.

6 La realización concreta, cálculos y dimensiones

6.1 El tamaño del colector solar

El área del colector solar obviamente es proporcional a la energía que se necesita para evaporar el agua de la madera. Para tres metros cúbicos de madera de pino esta energía equivale aproximadamente a 1000 kwh. El aislamiento térmico de las paredes del horno exigimos que sea tan bueno, que no pase más que 20% de la energía útil a través de él. Por tanto, requerimos en total una energía de unos 1200 kwh. Si queremos secar la madera en 10 días, necesitamos 120 kwh diarios.

Pero, ¿cuánto nos da cada metro cuadrado de colector solar? La radiación promedio en México está alrededor de 5 kwh por día en cada metro cuadrado de superficie. En el colector que usamos, con dos capas de PVC, calculamos según la tabla 2, una eficiencia promedio de 40%. Es decir, de estos 5 kwh sólo dos se aprovechan. Si cada metro cuadrado rinde 2 kwh por día y lo que necesitamos son 120 kwh, el colector solar debe tener una superficie de 60 m².

A pesar de que se dice que la inclinación de un colector solar debe coincidir exactamente con el ángulo de la latitud geográfica del lugar, eso no es correcto. En invierno el sol es más débil y el ambiente es más frío. Si se quiere trabajar también en invierno, hay que favorecer más estas condiciones, dándole un poco más de inclinación (10° - 15°) al colector. Para nuestro diseño es-

cogimos 35° de inclinación. Afortunadamente se encontró una colina con esta pendiente hacia el sur cerca del taller y aprovechamos la ladera como base para el colector y en cima construimos el horno.

6.2 El almacenamiento de la energía

Para que el horno no se enfríe demasiado durante la noche, además de aislante se previó un muro grueso de piedra en el interior que sirviera como almacén de calor. Su volumen fue calculado de tal manera que el horno no se enfriara a menos de 30°C . Esto corresponde a un muro de piedra de 30 a 40 cm de espesor.

El muro pesado de piedra representa la estructura interior del horno. Afuera por todos lados está forrado de colchón de fibra de vidrio de un espesor mínimo de 10 cm. También encima del plafón de triplay (protegido contra la humedad con pintura) hay una capa igual de material aislante.

Para que el colchón de fibra de vidrio no esté expuesto a la intemperie, el exterior del horno está forrado de tablas de madera, que a su vez se encuentran cubiertas con un techo de lámina.

6.3 El condensador

Se estimó que la superficie necesaria para el condensador sería de unos 4 m^2 . Esta área efectiva se reparte sobre dos ductos de aire, uno a cada lado del horno con su "puerta" respectiva, para regular la velocidad de la condensación.

Otros detalles de diseño, así como la disposición geométrica de los elementos descritos pueden verse con mayor detalle en la figura 4.

7 Técnicas de medición

7.1 Temperatura y humedad del aire

Estos datos se determinaron con el método de "termómetros de bulbo seco y de bulbo húmedo". En el centro de una de las dos puertas principales del horno están colocados dos termómetros, de tal manera que los bulbos quedan en el interior del horno y las escalas afuera. Debajo de uno de los bulbos está colocado un pequeño recipiente con agua en el que se humedece un trapo que envuelve el bulbo.

7.2 Circulación del aire

Para observar los movimientos del aire se colgó viruta de madera en lugares estratégicos del horno.

7.3 Contenido de agua en la madera

La humedad de la madera se define como el porcentaje del peso de agua en relación con el peso de la madera completamente seca. Por lo tanto, es posible determinar la humedad en cualquier momento durante el secado, si se determina el peso de la madera. Sólo es necesario saber la humedad inicial antes de empezar el secado. Determinamos en un laboratorio en Guadalajara que los pinos alrededor de nuestro taller tenían una humedad aproximada de 80%.

Se construyó una báscula en la puerta del horno donde se colgó una tabla de muestra colocando la manecilla de una báscula en el lado exterior de la puerta. La escala está graduada en porcentaje, de tal manera que la tabla al principio del secado pesó 100%. De las

reducciones de peso fácilmente se puede calcular la humedad, según la fórmula:

$$H = P. \left(1 + \frac{H_0}{100} \right) - 100. \quad (3)$$

en la cual el significado de las variables es el siguiente:

H humedad de la madera en %

P peso de la madera en % del peso inicial

H_0 humedad inicial de la madera en %

Con esta fórmula se calculó otra escala que se dibujó paralela a la escala de pesos en la puerta del horno.

8 Método del secado

En un horno solar no se puede aplicar los procedimientos conocidos y experimentados con los hornos convencionales, porque casi no hay manera de controlar la temperatura que varía durante el día según la radiación solar. Lo que sí se puede regular es la humedad del aire.

Según Hildebrand,⁴ lo que tiene que mantenerse constante es el cociente de secado q , definido como:

$$q = \frac{u}{u_e} \quad (4)$$

donde el significado de las variables es:

u contenido de humedad en la madera

u_e contenido de humedad de equilibrio en las condiciones dadas.

Suponiendo, por ejemplo, que dispusiéramos de una madera con un contenido de humedad $u=30\%$ y las con-

diciones de temperatura y de humedad relativa del aire en la cámara de secado fueran tales que la madera llegara a secarse después de un tiempo prolongado hasta quedar a 15% de humedad, la humedad de equilibrio de la madera sería $u^e=15\%$ y el cociente de secado $q=30:15=2$.

Hildebrand recomienda como cocientes de secado para pino valores de q de 2.0 a 3.5 y para encino de 1.8 a 2.0. Además, hay una tabla que relaciona u^e con las temperaturas de termómetro seco y de bulbo húmedo, para las diferentes maderas.⁴

Despejando la ecuación (4) se obtiene:

$$u = q \cdot u^e \quad (4')$$

Y calculamos de la tabla mencionada otra tabla nueva que relaciona el contenido de humedad u (en lugar de u^e) y la temperatura en la cámara de secado con la temperatura del bulbo húmedo que debe haber en estas condiciones, según la madera que se seca. Para este fin escogimos $q=2$ para encino y $q=3$ para pino. Estos valores están en la tabla 3.

El procedimiento para establecer condiciones óptimas de secado se explica con el siguiente ejemplo. Supongamos que se quiere secar madera de pino. Después de unos días la báscula en la puerta del horno marcará un contenido de humedad en la madera de 30%. Supongamos además que el termómetro seco marca 50°C . Entonces la tabla 3 indica, que el termómetro de bulbo húmedo debe marcar 42.5°C . Si marca menos, se debe rociar agua en el piso del horno. Para este fin conviene colocar allí unas tinas grandes de lámina con colchón

TABLA 3

Temperaturas de bulbo húmedo que se deben establecer, según la temperatura del termómetro seco y la humedad de la madera:

Humedad de la madera			Temperatura del termómetro seco:						
encino pino			35	40	45	50	55	60	65
w _e	q=2	q=3							
20%	40%	60%	33.5	38.5	43.5	48.5	53.5	59	64
18	36	54	33	38	43	48	53	58	63
16	32	48	32	37	42	47	52	57.5	62.5
14	28	42	31	36	41	46	51	56.5	61.5
12	24	36	30.5	35	39.5	44.5	49.5	54.5	59.5
10	20	30	28.5	33	37.5	42.5	47.5	52.5	58
8	16	24	25.5	30	34.5	39	44	49	54
6	12	18	21.5	26	30.5	35	39.5	44.5	49.5
5	10	15	20	24	28	32	36	41	45.5
4	8	12	19	22	25	29	33	37	41.5
3.5	7	10.5	17.5	21	24.5	28	32	36	40

de fibra de vidrio en el fondo, que facilitan el almacenamiento y la evaporación del agua. Si el termómetro marca demasiado, hay que abrir las "puertas" de los condensadores, para facilitar así la remoción de humedad

Este procedimiento se sigue hasta que la madera tenga la humedad deseada, según la siguiente tabla:

TABLA 4

Humedad de la madera necesaria para diversas aplicaciones.

Aplicaciones	Humedad de la madera
Madera para la construcción	18-20
Objetos colocados al aire libre	18-20
Ventanas exteriores y puertas	12-15
Elementos de construcción en habitaciones	8-12
Muebles	8-10
Instrumentos de música	8-10
Plafones	5- 7

Cuando se haya alcanzado esta humedad, el secado todavía no está terminado. Durante el proceso de secado, la madera se seca más en su superficie que en su interior. Por tal motivo es preciso, una vez terminado el secado propiamente dicho, efectuar un acondicionamiento para equilibrar la humedad por todo el grueso de la madera. Durante el tiempo que dura este proceso de equilibrio se compensan también las tensiones de la madera, y la humedad se distribuye por igual por todo el grueso de ésta. Las temperaturas del termómetro seco y del termómetro húmedo se ajustarán durante este tiempo de equilibrado (según la tabla 3) al grado de humedad residual u^e (en lugar de u) al que se desee secar la madera.

9 Experiencias prácticas

9.1 Comportamiento del horno:

En la figura 5, se ven los cambios de temperatura y hu-

medad típicas durante un día. Se ha graficado la temperatura de bulbo húmedo tal como se establece si no hay ninguna intervención del operario del horno. También se ha graficado la temperatura del bulbo húmedo, tal como debería desarrollarse, en el caso de que la humedad de la madera fuera como está indicado en la gráfica tercera de la figura 5. En este último dibujo también está representada la velocidad del secado, correspondiendo a la hora del día. Como se ve, las horas de la noche y de la mañana aportan muy poco al proceso de secado.

El secado total, incluyendo el tiempo de equilibrado, para tablas de pino de 3 a 4 cm de espesor (variable, porque se cortaron a mano) ha durado hasta 12 días, con una humedad final de 10%. La calidad de la madera es satisfactoria.

9.2 Efectos imprevistos

La sorpresa principal fue que el aire del horno sí circulaba, pero en la dirección contraria de lo previsto. Las razones de esto sólo podemos plantearlas a nivel de hipótesis, dado que todavía no existe un modelo matemático suficientemente exacto para simular el sistema termodinámico del horno. Probablemente, la diferencia de temperaturas entre la cámara alta y la cámara baja del colector no es suficiente. Convendría poner debajo de la lámina de asbesto otra capa de material aislante; posiblemente además sería bueno invertir el flujo en la cámara de secado de arriba hacia abajo. O sea, desde la cámara superior del colector solar un ducto subiría el aire hasta el plafón del horno y desde el piso del horno el aire enfriado regresaría a la cámara inferior del colector solar.

En nuestro caso, con el flujo de aire al revés tuvimos algunos problemas: primero, el aire entraba por el condensador, así que el condensador no funcionaba. Por otro lado, con la corriente de arriba hacia abajo, resultaba más difícil humedecer el aire lo suficiente, ya que esta circulación, además de ser invertida, era mucho más lenta de lo previsto.

Otra sorpresa fue que, a pesar de que los condensadores estaban fuera de servicio, el horno solar secaba bien y el aire casi siempre estaba más seco de lo deseado. Un estudio de la gráfica del desarrollo de humedad de aire durante el día explica lo que pasaba. Durante las horas del sol no hay ninguna necesidad de condensar agua, al contrario. El agua que se evapora de la madera no es suficiente para lograr las condiciones óptimas de secado. Hay que agregar agua. En la noche, cuando el horno enfría, el vapor se condensa en las paredes o se difunde a través de ellas hacia afuera. Convendría, por tanto, recubrir el interior del horno con un material que no dejara pasar el vapor hacia afuera para mejorar así la humedad del ambiente en el horno. Posiblemente también se podrían eliminar los condensadores.

Agradezco al ITESO su apoyo financiero y administrativo para llevar a cabo el proyecto. También agradezco al Instituto de Madera, Celulosa y Papel de la Universidad de Guadalajara por permitir la realización de algunos experimentos preliminares en sus laboratorios.

Bibliografía

1. UNIDO, *Development and Transfer of Technology Series No. 5. Technology for Solar Energy Utilization*, United Nations, New York, 1978.
2. S.N. Sharma "Feasibility of Solar Timber Drying in Tropical Locations". Trabajo presentado en la Conference of UFRO, División V, Oxford, England, abril, 1980.
3. *Sunworld*, Volume 4, Number 6, 1980. Special Issue on Solar Drying and Evaporation.
4. Hildebrand. *El secado de madera aserrada*, Barcelona, 1964.

FIGURA I
ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO
SIN ESCALA

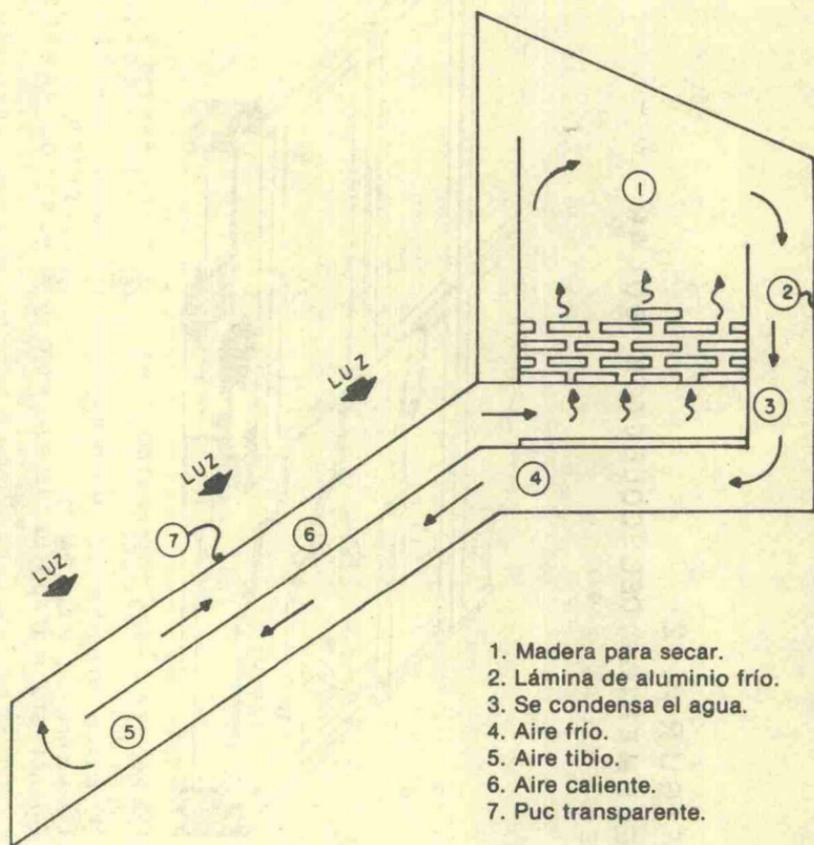


FIGURA 2
ELEMENTOS DEL COLECTOR SOLAR
 ESCALA 1:40

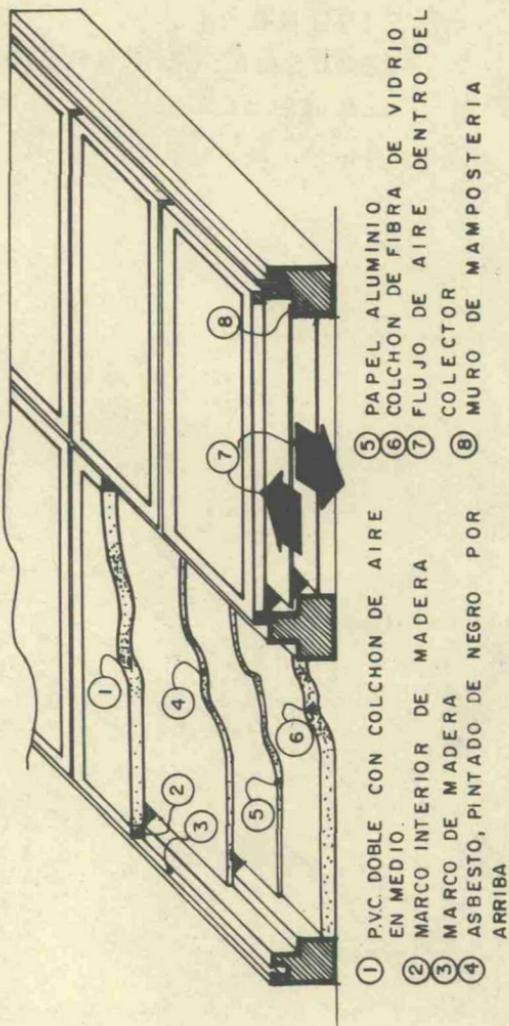


FIGURA 3A
PLANTA DE HORNO SOLAR CON LOS COLECTORES
E.S.C.A.L.A 1 : 100

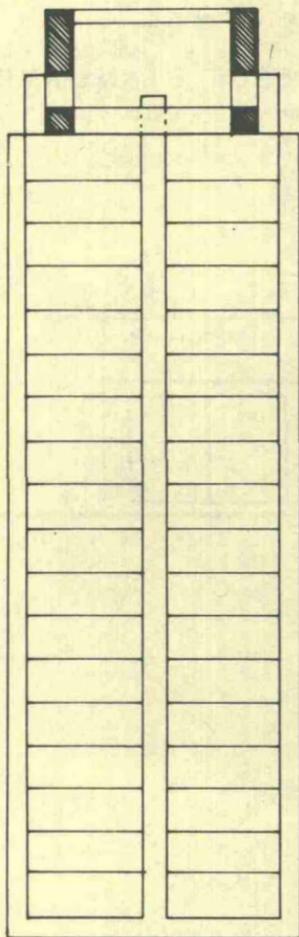


FIGURA 3 B
VISTA DESDE EL NORTE
ESCALA 1:100

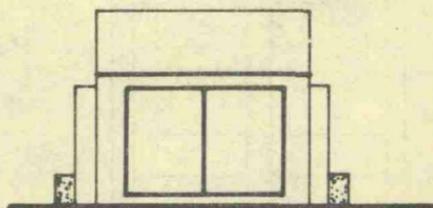


FIGURA 3 C
ALZADO DESDE EL ESTE
ESCALA 1:100

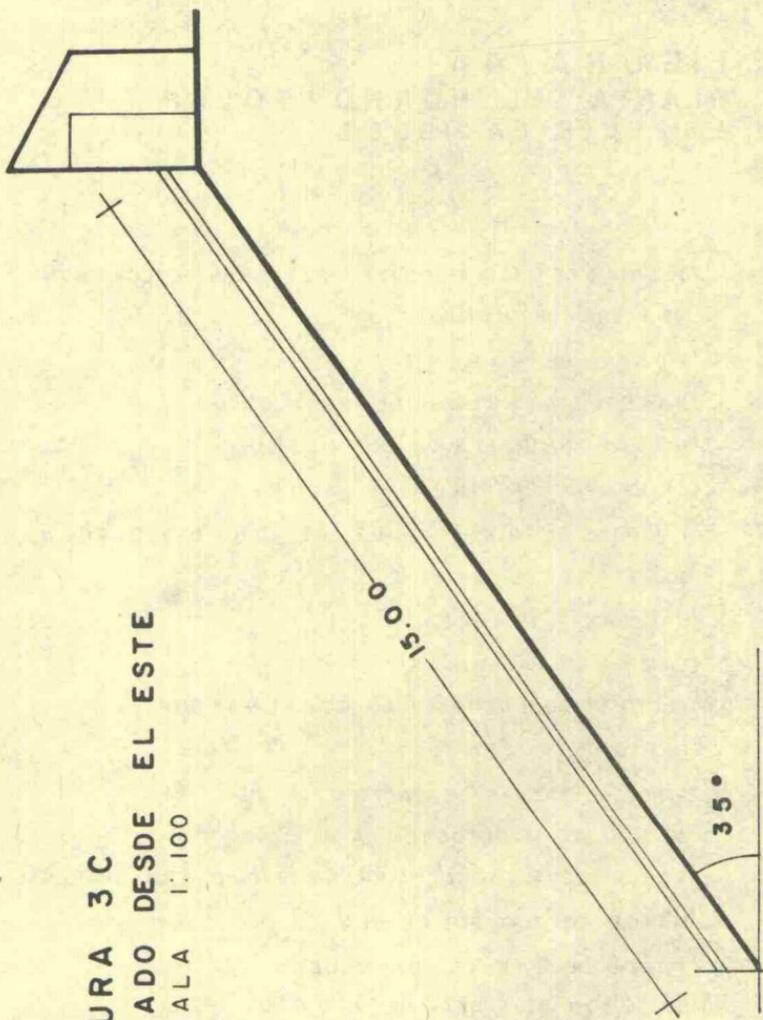


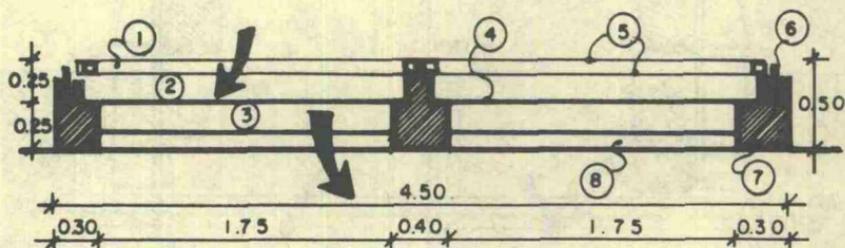
FIGURA 4A

PLANTA DEL HORNO SOLAR

ESPECIFICACIONES

- ① PUERTAS DE TRIPLAY DOBLE, RELLENOS DE COLCHON DE FIBRA DE VIDRIO
- ② POSTE DE MADERA
- ③ PARED DE TABLAS DE MADERA
- ④ COLCHON DE FIBRA DE VIDRIO
- ⑤ COLCHON DE FIBRA DE VIDRIO
- ⑥ PUERTAS DE TRIPLAY DOBLE, RELLENO DE COLCHON DE FIBRA DE VIDRIO
- ⑦ SALIDAS DE AIRE
- ⑧ LAMINA DE ALUMINIO
- ⑨ DUCTO DE AIRE VERT. COMO CONDENSADOR
- ⑩ POSTE DE MADERA
- ⑪ PARED DE TABLAS DE MADERA
- ⑫ MARCO DE MAMPOSTERIA
- ⑬ MARCO DE MADERA FORRADO DE P.V.C. TRANSPARENTE
- ⑭ MARCO DE MANPOSTERIA
- ⑮ PARED DE TABLAS DE MADERA
- ⑯ COLCHON DE FIBRA DE VIDRIO

FIGURA 4 B
COLECTOR SOLAR
CORTE TRANSVERSAL A—A'
ESCALA 1 : 40



- ① COLCHON DE AIRE
- ② AIRE CALIENTE
- ③ AIRE TIBIO
- ④ LAMINA DE ASBESTO PINTADA DE NEGRO
- ⑤ P. V. C.
- ⑥ MARCO DE MADERA
- ⑦ MARCO DE MAMPOSTERIA
- ⑧ COLCHON DE FIBRA DE VIDRIO FORRADA DE ALUMINIO

FIGURA 4A
 PLANTA DEL HORNO SOLAR
 ESCALA 1:40

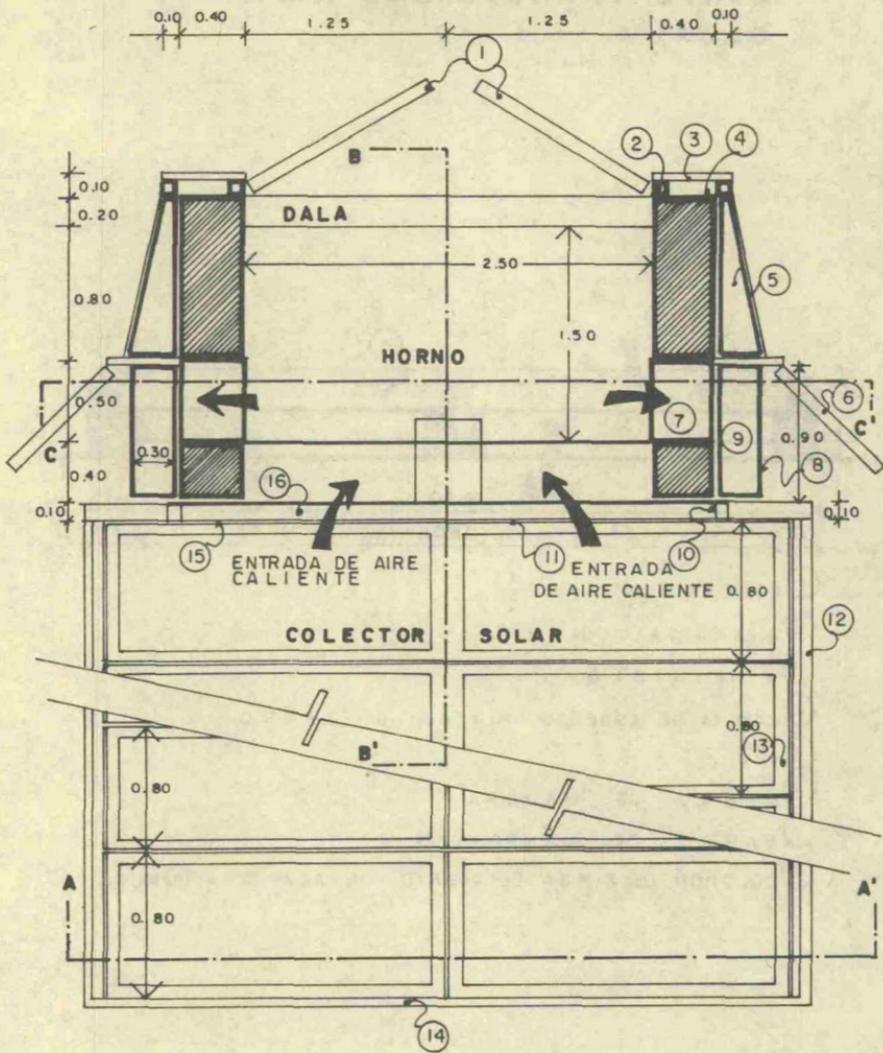


FIGURA 4C
CORTE TRANSVERSAL B — B'
ESCALA 1:40

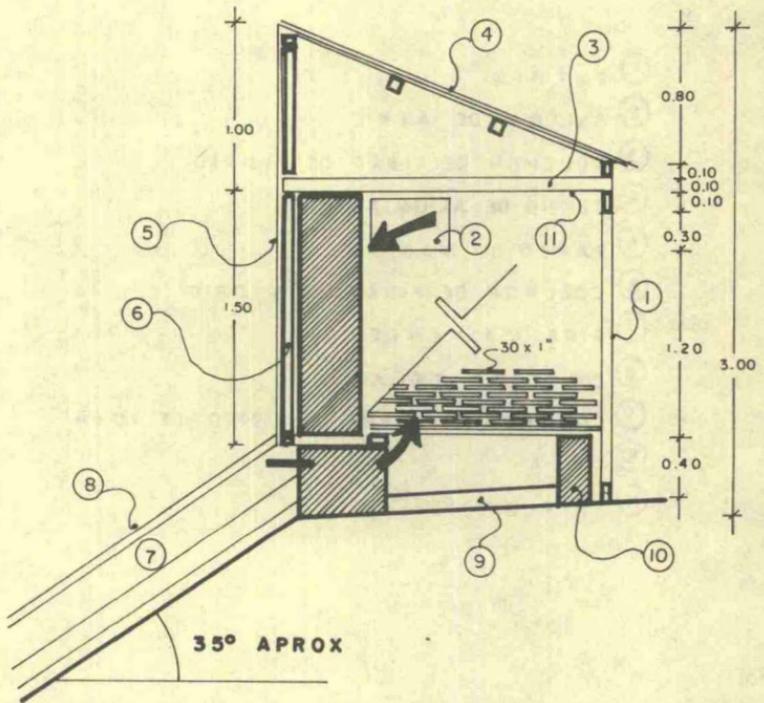


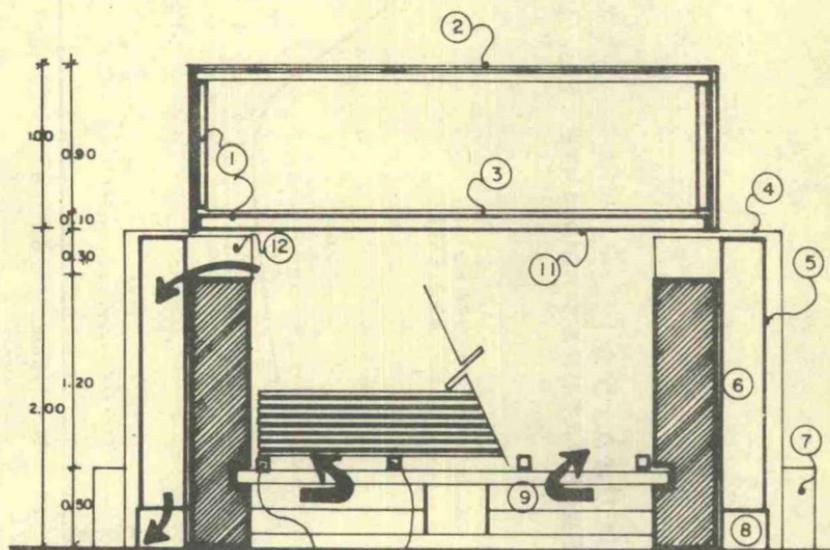
FIGURA 4C
CORTE TRANSVERSAL B — B'
ESPECIFICACIONES

- ① PUERTA
- ② SALIDA DE AIRE
- ③ COLCHON DE FIBRA DE VIDRIO
- ④ TECHO DE ALUMINIO
- ⑤ PARED DE MADERA
- ⑥ COLCHON DE FIBRA DE VIDRIO
- ⑦ AIRE CALIENTE
- ⑧ COLECTOR SOLAR
- ⑨ COLCHON DE FIBRA DE VIDRIO DE 10 cm.
- ⑩ DALA
- ⑪ TRIPLAY.

FIGURA 4 D CORTE LONGITUDINAL C—C'

ESCALA 1:40

- ① COLCHON DE FIBRA DE VIDRIO
- ② TECHO DE ALUMINIO
- ③ P. V. C.
- ④ TABLA DE MADERA
- ⑤ PUERTA DEL CONDENSADOR



- ⑥ CONDENSADOR
- ⑦ MARCO DE MAMPOSTERIA DEL COLECTOR
- ⑧ SALIDA HACIA LA PARTE INFERIOR DEL COLECTOR
- ⑨ ENTRADA DE AIRE
- ⑩ VIGAS DE MADERA
- ⑪ TRIPLAY

FIGURA 5 A
TEMPERATURAS DURANTE EL DIA

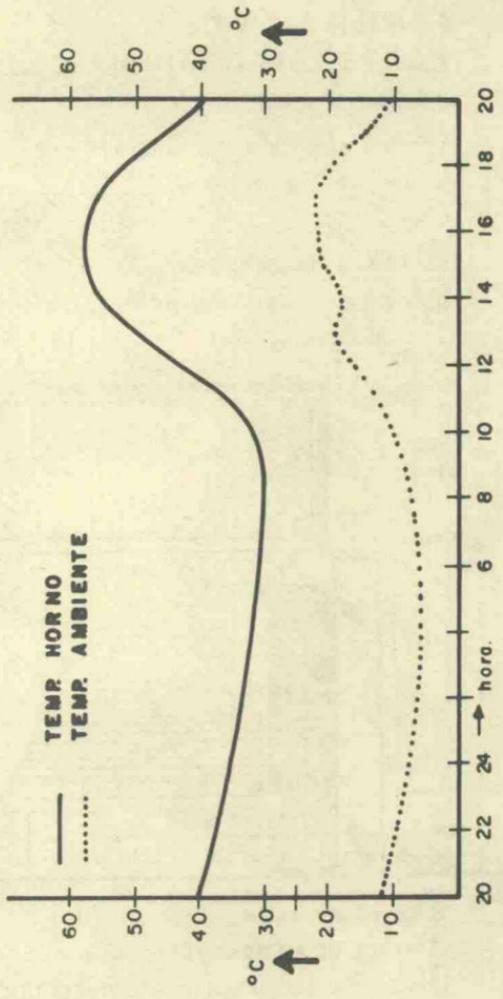


FIGURA 5 B
 HUMEDAD DURANTE EL DIA

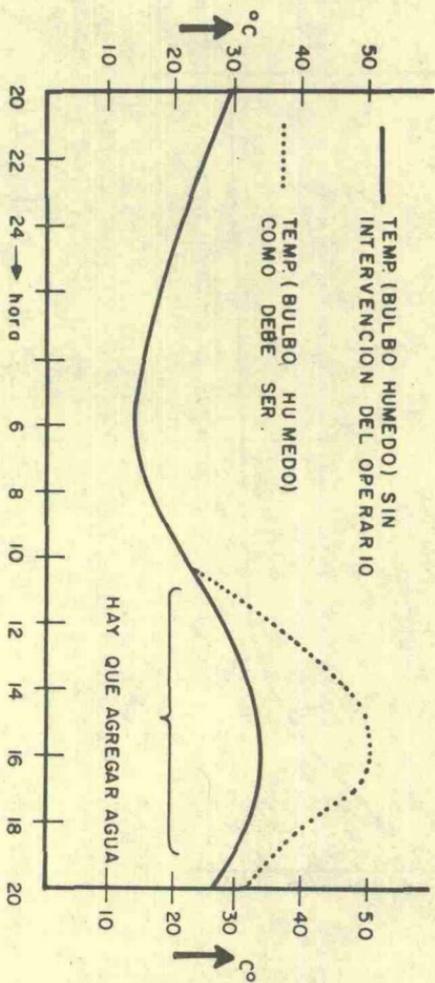
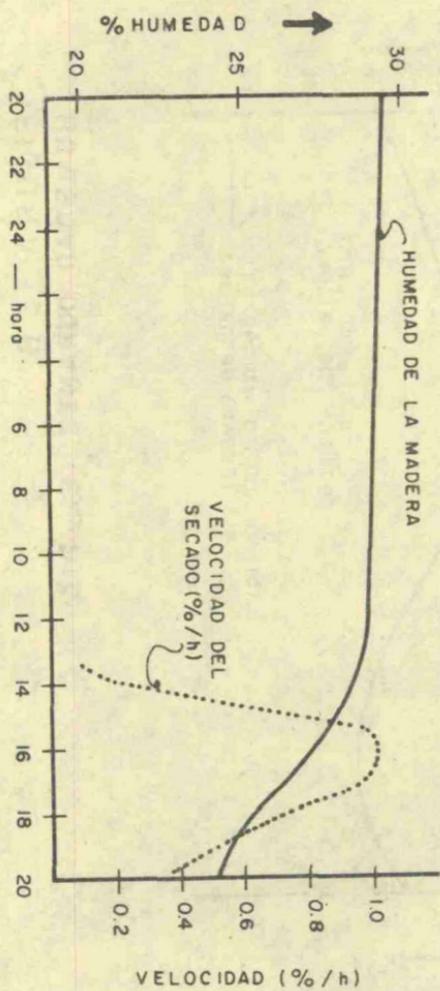


FIGURA 5 C





Tipografía, diseño e impresión
estuvieron a cargo de Gráfica Nueva
Pípila 638 / Tel: 13-29-74
Guadalajara, Jalisco, México

10

Resumen:

Descripción de la construcción de un horno para secar tres metros cúbicos de madera con energía solar, utilizando tecnología apropiada para un lugar remoto de la Sierra Huichola.

El horno tiene 60 metros cuadrados de colectores solares recubiertos con plástico PVC transparente y alcanza temperaturas máximas de 70°C, seca madera de 3 a 4 cm de espesor en periodos de 12 días y logra un contenido final de 10% de humedad. Costo total del horno, incluyendo sueldos, material y transporte: 173,115 pesos en 1983.